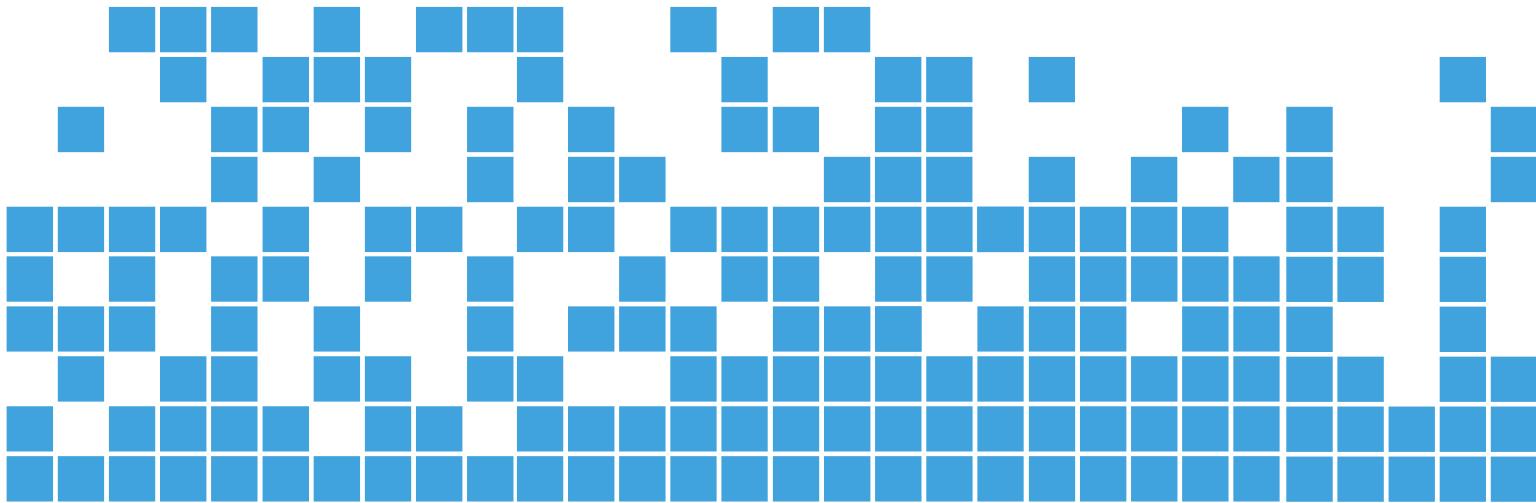
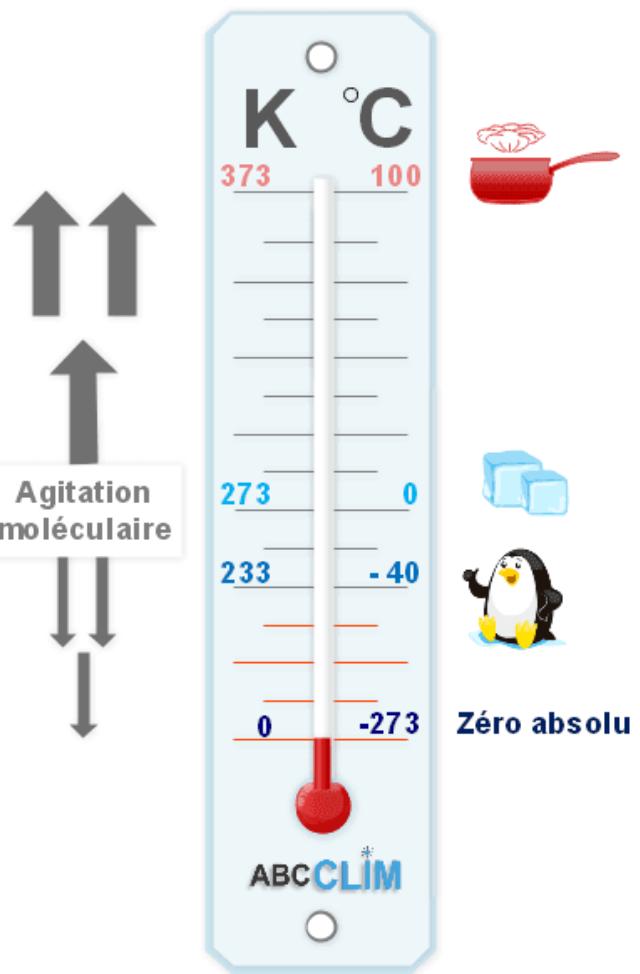


Généralités



La thermodynamique

Qu'est-ce que la thermodynamique ?

Si l'on cherche à comprendre l'étymologie du mot thermodynamique, il faudra décomposer celui-ci. On obtiendra alors deux notions distinctes, avec "thermo" qui est en rapport direct avec ce qui a trait à la chaleur, et "dynamique", qui rappelle les fondements de la mécanique. Ainsi, la thermodynamique va s'intéresser aux interactions qui existent entre ces deux thèmes distincts, en devenant une unique discipline.

Les premiers travaux ayant un rapport direct avec la notion de thermodynamique datent du début du XIX ème siècle, notamment avec Carnot, qui a pu mettre en évidence de nombreuses règles, en matière de machines thermiques. Il fut donc le premier scientifique à poser les bases de cette discipline, il y a près de 200 ans maintenant. On va étudier les transformations de l'énergie de toutes les manières possibles, et pas uniquement en matière de physique. D'autres disciplines vont elles aussi venir étoffer la ligne directrice principale de cette science, comme la biologie, l'électromagnétisme, ainsi que la chimie. Plusieurs principes ont alors vu le jour dans le courant du XIX ème siècle.

Les premiers travaux en thermodynamique

Outre les expériences de Carnot qui a mis le doigt sur la transformation de chaleur en travail, on pourra aussi citer Joule, un scientifique bien connu en physique et chimie, qui a eu l'opportunité de pointer du doigt le rapport entre le travail mécanique et l'énergie électrique. Von Mayer a lui aussi réalisé des travaux dans ce sens.

Un peu plus tard, Carnot s'est illustré dans d'autres expériences, de manière à démontrer que la notion d'entropie (fonction d'état qui quantifie et mesure le désordre d'un système) est essentielle dans le monde de la thermodynamique. Cela dépasse même le simple cadre de cette discipline scientifique en venant également étoffer des principes philosophiques par exemple, puisque ces connaissances permettent aussi de cibler l'évolution de l'univers.

La thermodynamique est donc particulièrement importante dans notre compréhension du monde, en mettant en relation le mouvement, la chaleur, les réactions chimiques qui se produisent suite à ces différentes contraintes. Cela permet d'avoir une anticipation des événements en comprenant l'évolution des molécules selon ces composantes physiques et chimiques.

Les deux principes de la thermodynamique

Le premier principe de la thermodynamique est un principe de conservation de l'énergie et permet de faire un bilan énergétique entre un système et le milieu extérieur.

Cependant l'évolution du système ne dépend pas du chemin suivi pour faire cette transformation, en fait ce premier principe ne précise pas le sens de l'échange énergétique.

Exemple :

A la pression atmosphérique l'eau bout à 100°C

Rien n'interdit dans le premier principe de la thermodynamique que l'eau puisse bouillir à 80 degrés, si la pression atmosphérique est plus basse.

C'est en fait le deuxième principe qui précise ce sens, d'après les travaux de Sadi Carnot.

Le deuxième principe de la thermodynamique est un principe qui précise le sens de cette évolution et introduit la notion d'irréversibilité d'un phénomène physique.

L'idée générale du deuxième principe est qu'une quantité de chaleur ne peut jamais être transférée spontanément d'une source froide vers une source chaude.

Les 4 lois fondamentales en thermodynamique

Dans notre métier de frigoriste comme dans la vie de tous les jours nous sommes confrontés à des phénomènes pas toujours aisés à comprendre.

En thermodynamique la relation entre la pression, le volume et la température est étroite et en permanente interaction.

Voici quatre lois fondamentales et utiles en thermodynamique.

Loi de Charles

Jacques Charles (1746-1823) physicien français.

Elle stipule qu'à une pression donnée de gaz qui doit être constante, le volume d'une quantité de gaz varie en fonction de sa température. De telle manière que le volume de cette quantité de gaz augmentera en même temps de sa température et inversement.

C'est le principe de fonctionnement d'une montgolfière, l'air est chauffé dans une enveloppe restreinte, le volume de l'air en augmentant réduit la masse volumique et la montgolfière s'élève.

Loi de Gay Lussac

Louis Joseph Gay Lussac (1778 -1850) chimiste et physicien.

La loi de Gay Lussac démontre que pour une certaine quantité de gaz comprise dans un volume donné, sa pression est proportionnelle à sa température (en degrés Kelvin).

C'est cette loi qui est utile pour vérifier l'étanchéité d'un circuit frigorifique, on introduit de l'azote dans une installation, si on relève la pression et la température et que 24 heures on relève à nouveau ces deux paramètres, si le rapport est identique entre les pressions et les températures on peut raisonnablement penser que le circuit est étanche.

$$p_1/T_1 = p_2/T_2$$

p (en pascal, Pa) T (en kelvin, K)

La loi de Boyle-Mariotte

Robert Boyle physicien et chimiste irlandais - Edme Mariotte physicien et botaniste français.

Cette loi énonce qu'à une température constante, le volume d'une masse gazeuse est inversement proportionnel à la pression. En d'autres termes, si on prend un verre que l'on le retourne en le plongeant dans une eau à température constante plus il s'enfoncera dans l'eau plus le volume diminuera et plus la pression augmentera. Ou encore si on gonfle un ballon la pression exercée augmentera de façon identique sur les parois, le volume ce réduisant la pression augmentera.

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$$

P₁ = Pression de départ

P₂ = Pression d'arrivée

V₁ = Volume de départ

V₂ = Volume d'arrivée

Loi de Dalton

John Dalton (1766-1844) physicien britannique.

C'est la loi qu'utilise le frigoriste parfois sans le savoir, quand il est en présence d'air dans un circuit frigorifique, ou qu'il est confronté à tous problèmes liés aux mélanges de gaz.

La loi de Dalton démontre que la pression totale exercée par un mélange de gaz est égale à la somme des pressions partielles de chaque gaz constituant le mélange.

$$P_{\text{totale}} = p_1 + p_2 + p_3 + \dots$$

Le cycle de Carnot

Sadi Carnot, (1796-1832) physicien et ingénieur français, entreprit d'étudier, de modéliser le fonctionnement et les performances des machines thermiques. Car curieusement en pleine révolution industrielle la mise au point de ce type de moteur était plutôt empirique, les principes physiques de son fonctionnement étaient largement ignorés. Son travail est à l'origine quelques années plus tard de la naissance de la thermodynamique.

Le cycle de Carnot, simplement.

(Ici nous nous arrêterons à une démonstration simple sans notion de rendement.)

Le principe général du cycle de Carnot démontre qu'une machine thermique (moteur à vapeur, à essence, etc) ne peut fonctionner qu'en utilisant deux sources de chaleur, une source chaude et une source froide. Donc les moteurs thermiques que nous connaissons convertissent de façon cyclique la chaleur en travail mécanique, mais sans pourtant convertir à 100 % cette énergie en travail (pertes).

Sadi Carnot mit en lumière vers 1824 un cycle idéal, qui stipule que les échanges de la source chaude vers la source froide permettent de fournir un travail mécanique.

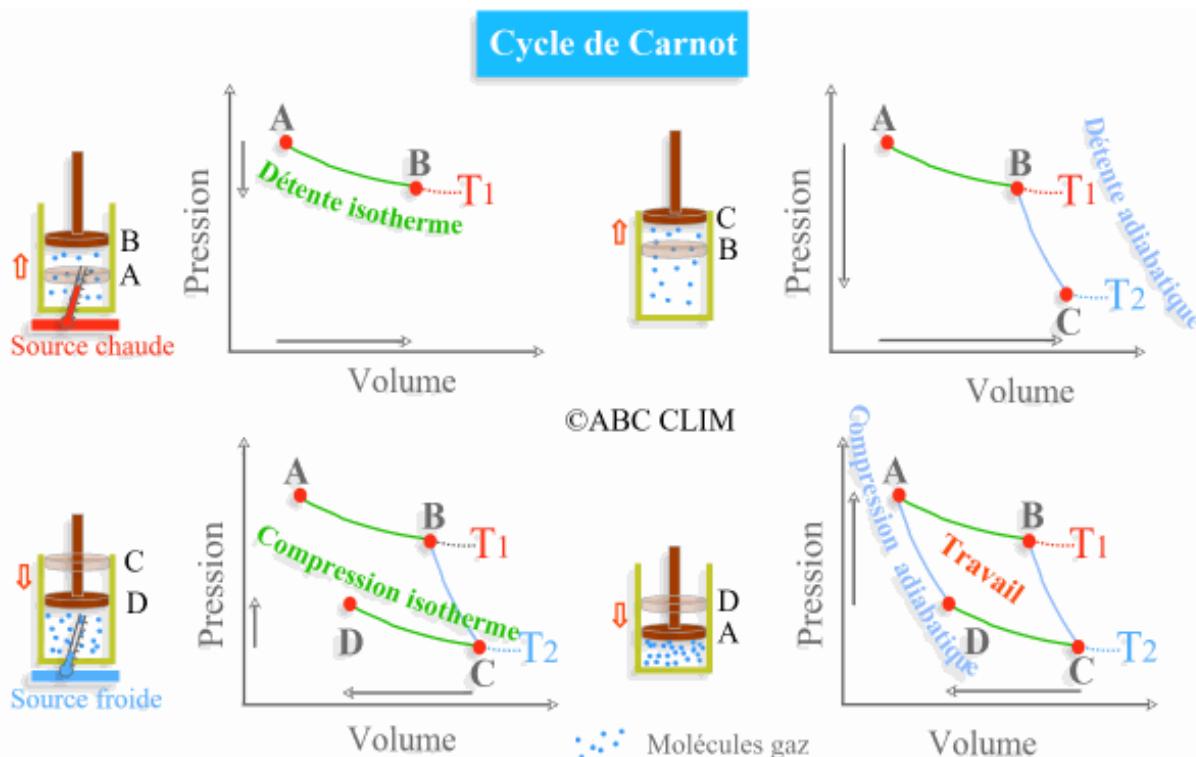
Ce processus cyclique utilise un gaz parfait, un piston mobile se déplaçant dans un cylindre sans frottement mécanique, et deux sources distinctes une source chaude et une source froide.

Le travail fourni par le cycle de Carnot est le résultat de deux transformations isothermes et de deux transformations adiabatiques.

Plus exactement durant cette suite des transformations, le gaz subit :

1. Une compression et une détente isothermes (qui se produisent à température constante)
2. Une compression et une détente adiabatiques (qui se produisent sans échange de chaleur)

Le diagramme de Claperton (Pression/Volume) ci-dessous permet de visualiser le cycle (réversible) de carnot.



A-B

Détente isotherme, les molécules de gaz sont soumises à la température T_1 (source chaude), le gaz absorbe la chaleur de la source chaude. La pression descend et le volume augmente. Le piston effectue un travail positif.

B-C

Détente adiabatique, la source chaude est supprimée, la pression descend et le volume augmente, au point C la température est égale à T_2 .

C-D

Compression isotherme, Le gaz est soumis à la température T_2 (source froide), le gaz cède de la chaleur à la source froide. La pression monte et le volume descend. Le piston effectue un travail négatif.

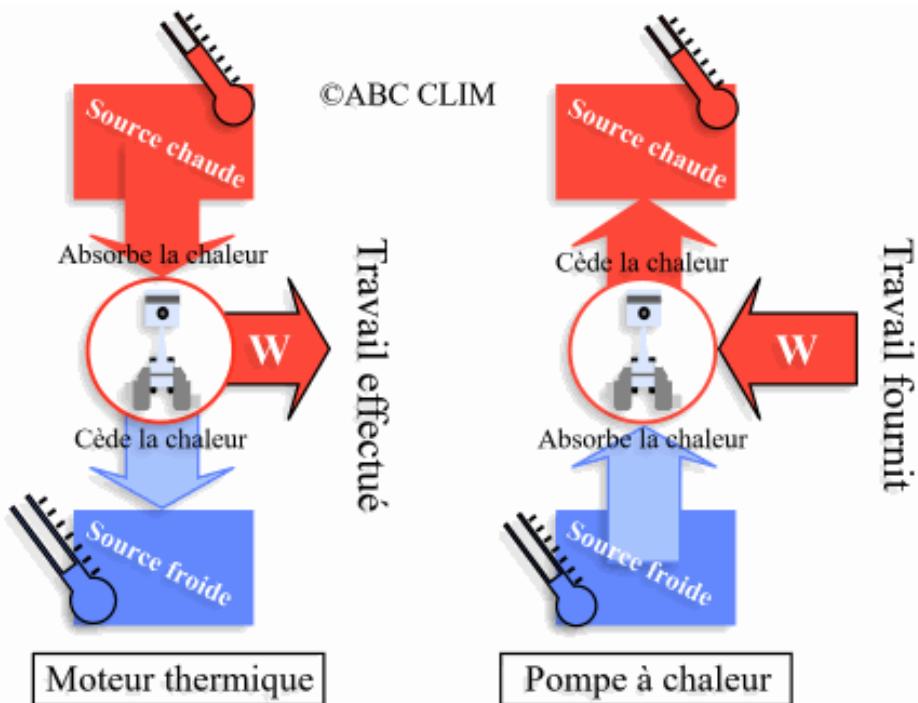
D-A

Compression adiabatique, la source froide est supprimée, la pression monte, le volume se réduit. La température augmente jusqu'à atteindre T_1 .

Le travail noté W est égal à la surface comprise entre les points ABCD, c'est le travail total effectué par le piston, égal à la quantité de chaleur mise en jeu pendant ce cycle.

Moteur thermique et pompe à chaleur

L'écoulement naturel de la chaleur d'effectue toujours spontanément d'un corps chaud vers un corps froid (Clausius).



Sur le dessin à gauche le moteur thermique tel que décrit plus haut suivant le principe de Carnot.

A droite, la pompe à chaleur qui peut être définie comme une machine permettant de réaliser l'écoulement inverse du sens naturel.

Ce transfert thermique est assuré par un compresseur qui permet en utilisant un fluide frigorifique d'absorber la chaleur contenue dans une source froide (eau, air, terre) pour la restituée dans une source chaude (circuit de chauffage) en élévant sa température par le travail de compression.

Patits rappels utiles

Sources froides.

On appelle source froide la source où l'on va capter la chaleur ou l'énergie. Les trois principales utilisées sources sont le sol, l'air et l'eau (nappe phréatique, lacs, rivière). Cette énergie est renouvelée constamment par le rayonnement solaire, le vent, pluie et même la neige.

Sources chaudes.

On appelle source chaude la source où l'on va restituer la chaleur (énergie) récupérer dans la source froide. Les trois principales sources chaudes sont : les ventilo-convection, les radiateurs, et le plancher chauffant.

En thermodynamique certains concepts sont difficiles à comprendre et parfois à expliquer.

La chaleur (Q)

La chaleur est une forme d'énergie, représentée dans le système international en joules. La chaleur est une forme d'énergie qui ce transfert par conduction, convection ou encore rayonnement par différence de température.

La température

Voir page suivante

L'entropie (s)

Le mot entropie vient du grec et signifie évolution ou transformation.

Elle désigne le désordre d'un système, plus l'entropie est élevée plus le désordre est grand.

Ce concept établit qu'une certaine quantité d'énergie libérée dans les réactions de combustion est perdue à cause de la dissipation ou des frottements. Cette énergie perdue n'est pas transformée en travail utile.

Enthalpie (H)

L'enthalpie quantifie l'énergie maximale d'un système thermodynamique pouvant théoriquement être ajouté ou enlevé sous forme de chaleur ou d'énergie thermique.

La variation de l'enthalpie d'un système thermodynamique permet d'exprimer la quantité de chaleur échangée lors d'une transformation à pression constante.

Notions de chaleur et de température

Pour nous, êtres humains, la chaleur n'est caractérisée que par notre propre perception. Celle-ci résulte uniquement d'une prise de conscience de nos cellules nerveuses, qui nous transmettent cette sensation de chaleur. En revanche, en thermodynamique, la chaleur est définie par des principes physiques tout à fait précis, et allant bien au-delà de notre propre perception.

Il en va de même avec la température. Cette notion qui a pour but de nous renseigner sur une valeur précise, déterminée grâce à des études préalables, qui ont permis de mettre en place une échelle pour mesurer cette forme d'énergie thermodynamique. La température va nous permettre de comprendre l'état d'excitation des atomes d'un corps en apportant une valeur, qui n'est pas discutable, puisque mesurée à l'aide d'une échelle prédéfinie.

La chaleur en thermodynamique

La chaleur n'est donc pas une sensation, il s'agit d'une énergie. Si elle existe, c'est parce que les atomes, situés au sein des différentes molécules d'un corps quel qu'il soit, sont en mouvement. Ces particules, de par leur déplacement, leur mouvement, leur excitation, produisent cette chaleur, une forme d'énergie que l'on pourra mesurer ensuite, par le biais de la notion de température.

Il existe plusieurs moyens de générer de la chaleur. Cela peut résulter d'une combustion, réaction chimique que l'on peut vulgariser en employant le terme "brûler", d'une réaction nucléaire, soit relative aux noyaux des atomes, ou d'une dissipation, telle qu'on la trouve au sein des fous à micro-ondes par électromagnétisme, ou tout simplement par le biais d'une friction.

C'est le transfert des énergies thermiques internes aux différents corps qui permet d'induire ce fameux phénomène de chaleur qui nous intéresse ici. Cette certitude a été mise en exergue à partir des premières recherches en thermodynamique statistique, permettant donc de comprendre que la chaleur résulte en fait de l'énergie cinétique. Celle-ci est transmise des particules agitées vers les particules plus calmes, générant ainsi la chaleur.

Notion de température

On se servira de la température, pour établir un degré d'agitation des molécules d'un corps. On pourra la considérer comme étant l'énergie moyenne d'une molécule, sachant qu'un atome excité va produire un mouvement assez important, et que cela aura pour conséquence de produire cette énergie thermique ou chaleur, que l'on mesurera à l'aide de la température.

En thermodynamique le point origine est le zéro absolu $-273,15^{\circ}\text{C}$, qui correspond à l'état de la matière où ces particules ont une agitation minimale et ne peuvent plus être refroidies

Dans la vie de tous les jours plusieurs échelles vont être utilisées pour mesurer la température, la plus souvent utilisée est le degré Celcius qui a son point zéro à la température de la glace fondante et son point 100 à la température de l'ébullition de l'eau pure à la pression atmosphérique au niveau de la mer. L'échelle Kelvin quant à elle c'est une unité fondamentale du Système International, o K vaut environ $-273,15^{\circ}\text{C}$, soit le zéro absolu.

Formule de conversion pour passer de Celsius en Kelvin :

$$\mathbf{K = ^{\circ}\text{C} + 273,15}$$

Formule de conversion pour passer de kelvin en degrés Celsius :

$$\mathbf{^{\circ}\text{C} = K - 273,15}$$

Exemple de conversion degrés Celsius / kelvin :

Exemple une température de 30°C . La température équivalente en kelvin sera égale à :

$$\mathbf{TK = 30^{\circ}\text{C} + 273,15 = 303,15 \text{ K}}$$

A savoir:

Le K est assez communément utilisé pour donner une variation de température en thermodynamique, par convention une variation de température de 1 K est équivalente à une variation de 1°C .

Chaleur et température : <https://youtu.be/TrD9SJHAncM>

Définir le zéro absolu

La mesure de la température se confronte à des notions d'unités et de référence à un point donné le zéro. Plusieurs échelles de mesure existent, comme Celsius ($^{\circ}\text{C}$) ou Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$), qui conviennent pour notre quotidien. Les scientifiques cherchent eux des points non contestables et plus universels. Le monde des températures possède un point mystérieux et inaccessible, le zéro absolu.

Qu'est-ce que la température ?

Dans la vie courante, on évoquera les termes de froid et de chaud pour désigner une sensation, les notions de chaleur (énergie) et de température sont souvent confondues dans le langage commun. Lorsqu'on chauffe un corps, on lui apporte de l'énergie, la température évoque et traduit cette chaleur, qui se répand des corps chauds aux corps froids. Alors que dans le domaine de la thermodynamique, la température mesure la concentration d'énergie et l'agitation des molécules dans un corps.

Avec l'augmentation de la température, la matière (exemple l'eau) passe de solide à liquide puis à l'état gazeux. Cela s'accompagne de dilatations progressives. La matière paraît de moins en moins stable. Les molécules sont figées dans la phase solide, coulissent entre elles en phase liquide, pour s'échapper de manière désordonnée en phase gazeuse. C'est l'agitation thermique interne : plus la température est élevée, plus les molécules bougent et vibrent microscopiquement. Le désordre augmente, celui-ci est nommé l'entropie.

Finalement la température est la mesure de l'énergie interne de la matière, qui se propage par collisions successives de proche en proche pour tendre vers une répartition uniforme.

Comment définir le zéro absolu ?

Nous utilisons une échelle de 100 degrés entre la fonte de la glace et l'ébullition de l'eau sur Terre (au niveau de la mer) pour avoir une grandeur température mesurable reproductible. Notre zéro de l'échelle Celsius est un zéro conventionnel et relatif : l'échelle Fahrenheit utilise d'autres références. Nous rencontrons donc des températures négatives : $-89\ ^{\circ}\text{C}$ dans l'Antarctique, $-218\ ^{\circ}\text{C}$ estimée sur Neptune, extrêmement lointaine du Soleil. Peut-on descendre plus bas ? Jusqu'où ? La valeur théorique de $-273,15\ ^{\circ}\text{C}$ est retenue comme la plus basse qui puisse exister. C'est le zéro absolu, vu par le prisme de la température.

La loi des gaz parfaits définit une relation de proportionnalité entre la température et le produit pression-volume. Le scientifique français Amontons, qui explorait vers 1700 ces relations de proportionnalité, extrapola une valeur commune où la pression deviendrait nulle. La propriété des gaz est insuffisante pour définir le zéro absolu car ils se liquéfient avant. L'oxygène à $-182,96\ ^{\circ}\text{C}$, l'azote, à $-195,79\ ^{\circ}\text{C}$, l'hydrogène à $-252,76\ ^{\circ}\text{C}$, et l'hélium vers $-269\ ^{\circ}\text{C}$. On peut même solidifier les gaz, l'azote vers $-210\ ^{\circ}\text{C}$ par exemple, mais l'hélium réclamant lui une pression considérable.

Pour s'affranchir des gaz, Lord Kelvin (William Thomson) institua une échelle établissant une relation directe entre chaleur apportée et variation de température. Au zéro, plus aucune chaleur ne peut être retirée d'un corps. L'unité Kelvin correspond au degré Celsius. Les deux échelles sont simplement décalées de $273,15^{\circ}$, mais l'échelle Kelvin ne comprend aucune valeur négative. Son zéro devient alors de fait absolu.

L'approche scientifique moderne définit le zéro absolu comme le niveau d'énergie le plus bas de la matière, où les atomes sont dans leur état fondamental. Plus le niveau est élevé, plus les atomes sont agités, se choquent et se repoussent. Walther Nernst affirma le premier qu'un cristal au zéro absolu avait un état de désordre ou d'entropie nulle (aucun mouvement d'atomes).

Mesurer et atteindre le zéro absolu ?

Il est difficile de mesurer les températures ultra-basses, qui se réchaufferaient au contact d'un thermomètre. Les scientifiques y consacrent beaucoup de temps et de moyens sophistiqués. Comme toute limite, on ne peut que s'approcher du zéro absolu, sans jamais l'atteindre. Une technique d'évaporation de l'hélium permet d'atteindre $0,21\text{ K}$, d'autres très spécifiques des records de laboratoire de l'ordre du microkelvin ou même nano kelvin. Ces températures ultra-basses présentent des intérêts remarquables car la matière acquiert parfois des propriétés étranges.

Des applications utiles et surprenantes.

Les gaz liquéfiés sont très utilisés dans l'industrie, en particulier l'azote. Oxygène et hydrogène liquides servent de propulsion dans l'espace. L'hydrogène liquide peut alimenter la pile à combustible d'une voiture propre.

Si la cryogénération d'un être humain reste encore un phantasme, elle sert à la préservation d'organes et est utilisée largement dans l'industrie alimentaire. Elle permet aussi d'obtenir toutes sortes de poudres et de neiges. La cryochirurgie est très efficace.

L'état proche du zéro absolu entraîne des comportements étonnants. Les plus connus sont la supraconductivité et la superfluidité. Si les applications de superfluidité demeurent au niveau de la recherche, la supraconductivité est plus utilisée. C'est le rêve de l'informatique pour augmenter la puissance des supercalculateurs. Les capteurs font appel à la cryogénération. En effet, le bruit diminue dans l'électronique, et la résolution augmente car la moindre particule apporte une chaleur détectable. Dans nos hôpitaux, les scanners RMN refroidis à l'hélium liquide sont une grande preuve de l'utilité concrète de la cryogénération.

Modes de transferts thermiques

En thermodynamique, la chaleur c'est de l'énergie qui peut passer d'un corps à un autre ou d'un système à un autre, ce transfert est lié au mouvement d'atomes, de molécules et d'autres particules.

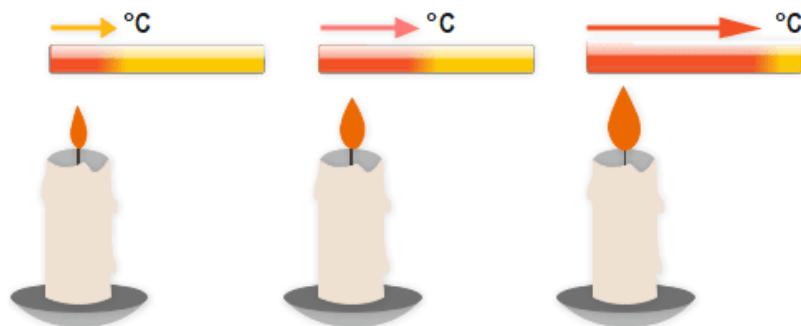
En climatisation comme en froid, il est important de comprendre les phénomènes qui régissent les propriétés de l'air.

La conduction

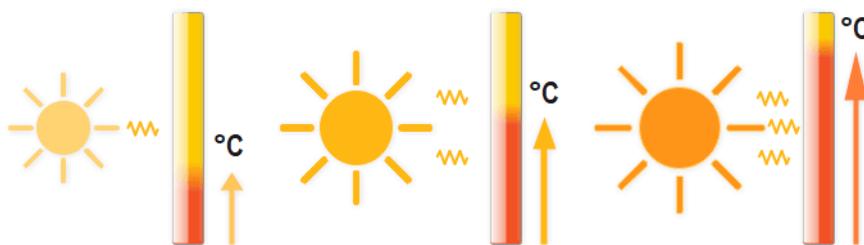
Quand une différence de température dans un même corps solide se produit, le mode de transfert thermique s'appelle la conduction.

La chaleur se transmet petit à petit par un mouvement des électrons libres (agitation thermique des molécules), cette chaleur se propage avec plus ou moins de facilité suivant la nature des matériaux, il est à noter que les bons conducteurs de chaleur sont aussi de bons conducteurs électriques.

D'après la loi de Fourier plus la différence de température à l'intérieur d'un même corps est importante plus rapidement la chaleur se déplacera.



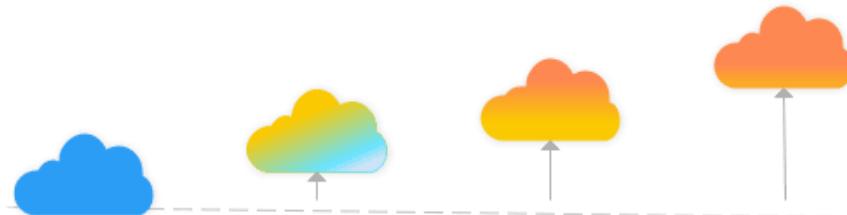
Le rayonnement :



La différence du rayonnement vis-à-vis des autres transferts de chaleur est que les substances considérées qui échangent de la chaleur n'ont pas besoin d'être en contact l'une avec l'autre.

Tout élément émettant de la chaleur par rayonnement vers des éléments plus froids se fait indifféremment à travers l'air, le vide, et même le vide spatial, un exemple commun de ce phénomène est le rayonnement solaire.

La convection :



La convection est un type de transfert au sein d'un même fluide liquide ou gazeux, lorsqu'une différence de température se produit dans ce fluide il y a modification de la densité produisant un mouvement de brassage, les parties plus chaudes auront tendance à s'élever et les parties plus froides à descendre.

Ce phénomène en climatisation est souvent rencontré où les couches d'air les plus chaudes d'un bâtiment de grande hauteur se retrouvent confinées dans la partie haute du bâtiment et s'appelle la stratification.

Chaleur latente, chaleur sensible

Chaleur sensible

Quand un corps est chauffé ou refroidi, l'augmentation ou la diminution de cette température sans changement d'état physique est appelée la chaleur sensible.

Par exemple il faut fournir 419 kJ de chaleur (sensible) pour chauffer un litre d'eau de 0°C à 100°C.

Le qualificatif de sensible prend tout son sens quand on précise que ce terme correspond à une variation de température d'un corps, qui peut être mesurée à l'aide de nos sens.

La chaleur latente

Tous les corps purs ont la capacité de changer d'état physique, les solides peuvent devenir des liquides, les liquides peuvent devenir des gaz.

Ces changements d'état nécessitent l'ajout ou le retrait d'énergie sans modifier la température d'un corps.

Donc la chaleur qui permet un changement d'état sans modifier la température d'un corps est nommée la chaleur latente.

Par exemple, lorsqu'on ajoute la quantité de chaleur nécessaire pour transformer de l'eau en vapeur, c'est bien de la chaleur latente, car l'eau reste pendant cette transformation à une température de 100°C.

Une substance peut changer d'état physique de plusieurs façons, il existe donc plusieurs chaleurs latentes :

- Chaleur latente de liquéfaction : quantité de chaleur pour passer de l'état solide à l'état liquide.
- Chaleur latente de vaporisation : quantité de chaleur pour passer de l'état liquide à l'état gazeux.
- Chaleur latente de condensation : quantité de chaleur pour passer de l'état gazeux à l'état liquide.
- Chaleur latente de solidification : quantité de chaleur pour passer de l'état liquide à l'état solide.

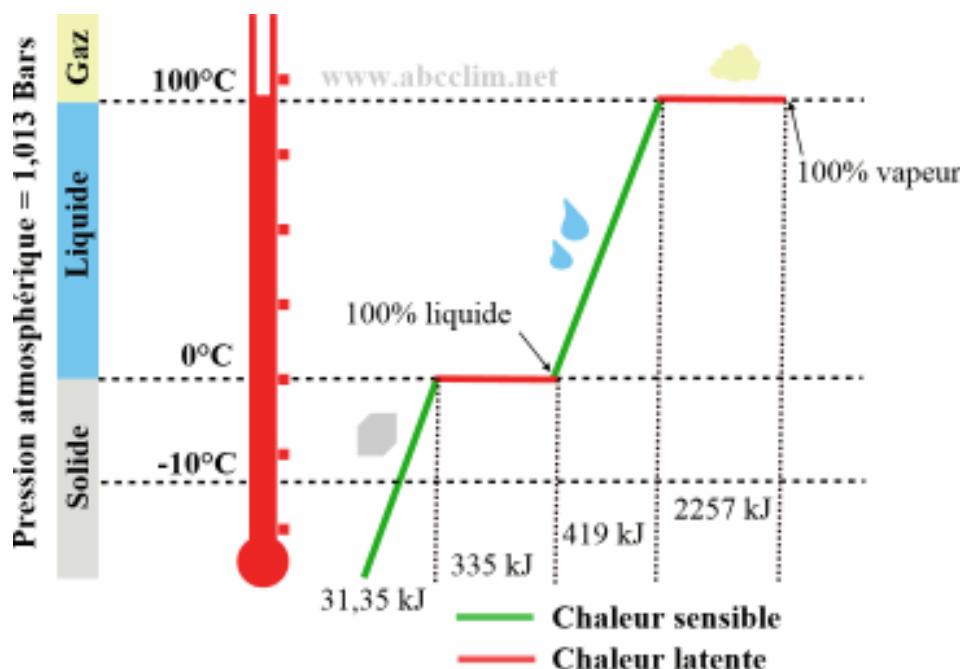
Application dans nos métiers

La puissance totale d'une installation correspond à la somme de la puissance sensible qu'il faut pour abaisser la température de l'air et de la puissance latente nécessaire pour déshumidifier cet air.

Évolution d'un kilogramme de glace à la pression atmosphérique :

Pour augmenter ou diminuer la température d'un corps nous devons soit retirer, soit ajouter une certaine quantité d'énergie, l'unité qui permet de quantifier cette énergie est le Joule (J), et plus exactement le kilojoule (kJ).

<https://www.youtube.com/watch?v=fSqAXI-ECRE>



Changement d'état

La matière qui nous entoure est constituée d'atomes, de molécules et d'ions, les trois états les plus communs de la matière sont l'état solide, l'état liquide, l'état gazeux.

Par exemple la glace, l'eau liquide et la vapeur sont les trois états physiques de l'eau. Notons que les solides ont une forme propre, les liquides s'écoulent et prennent la forme des récipients qui les contiennent, les gaz coulent et prennent aussi la forme des récipients, mais par contre ils occupent la totalité du volume.

Les changements d'états sont des transformations physiques de la matière en fonction de la température et de la pression à laquelle cette matière est soumise.

Les différents états de la matière dépendent de la façon dont les molécules s'agencent les unes par rapport aux autres, par exemple pour l'eau à l'état solide les molécules sont ordonnées et compactes, à l'état liquide les molécules sont désordonnées et agitées, à l'état gazeux les molécules sont désordonnées, espacées et très agitées.

En climatisation la notion de changement d'état est souvent présente...le fonctionnement du cycle frigorifique est basé sur le principe de deux changements d'états, en comprimant ou en détendant un fluide ont effectué des changements d'états qui s'accompagnent d'un rejet ou d'une absorption de chaleur. L'eau contenue dans l'air qui se condense sur l'évaporateur (surface froide) est un autre exemple.

Changement d'état physique

Liquéfaction : phénomène physique de changement d'état de la matière qui passe d'un état gazeux à un état liquide .

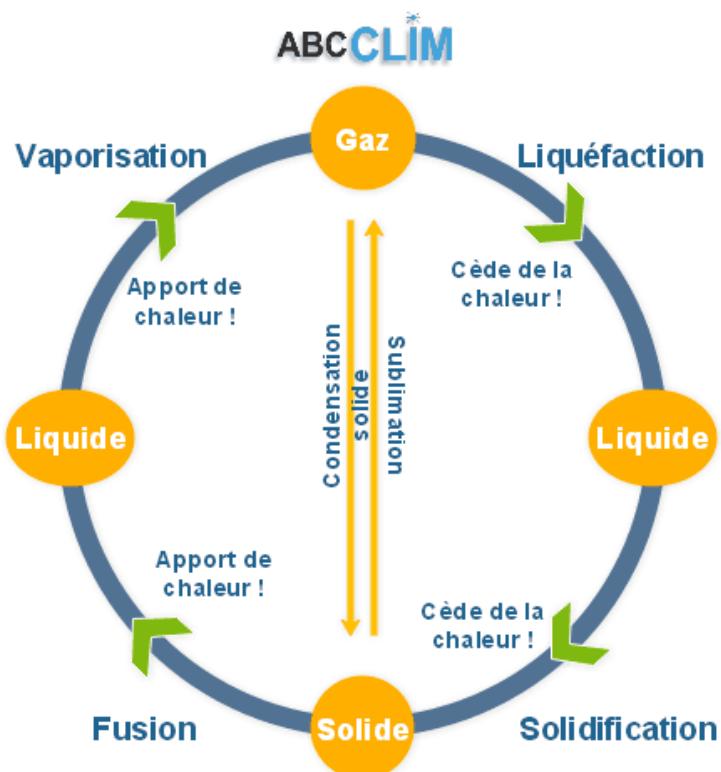
Solidification : c'est la transformation d'un liquide à l'état solide .

Fusion : c'est le passage d'un corps de l'état solide vers l'état liquide.

Vaporisation : passage d'un corps de l'état liquide à l'état gazeux, peut prendre la forme d'une évaporation ou d'une ébullition.

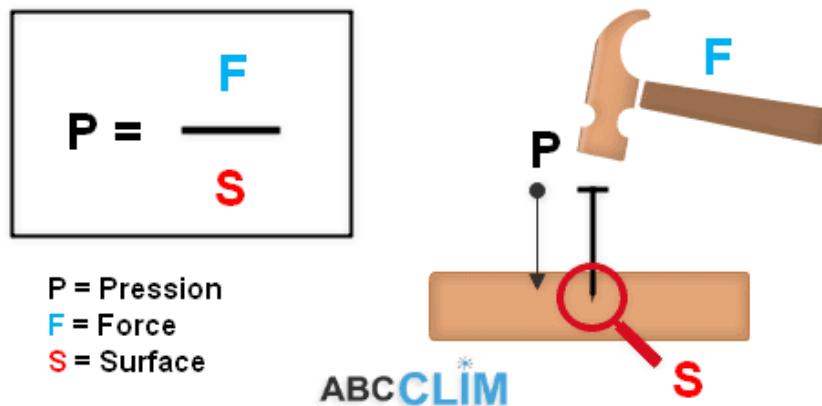
Sublimation : c'est le passage d'un corps de l'état solide à l'état gazeux, sans passer par l'état liquide

Voir cette vidéo : <https://youtu.be/kpjeo1xlJtE>



La pression c'est quoi ?

La pression exprime une grandeur physique définie comme le rapport entre une force (F) et la surface (S) d'un corps



Cette formule montre que pour une même force donnée, si l'on réduit la surface, la pression sera élevée et à l'inverse la pression sera plus faible si on la répartit sur une plus grande surface. Ici on applique une certaine force sur un clou dont la surface est très faible au niveau de la pointe, donc la pression est d'autant plus forte, cela explique pourquoi un clou s'enfonce assez facilement dans un morceau de bois par exemple. Par contre si on augmente la surface de la pointe du clou il faudra appliquer une force plus importante pour arriver au même résultat.
En thermodynamique, la pression constitue l'un des trois éléments du changement d'état avec le volume et la température.

Les unités de pression:

Dans le système international, l'unité légale est le pascal noté Pa, c'est la pression exercée par une force d'un newton agissant sur une surface de 1m².

L'unité la plus usuelle et le bar, c'est cette unité qui est utilisée par les frigoristes.

1 bar=100 000 Pa

Dans le système anglo-saxon, c'est la livre par pouce carré ou psi.

1 psi= 0,0687 bar

Pression atmosphérique :

L'atmosphère forme une couche gazeuse dont la pression est égale à 1,033 bars au niveau de la mer.

Cette pression s'exerce sur la surface de tous les corps sur notre planète, nous ne la ressentons pas, car la pression extérieure est égale à la pression intérieure de notre corps.

La pression atmosphérique diminue lorsque l'altitude augmente, à contrario plus on descend sous la surface de la mer plus la pression augmente.

Pression relative et absolue :

La pression relative c'est la différence de pression par rapport à la pression atmosphérique, c'est la pression donnée par les manomètres du frigoriste.

La pression absolue est mesurée à partir du vide.

Pression absolue= pression relative+ pression atmosphérique

Les pressions absolues sont toujours positives. Les pressions relatives peuvent être négatives jusqu'à des valeurs correspondant à la pression atmosphérique.

Pression différentielle : Exprime la différence entre deux pressions.

Le vide correspond à une pression absolue nulle (inférieure à la pression atmosphérique).

Mesure des pressions :

L'appareil de mesure de la pression atmosphérique est le baromètre, pour les pressions dans les systèmes frigorifiques on utilise le manomètre à aiguille basé sur le système Bourdon ou plus récemment des manomètres électroniques, pour mesurer les pressions négatives (dépression) on utilise un vacuomètre (échelle de 0 à -1,033 bars).

Relation pression/température

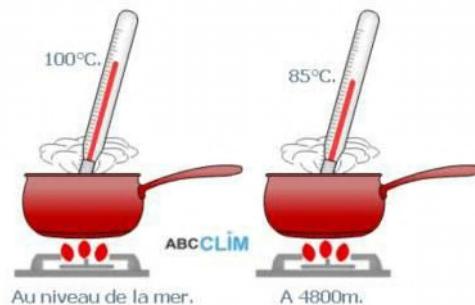
<https://youtu.be/EjgoIrLIqwg>

Pour chaque liquide il existe une relation précise entre pression et température d'ébullition, on peut définir la température d'ébullition comme le moment où apparaît la première bulle de vapeur à la surface d'un liquide.

Donc pour toute variation de température correspond une variation de pression et réciproquement.

La température d'ébullition de l'eau à la pression atmosphérique au niveau de la mer (1,013 Bars) est de 100°C, alors qu'à 4800 m d'altitude la pression étant plus faible sa température d'ébullition est de 85°C, nous voyons donc bien la relation entre pression et température.

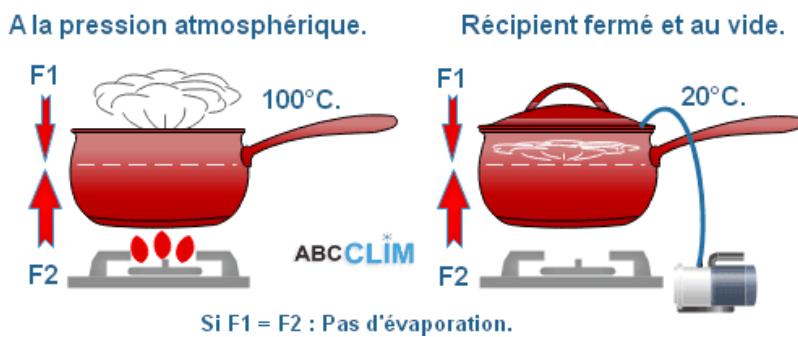
Une seule goutte de liquide suffit pour que la relation pression température soit effective, la pression augmentera en



Faisons une petite expérience :

F = pression

Chaussons un récipient rempli d'eau à l'air libre, la pression appliquée au liquide est la pression atmosphérique, l'eau se mettra donc à bouillir à 100°C. Cela s'explique par le fait que l'on apporte de l'énergie à l'eau, que la pression F₂ est plus importante que la pression F₁ régnant au-dessus du liquide. Maintenant tisons au vide ce même récipient, mais hermétiquement fermé, cette fois-ci la pression régnant dans le récipient sera nettement plus faible que celle du liquide et l'eau ce mettra à bouillir à une température beaucoup plus basse. En diminuant la pression au-dessus du liquide, l'eau ce mettra à bouillir, F₁ étant plus faible que F₂



Pour faire bouillir un liquide soit on augmente sa pression interne (apport de chaleur) soit on réduit la pression externe située au-dessus de ce liquide.

Relation pression température et fluide frigorigènes

Pour les fluides frigorigènes le raisonnement est identique, chaque fluide possède sa propre relation pression température, par exemple à 20 °C un mélange liquide vapeur de R 410A n'aura pas la même pression qu'un mélange liquide vapeur de R407C à la même température.

Il suffit de regarder les manomètres utilisés par les frigoristes qui utilisent une échelle de pression et de température différente pour chaque fluide.

À noter que ces manomètres indiquent une pression relative c'est-à-dire que le zéro des manomètres correspond à la pression atmosphérique, ainsi quand on lit 2 bars sur les manomètres il faut ajouter 1,013 bar (pression atmosphérique) pour avoir la pression absolue.

A chaque fois que la température augmente, le fluide s'évapore partiellement entraînant une augmentation de la pression. Quand la température du liquide se stabilise, la pression en fait de même. Et une diminution de la température du liquide entraînera une diminution de la pression, car la vapeur se condensera partiellement.

Faire du froid sans compresseur ?

Principe de l'absorption

Le principe de l'absorption est un procédé chimique basé sur la faculté qu'ont certains liquides à absorber et à désorber une vapeur.

On utilisera deux composants l'un sera plus volatil étant porté à ébullition ce sera le fluide frigorigène, et l'autre sera appelé l'absorbant.

Les couples les plus utilisés sont :

- Eau + bromure de lithium : l'eau étant le fluide frigorigène
- Ammoniac + eau : l'ammoniac étant le fluide frigorigène

Tout comme les machines thermodynamiques les machines à absorptions possèdent les éléments essentiels d'un circuit frigorifique ,condenseur, détendeur, évaporateur la seule différence c'est qu'ils possèdent en plus ce qu'on appelle un bouilleur ou désorbeur, et un absorbeur, éléments nécessaires aux réactions chimiques.

Absorption

Fonctionnement

Dans le bouilleur ou le désorbeur une solution riche en fluide frigorigène(exemple: eau)est portée à ébullition par une source de chaleur extérieure (résistances, brûleur à gaz, etc.) ce qui engendre une vaporisation du fluide. Le fluide frigorigène se sépare de l'absorbant.

Cette vapeur chemine vers le condenseur et cède sa chaleur au circuit de refroidissement(air,eau). Le liquide sous-refroidi se détend par abaissement brusque de la pression à travers le détendeur puis s'évapore dans l'évaporateur. Les vapeurs provenant de l'évaporateur vont dans l'absorbeur, elles rencontrent l'absorbant (exemple :bromure de lithium)qui par action hygroscopique permet une reconstitution du mélange riche en fluide frigorigène, cette solution est pompée pour que le cycle recommence.

Réfrigération par effet Peltier

C'est vers 1834 que Jean Charles Peltier (1785-1845) découvre ce phénomène thermoélectrique qui porte son nom l'effet Peltier.

Celui-ci s'aperçoit qu'il existe un phénomène de transfert, de déplacement d'énergie (de chaleur) lorsqu'on soumet deux types de conducteurs, bons et mauvais conducteurs électriques à une tension de type continu. Le sens de ce déplacement d'énergie dépendant du sens de circulation du courant, c'est donc un système réversible.

L'effet Peltier c'est l'inverse de l'effet Seebeck (Thomas Johann Seebeck 1770 – 1831) découvert un petit peu plus tôt vers 1822, celui-ci démontre que lorsque l'on raccorde 2 fils de métaux différents et que l'on chauffe l'une des extrémités, un courant (déplacement d'électrons) continu est généré dans le circuit.

De nos jours compte tenu des performances des semi-conducteurs l'effet Peltier est une vraie alternative pour refroidir, réfrigérer des installations de très petite puissance, il n'est pas de nature à remplacer les systèmes à compression beaucoup plus performants.

Fonctionnement de l'effet Peltier

Faisons circuler un courant continu dans une succession de semi-conducteurs qui ont la propriété d'être soit bon, soit de mauvais conducteurs reliés entre eux par des connexions de cuivre, le tout étant pris en sandwich par deux plaques conductrices de chaleur.

On observera qu'une des deux plaques se chargeant positivement d'électrons (moins d'électrons) deviendra chaude et la deuxième plaque se chargeant négativement d'électrons (plus d'électrons) deviendra froide.

Ces semi-conducteurs agissants comme thermocouples permettent le déplacement de cette énergie sous forme de chaleur, ils sont généralement constitués de tellure de bismuth, éléments les mieux adaptés au fonctionnement à température ambiante.

La difficulté principale de l'effet Peltier est de pouvoir évacuer la chaleur émise par effet Joule sans contrarier la production de froid, plus on n'aura la capacité d'évacuer la chaleur plus la production frigorifique sera importante.

Principales utilisations de la technologie Peltier.

L'utilisation la plus commune se retrouve dans les petits réfrigérateurs, les glacières 12 V, l'électronique pour le refroidissement des processeurs. On retrouve cette technologie dans les laboratoires pour le refroidissement des solutions d'analyses biologique ou en milieu hospitalier pour le transport d'organes par exemple, d'autres domaines plus pointus utilisent l'effet Peltier comme l'aéronautique, l'astronomie, le spatial pour refroidir les caméras et les systèmes électroniques embarqués.

L'industrie militaire utilise largement ce type de refroidissement notamment pour les systèmes de guidage infrarouge de missiles.

Dans l'industrie chimique et agroalimentaire cette méthode de refroidissement peu encombrante et silencieuse trouve un grand nombre d'applications pratiques

Les unités normalisées (SI)

Nous utilisons les unités normalisées au quotidien, sans même y penser. Nous mesurons, pesons, évaluons tous sortes d'éléments qui orientent notre façon de vivre. Pour que l'homme puisse échanger au-delà des frontières et des barrières de la langue, il a dû créer des unités communes. C'est ainsi qu'est né le système SI, le Système International d'unités, qui n'a depuis cessé de s'enrichir et de s'affiner.

Histoire des unités normalisées

Le système métrique décimal a vu le jour au lendemain de la Révolution française, en 1795. Près d'un siècle plus tard, en 1875, la Convention du Mètre regroupe 17 nations. Elle établit les premières unités normalisées communes : le mètre, la seconde et le kilogramme.

En 1946, la science a progressé et trois nouvelles unités apparaissent : l'ampère, le kelvin et le candela.

C'est en 1960 qu'est créé officiellement le SI qui est à ce moment composé de 6 mesures. La dernière des unités principales adoptée en 1971 est la mole.

Au XXe siècle, trois unités sont redéfinies d'après des constantes de la nature. En 1967, la seconde par rapport à l'atome de Césium ; en 1979, le candela par rapport à l'efficacité lumineuse ; en 1983, le mètre par rapport à la vitesse de la lumière.

En 2018 a lieu à Versailles la vingt-sixième Conférence Générale des Poids et Mesures à laquelle 60 pays de la Convention du Mètre assistèrent. De nouvelles définitions concernant les 7 unités de mesure principales furent mises en place :

Le kelvin par rapport à la constante de Boltzman (Constante de Boltzman : Etablit le lien entre la température d'un système et son énergie au niveau atomique) ;

L'ampère par rapport à la charge élémentaire ;

Le kilogramme par rapport à la constante de Planck (Constante de Planck : Seuil d'énergie minimum que l'on puisse mesurer sur une particule) ;

La mole par rapport à la constante d'Avogadro qui définit le nombre d'entités atomes, molécules, qui se trouvent dans une mole de matière.

Présentation des 7 unités principales

Les 7 unités principales sont donc aujourd'hui :

- La masse M avec le kilogramme : kg ;
- le temps T avec la seconde : s ;
- La longueur L avec le mètre : m ;
- La température T avec le kelvin : K ;
- L'intensité électrique I avec l'ampère : A ;
- La quantité de matière N avec la mole : mol ;
- L'intensité lumineuse J avec la candela : cd

La masse M avec le kilogramme : kg

Le kilogramme est actuellement défini comme la masse d'un cylindre en platine iridié (90 % de platine et 10 % d'iridium) de 39 mm de diamètre et 39 mm de haut déclaré unité SI de masse depuis 1889 par le Bureau international des poids et mesures (BIPM).

Le temps T avec la seconde : s

La seconde est la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133.

La longueur L avec le mètre : m

Le mètre est la longueur du trajet parcouru dans le vide par la lumière pendant une durée de 1/299 792 458 de seconde.

La température T avec le kelvin : K

Le kelvin, unité de température thermodynamique, est la fraction 1/273,16 de la température thermodynamique du point triple de l'eau. Le point triple est, en thermodynamique, un point du diagramme de phase qui correspond à la coexistence de trois états (liquide, solide et gazeux).

L'intensité électrique I avec l'ampère : A

L'ampère est l'intensité d'un courant constant qui, maintenu dans deux conducteurs parallèles, rectilignes, de longueur infinie, de section circulaire négligeable et placés à une distance de 1 mètre l'un de l'autre dans le vide, produirait entre ces conducteurs une force égale à $2 \cdot 10^{-7}$ newtons par mètre de longueur.

La quantité de matière N avec la mole : mol

La mole est la quantité de matière d'un système contenant autant d'entités élémentaires qu'il y a d'atomes dans 0,012 kilogramme de carbone 12.

L'intensité lumineuse J avec la candela : cd

La candela est l'intensité lumineuse, dans une direction donnée, d'une source qui émet un rayonnement monochromatique de fréquence 540×10^{12} hertz et dont l'intensité énergétique dans cette direction est $1/683$ watt par stéradian (Le stéradian est une unité de mesure pour les angles).

Les unités dérivées utiles en froid et climatisation

Des 7 unités principales, découlent les unités dérivées dont voici les principales que l'on utilise dans nos métiers.

La température en degrés Celsius : °C

Anders Celsius est un savant suédois (1701 – 1744) qui a donné son nom au degré Celsius, l'échelle de température la plus utilisée dans le monde, à l'exception des pays anglo-saxons qui utilisent le système impérial d'unité avec le degré Fahrenheit. En degrés Celsius, la glace se forme en-dessous de 0°C et bout à 100°C , dans les conditions standards de pression. On constate donc des nuances selon l'altitude à laquelle on se trouve.

Le rapport entre le kelvin et le degré Celsius est le suivant : $(^{\circ}\text{C}) = T (\text{K}) - 273,15$.

La pression en pascal : Pa

Le pascal tient son nom de Blaise Pascal (1623-1662), mathématicien, physicien, inventeur, philosophe, moraliste et théologien français.

La pression représente l'intensité de la force qu'exerce un fluide par unité de surface. Cette grandeur physique traduit les échanges de quantité de mouvement dans un système thermodynamique, et notamment au sein d'un solide ou d'un fluide.

La pression est homogène à une force surfacique : $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$, ainsi qu'à une énergie volumique : $1 \text{ Pa} = 1 \text{ J/m}^3$.

Le pascal correspond à une faible pression. Lorsque l'on parle de pression atmosphérique, on parle du bar qui est égal à $1 \text{ Pa} \cdot 10^5$. Le pascal est utilisé pour mesurer la pression dans les systèmes de chauffage et de climatisation.

L'énergie en joule : J

Le joule tire son nom d'un physicien anglais James Prescott Joule (1818-1889). Il mesure la capacité d'un système à modifier un état, à produire un travail entraînant un mouvement, un rayonnement électromagnétique ou de la chaleur.

On utilise cette mesure pour certains appareils domestiques pour lesquels on parle de « l'effet Joule ». Il s'agit du dégagement de chaleur provoqué par le passage d'un courant électrique dans un matériau conducteur lui opposant une résistance.

Il s'applique :

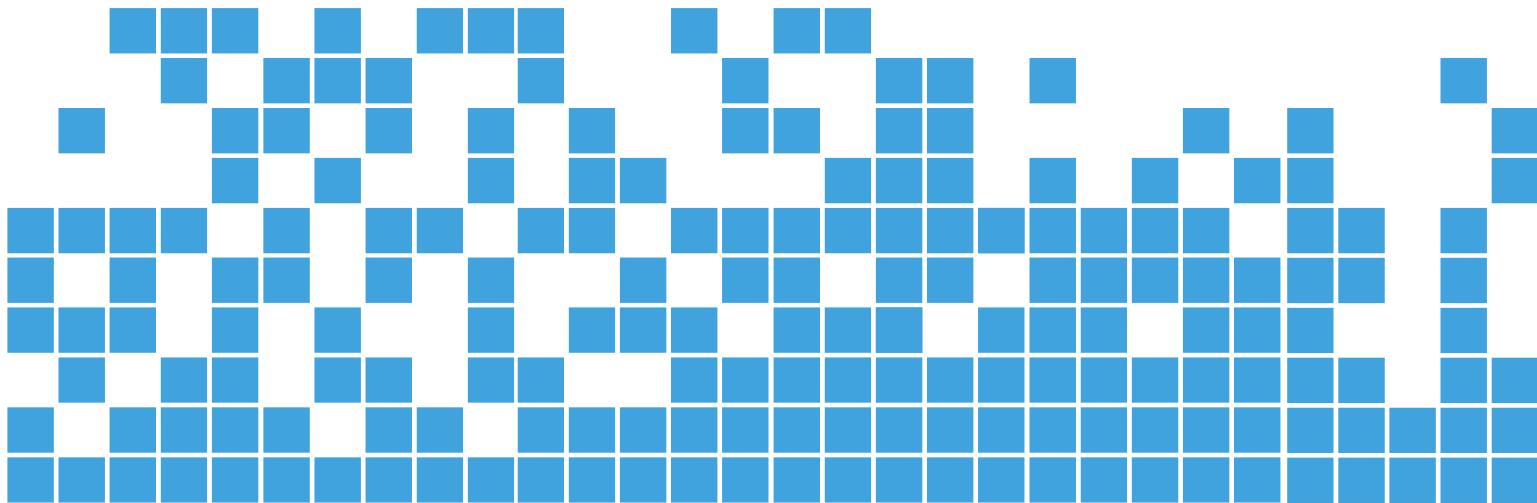
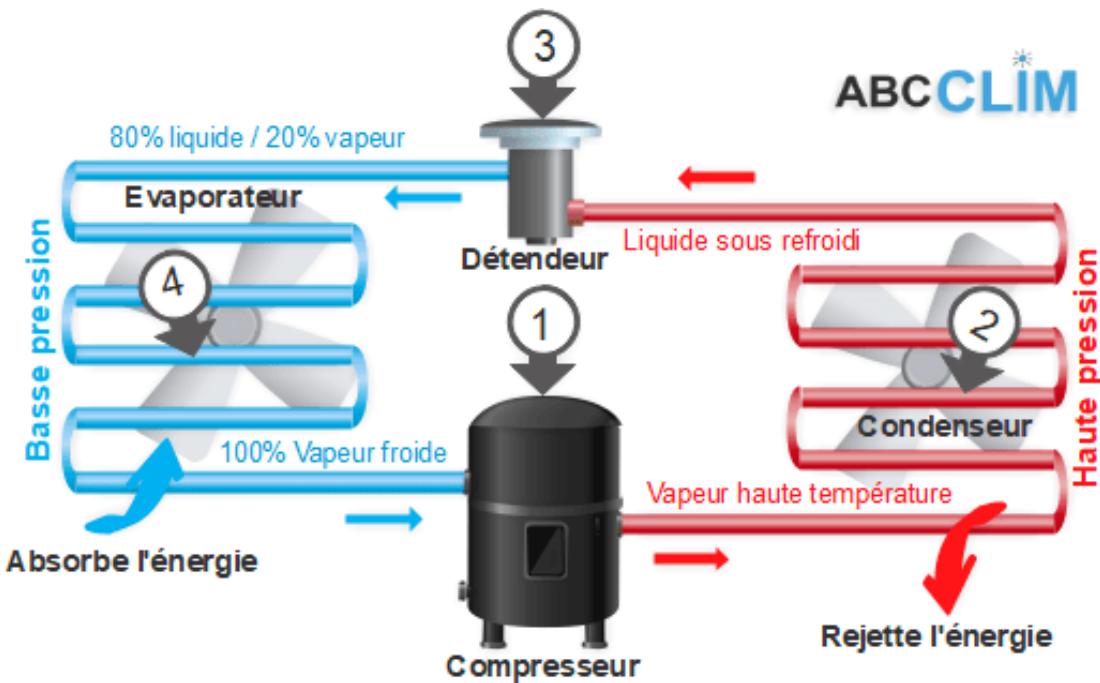
Au chauffage domestique et les appareils utilisant l'échauffement des résistances : four, radiateurs, plaques de cuisson, l'éclairage par ampoules à incandescence dont l'échauffement d'un filament produit de la lumière.

La masse volumique : le kilogramme par mètre cube – kg/m³

La masse volumique est la quantité de matière par mètre cube.

Elle est beaucoup utilisée dans le domaine de la climatisation pour les mesures thermodynamiques et les rapports entre air sec et vapeur d'eau.

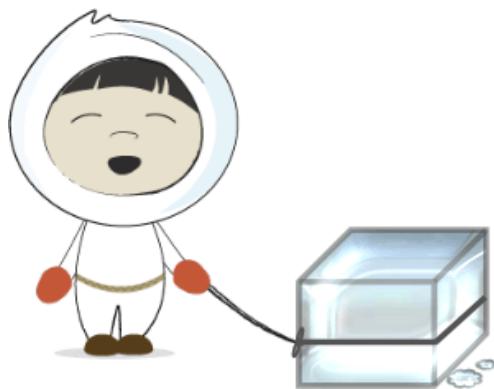
Le circuit frigorifique



Petite histoire de la réfrigération

Les Chinois furent les premiers à s'apercevoir que la glace était susceptible de refroidir les boissons en les rendant plus savoureuses .Un peu plus tard les Romains et les Grecs utilisaient des esclaves pour transporter de la glace depuis les sommets des montagnes. Cette glace était conservée jusqu'à son utilisation dans des silos aux parois recouvertes de paille.

Petit à petit cette pratique était courante dans toute l'Europe, en France au XVIe siècle la glace et la neige était couramment utilisée pour refroidir les boissons, puis vers 1612, Francis Bacon fut le premier à utiliser de la neige



Histoire de la réfrigération mécanique :

Quelques dizaines d'années plus tard grâce à la découverte du microscope des savants purent s'apercevoir que les températures inférieures à 10° ne tuaient pas les microbes, mais empêcher leur développement.

Il devint alors évident que conserver des produits alimentaires en utilisant le froid était plus intéressants que d'utiliser les méthodes ancestrales de conservation comme le séchage, le fumage et le salage.

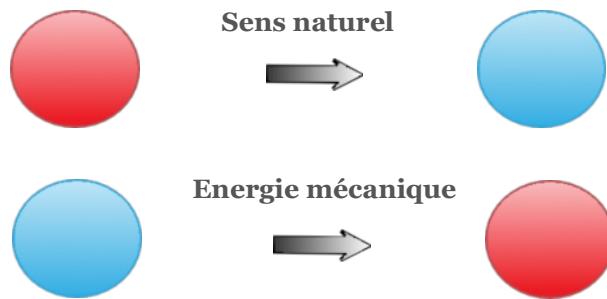
Ce n'est qu'en 1775 que les premières expériences furent tentées pour créer artificiellement des températures proches de zéro, mais ce n'est que beaucoup plus tard qu'un brevet citant le fonctionnement thermodynamique des machines frigorifiques actuelles fut déposé. Le premier groupe frigorifique fut mis en service aux États-Unis en 1855, il était utilisé pour produire de la glace artificielle. Aux environs des années 1900, le développement du réseau électrique et des moteurs électriques permirent la naissance du réfrigérateur.

Le chlorure de méthyle fut le premier gaz frigorigène utilisé dans les réfrigérateurs ménagers puis il fut remplacé par des composés halogènes (R 12) après la deuxième guerre mondiale.

Quant au principe de la pompe à chaleur, les principales bases furent établies à partir de 1832 par Sadi Carnot, James Prescott Joule, Lord Kelvin et Rodolphe Clausius. Ce n'est que vers les années 1950 que cette technique connut un développement spectaculaire surtout aux États-Unis.

Les bases du froid et de la climatisation

La chaleur est une énergie qui peut être transférée d'un corps à un autre, simplement par la différence de température existant entre eux, l'écoulement normal de cette énergie s'effectue toujours dans la nature du corps chaud vers le corps froid ,quand la température des deux corps est identique il n'y a pas déplacement.



La réfrigération ou la climatisation , c'est la capacité de maintenir une substance, un corps à une température plus faible en lui enlevant de la chaleur.

L'effet de refroidissement est en somme une soustraction de la chaleur.

Le principe de la climatisation et de toutes machines produisant du froid ou du chaud à partir de fluide est le "changement d'état ".

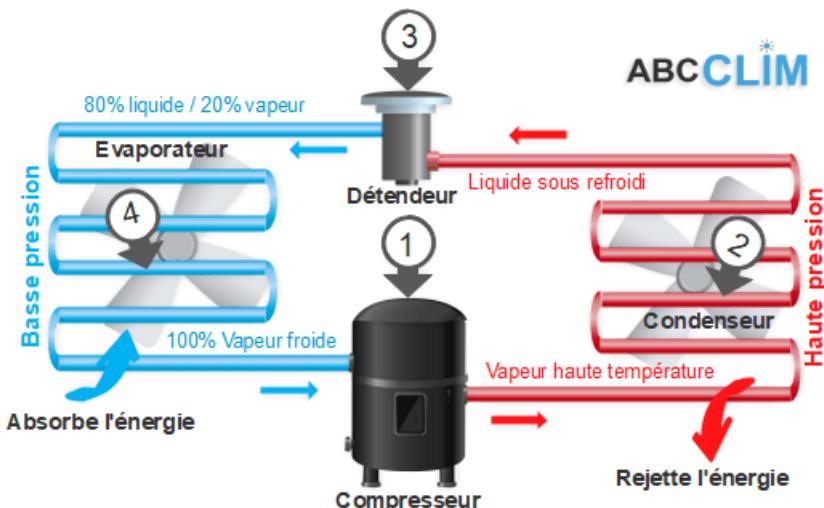
Un exemple , l'eau chauffée à cent degrés se transforme en vapeur, que l'on peut utiliser dans de nombreuses applications, il y a changement d'état, transformation d'un liquide en vapeur.

Le transfert du froid vers le chaud ne peut se faire de manière spontanée, c'est le premier principe de la thermodynamique (énoncé par Clausius) il faut donc utiliser une machine ou des réactions chimiques pour permettre cet écoulement du froid vers le chaud.

Le principe pour faire du froid est basé sur le changement d'état, il existe deux méthodes pour obtenir cet effet, la plus utilisée que tout le monde connaît c'est la compression c'est-à-dire aspiration d'un fluide, compression, élévation de la température, puis refoulement à l'état gazeux, condensation à l'état liquide et enfin évaporation.

Ce système (frigorifique) se compose au minimum de quatre éléments:

- 1 Compresseur
- 2 Condenseur
- 3 Organe de détente
- 4 Évaporateur



Il existe un deuxième principe pour faire du froid celui-là complètement chimique l'absorption et la désorption d'un fluide réfrigérant dans un liquide le tout porté à ébullition par une source extérieure (résistance électrique, brûleur gaz, solaire, etc.). Ces deux principes sont réversibles.

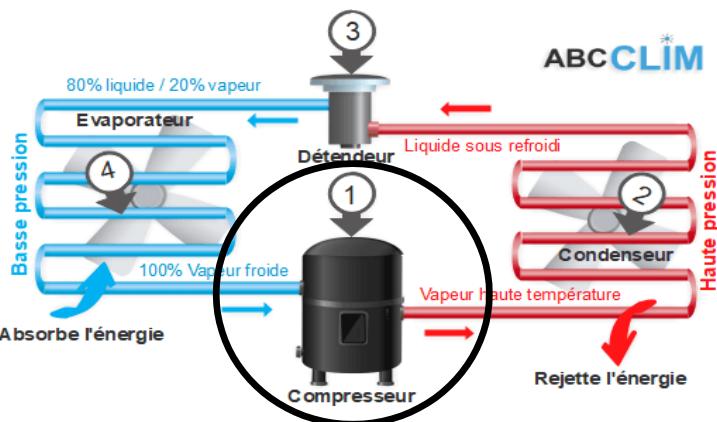
Fonctionnement circuit frigorifique : <https://vimeo.com/254181733>

Fonctionnement du circuit frigorifique

Le cycle frigorifique est un cycle thermodynamique. Il permet d'abaisser la température d'un milieu relativement froid (la source froide) et simultanément d'augmenter la température d'un autre milieu relativement chaud (la source chaude) au moyen d'un travail mécanique.

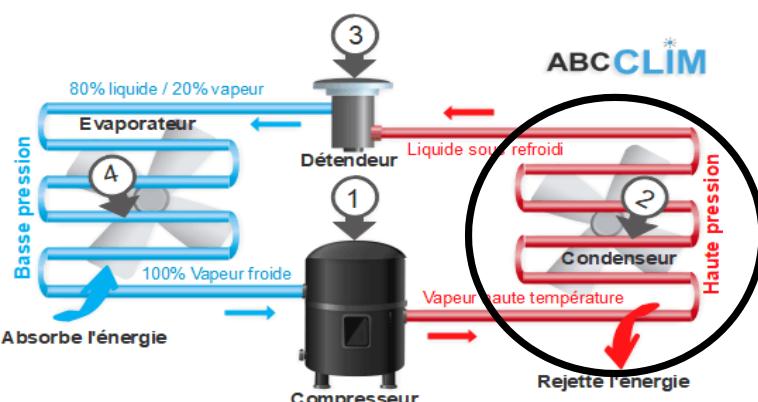
Le circuit frigorifique comporte quatre éléments essentiels, le compresseur, le condenseur, le détendeur .

Haute pression en **rouge**, comprise entre la sortie compresseur à entrée du détendeur.
Basse pression en **bleu** comprise entre la sortie du détendeur et l'entrée du compresseur.



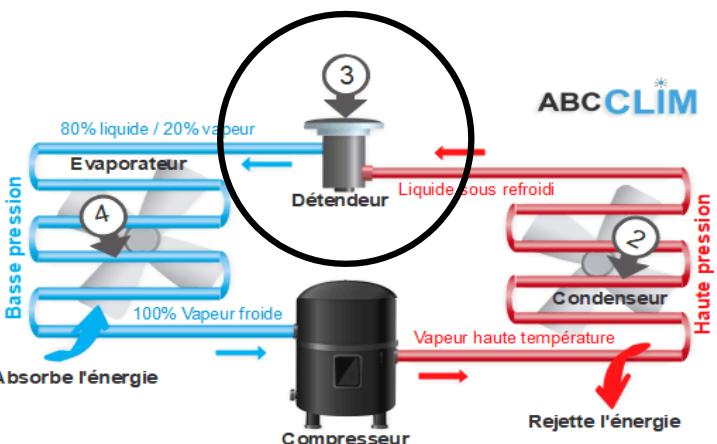
Compresseur :

Le compresseur aspire le gaz à basse pression et à basse température, l'énergie mécanique du compresseur va permettre une élévation de la pression et de la température.



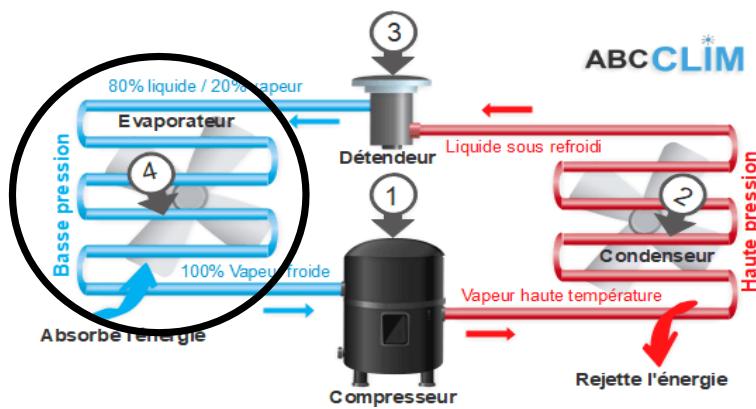
Condenseur :

Les gaz chauds haute pression et haute température venant du compresseur se dirigent vers le condenseur , le condenseur est un échangeur qui va permettre aux gaz de se condenser par échange avec un fluide extérieur (l'eau, l'air..) à température et pression constante, c'est la phase de condensation, la vapeur se transforme en liquide.



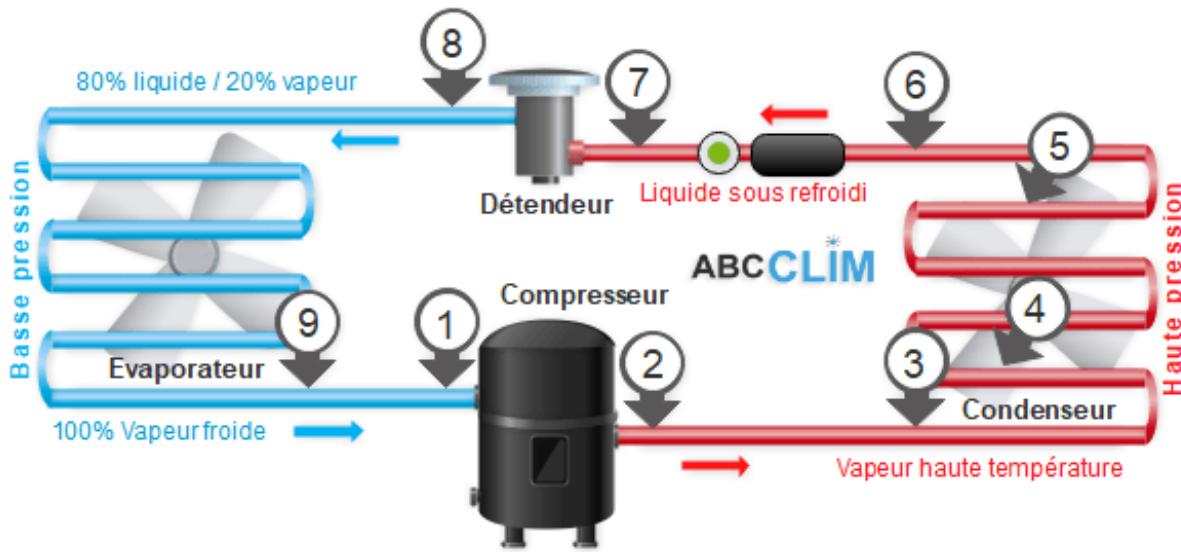
Détendeur :

Le liquide formé dans le condenseur est détendu par abaissement brusque de la pression au passage du détendeur.



Évaporateur :

L'évaporateur est lui aussi un échangeur de chaleur, le fluide liquide provenant du détendeur va entrer en ébullition dans l'évaporateur en absorbant de la chaleur au fluide extérieur, (l'eau, l'air..) c'est la phase d'évaporation. Le gaz est ensuite aspiré par le compresseur pour un nouveau cycle.



1) Température BP entrée du compresseur (l'Etat du fluide : Vapeur BP)

2) Température HP sortie du compresseur (Etat du fluide : Vapeur HP)

3) Température HP entrée du condenseur (Etat du fluide : Vapeur HP)

Zone de désurchauffe de 3 vers 4 (Etat du fluide : Vapeur HP)

Zone de condensation de 4 vers 5 (Etat du fluide : Passage de l'état vapeur à l'état liquide HP)

6) Température sortie de condenseur (Etat du fluide : Liquide HP)

7) Température entrée détendeur (Etat du fluide : Liquide HP)

8) Température sortie détendeur (Etat du fluide : Liquide BP)

Zone d'évaporation de 8 vers 9 (Etat du fluide : Passage de l'état liquide à l'état vapeur BP)

9) Température sortie évaporateur (Etat du fluide : Vapeur BP)

Le diagramme de Mollier ou enthalpique

Première approche du diagramme

<https://youtu.be/v2oPORVRIpo>

Le diagramme de Mollier (Physicien allemand) permet de comprendre le cycle frigorifique et de suivre l'évolution du fluide au cours de chaque transformation, on part d'un état initial d'un fluide à un état final en déterminant les différentes enthalpies.

Enthalpie : quantité de chaleur contenue par un fluide.

Chaque fluide à son diagramme correspondant à ses propriétés physiques.

L'abscisse (barre horizontale verte) du diagramme correspond à la valeur enthalpique (en kJ/kg) et l'ordonnée (barre verticale verte) s'exprime en pression (en bar absolu), une courbe en cloche (courbe de saturation) définit l'état du fluide.

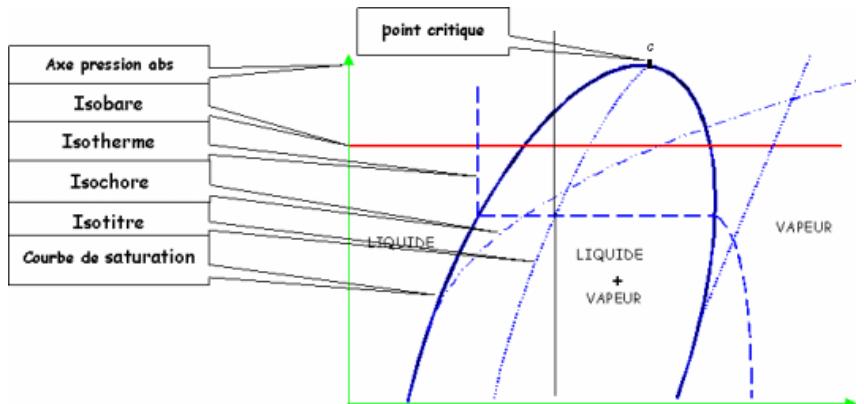
D'autres courbes ou droites complètent les renseignements sur le fluide.

Isobare: signifie que la pression au sein du fluide est constante et uniforme

Isotherme : ligne au niveau de laquelle la température est constante

Isotitre: corresponds au rapport de la masse de vapeur sur la masse totale du fluide.

Isochore: ligne où le volume ne change pas même au cours d'une transformation.



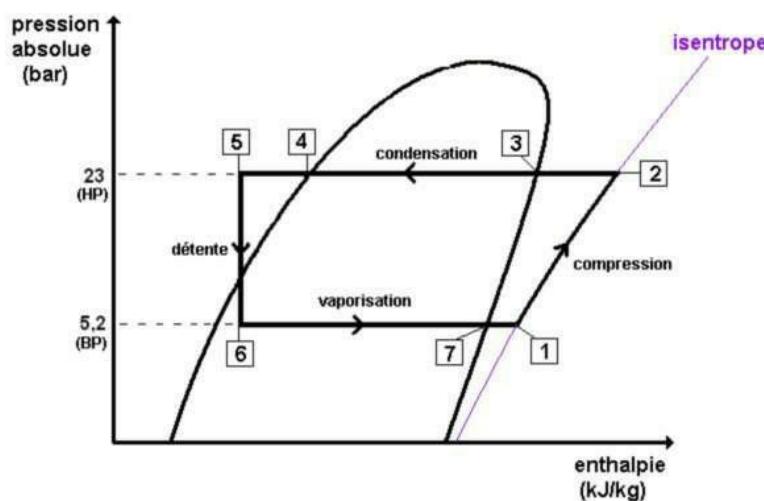
Cycle frigorifique idéal

1 à 2: Le gaz est comprimé, l'augmentation de la pression s'accompagne d'une augmentation de température.

État du fluide en entrée: vapeur basse pression surchauffée

État du fluide en sortie: vapeur haute pression surchauffée

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: Le fluide repasse à l'état liquide dans le condenseur sa pression ne change pas, cette condensation qui s'effectue à une température plus élevée permet de céder de la chaleur l'enthalpie du fluide enthalpie diminue.

4 à 5: C'est la zone du sous-refroidissement.

5 à 6: Le fluide se détend par laminage (abaissement brusque de la pression) à travers un orifice, une partie du fluide se vaporise.

État du fluide en entrée: liquide haute pression
État du fluide en sortie: mélange liquide vapeur

6 à 7: Le fluide s'évapore sa température et sa pression ne changent, mais son enthalpie augmente (quantité de chaleur). C'est la phase à laquelle le fluide capte les calories du milieu à Refroidir.

État du fluide entrée: mélange liquide vapeur
Etat du fluide sorti: vapeur surchauffée basse pression

7 à 1: Ici c'est la fin de l'évaporateur cette zone sert à surchauffer le gaz afin d'être certain que tout le fluide est évaporé.

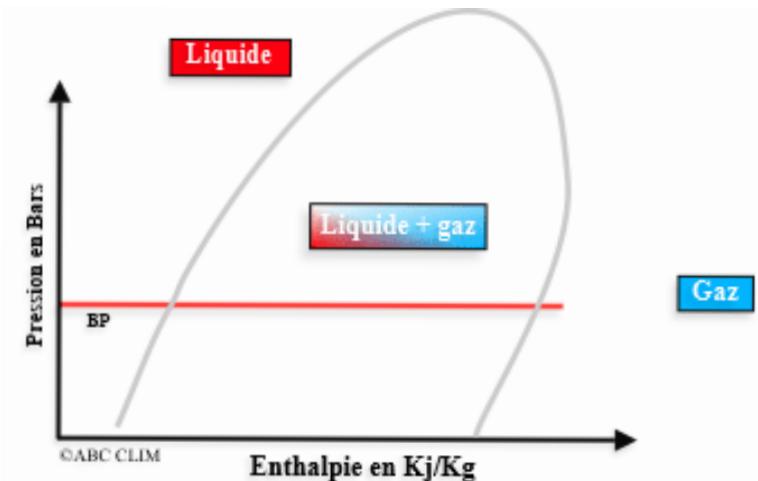
Retour à l'étape 1 à 2

Le diagramme de Mollier ou enthalpique permet non seulement de connaître les différents états du fluide frigorigène, le volume massique du mélange liquide-vapeur.. etc, mais il donne des renseignements intéressants concernant le bilan énergétique du cycle d'une installation thermodynamique.

A savoir : Chaque fluide a son propre diagramme enthalpique.

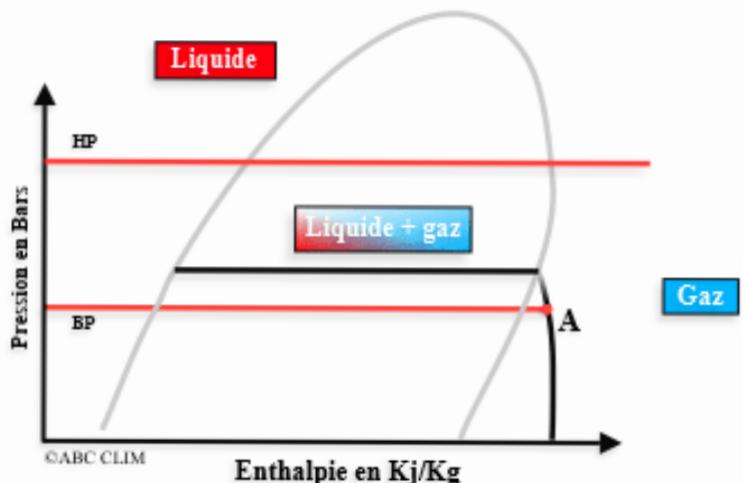
Tracé d'un diagramme Enthalpique

Nous allons tout d'abord tracer l'isobare de la pression d'évaporation, cette droite est exprimée en pression absolue, donc C'est la pression relative lire au manomètre (manifold) frigoriste + 1 bar.



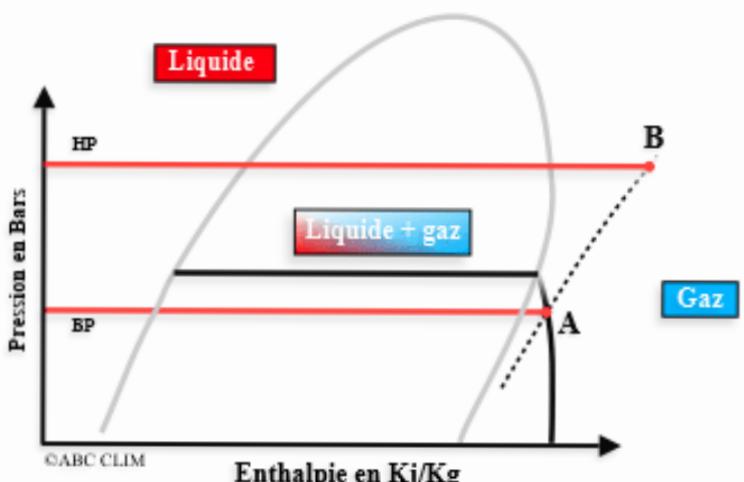
Traçons maintenant l'isobare correspondant à la pression absolue de condensation. Température entrée au compresseur (point A)

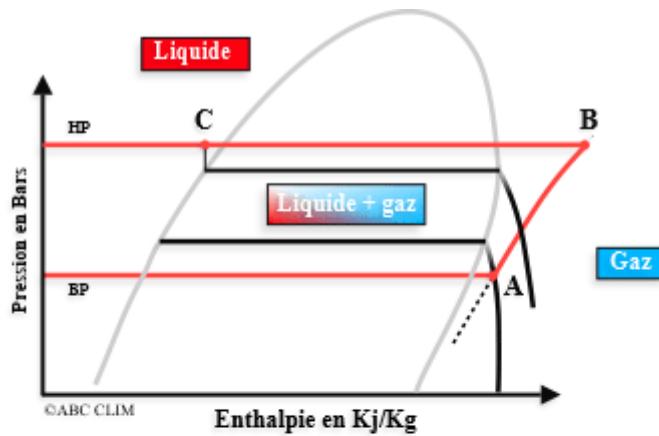
Le point A correspond à l' intersection de l'isobare (évaporation) et de l' isotherme augmentée de la surchauffe, surchauffe fonctionnelle 5 degrés.



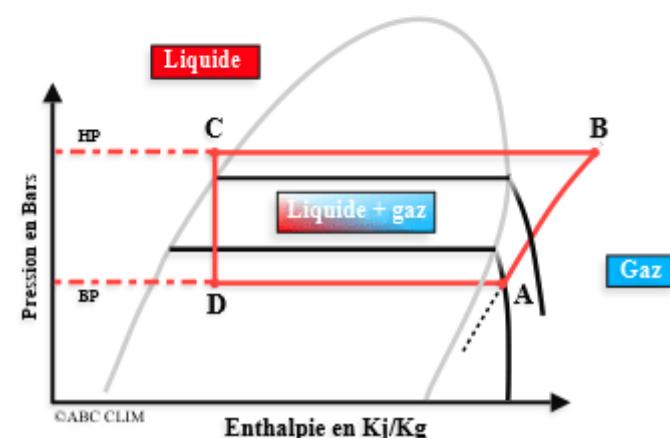
Température sortie du compresseur (point B)
Le point B se trouve à l'intersection de l'isobare (condensation) et l'isentrope (courbe de la compression).

Pour retrouver le point B sur le diagramme il faut tracer une ligne en partant du point A jusqu'à l'intersection de l'isobare de condensation en suivant l'isentrope.





Température entrée détendeur (point C)
Indique à la température du fluide frigorigène arrivant au détendeur sous refroidissement compris.
Il faudra donc tracer une droite partant de l'isotherme correspondant à la température du fluide sous refroidissement compris.
En effet le fluide après avoir quitté le condenseur continu de ce sous refroidir (environ 10 K) sur le parcours avant d'arriver au détendeur.



Température d'entrée à l'évaporateur (point D)
Ce point est constitué par une droite perpendiculaire partant du point C et coupant l'isobare de la pression d'évaporation.

Du Point D à A c'est le partie évaporation augmentée de la surchauffe, surchauffe fonctionnelle 5 degrés..

Bilan énergétique ou enthalpique

L'enthalpie représente une énergie contenue dans un fluide ou plus exactement l'énergie totale gagnée ou perdue par un fluide au cours du cycle frigorifique.
Elle s'exprime en kJ/kg (Kilojoule/Kilogramme de fluide), sur le diagramme on retrouve l'échelle des enthalpies en abscisse.
Une enthalpie de 200 kJ/kg signifie que 1 kg de fluide frigorigène va contenir potentiellement 200 kJ d'énergie.

Exemple concret :

À la pression atmosphérique au niveau de la mer l'eau bout à 100 °C, il faudra une certaine quantité d'énergie pour transformer l'eau en vapeur. L'enthalpie de vaporisation de l'eau est égale à 2257 kJ/kg, donc il faudra 2257 Kilojoule d'énergie sous forme de chaleur pour faire bouillir 1 kg d'eau.

En ce qui concerne le circuit frigorifique c'est la même chose il n'échappe pas aux lois de la thermodynamique et au grés des changements d'état, des échanges, des transferts de chaleur le fluide cédera ou absorbera de l'énergie.

Voir page suivante le tracé du bilan .

Tracé diagramme bilan

$h_1 - h_2$: Surechauffe de l'évaporateur, absorbe de la chaleur sensible, gain d'enthalpie.

$h_2 - h_4$: Travail de compression, h_2 c'est le point correspondant à l'enthalpie à l'aspiration et h_4 à l'enthalpie au refoulement du compresseur, l'enthalpie augmente.

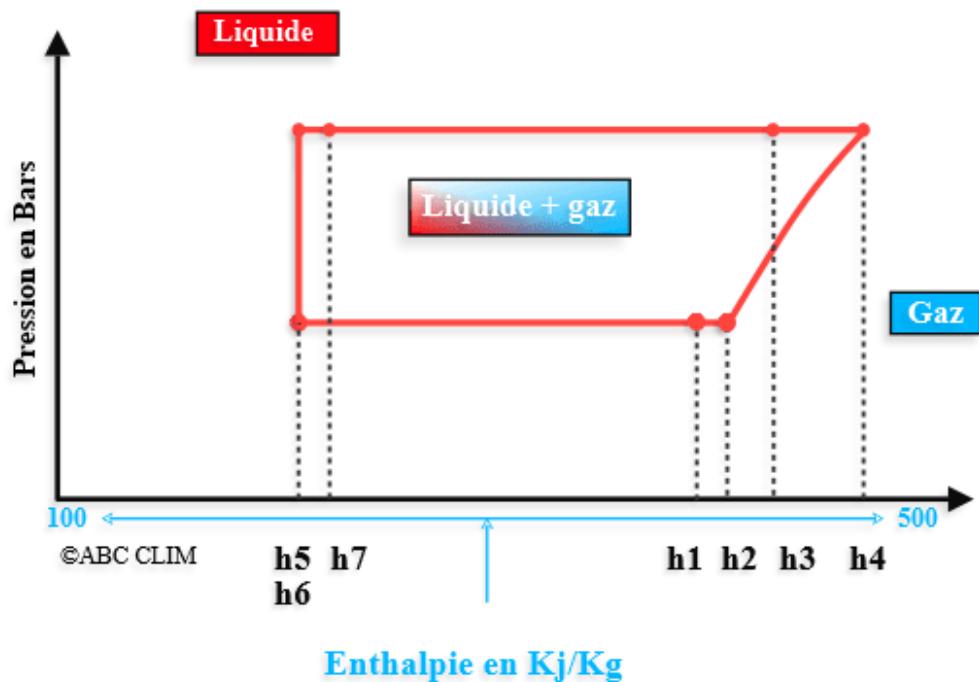
$h_4 - h_3$: Désurchauffe, cède de la chaleur sensible .

$h_3 - h_7$: Quantité de chaleur latente (changement d'état) cédée par 1 kg de fluide au condenseur.

$h_7 - h_5$: Sous-refroidissement du liquide dans le condenseur et de la ligne liquide, cède de la chaleur sensible.

$h_5 - h_6$: Détente, il n'y a pas déchange de chaleur donc l'enthalpie est nulle, les deux points sont confondus.

$h_5 - h_1$: C'est l'énergie utile disponible à l'évaporateur et détermine la puissance frigorifique, absorbe de la chaleur sensible. C'est surtout la quantité de chaleur latente (changement d'état) absorbée par 1 kg de fluide à l'évaporateur.



Quelques notions à retenir

L'enthalpie

L'enthalpie est une mesure de la quantité d'énergie contenue dans un système thermodynamique.

Lorsqu'un système change d'état, son enthalpie et son énergie interne changent également. Un échange d'énergie entre le système et son environnement peut se traduire par du travail, de la chaleur ou les deux.

L'entropie

L'entropie est la mesure de la chaleur, échangée entre le système thermodynamique et son environnement dans un processus réversible, à température constante.

La température

La température est la quantité physique qui caractérise la quantité de chaleur contenue dans un corps. Lorsque deux parties d'un système thermodynamique sont en contact thermique, la chaleur s'écoulera d'une partie à l'autre. On dit que la chaleur est transférée spontanément de la partie la plus chaude, à la plus froide. Cet écoulement se poursuivra jusqu'à l'atteinte d'un équilibre.

La chaleur

On peut définir deux types de chaleur : la chaleur sensible et la chaleur latente. La première provoque une hausse de la température d'un corps sans en changer la phase. La deuxième accompagne un changement de phase sans en changer la température.

Température de saturation

La température de saturation, est la température à laquelle l'ébullition ou la condensation se produit. Elle dépend de la pression du système, ainsi, plus la pression est élevée, plus la température de saturation sera haute.

Pression de saturation

La pression de saturation, est la pression à laquelle l'ébullition, ou la condensation, se produit pour une température donnée.

Liquide sous-refroidi

Un liquide sous-refroidi est un liquide qui n'a pas été assez chauffé pour atteindre la température de saturation. Ce liquide existe à une température inférieure à la température de saturation

Liquide saturé

Un liquide saturé est un liquide qui existe à la température de saturation.

Nous utilisons l'adjectif saturé, puisque le liquide est saturé de chaleur : il ne peut pas absorber plus d'énergie sans se transformer en vapeur.

Vapeur saturée

La vapeur saturée est une vapeur qui ne contient aucun liquide et qui existe à la température de saturation correspondant à une pression donnée (c'est pourquoi elle est dite *saturée*). L'ébullition est complète et on n'a pas ajouté plus de chaleur.

Vapeur surchauffée

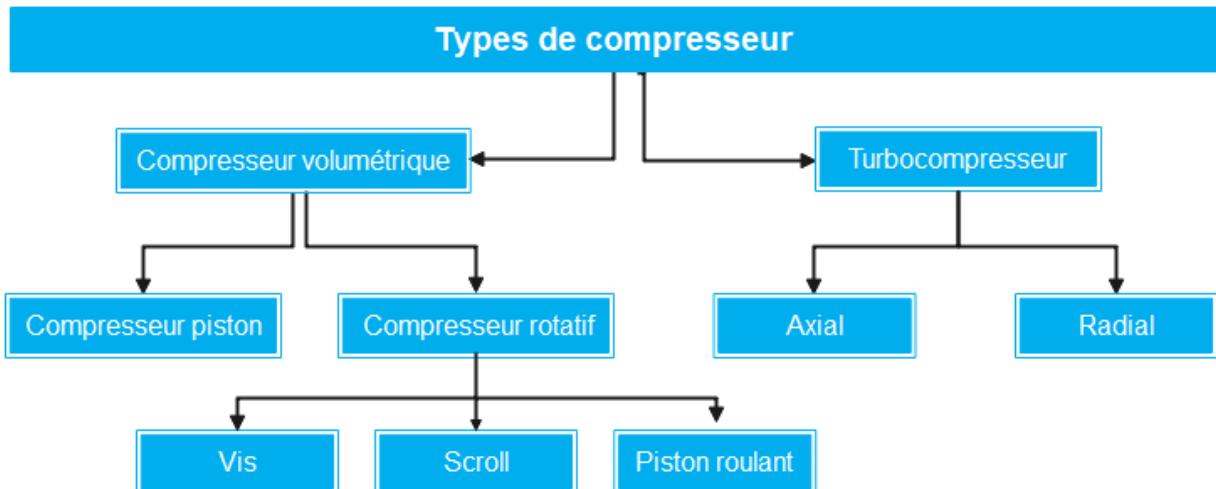
On appelle vapeur surchauffée, la vapeur ayant reçu toute sa chaleur latente et qui a été chauffée davantage. Sa température dépasse la température de saturation.

Les compresseurs frigorifiques

Généralités

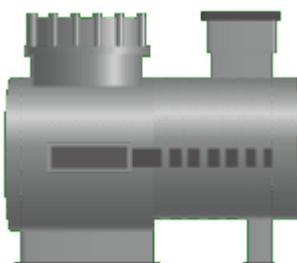
Dans les compresseurs volumétriques, le fluide est comprimé par réduction de volume dans un espace fermé.

Les compresseurs de type turbocompresseur transforment l'énergie centrifuge en pression statique pour comprimer le fluide .



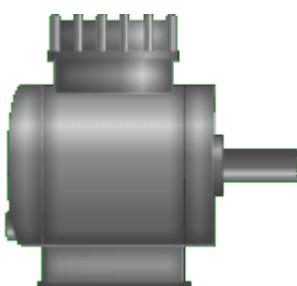
Le compresseur hermétique :

Dans une seule enveloppe soudée on trouve le compresseur et le moteur électrique. En cas de disfonctionnement le compresseur et le moteur d'entraînement ne sont accessibles.



Le compresseur semi-hermétique :

Ici le moteur d'entraînement et le compresseur sont logé dans la même enveloppe entièrement visitable. Le flasque avant, arrière, les têtes de culasse sont démontables.



Le compresseur ouvert :

Les deux parties compresseur et moteur électrique sont séparées physiquement. L'entraînement se fait par un moteur électrique couplé soit directement, soit par une courroie de transmission.

Types de compresseurs frigorifiques

Compresseurs à pistons

C'est un vilebrequin ou un excentrique qui actionne par rotation un piston avec l'aide d'un moteur électrique, la descente du piston crée une dépression qui force l'ouverture du clapet d'aspiration, le gaz en provenance de l'évaporateur entre dans le cylindre, puis le gaz est comprimé par la remontée du piston puis il est refoulé quand le piston est en point haut ouvrant clapet de refoulement.

Compresseur hermétique:

L'ensemble moteur compresseur est compris dans une même enveloppe d'acier hermétiquement soudé, le gaz entre souvent en partie haute, le carter toute proportion gardée, car sa capacité est faible joue le rôle de bouteille anti-coup de liquide d'ailleurs certains compresseurs ont un carter surdimensionné afin de remplir ce rôle protecteur. En partie basse l'huile assure le graissage des parties en mouvements. Les gaz aspirés permettent le refroidissement du moteur électrique dont la vitesse de rotation est de 3000t/mm environ.

Compresseur semi-hermétique :

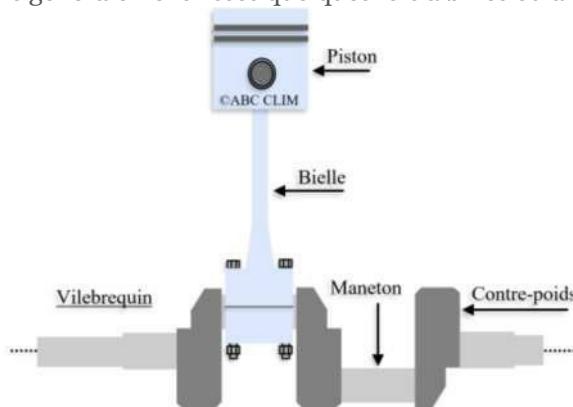
Ce compresseur est composé de deux parties distinctes dans un même corps le compresseur et le moteur électrique. Le rotor du moteur électrique entraîne le compresseur par accouplement direct, c'est un axe ou arbre en rotation qui donne le mouvement à l'ensemble bielle piston. La lubrification est assurée par une pompe à huile mue par l'axe du rotor. Comme pour le compresseur hermétique les gaz aspirés permettent de refroidir le moteur électrique. L'avantage du compresseur semi-hermétique est l'inaccessibilité des divers organes en cas de panne.

Arbre excentrique et arbre vilebrequin

Ce dispositif permet de transmettre l'énergie fournie par le moteur d'entraînement (électrique) en transformant le mouvement rotatif en mouvement alternatif.

L'arbre excentrique est généralement utilisé pour les compresseurs de faible puissance (compresseurs hermétiques et semi hermétiques). Sa fabrication est plus simple que l'arbre vilebrequin et il permet la mise en place de bielles à tête fermée.

L'arbre vilebrequin est un arbre avec deux paliers principaux (avec quelques fois des paliers intermédiaires) à ses extrémités qui tourne sur des paliers généralement lisses quelques fois à billes ou à rouleaux.

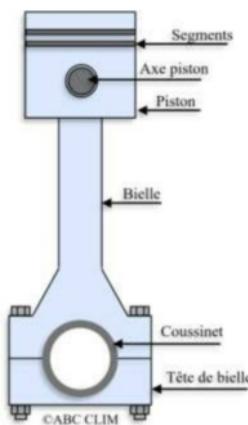


Les bielles

Elles assurent la transmission de l'énergie du vilebrequin aux pistons, elles doivent être résistantes et légères (aluminium coulé ou alliage d'aluminium).

Il existe les bielles à tête fermée pour les arbres excentriques et les bielles à tête ouverte.

Les bielles à tête fermée renferment les deux éléments d'un coussinet mince réalisé en acier recouvert de cuivre et de métal antifriction.



La garniture d'étanchéité

Il s'agit d'un organe spécifique aux compresseurs ouverts et dont le rôle est de permettre la rotation de l'arbre tout en assurant l'étanchéité entre le carter (contenant le fluide frigorigène et l'huile frigorifique) et l'atmosphère et ce quel que soit la pression régnant dans le carter (supérieure et inférieure à la pression atmosphérique). Elle doit être abondamment lubrifiée.

Le carter

Il renferme et supporte le dispositif d'entraînement des pistons, il reçoit et renferme les cylindres et les chapeaux des cylindres.

La partie inférieure forme la réserve d'huile et permet l'accès aux différents composants pour les visites d'entretien et de réparation (compresseurs semi hermétiques et ouverts).

Le carter doit être étanche et pour la majorité des compresseurs de type industriel il est réalisé en fonte fine. Les carters sont éprouvés hydrauliquement. La pression régnant dans le carter est la pression d'aspiration grâce à des orifices d'équilibrage.

Le piston

Le matériau de plus en plus utilisé pour la fabrication du piston est l'aluminium et ses alliages mais la fonte qui était le matériau utilisé depuis fort longtemps est toujours d'actualité.

Le piston se déplace dans un cylindre avec un jeu de l'ordre de 1/1000^{ème} de l'alésage.

L'étanchéité au fluide frigorigène est obtenue par l'utilisation de segments de compression, quelque fois le piston est équipé d'un segment racleur d'huile.

Les soupapes ou clapets

Un cylindre est muni d'une ou plusieurs soupapes d'aspiration et de refoulement.

Les soupapes d'aspiration permettent le passage des vapeurs de fluide frigorigène (FF) de la chambre d'aspiration vers le cylindre et celles de refoulement le passage des vapeurs comprimés dans le cylindre vers la chambre de refoulement.

Le fonctionnement des soupapes est automatique, elles s'ouvrent sous l'effet de dépression à l'aspiration et d'une surpression au refoulement. Inversement la soupape d'aspiration se referme lors de la course de compression et la soupape de refoulement se ferme lors de la course d'aspiration.

Les soupapes sont généralement réalisées en acier.

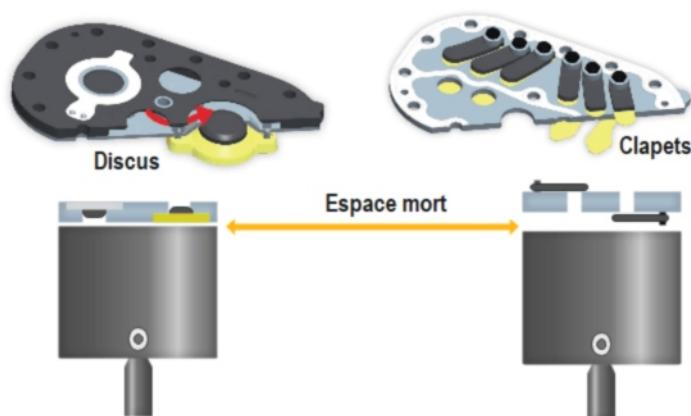
Les soupapes sont très sensibles au fluide frigorigène liquide qui peut provoquer leur usure lente voir leur destruction rapide et totale lorsque le liquide est en grande quantité, c'est pour cette raison que certains compresseurs sont équipés d'un dispositif anti-coups de liquide.

Compresseur Discus

Le compresseur Discus est avant tout un compresseur à pistons classique la seule différence réside dans le fait qu'il possède des clapets de forme conique intégrer dans la plaque à clapet, une fois fermés les clapets sont compris dans l'alignement de la plaque à clapet ce qui réduit l'espace mort haut, contrairement aux clapets traditionnels à lames qui empêchent le piston de monter trop près ce qui augmente cet espace mort et réduit l'efficacité énergétique.

Cette forme annulaire et optimisée permet de minimiser l'échauffement du travail de compression et de manière générale les pertes de charge sont réduites, le gaz est admis, refoulé de manière uniforme autour des clapets Discus réduisant ainsi l'usure. Pour obtenir des performances optimales, les plaques à clapets des Discus sont d'un profil différent selon la plage d'application (basse,moyenne,haute température).Les compresseurs Discus consomment moins que les compresseurs classiques de l'ordre de 10 à 15 % et développent plus de puissance frigorifique.

Compte tenu des performances cette technologie a permis de réduire les moteurs électriques d'entraînement pour les applications basse et moyenne température.



Dimensionnement compresseur volumétrique

Pour mieux comprendre le fonctionnement d'un compresseur volumétrique (compresseur piston) et calculer son dimensionnement quelques termes doivent être assimilés. Quelques formules mathématiques sont données ici à titre d'informations.

Tout d'abord revenons sur le principe général de fonctionnement d'un compresseur volumétrique. Un volume de fluide basse pression et basse température est contenu dans une enceinte à volume variable (cylindre). Afin d'augmenter la pression, il faudra donc réduire progressivement le volume dans le cylindre à l'aide d'un piston (compresseur à piston). À la fin de la compression le fluide sera refoulé vers la tuyauterie de refoulement à haute pression et haute température.

La puissance frigorifique

C'est la quantité d'énergie absorbée par le fluide frigorigène et ceci par unité de temps. Elle détermine la puissance en kW du compresseur.

Elle est dépendante de plusieurs facteurs :

- Nature du fluide utilisé
- Pressions de fonctionnement
- Vitesse de rotation du compresseur
- Température d'évaporation et de condensation (surchauffe et sous-refroidissement)

Le volume aspiré

C'est le volume en m³/h de vapeur froide réellement aspiré par le compresseur.

$$V_a = q_m * v_m * 3600$$

V_a = volume aspiré en m³/h

q_m = débit masse de fluide frigorigène en kg/s

v_m = volume massique en m³/kg

Cylindrée d'un compresseur

On appelle cylindrée, le volume balayé par la course du piston entre le point haut et le point bas. L'espace mort c'est l'espace non balayé par le piston.

$$Cylindrée = \pi (D_2 / 4) \times C \times NB$$

π = pi soit 3,14

D = Diamètre du cylindre

C = Course du piston

NB = Nombre de cylindres du compresseur

Volume balayé

C'est le volume de fluide balayé par le ou les pistons pendant 1 heure.

$$V_b = C \times n \times 60$$

V_b = volume balayé en m³/h

C = Cylindrée

n = vitesse de rotation du compresseur en tr/m

Taux de compression

C'est le rapport entre la pression de refoulement (HP) sur la basse d'aspiration (BP) exprimées en valeurs absolues. Le taux de compression influence le rendement volumique de la machine, donc les performances du compresseur.

$$tc = P_{ref} / P_{asp}$$

P_{ref} = pression de refoulement (HP) en bar absolu

P_{asp} = pression d'aspiration (BP) en bar absolu

Rendement volumétrique

C'est le rapport entre le débit de volume aspiré et le débit de volume balayé du compresseur.

Le rendement volumétrique dépend de certains facteurs :

Malgré l'usinage très poussé l'étanchéité des clapets et des segments n'est pas parfaite.

Les clapets créent des pertes de charges inévitables altérant les performances.

Les vapeurs froides venant de l'évaporateur s'évaporent partiellement dans l'huile.

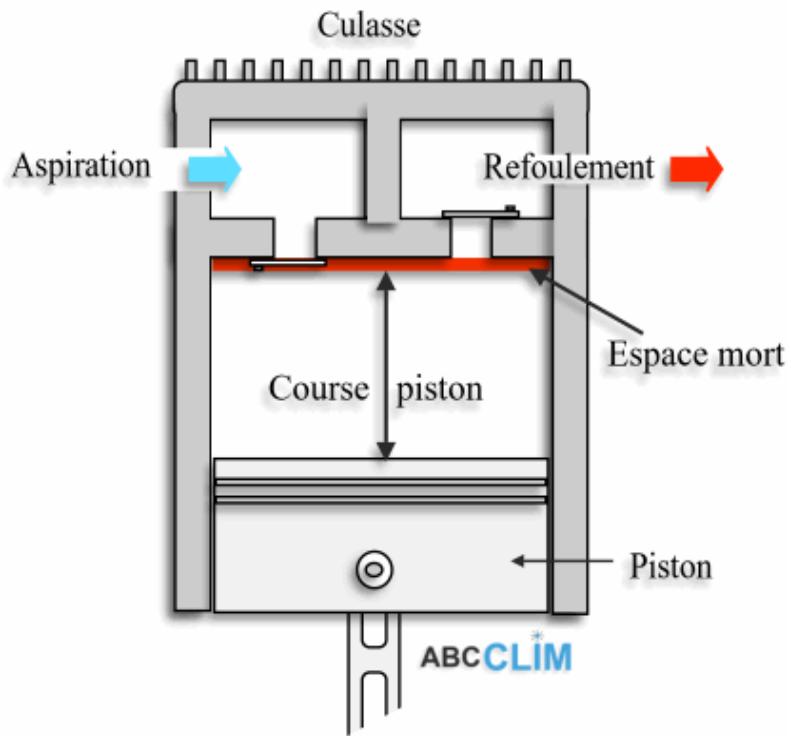
Formule empirique de calcul du rendement :

$$\eta_v = 1 - (0,05 \cdot t)$$

t : taux de compression

Puissance théorique d'un compresseur

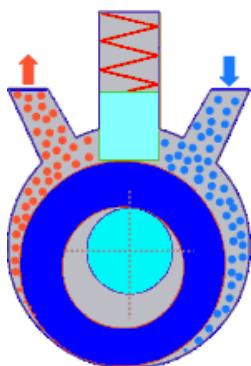
C'est la puissance (exprimée en kW) nécessaire pour comprimer les vapeurs et les portées à haute pression et haute température. Cette puissance dépend du taux de compression et des pertes de charges mécaniques dues aux divers frottements.



Comresseur rotatif

Il existe deux technologies

- Le compresseur rotatif à piston roulant.
- Le compresseur rotatif à palettes.



Le compresseur à piston roulant

C'est un piston cylindrique tournant qui crée la compression, il est décentré sur son axe celui-ci est séparé par une palette assurant l'étanchéité des deux chambres une d'aspiration et une autre de refoulement.

En tournant, le piston aspire la vapeur basse pression à travers l'orifice d'admission. La vapeur se trouve emprisonnée dans l'espace compris entre la paroi et le piston, l'espace diminue petit à petit et la vapeur est compressée. Puis cette vapeur haute pression (surchauffée) sort par l'orifice de refoulement.

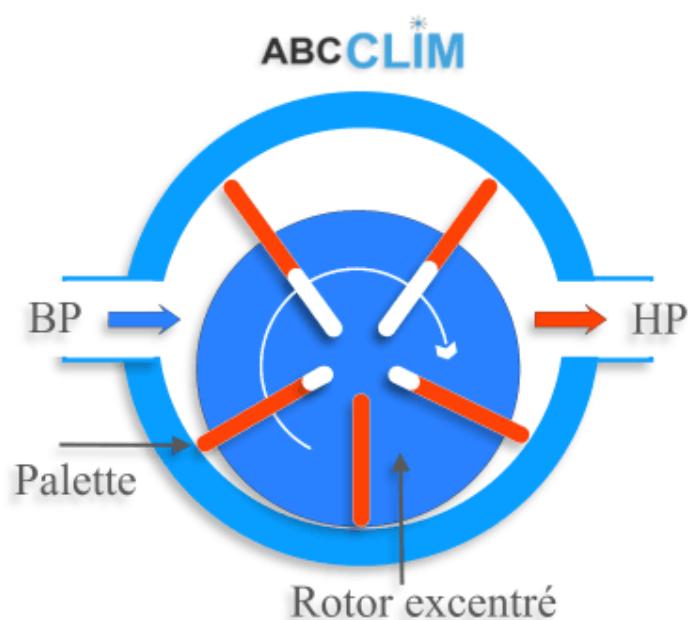
Cette technologie de compresseur est très employée dans les petites et moyennes puissances bénéficiant d'une grande souplesse de fonctionnement, d'un couple régulier et d'un bon niveau sonore.

Compresseur à palette

C'est certainement un des compresseurs rotatifs les plus anciens, puisque les premiers développements de cette technologie ont commencé début du XXe siècle.

Le piston de forme cylindrique tourne autour d'un axe excentré par rapport à l'axe du cylindre. Le piston est muni de palettes qui coulissent librement dans leur logement et qui exerce une pression sur le cylindre.

Le volume compris entre les différentes palettes permet l'aspiration, la compression, le refoulement de gaz.



Comresseur scroll

Le compresseur scroll ou compresseurs spiro-orbital a été inventé en 1905, par un français Léon Creux mais c'est bien plus tard dans les années 1970 qu'un américain John E. McCullough permis en apportant des modifications majeures de donner un second souffle à cette technologie.

Puis dans les années 80 grâce à l'usinage de précision le compresseur scroll fit son apparition dans les installations de froid et de conditionnement d'air.

Il est constitué de deux spirales une spirale fixe, et une spirale mobile emboîtées l'une dans l'autre.

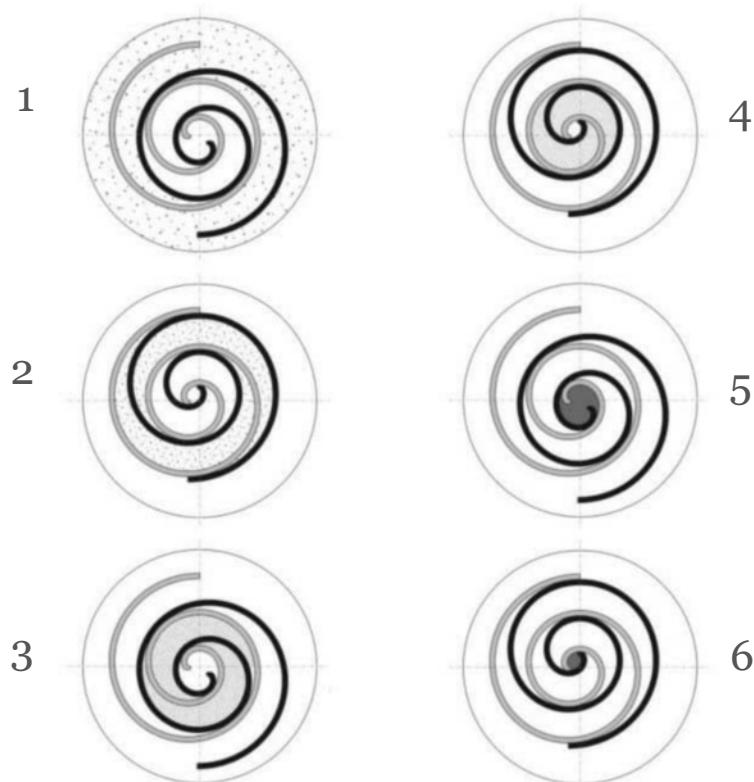
La spirale mobile se déplace dans un mouvement orbital grâce à un arbre positionné verticalement, le déplacement de la spirale mobile crée une compression à partir de la périphérie vers le centre des spirales, la chambre d'aspiration se trouve autour des deux spirales, le gaz s'échappe par un orifice au centre des spirales.

Ce type de compresseur possède des avantages intéressants :

- C'est un compresseur fiable et robuste qui fonctionne avec relativement peu de pièces
- L'aspiration, la compression et le refoulement sont accomplis de façon simultanée et continue, ce qui assure un couple constant et une grande souplesse de fonctionnement
- Ils acceptent une tension démarrage deux fois inférieures à celle d'un piston et à tension égale il a un temps de démarrage quatre fois plus court.
- Contrairement aux pistons, ce compresseur peut tolérer la présence de liquide entre les spirales.
- Compresseur idéal pour la variation de vitesse

Attention toutefois au sens de rotation, ce type de compresseur compte tenu de son mode de compression ne doit tourner que dans le sens horaire des phases.

Fonctionnement du compresseur scroll : <https://youtu.be/G4FvF2uh4fM>

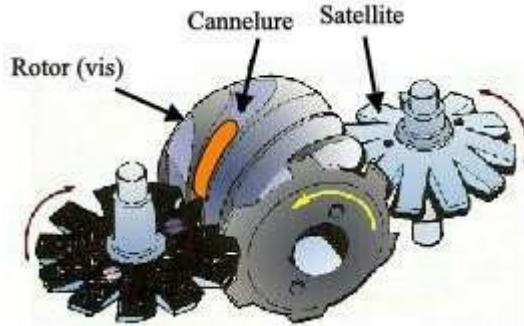


Compresseurs à vis

Le compresseur mono-vis:

Le compresseur à vis mono-rotor ou simple vis est constitué d'un rotor principal (vis sans fin) avec des cannelures hélicoïdales et deux satellites. Les deux satellites sont recouverts d'une matière du type téflon et sont disposés de chaque côté du rotor principal, de l'huile est injectée sur la vis pour parfaire l'étanchéité (vis,satellites). Quand la vis tourne, le fluide remplit les canaux de la vis puis les satellites réduisent le volume dans ces cannelures le travail de la compression s'effectue alors dans la partie supérieure du compresseur pour un satellite et simultanément un processus analogue s'opère du côté du deuxième satellite, mais dans la partie inférieure du compresseur.
Le gaz est refoulé ensuite par des orifices de part et d'autre des satellites.

Crédit image doc Grasso.



Le compresseur bi-vis:

Le compresseur bi-vis est du type volumétrique rotatif constitué d'un rotor mâle et d'un rotor femelle à denture hélicoïdale.

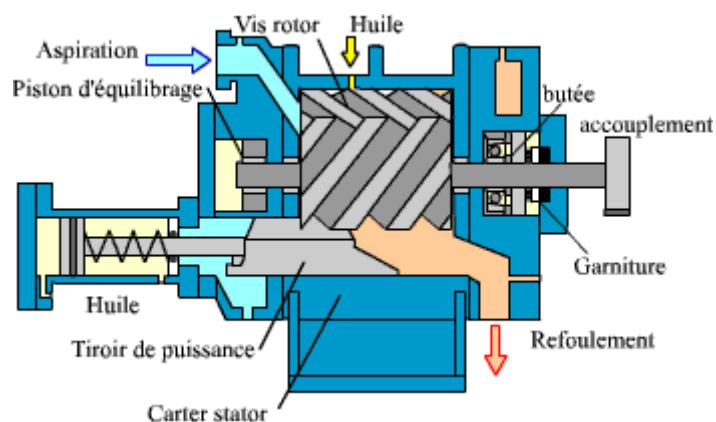
La rotation à grande vitesse dans des sens opposés des deux rotors mâle et femelle permet l'aspiration, la compression, le refoulement du gaz. Le gaz est transporté le long de la vis, de l'orifice d'aspiration à l'orifice le refoulement de façon continue.

Comme les rotors tournent dans des sens opposés, l'espace augmente en se déplaçant vers l'avant, le gaz est aspiré puis cet espace diminue au fur et à mesure de l'avancement de la vis, le gaz est comprimé puis refoulé par un orifice aménagé en fin de parcours de la vis .

Ce type de compresseur doit être abondamment huilé, l'huile assure l'étanchéité et le refroidissement des rotors en formant un film .

La variation de puissance de 15 à 100% est obtenue par variation de la vitesse ou par déplacement d'un tiroir réduisant la grandeur de la vis.

Ce compresseur fiable et d'entretien limité est utilisé dans les puissances de 30kw à 1000Kw.



Comresseur centrifuge

Le compresseur centrifuge est utilisé dans des installations de fortes puissances de 1000 kW au minimum ce qui le destine à des utilisations réservées aux grands centres commerciaux ou industriels.

Fonctionnement du compresseur centrifuge

Son fonctionnement est analogue à celui des pompes de circulations centrifuges.

C'est une roue entraînée par un moteur tournant à très grande vitesse munie d'aubes ou d'ailettes inclinées qui transforment l'énergie mécanique partiellement en pression et en énergie cinétique, un diffuseur placé au refoulement retrouve une grande partie de cette énergie cinétique en pression.

Comme ce type de compresseurs à un taux de compression assez faible, on associe généralement plusieurs roues en série reliées entre elles par des diaphragmes ce qui permet de faire communiquer le rejet de la première roue à l'aspiration de la seconde et ainsi de suite.

Les compresseurs centrifuges peuvent être de type semi-hermétique entraîné par un moteur électrique ou ouvert dans ce cas la partie compresseur est séparé de la partie moteur par un accouplement qui permet l'utilisation de toutes sortes de moteurs, électriques, thermiques, etc.

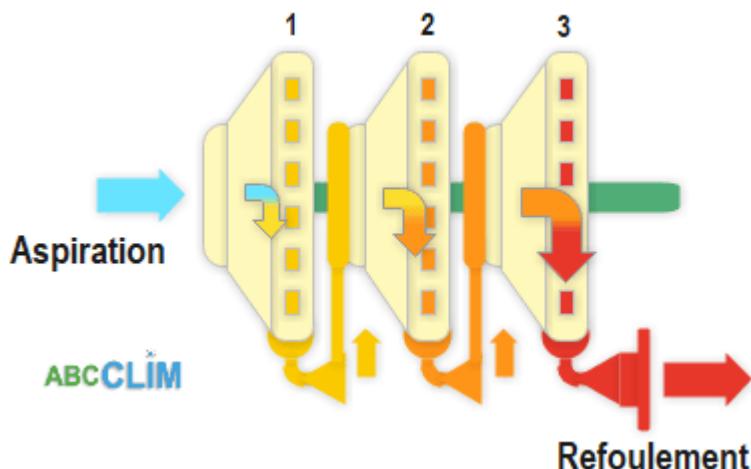
Réduction de puissance des compresseurs centrifuges

Réduction du débit à l'aspiration

C'est la méthode de régulation la plus employée (voir animation ci-dessous). Afin de pouvoir ajuster la puissance aux besoins, des ailettes pivotantes disposées dans l'aspiration s'ouvrent et se ferment modifiant l'angle d'attaque arrivant sur les aubes de la roue en mouvement, le réglage de puissance s'étale de 20 à 100 %. La puissance absorbée par le compresseur diminue.

Variation de la vitesse de rotation

Varier la vitesse de rotation d'un compresseur centrifuge permet de contrôler le débit ainsi que le taux de compression. Mais cela pose néanmoins un problème car le taux de compression baissera de façon drastique. La pression minimale au refoulement peut donc être trop faible pour assurer un bon fonctionnement du compresseur. Un des défauts des compresseurs centrifuges est le fonctionnement à faible puissance, car un phénomène de pompage peut générer des vibrations parfois facteur de panne.



Le circuit de lubrification est généralement compliqué, il comprend :

- une pompe à huile immergée
- un filtre très fin
- une vanne de réglage de la pression
- une résistance de réchauffage
- un serpentin de refroidissement
- une pompe électrique de graissage indépendante
- pour assurer la lubrification pendant les périodes de démarrage et d'arrêt

Comresseur inverter

Le compresseur traditionnel fonctionne à vitesse fixe en tout ou rien, l'inverter quant à lui il permet d'adapter sa vitesse en fonction de la demande en variant la fréquence du courant. Le volume aspiré et donc la puissance du compresseur s'adapte au besoin du local en permanence, d'où une souplesse importante et une consommation optimisée. Un autre avantage de ce type de technologie est l'élimination des fluctuations de température constatées avec des compresseurs tout ou rien.

Chaque fabricant développe sa technologie de compresseur, mais deux types d'inverter existent plus particulièrement :

Inverter avec compresseur courant alternatif.

Le moteur triphasé par sa simplicité et sa robustesse tout particulièrement le compresseur de type scroll est idéal pour ce type de variation de vitesse par augmentation ou réduction de la fréquence du courant

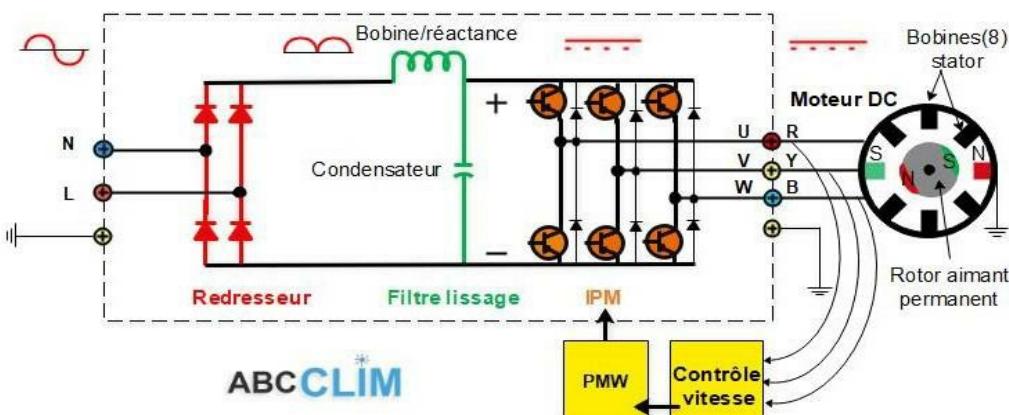
Pour faire varier la vitesse d'un compresseur triphasé il faudra un ensemble de platines électroniques qui rendront possible les trois étapes nécessaires afin rendre ce courant variable:

Il faudra d'abord, redresser le courant alternatif c'est-à-dire supprimer les oscillations négatives de la tension en ne gardant que les alternances positives, afin d'obtenir un courant pseudo continu, puisque les oscillations positives sont conservées.

Puis il faudra stabiliser les ondulations par lissage et filtrer les parasites pour obtenir un courant quasi continu. Enfin il faudra recréer un courant alternatif pour alimenter le compresseur triphasé, tout d'abord on n'utilisera rien d'autre que des sortes "d'interrupteurs" qui vont s'ouvrir et se fermer de façon très rapide, donc pour varier la fréquence du courant continu (Hertz) il suffit de varier la vitesse de basculement de ces "interrupteurs", puis l'onduleur créera un courant alternatif pour faire fonctionner le compresseur avec un courant alternatif à fréquence variable.

Inverter avec compresseur courant continu.

C'est un compresseur doté d'un moteur à courant continu dont l'alimentation permet d'avoir une tension continue mais à partir d'une source de tension alternative (monophasée ou triphasée). Ce moteur est constitué d'un rotor à aimant permanent (aux terres rares) et de 4,6,8 stators créant un champ magnétique tournant.



Trois étapes essentielles sont nécessaires pour alimenter correctement ce compresseur :

- 1) Le courant alternatif sera redressé pour obtenir un courant en supprimant les alternances négatives de la sinusoïde.
- 2) Pour avoir un courant continu stable, on utilise une bobine et un ou des condensateurs qui vont lisser ce courant.
- 3) Ce courant continu est distribué de manière séquentielle aux stators. Chaque séquence est contrôlée par un microprocesseur qui pilote un IPM (Intelligent Power Module), celui-ci alimentera à chaque impulsion deux bobines diamétralement opposées, puis deux autres et ainsi de suite. La vitesse du moteur est donc proportionnelle à la rapidité des séquences d'alimentation des stators.

Un circuit de commande contrôle quant à lui la vitesse, et permet de piloter le tout en fonction de la demande.

Rappel: Impulsion = Variation brusque d'une grandeur physique suivie d'un retour rapide à sa valeur initiale.

Contrôler une platine inverter : https://youtu.be/8oleNuq7_R4

Régulation puissance des compresseurs

Le fonctionnement d'un compresseur doit pouvoir s'adapter à la demande voici plusieurs méthodes pour réguler la puissance d'un compresseur.

Les plus simples

Tout ou rien (TOR)

C'est évidemment le mode de fonctionnement le plus simple, le plus utilisé, le maintien de la température du médium à refroidir ou à chauffer s'obtient par mise en marche ou à l'arrêt du compresseur ou des compresseurs (plusieurs étages), ce mode tout ou rien engendre bien entendu des fluctuations importantes sur la température ainsi que des pics de consommations.

Pump down

La régulation en Pump down repose sur l'utilisation d'une électrovanne sur la ligne liquide pilotée par le thermostat d'ambiance .

Quand le thermostat est en demande, il alimente l'électrovanne, la pression dans la tuyauterie BP et dans l'évaporateur augmente, dès que cette pression atteint la valeur de réglage (enclenchement) du pressostat BP celui-ci donne au compresseur l'ordre de se mettre en route.

Puis quand la température arrive à la température de réglage du thermostat celui -ci s'ouvre et désalimente l'électrovanne, le compresseur fonctionne toujours ,la pression baisse petit à petit jusqu'à atteindre le point de coupure du pressostat BP(arrest).

Les frigorifiques

Mise hors service de cylindre

Ce système est encore assez répandu pour réguler les compresseurs à pistons, cette mise hors service d'un cylindre ce fait soit par le blocage des clapets d'aspiration en position ouverte, soit en court-circuitant la basse pression par un orifice ouvert entre le cylindre et le carter du compresseur commandé par un piston, soit par un obturateur qui ferme l'admission des gaz.

Vanne d'injection gaz chauds

Cette vanne agit comme un régulateur de capacité permettant d'adapter la puissance du compresseur à la charge variable de l'évaporateur.

Elle prélève par un by-pass les gaz chauds du refoulement du compresseur pour les réintroduire sur la conduite d'aspiration, quand le détendeur se ferme plus ou moins pour adapter l'alimentation de l'évaporateur à la charge, la basse pression diminue la vanne d'injection s'ouvre alors pour garantir une basse pression correcte.

Tiroir mobile

Uniquement pour les compresseurs à vis, la régulation de puissance s'effectue par le biais d'un tiroir qui se déplace axialement le long de la vis de sorte qu'une partie des gaz aspirés correspondant à la puissance voulue ne soit pas compressée.

Les plus modernes

Variation de vitesse

La variation de vitesse d'un compresseur apparaît comme la méthode la plus pratique en termes de variation de puissance, car elle permet d'adapter la vitesse du compresseur en fonction de la demande modifiant son volume aspiré et donc sa puissance. L'inverter (DC) est la technologie la plus connue, mais on peut à partir d'un compresseur scroll standard, (compresseur bien adapté à la variation de vitesse) utiliser un variateur de fréquence qui convertira le courant alternatif en courant continu puis le reconvertisra en un signal alternatif à une fréquence adaptée au fonctionnement.

Digital Scroll

Le compresseur Digital Scroll est une solution simple, efficace, fiable pour réguler la puissance d'un compresseur. Ce compresseur est composé de deux spirales : une spirale supérieure fixe, une seconde qui orbite autour de la première, mue par un moteur électrique. Pour permettre un changement de la capacité frigorifique, le système agit en haussant la spirale fixe en réponse à la diminution de la demande. Ce fonctionnement est possible grâce à une vanne solénoïde à deux voies entre l'aspiration et le refoulement du compresseur.

Lubrification des compresseurs

Afin de ne pas réduire la durée de vie des compresseurs, ceux-ci doivent être correctement lubrifiés.

L'huile a pour fonction principale de lubrifier les pièces en mouvement pour limiter les frottements et évacuer la chaleur due au travail mécanique.

Les différentes méthodes de lubrification

Lubrification par barbotage (compresseurs à pistons).

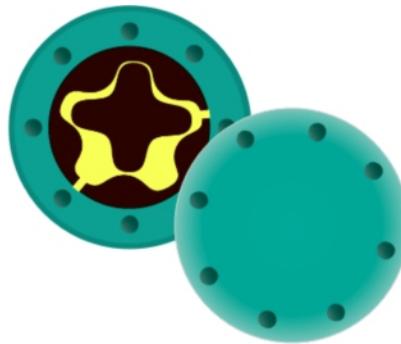
C'est le système de lubrification le plus simple, les têtes de bielle arrivant en point bas plongent dans l'huile contenue dans le carter et projette l'huile de façon désordonnée. Réservez plutôt au compresseur de petites puissances et ne dépassant pas les 900 tr/m car au-delà il y aurait une émulsion d'huile trop importante.

Certain compresseur possède un système un peu plus élaboré l'huile projetée ruisselle sur les flasques du compresseur pour venir se concentrer dans une auge directement en communication avec un trou aménagé dans l'arbre d' entraînement, l'huile sera distribuée par la force centrifuge créée par le mouvement de rotation aux différents points à lubrifier.

Lubrification par pompe à huile (compresseur à pistons).

Une crête servante de filtre est placée dans le carter du compresseur une pompe raccordée en bout d'arbre achemine l'huile dans de petits canaux aménagés afin de lubrifier les paliers et les axes des pistons.

La pompe est constituée d'un corps de pompe, d'une partie fixe constituée de cinq lobes et d'une partie mobile constituée de quatre lobes, chaque lobe constitue une cavité où l'huile est aspirée puis comprimée successivement jusqu'à l'orifice de refoulement.



Lubrification des compresseurs hermétiques (piston, scroll).

L'arbre du rotor est creux muni d'une rainure hélicoïdale, il plonge directement dans l'huile et constitue la tubulure d'aspiration de l'huile.

Le mouvement de rotation de l'arbre crée une force centrifuge permettant à l'huile d'être aspirée à l'intérieur de l'arbre pour permettre ainsi la lubrification des pièces en mouvement pour ensuite retomber par gravité dans le carter d'huile.

Lubrification compresseur à vis.

Les compresseurs à vis doivent être lubrifiés directement entre les deux rotors par injection d'huile généralement poussée par la pression HP.

Les deux rotors étant continuellement en contact rapproché l'huile permet de réduire l'usure mécanique de ce type de compresseur.

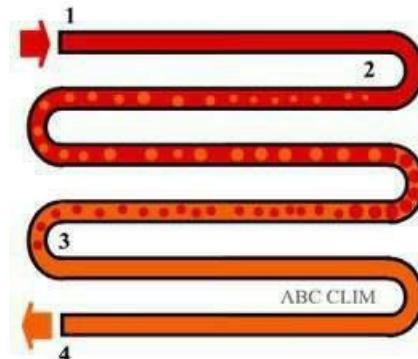
Un séparateur d'huile est nécessaire afin de séparer l'huile du fluide frigorigène

Les condenseurs

Comme l'évaporateur, le condenseur est un échangeur thermique.

Il permet la transformation des vapeurs surchauffées par le travail de compression en liquide sous-refroidi.

Il est constitué d'un serpentin intimement lié à des ailettes pour favoriser l'échange , le tout refroidi par un ventilateur, de l'eau perdue, de l'eau d'une tour de refroidissement .



Repère 1 : les vapeurs surchauffées quittent le compresseur et entrent dans le condenseur.

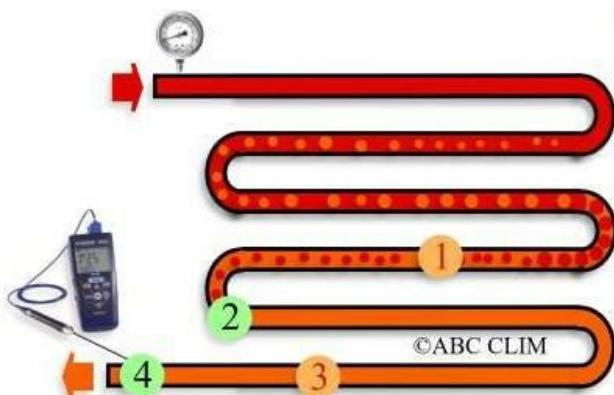
Repère 2 : les premières gouttelettes de liquide apparaissent.

Repère 2 et 3 : petit à petit les molécules de gaz se condensent, la proportion de vapeur diminue remplacée par du liquide.

Repère 3 : la dernière molécule de gaz ayant disparue il n'y a donc que du liquide.

Repère 3 et 4 : le liquide continu à se refroidir au contact du médium de refroidissement (air,eau).

Repère 4 : nous sommes à la sortie du condenseur le changement d'état est terminé, le liquide retourne au détendeur.

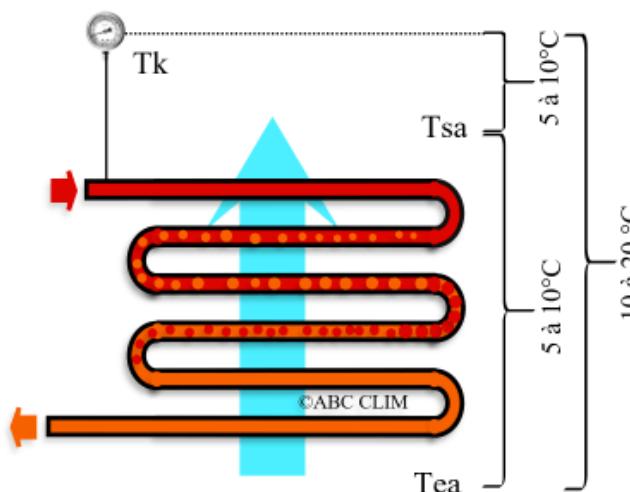


Valeur du sous-refroidissement

La valeur normale du sous refroidissement on le sait est comprise entre 4°C et 7°C, entre les points 2 et 4 sur le dessin.

Lorsque celle-ci est inférieure à 4°C cela veut dire que la dernière molécule de gaz se condense au point 3 et qu'il y a manifestement un manque de fluide.

Au contraire si le sous refroidissement mesuré est supérieur à 7° cela veut dire que la dernière molécule de gaz se condense au point 1 et non au point 2 et dans ce cas il y a trop de fluide.



Evolution des températures (condenseur à air)

Observons la variation de la température de l'air traversant le condenseur. La température d'entrée d'air (tae) évolue pour atteindre la température de sortie d' air (tas). Il est possible de connaître la température de condensation du fluide frigorigène en établissant la relation Pression / Température avec le manomètre HP. L'écart de température entre l'entrée d'air (tae) et la température de condensation du fluide (tk) est appelé (ΔT) delta T° Totale. Sensiblement constant pour un condenseur donné, situé généralement vers 15°C .

Cette notion est très importante puisqu'elle permet de déterminer la température de condensation en fonction de la température d'entrée d'air (tae).

Condenseurs à air

Cet échangeur permet aux gaz surchauffés provenant du compresseur de changer d'état, le gaz entre dans le condenseur sous forme gazeuse et sort sous forme liquide.

Les gaz surchauffés cèdent en traversant le condenseur la chaleur due au travail de compression du compresseur par échange avec l'air, permettant ainsi la condensation de la vapeur.

L'air est un médium de condensation intéressant, car il est disponible en grande quantité, mais il a un coefficient de transmission assez faible ce qui implique pour de grosses puissances de disposer de grandes surfaces d'échange avec des débits de ventilation important.

La puissance d'un condenseur doit être égal à la puissance frigorifique développée à l'évaporateur plus la puissance du moteur électrique du compresseur.

Condenseurs statiques ou ménagers :

Ce sont généralement des condenseurs qui équipent de petits appareils de froid comme notre bon vieux réfrigérateur. L'air circule autour d'un serpentin intimement lié à une plaque tôle servant de dissipateur, elle peut être pleine, perforée ou constituer une grille ajourée.

Condenseurs ventilés :

Ils peuvent être tout acier ou en cuivre avec des ailettes en aluminium.

Il est généralement constitué d'un caisson, d'un serpentin, d'un ou plusieurs ventilateurs (hélicoïdaux, centrifuge) entraînés par moteur électrique.

Le serpentin du condenseur sera composé de tubes de cuivre avec rainures internes (surface échanges plus importantes) positionnés en quinconce, muni d'ailettes d'aluminium (par exemple) présentant des ondulations afin de favoriser l'échange.

Dans les milieux agressifs, les ailettes peuvent être en acier inoxydable ou en acier revêtu une couche de protection contre la corrosion.

Les batteries peuvent être positionnées horizontalement, verticalement ou en forme de V.

Comme la température de l'air peut fluctuer de façon très importante tout au long de l'année, les ventilateurs devront être régulés, soit par contacteur en cascade, soit pilotés par un variateur de vitesse.

À savoir: Ecart entre la température de condensation et l'entrée d'air au condenseur est égale en règle générale à 15k. L'enracassemement d'un condenseur à air qui occasionne une augmentation de la température de condensation de 5°C, génère une perte de puissance de l'installation d'environ 7% et une augmentation de la consommation électrique de 16% !!!.

Généralement la vitesse d'air préconisé pour un bon échange est 2 à 4 ms .

Condenseurs à eau

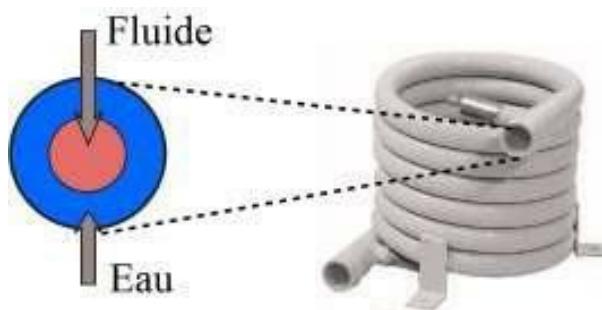
Échangeur coaxial:

Cet échangeur est composé de deux tubes enroulés en spirale, le fluide frigorifique circule dans le tube central tandis que l'eau circule dans l'espace entre les tubes intérieur et extérieur.

Ces deux fluides circulent à contre-courant pour que l'échange soit le plus efficace possible. Echauffement de l'eau de 8 à 12 °C.

Les condenseurs frigorifiques !

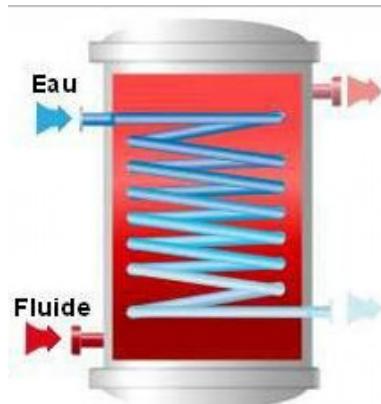
<https://vimeo.com/584783513/7dcfa9f29a>



Échangeur bouteille :

Cet échangeur remplit deux fonctions celui de réservoir liquide et celui de condenseur. Il est constitué d'un serpentin dans lequel circule l'eau de refroidissement, le fluide frigorigène contenu dans l'enveloppe externe se condense au contact du tube d'eau.

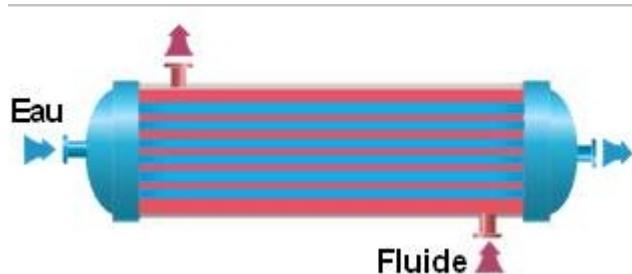
On admet un réchauffement de 8 à 12 °C de l'eau .



Échangeur multitubulaire :

Des tubes sont placés en grands nombres horizontalement (acier, cuivre, inox, etc.) soudés à deux viroles terminales, ces viroles séparant la partie fluide frigorigène et l'eau, l'eau circule à l'intérieur des tubes tandis que le fluide se condense autour dans un réservoir appelé "la calandre".

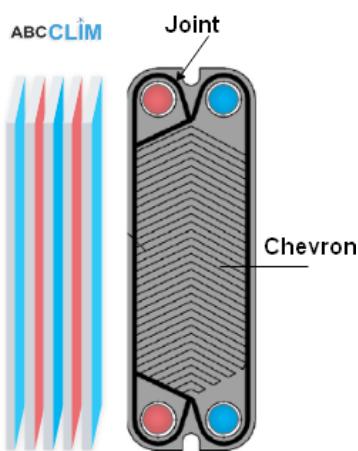
Ce type de condenseur présente l'avantage d'être démontable ce qui facilite le nettoyage et le détartrage mécanique.



Échangeur à plaques :

Ce condenseur est composé d'un assemblage de plaques embouties entre deux plateaux aux moyens de tirants (tiges) dont les alvéoles constituent le circuit emprunté par les deux fluides, l'étanchéité entre les plaques est assurée par un jeu de joints en polymères assurant ainsi la séparation entre les deux fluides. Il s'agit d'échangeurs à courants parallèles et de sens contraire.

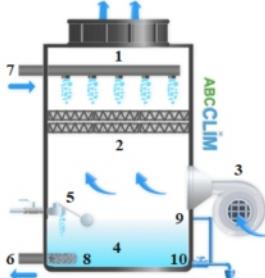
Ce type de condenseur permet une grande surface d'échange dans un volume limité grâce à un coefficient d'échange thermique élevé, c'est son avantage principal par contre il est sensible à l'encrassement.



Les tours de refroidissement

Pour dissiper la chaleur provenant du condenseur et permettre ainsi le changement d'état nécessaire au fonctionnement d'une installation frigorifique, il existe différents systèmes de refroidissement, dont les tours de refroidissement.

La tour ouverte :



Dans une tour ouverte l'eau provenant du condenseur est répartie en fines gouttelettes par des buses à travers une surface de ruissellement, un ventilateur souffle de l'air à contre-courant assurant ainsi le refroidissement par évaporation d'une partie de cette eau. L'eau est ensuite recueillie dans un bac en partie basse puis réinjectée par une pompe à travers le condenseur, un système de remplissage par flotteur remplace l'eau évaporée, des résistances sont incorporées dans le bac commandé par un thermostat antigel.

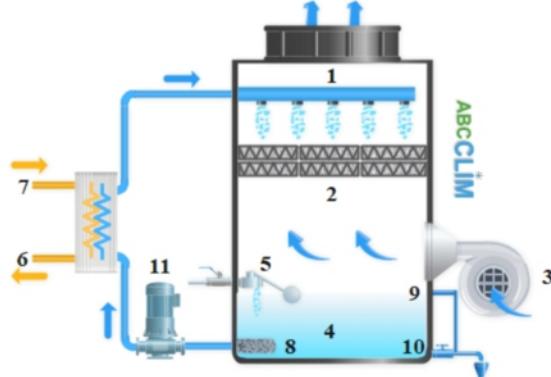
Les défauts majeurs de ce type de tours sont l'entretien, calcaire, algue, corrosion et bien sur légionellose (risques à prendre en compte).

La tour fermée:

Elle fonctionne selon le même principe, mais au lieu d'avoir l'eau du condenseur directement à refroidir, ici on utilise un échangeur intermédiaire pour séparer les deux fluides. L'eau venant du condenseur circule à contre courant par apport à l'eau de la tour. Un bac contient la quantité d'eau nécessaire au refroidissement de l'échangeur celle-ci ruisselle sur les packing par des buses en partie haute de la tour.

Avantage: moins d'eau en circulation coté tour donc traitement facilité, développement microbien réduit.

- 1:Rampe +buses
- 2:Surface de ruissellement, packing
- 3:Ventilateur
- 4:Bac
- 5:Système de remplissage
- 6:Sortie tour (retour condenseur)
- 7:Entrée tour (aller condenseur)
- 8:Filtre
- 9: Trop plein
- 10 : Vidange (déconcentration)
- 11 : Pompe de circulation



La tour à condenseur évaporatif:

Identique à la tour fermée, mais à la place d'un échangeur intermédiaire on trouve directement le condenseur dans lequel circule le fluide frigorigène. Le refroidissement est assuré en recyclant et en pulvérisant de l'eau sur le condenseur par ruissellement.

Inconvénient : La quantité de fluide frigorigène contenu dans l'installation.

Aéroréfrigérant:

Un aéroréfrigérant où " dry-cooler " est un échangeur fonctionnant en convection forcée pour refroidir un liquide (eau + produit antigel) provenant du condenseur. Les ventilateurs pulsent l'air à travers un échangeur constitué de tubes dans lesquels le liquide à refroidir circule.

La tour hybride:

Les systèmes de refroidissement hybrides mélangent deux systèmes ,le refroidissement évaporatif (tour) en été et le refroidissement sec (dry cooler) dans les saisons plus fraîches . La combinaison de ces deux modes permet de réaliser des économies d'eau tout au long de l'année et de limiter les risques de bactéries.

Traitement d'eau des tours de refroidissement

L'entretien d'une tour de refroidissement ainsi que le traitement de l'eau du circuit de refroidissement préviennent la propagation aérienne d'eau contaminée par la bactérie de type Legionella et de la corrosion.

A l'inverse, un entretien insuffisant fait courir des risques pour le matériel et pour les personnes.

Les principaux dangers sont :

- La présence de bactéries de type Legionella.
- Une corrosion accentuée de l'installation par une concentration de sels minéraux importante.
- La formation de tartre et d'algues réduisant l'efficacité générale de l'échange.
- La stagnation de l'eau (manque de purge sur les circuits).
- La fixation d'un dépôt biologique (biofilm) sur les parois, corps d'échange, etc.

Bien entendu pour combattre ces divers problèmes il faudra procéder à divers nettoyages et utiliser plusieurs traitements, des produits bien ciblés, autant dire que l'entretien des tours de refroidissement est assez complexe, car le dosage tous ces produits dépendra de la qualité de l'eau, des températures de fonctionnement, des débits.

Méthode de nettoyage et traitement de l'eau des tours.

Nettoyage mécanique

Après une première désinfection par un produit chloré, le circuit devra être vidangé. Le bassin, le système de pulvérisation, toutes les zones accessibles des tours, les surfaces d'échange et pare gouttelettes doivent être nettoyés manuellement (brosses, grattoirs) en faisant attention à ne pas endommager les matériaux de revêtement.

Traitements

Un traitement adéquat des eaux, un contrôle de la dureté de l'eau, une élévation de la conductivité maîtrisée et l'injection d'un biocide à large spectre contre la prolifération bactérienne en traitement de choc.

Un traitement (bio dispersant) qui favorise la pénétration du biocide dans les dépôts biologiques (biofilm), les dissous, les laisse en suspension dans l'eau.

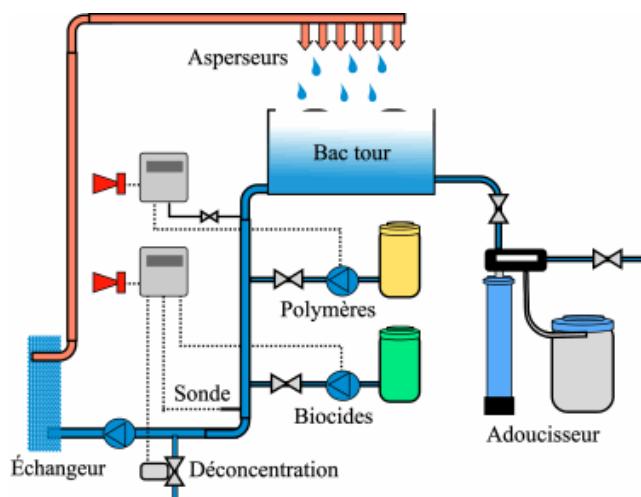
L'utilisation d'un algicide en complément si nécessaire.

Contrôles bactériologiques

Il est recommandé de contrôler après les différentes phases de nettoyage, par un prélèvement d'échantillon, le niveau de contamination bactérienne (flore totale) et Legionella.

Les valeurs limites recommandées :

1. Résultat inférieur à 1cfu/ml Legionella spp (1'000 cfu/l) : Maintenance standard.
2. Résultat compris entre 1cfu/ml (1'000 cfu/l) et 10 cfu/ml Legionella spp (10'000 cfu/l) : Mise en œuvre des mesures nécessaires pour abaisser la concentration de Legionella spp au dessous de 1cfu/ml Legionella spp.
3. Résultat supérieur à 10 cfu/ml Legionella spp (10'000 cfu/l) : Arrêt immédiat de la tour, vidange nettoyage et désinfection avant une remise en service.



Fonctionnement des condenseurs adiabatiques

Le principe de base du fonctionnement des condenseurs adiabatiques ou évaporatifs découle d'un principe physique bien connu en thermodynamique l'évaporation d'un liquide. Lorsque des molécules d'eau entrent en contact avec par exemple de l'air à une température plus élevée, l'eau va se vaporiser en absorbant une grande quantité d'énergie sous forme de chaleur et la température de l'air va diminuer de façon importante.

Deux types de chaleur sont mis en jeu :

- La chaleur sensible, échange de température entre deux corps.
- La chaleur latente de vaporisation, énergie nécessaire au changement d'état.

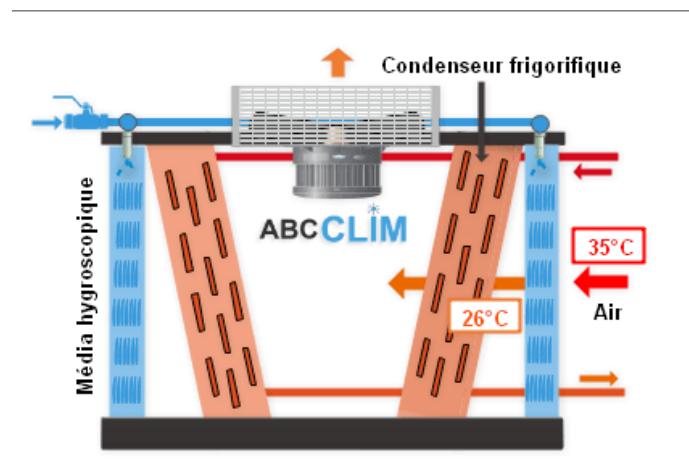
Ces deux types de chaleur ou d'énergie permettent un abaissement de la température de l'air de façon très importante de 7 à 10 degrés centigrades. Il faut environ 60 fois plus de chaleur pour permettre le changement d'état d'une certaine quantité d'eau que pour éléver sa température d'une dizaine de degrés. On voit donc ici tout l'intérêt de ce système.

Prenons un exemple simple pour mieux comprendre, lorsque vous sortez de l'eau par exemple à la plage, l'eau à la surface de votre peau en s'évaporant au contact d'une légère brise et même si la température extérieure est élevée, on a une sensation de froid. L'eau en s'évaporant retire de l'énergie à la surface de la peau et abaisse de fait la température de notre corps.

Dans une installation de climatisation et de froid un condenseur à air classique quand la température de l'air est très importante le rendement baisse. Pour pallier à cette baisse on peut soit augmenté la surface d'échange soit augmenté le débit d'air. Mais dans les deux cas cela pose un certain nombre de problèmes, de surdimensionnement du condenseur une grande partie de l'année, des problèmes d'encombrement de l'échangeur, de bruit au rejet des ventilateurs. Les condenseurs adiabatiques ou évaporatifs permettent de s'affranchir de ce type de problèmes. D'autant qu'ils peuvent fonctionner comme un condenseur à air classique la majeure partie de l'année pour ne fonctionner qu'en mode adiabatique quand la température monte de manière excessive.

Un condenseur évaporatif permet donc d'éviter les surdimensionnements des échangeurs à air tout en garantissant rendement optimal aux périodes les plus chaudes, et de réduire les couts de fonctionnement et d'investissement.

Dans les régions tempérées ou continentales l'air est généralement très sec dans les périodes les plus chaudes, et c'est à ce moment-là quand l'humidité relative est la plus faible que ce type de condenseurs est le plus efficace.



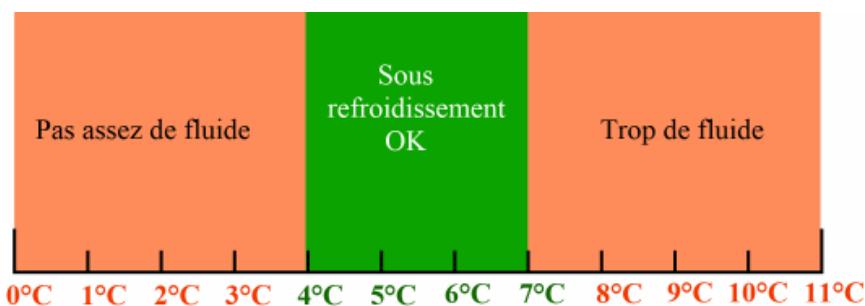
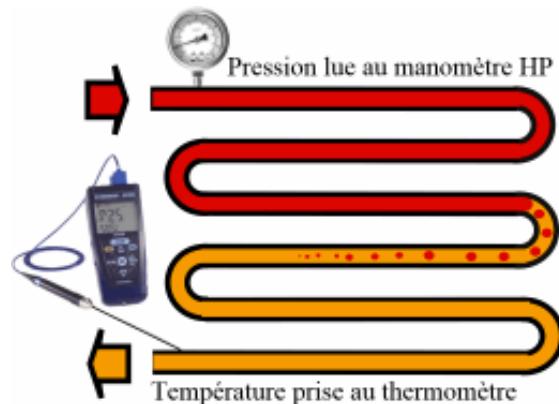
Plusieurs systèmes de condenseurs adiabatiques existent, chaque fabricant a le sien, mais en général on utilise, soit de l'eau en recirculation, soit l'eau de ville directement. Il conviendra dans les deux cas de prendre des mesures contre de prolifération de germes ou d'algues dans l'eau, ou encore il faudra traiter en amont cette eau afin d'éliminer le calcaire qui en se déposant sur le condenseur diminuerait l'échange.

Les principales technologies utilisent un système de collecteurs avec des buses, qui soit pulvérise l'eau en microgouttelettes directement dans le flux d'air, soit qui diffuse l'eau sur un média hygroscopique. L'air qui entre en contact avec l'échangeur frigorifique contient encore une certaine quantité d'eau en sustentation qui ne s'est pas évaporée, ce qui améliore encore l'échange.

Le sous-refroidissement

Le sous-refroidissement donne une indication sur le niveau du remplissage en fluide d'une installation, et représente la différence entre la température de condensation lue au manomètre HP (relation : pression, température) et la température mesurée à la sortie du condenseur.

Généralement la valeur du sous-refroidissement est comprise entre 4 et 7 °C.



Lorsque la valeur calculée du sous-refroidissement est en dessous de la plage usuelle (entre 4°C et 7°C) cela signifie que la zone du sous-refroidissement est plus petite que la normale, le fluide n'est pas assez refroidi (par l'air entrant par exemple).

L'écart de température entre la température de condensation, lue au manomètre HP et la température du fluide à la sortie du condenseur, sera donc faible.

Lorsque la valeur calculée du sous-refroidissement est au-dessus de la plage usuelle (entre 4°C et 7°C), la zone du sous-refroidissement est plus grande que la normale, le fluide est trop refroidi .

L'écart de température entre la température de condensation, lue au manomètre HP et la température du fluide à la sortie du condenseur, sera plus importante.

Le cas des fluides à glissement (zéotropes)

Les différents fluides composant un fluide zéotrope changent d'état à des températures différentes d'où un dérivation de la température au niveau de l'évaporateur et du condenseur. Par exemple le R407C à un glissement de 4 à 7°C (pression, température) c'est un mélange constitué de 23% de R32, 25% de R125 et 52% de R134a . Le R23 s'évapore à -52,1 °C, le R125 à -48,5°C, le R134 à -26,5°C ces différences de

températures d'évaporation sont de natures à influencer le comportement du fluide dans les phases de changement d'état. Par exemple pour le R410, (fluide aussi zéotrope) est constitué d'un mélange de fluide avec des températures d'évaporation et de condensation très proches, ce qui fait que son glissement de température est très faible, généralement considéré comme négligeable.

Température de bulle et température de rosée (fluides à glissement)

Avant toute chose il convient de préciser deux termes importants:

1. la température de bulle

2. la température de rosée,

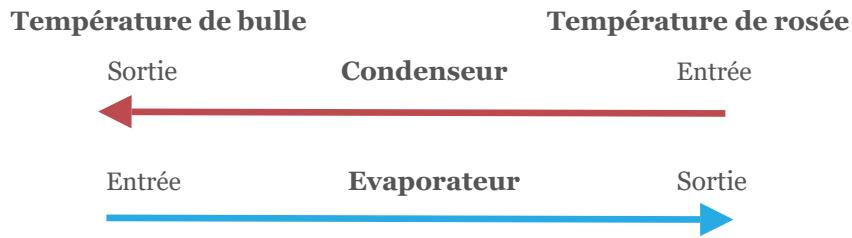
3.

Cette distinction n'existe pas avec les fluides purs, car la température de bulle est égale à la température de rosée. Il n'en est pas de même avec les fluides zéotropes (fluide à glissement) comme ce sont des mélanges leurs propriétés dépendent de leurs divers constituants et proportions.

À pression constante pendant toute la durée de la condensation, la température diminue.

Le début du condenseur correspond à la température de rosée.

La fin de la condensation correspond à la température de bulle.

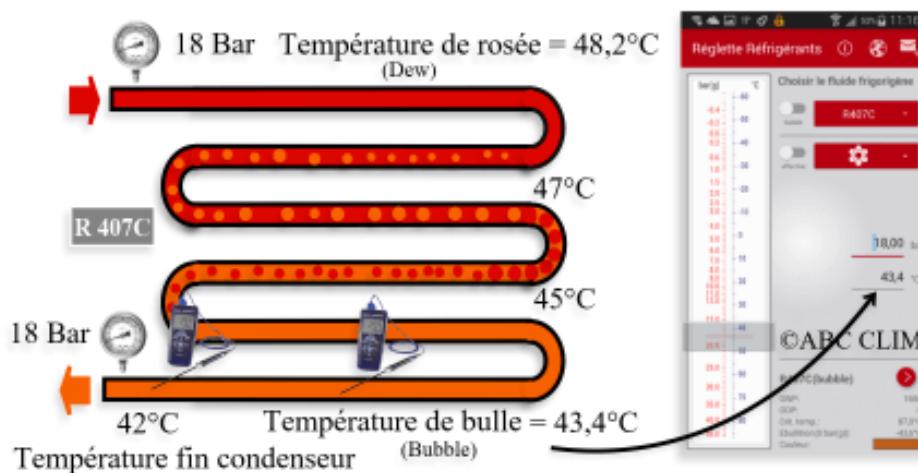


Sous-refroidissement condenseur

Ici pour cette démonstration nous utiliserons un fluide à fort glissement le R 407C.

Au niveau du condenseur, si on mesure le sous-refroidissement en prenant la température de rosée soit 48,2°C et la mesure prise au thermomètre 42°C, on n'aura de fait un résultat erroné.

Il faudra donc prendre comme référence de sous refroidissement la température de bulle à 18 bar (utiliser une réglette ou une application) moins la température prise au thermomètre, $43,4 - 42 = 1,4^\circ\text{C}$, ce qui représente ici un sous-refroidissement faible.



Voir cette vidéo : <https://youtu.be/LVkHHhSgxkg>

Les détendeurs

Le détendeur (organe de détente) permet d'alimenter correctement l'évaporateur en fluide frigorigène, optimise son remplissage en tenant compte de la charge thermique.

Le passage du liquide arrive à la buse (orifice calibré) à travers un passage parfois inférieur au millimètre .Cela induit une forte chute de pression. Le fluide se vaporise partiellement à l'entrée de l'évaporateur. La vaporisation du fluide réduit sa température. Cette vaporisation et cette diminution de température ce fait sans échange d'énergie avec l'extérieur.

Exemple:

Sur un détendeur on a, à l'entrée 0,5 kg/h de fluide à 30 °C, à la sortie on aura détendeur on a 0,5 kg/h de fluide à - 5°C.

Le capillaire

Essentiellement utilisé dans les petites installations de faibles puissances c'est l'organe de détente (détendeur) le plus simple car il est constitué uniquement d'une longueur de tube de très petit diamètre (0,5 à 2 mm intérieur) dont la longueur est calculée pour la puissance à fournir.

Cet organe de détente très fiable ne possédant pas d'organe mécanique celui-ci fournira un débit de fluide constant, la surchauffe sera variable ce qui est un inconvénient, car ce type d'organe de détente ne permet pas d'ajuster l'injection du liquide dans l'évaporateur en fonction de la variation de la charge thermique et des conditions de refroidissement du condenseur. Le circuit frigorifique doit être parfaitement propre et déshydraté si l'on ne veut pas voir le capillaire se boucher. Le capillaire n'interrompt pas la communication entre la BP et la HP à l'arrêt le fluide peut donc s'écouler du condenseur vers l'évaporateur ce qui permet un équilibre des pressions et facilite le redémarrage du compresseur et implique aussi que la charge en fluide soit effectuée de façon très précise d'autant que les installations avec capillaire ne possèdent pas de bouteille accumulatrice.

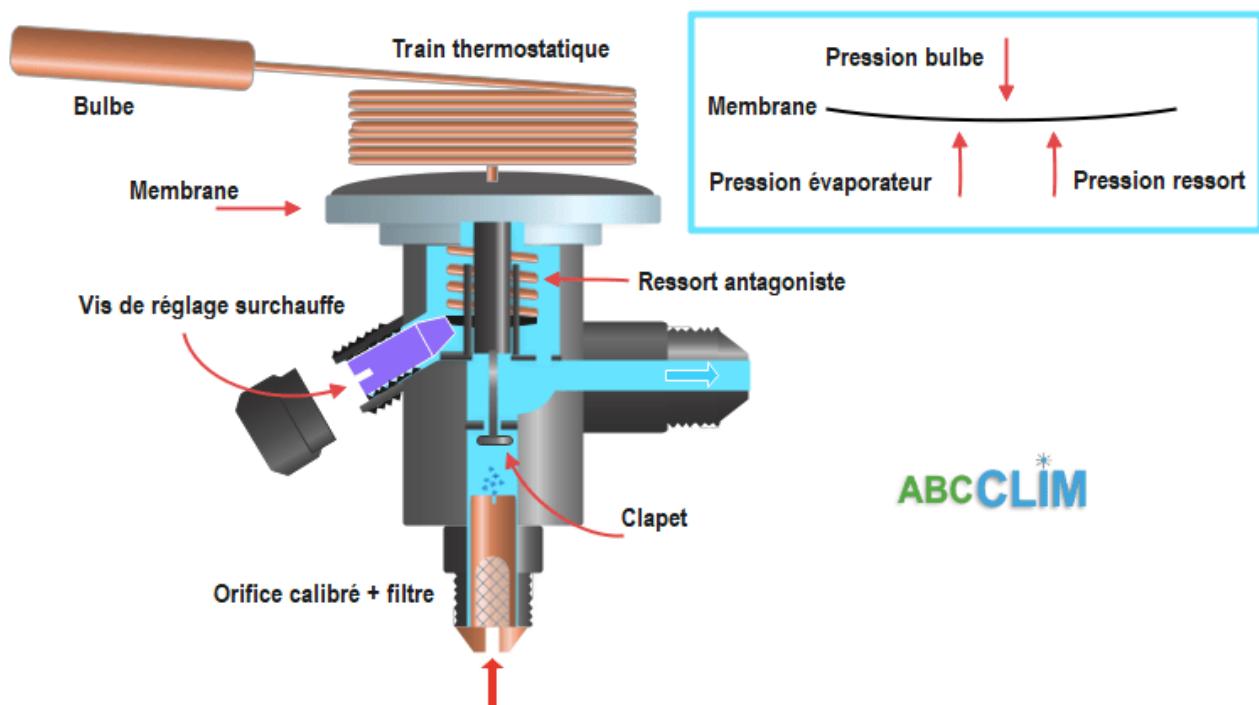
Le détendeur thermostatique à égalisation interne

Le liquide arrive au détendeur en liquide sous-refroidi puis se détend au passage dans l'orifice du détendeur (tailles des buses dans l'ordre croissant : 00, 01, 02, 03, 04, 05, 06), la pression chute et le liquide se vaporise .

Le bulbe du détendeur doit être positionné en fin d'évaporateur pour assurer une alimentation en fluide et de maintenir une surchauffe correcte rappelons que la surchauffe représente la différence entre la température mesurée au bulbe du détendeur et la température d'évaporation lue au manomètre BP cette différence est comprise entre 5 et 8 degrés.

Force d'ouverture : pression régnant dans le train thermostatique qui s'exerce de haut en bas.

Force de fermeture : pression évaporateur + la force de poussée du ressort réglée par une vis, qui s'exerce de bas en haut.



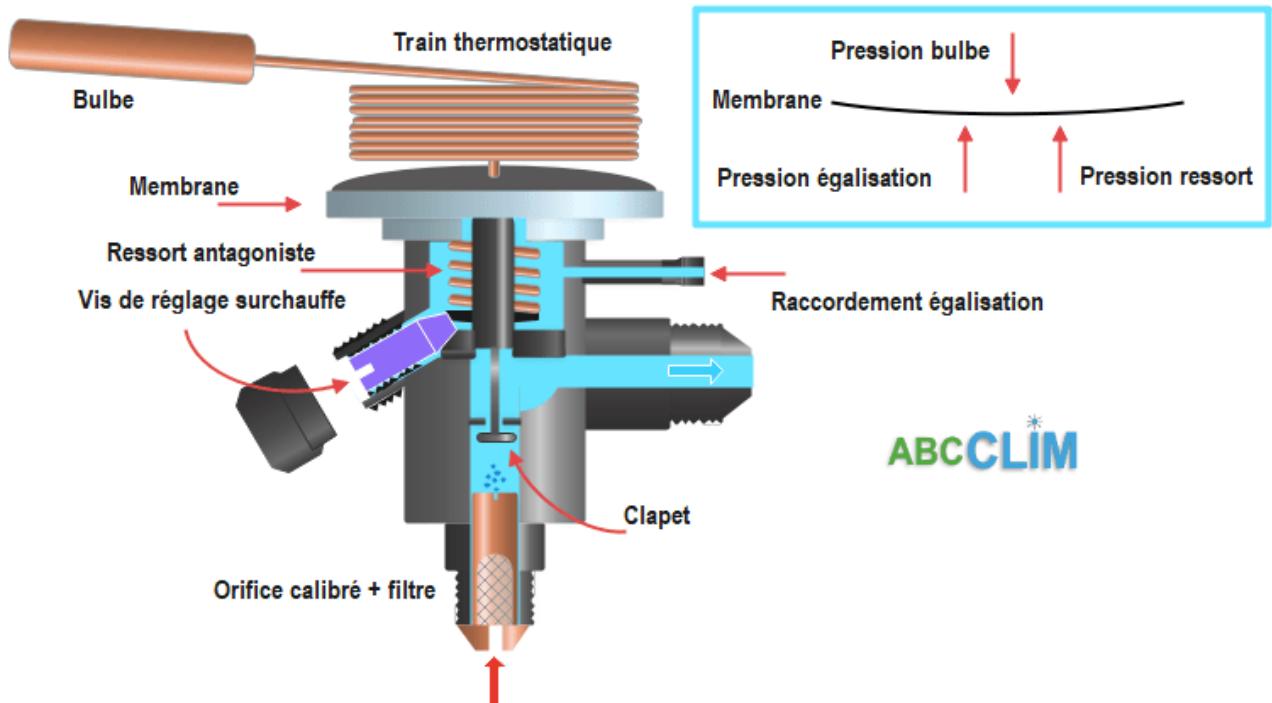
Détendeur à égalisation externe :

Le détendeur à égalisation externe est préconisé dans le cas d'utilisation d'un évaporateur à forte perte de charge :

- Evaporateur à plusieurs rangs
- Evaporateur à plaque
- Evaporateur muni de distributeur de liquide.

Ce détendeur ne supprime pas les pertes de charge, mais permet seulement de les compenser. La différence importante entre un détendeur à égalisation interne et externe c'est la présence sur le détendeur à égalisation externe d'un raccordement relié par un tube de petite dimension à la fin de l'évaporateur c'est donc la pression régnant en fin d'évaporateur qui agira la fermeture du détendeur avec la pression du ressort.

Notons que la prise de pression doit être raccordée sur la tuyauterie en sortie d'évaporateur après le bulbe du train thermostatique.



Force d'ouverture : pression régnant dans le train thermostatique (bulbe)

Force de fermeture : pression en fin d'évaporateur + la pression de poussée du ressort réglée par une vis.

Détendeur thermostatique à égalisation interne :

<https://youtu.be/D6o3RHVK4ow>

Détendeur thermostatique à égalisation externe :

<https://youtu.be/k-nwh586ai4>

Positionnement du bulbe

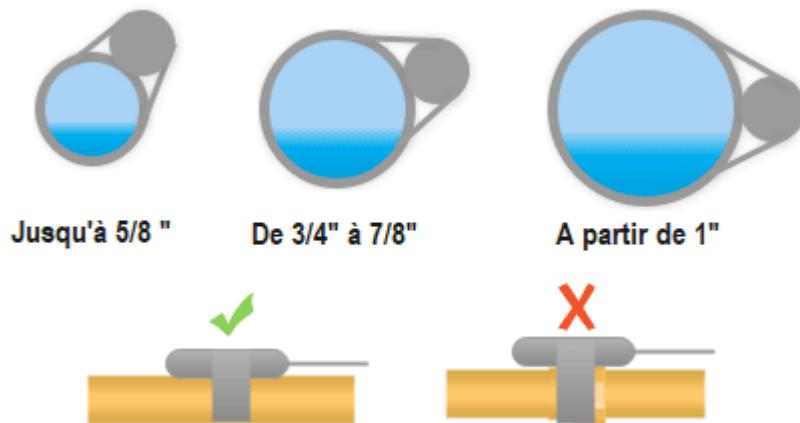
Pour assurer le bon fonctionnement d'un détendeur, le bulbe du train thermostatique doit être en contact intime avec la tuyauterie, vous avez certainement déjà remarqué que le bulbe d'un détendeur présente une partie échancrée, et bien c'est cette partie qui doit être placée sur la tuyauterie d'aspiration.

Le bulbe doit être installé à contre-courant du sens d'écoulement du fluide pour bien entendu améliorer l'échange. Quand le diamètre du tube d'aspiration est inférieur à 3/4 de pouce le bulbe doit être installé dans la position 13h (cadran d'une montre) c'est-à-dire sur la partie supérieure de la tuyauterie, si son diamètre est compris en 3/4 " et 7/8" le bulbe sera installé cette fois-ci dans la position 14 h. A partir de 1" mettre le bulbe dans sur les 15 h. Le bulbe doit déterminer la température de la vapeur d'aspiration surchauffées.

Le bulbe doit être maintenu fermement en position et ne doit pas bouger. N'utiliser que le type de fixation fournie avec le détendeur pour fixer le bulbe, c'est généralement une fine bandelette d'aluminium ou de laiton qui a aussi pour fonction d'améliorer l'échange thermique entre la tuyauterie et le bulbe.

Isolé le tout, bulbe et tuyauterie dans un manchon du type élastomère ou bande isolante afin d'éviter les perturbations.

Dans le cas d'une alimentation par le haut et d'une ligne d'aspiration remontant à la verticale on peut prévoir d'installer une trappe à liquide, le bulbe étant installé avant ce dispositif, ceux-ci pour éviter des dysfonctionnements au niveau du détendeur.



Charge du train thermostatique

La charge du train thermostatique (bulbe + capillaire) des détendeurs n'est pas toujours identique. Nous distinguons quatre types de charge.

- Charge standard = liquide
- Charge MOP = Charge liquide limitée
- Charge absorption= gaz inerte + absorbant
- Charge antipompage= charge MOP + élément poreux

Charge standard :

C'est le type de charge la plus commune, le train thermostatique est rempli de liquide (même fluide que l'installation) de telle sorte que celui-ci ne se vaporise que partiellement dans le bulbe, ce type de charge permet une réaction rapide aux variations de température, mais présente l'inconvénient après un arrêt prolongé de surcharger le compresseur au démarrage. On peut résoudre cet inconvénient en régulant l'installation en fonctionnement "pump down".

Charge MOP:

La charge MOP quant à elle est une charge en liquide calculée de telle manière que tout le liquide soit vaporisé dans le bulbe à une température comprise 10 et 15°C.

En dessous du point MOP généralement 5°C au-dessus de la plage de fonctionnement du détendeur, celui-ci régule normalement, au-dessus de ce point la surchauffe n'est plus contrôlée, le détendeur se ferme pour ouvrir en dessous du point MOP.

Type de détendeur plutôt utilisé pour limiter la surcharge des compresseurs au démarrage dans les installations négatives (arrêt prolongé, retour dégivrage).

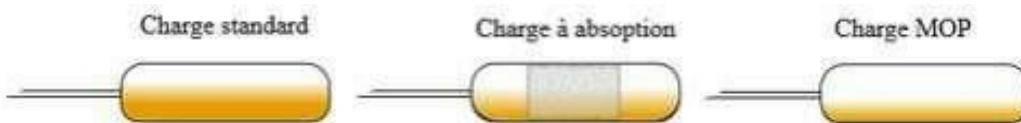
Charge à absorption :

Le bulbe est rempli avec un gaz inert (anhydride carbonique) et contient un corps absorbant, ce corps solide permet suivant la température du bulbe d'absorber ou de libérer ce gaz qui permettra d'actionner le mécanisme du détendeur afin de contrôler la surchauffe.

La charge à absorption ne réagit que très peu aux brusques variations de température bien mieux qu'une charge en liquide.

Charge antipompage :

C'est en fait une charge MOP ou vapeur qui a la particularité par l'adjonction d'un matériau très poreux à l'intérieur du bulbe d'augmenter le temps d'ouverture et d'accélérer le temps de fermeture du détendeur, limitant ainsi le pompage du détendeur, l'inconvénient c'est que le temps de réponse du détendeur est parfois long.



Détendeur MOP

Le détendeur à charge MOP "Maximun Operating Pressure" permet de maintenir une pression d'aspiration dans une fourchette déterminée en fonction d'un réfrigérant et d'une température de fonctionnement.

Ce type de détendeur est plus particulièrement utilisé dans les installations négatives, car les compresseurs disposent de moteurs électriques prévus pour des fonctionnements à basse ou très basse température, des hausses de pressions intempestives et donc de températures surtout après dégivrage pourraient provoquer à la longue une surchauffe des bobinages et une détérioration prématuée des compresseurs.

Au point de vue technique la seule différence entre un détendeur standard et un détendeur MOP réside dans le fait que la charge contenue dans le bulbe du train thermostatique du détendeur à charge MOP est plus faible.

Fonctionnement:

En dessous du point(pression)MOP,le détendeur régule comme un détendeur traditionnel.Au dessus du point MOP, l'augmentation de la température du bulbe n'entrainera qu'une faible variation du degré d'ouverture du détendeur, la surchauffe n'est plus contrôlée, le détendeur MOP ferme jusqu'à ce que la pression d'évaporation redescende en dessous du point MOP.

Détendeur électronique

C'est un type de détendeur fiable, mais surtout très précis, utilisé notamment dans les systèmes à volume de réfrigérant variable, les split-system, les multisplits, mini VRV ,pompe à chaleur...etc

Deux approches existent le détendeur à impulsion ici c'est le temps d'ouverture qui déterminera la surchauffe et le détendeur pas à pas là c'est le degré d'ouverture.

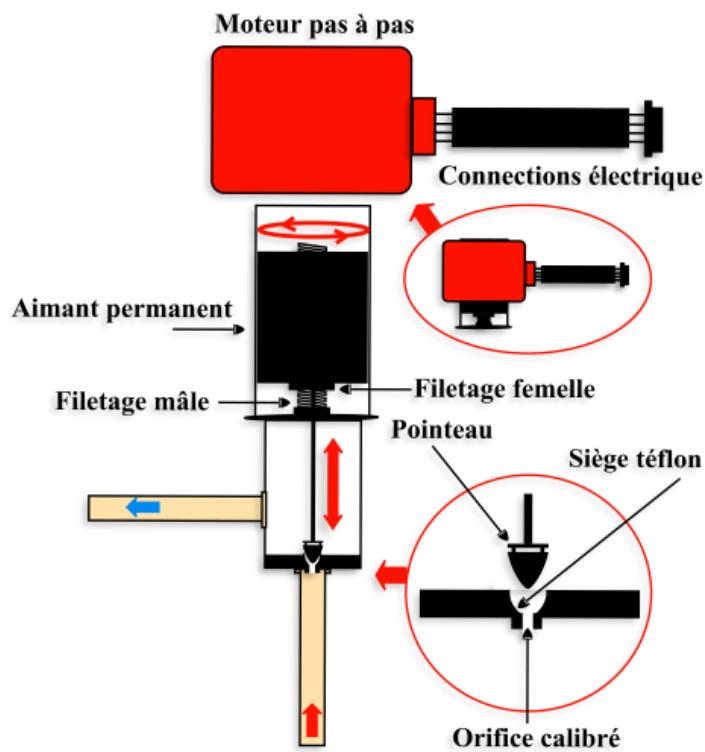
Composition d'un détendeur électronique :

- Un corps de vanne.
- Une électrovanne ou un moteur pas-à-pas qui agissent comme actionneurs.
- Un ensemble de sondes ou prises de pression (entrée ,sortie évaporateur)
- D'un régulateur interpréitant les données via un programme qui agit sur le moteur du détendeur.

Le détendeur (pas à pas) :

Grâce aux fonctions intégrées dans le régulateur (action PI OU PID), la vanne se positionne rapidement et de façon très précise. Cette vanne est équipée d'un orifice qui assure un débit dans une large plage de puissance ,la position de la vanne détermine la puissance à délivrée est fonction du nombre de pas d'ouverture.

Ce pas d'ouverture ou de fermeture correspond à une rotation de $1,5^\circ$ à $1,8^\circ$ ce qui explique le nombre très important de pas disponibles et du coup une qualité de réglage inégalable. Existe en bi-flow (passage dans les deux sens) pour les pompes à chaleur (pas de by-pass)



Fonctionnement détendeur pas à pas !

<https://vimeo.com/584789935/3de741e68d>

Le détendeur (à impulsion) :

Ce détendeur électronique fonctionne un peu comme une électrovanne, lorsque la bobine est hors tension l'induit n'autorise pas le passage du fluide, l'ouverture de la vanne se fait par des trains d'impulsions plus ou moins long en fonction de la puissance nécessaire. Des impulsions successives engendrent une ouverture continue.

Sondes et transducteurs :

Transducteurs de pression :

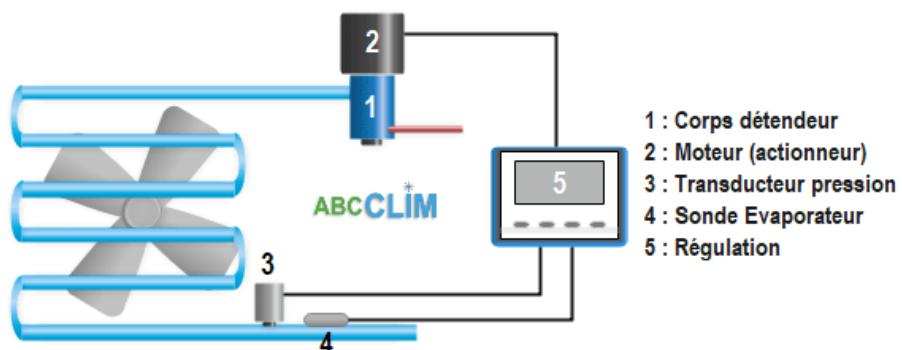
Ce dispositif généralement à trois fils, deux pour l'alimentation du transducteur et un troisième pour le signal de sortie. Lorsque la pression augmente ou diminue la tension envoyée à partir du fil de signal augmente ou diminue, la régulation utilise cette tension pour faire ouvrir ou fermer le détendeur.

Sonde de température :

Ici on utilise principalement la différence de température entre deux sondes (NTC,PTC) pour calculer la surchauffe. La difficulté étant de bien positionner sur la tuyauterie les sondes afin de mesurer la surchauffe de façon fiable.

Autre utilisation du détendeur électronique:

- Régulateur de pression d'aspiration ou de condensation
- Injection de liquide
- Régulation de démarrage

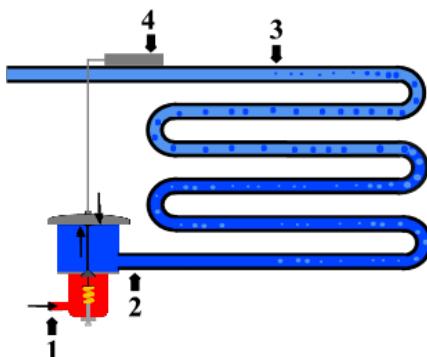


Les évaporateurs

L'évaporateur est un échangeur de chaleur qui absorbe l'énergie provenant du médium à refroidir par le biais d'un liquide s'évaporant après avoir été détendu.

Au début de l'évaporation nous observons un mélange vapeur + liquide, mais la proportion de liquide est à ce moment- là majoritaire , puis petit à petit le fluide absorbe la chaleur contenue dans le médium à refroidir, cet échange va permettre d'inverser la proportion vapeur/liquide, pour avoir finalement en sortie d'évaporateur que de la vapeur qui sera aspiré par le compresseur.

La température de l'eau ou de l'air que l'on veut refroidir étant plus élevée que celle régnant dans l'évaporateur et sachant qu'un transfert d'énergie s'effectue toujours d'un corps chaud vers un corps moins chaud, alors l'évaporateur吸orbe l'énergie environnante.



Repère 1 : le liquide frigorigène arrive au détendeur en liquide sous-refroidi.
Repère 2 : le liquide se détend et se vaporise par abaissement brusque de la pression.

Repère 2 et 3 : au fur et à mesure de l'avancement du fluide dans l'évaporateur, celui-ci change d'état par échange avec l'air (ou l'eau, la saumure, etc.).

Repère 3 : nous sommes à ce point à 100 % de vapeur.

Repère 3 et 4 : c'est la zone de la surchauffe qui rappelons-le se mesure en prenant la différence de température prise au thermomètre entre le repère 4 et la pression d'aspiration du compresseur traduite en degrés.(la surchauffe est comprise entre 5 et 7 degrés suivant les applications)

Exemple :

Température prise au thermomètre au point 4 = 6,5 °

Pression d'aspiration 4 bars au R22 = 0°

Surchauffe : $6,5^\circ - 0^\circ = 6,5^\circ$

On distingue deux familles d'évaporateurs suivant le fluide à refroidir et deux modes de fonctionnement:

Les évaporateurs à eau

- les évaporateurs double tube (évaporateurs coaxiaux)
- les évaporateurs du type serpentin
- les évaporateurs multitungulaires
- les évaporateurs du type échangeur à plaques

Les évaporateurs à air

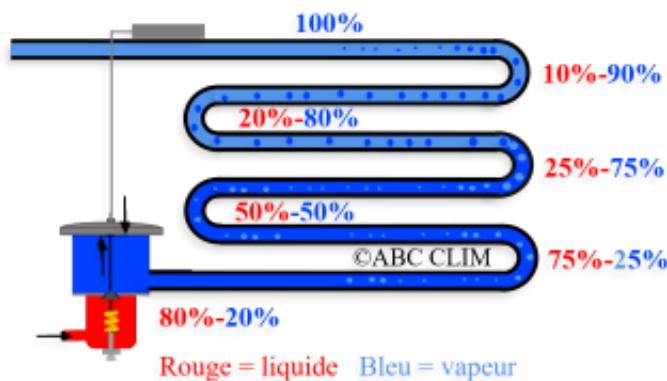
- les évaporateurs à air à convection naturelle
- les évaporateurs à air à convection forcée

Suivant le mode de fonctionnement de l'évaporateur, on distingue

- les évaporateurs à détente sèche ou à surchauffe
- les évaporateurs noyés

Nous voyons sur le dessin ci-dessous les proportions liquide-vapeur régnant dans l'évaporateur, celui-ci est rempli d'un mélange de liquide et de vapeur, mélange d'autant plus riche en vapeur que l'on s'éloigne du détendeur. Plus le mélange est riche en liquide en sortie de détendeur plus l'échange sera meilleur. Notons qu'au niveau de la température d'évaporation celle-ci sera identique tout au long de l'évaporation en cas de fluide pur, par contre en cas de mélange zéothermique cette température augmentera, c'est le glissement de température.

Proportion liquide/vapeur



Évaporateur à air

Évaporateur circulation naturelle ou évaporateur statique:

Ils sont généralement utilisés pour la réfrigération de vitrine de conservation ou la vitesse doit être faible, comme les meubles des pâtisseries, des fromageries, les arrières comptoirs de débit de boissons. Des ailettes sont serties sur les tubes de cuivre constituant l'évaporateur, deux flasques de chaque côté de l'évaporateur maintiennent l'ensemble.

Évaporateur circulation d'air forcée (1):

Ils sont constitués d'un faisceau de tubes cuivre généralement rainurés intérieurement pour améliorer l'échange(air, gaz),des ailettes en aluminium sont serties sur ce faisceau leur écartement(3 à 8 mm)est généralement inférieur à celui des évaporateurs circulation naturelle.

Un ou plusieurs ventilateurs pulsent l'air à travers la chambre froide.

Ils sont utilisés en froid positif et négatif.

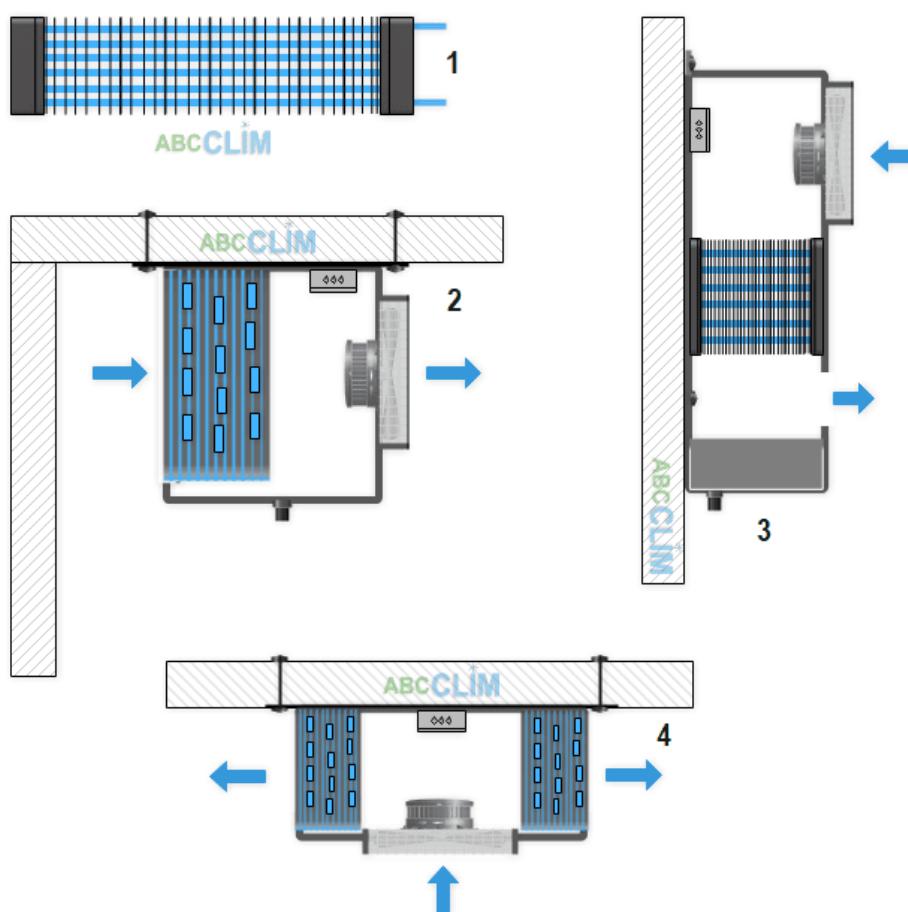
Le dégivrage des batteries est souvent assuré par des résistances électriques incorporées dans la batterie ou par gaz chauds.

Évaporateur mural(3)

Le faisceau de tubes et d'ailettes constituant l'évaporateur est monté dans une carrosserie métallique ou polyester ou ABS,en partie basse un bac recueille les eaux de condensation ou de dégivrage, en partie haute le ventilateur aspire et pulse l'air réfrigéré dans le local.

Évaporateur plafonnier (2,4)

L'ensemble tube et ailettes formant la batterie évaporateur est insérer dans une carrosserie, le ou les ventilateurs et la batterie sont à l'opposé l'un de l'autre, le dessus permet la fixation de l'évaporateur au plafond et le dessous permet de recueillir les eaux de condensation et de dégivrage.



Les évaporateurs à eau

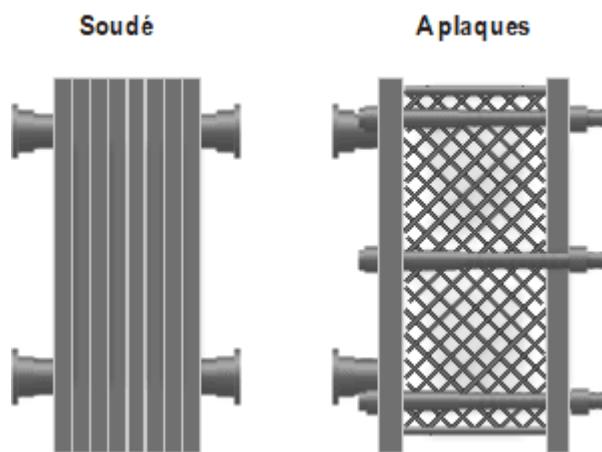
Évaporateurs coaxiaux en spirale

Dans ces évaporateurs, deux tubes de cuivre coaxiaux sont enroulés en spirale. Le fluide frigorigène qui se vaporise circule dans le plus petit tube (le tube intérieur) et le fluide caloporteur (eau glycolée) circule à contre-courant dans l'espace annulaire entre les deux tubes.

Ces évaporateurs présentent des difficultés d'entretien et il faut utiliser de l'eau dépourvue de tartre.

Évaporateurs à plaques brasées

Ils se composent d'une série de plaques d'acier inoxydable assemblées par brasure (un métal d'apport). L'eau glycolée et le fluide frigorigène en évaporation circulent à contre-courant de chaque côté de ces plaques.



La conception de ces échangeurs (à plaque de tout types) favorise des coefficients d'échange thermique très élevés avec une différence de température très faible entre les deux fluides. Ceci en fait des appareils très performants et compacts, en plus d'être robustes. Un autre avantage est les pertes de charge sur l'eau qui sont en général assez faibles. Ces évaporateurs sont aussi suffisamment étanches pour permettre l'utilisation de fluides frigorigènes.

La petite taille des canaux facilite cependant l'encrassement. Les circuits doivent donc être très propres ou alors on peut prévoir des filtres à l'entrée de l'eau glycolée dans l'évaporateur. Un autre inconvénient est la non-résistance au gel de ces échangeurs. De l'antigel doit donc être présent en quantité suffisante et de façon homogène dans les circuits de capteurs enterrés.

Évaporateurs multitubulaires

Les évaporateurs multitubulaires sont aussi appelés évaporateurs à épingles (à cause de la forme du faisceau tubulaire). Ici le fluide frigorigène circule dans les tubes, à l'inverse de l'évaporateur multitubulaire noyé. Les tubes sont en général munis d'ailettes intérieures afin d'augmenter la surface d'échange. L'évaporateur est alimenté par un détendeur thermostatique, qui permet d'adapter le débit de fluide frigorigène entrant dans l'évaporateur et donc de contrôler la surchauffe des vapeurs.

Les évaporateurs frigorifiques !
<https://vimeo.com/584784424/052doof8c8>

Évaporateurs à plaques eutectiques

Les évaporateurs à plaques eutectiques permettent de stocker et de restituer de l'énergie sous forme de chaleur latente. Évaporateurs très utilisés pour le transport des denrées périssables, notamment quand une réserve de froid est nécessaire, container, véhicules ambulants, etc.

Stockage d'énergie par chaleur latente.

Le stockage de l'énergie sous forme sensible (température) dans un médium comme l'eau demande un grand volume, alors que sous forme de chaleur latente (changement d'état liquide/solide, solide/liquide) la quantité d'énergie emmagasinée est beaucoup plus importante.

Cela s'explique par le fait que la chaleur sensible d'un fluide donné est toujours inférieure à sa chaleur latente, l'eau par exemple à une chaleur sensible de 4,18 kJ/kg.K alors que sa chaleur latente est de 335 kJ/kg.k soit quatre vingt plus importante, on voit bien ici le bénéfice que l'on peut en retirer.

Le stockage et de déstockage d'énergie par chaleur latente s'effectue en deux phases, solidification et fusion.

Solution et évaporateur eutectique

Une solution eutectique est un mélange généralement de 2 corps qui se solidifient et fondent à des températures qui dépendent de la concentration de cette solution.

Dans un corps pur, de l'eau par exemple il faut une grande quantité d'énergie pour arriver au point de congélation correspondant à la phase solide, la glace, et dans le cas inverse pour fondre cette glace libérera une grande quantité d'énergie. Un mélange eutectique, par exemple de l'eau et un sel, se comportera de la même façon, mais ici il n'y aura pas deux changements d'état, solide et liquide, mais trois, deux solides distincts qui se transforment en un liquide.

Constitution d'un évaporateur à plaque eutectique

L'évaporateur est constitué d'un caisson plat étanche avec un serpentin dans lequel circule le fluide frigorigène alimenté de façon traditionnelle par un compresseur et le tout baigne dans une solution eutectique ou saumure généralement un mélange d'eau et d'un sel. Cette solution se solidifie (solidification, stockage) à basse température généralement de -1 à -30, ce point de congélation dépend des proportions du mélange qui sont rigoureusement définies.

Quant à la température décongélation (fusion, déstockage) elle varie de -10 à - 25°C suivant les applications.



La surchauffe de l'évaporateur

La surchauffe est un renseignement important sur les conditions de fonctionnement d'un évaporateur.

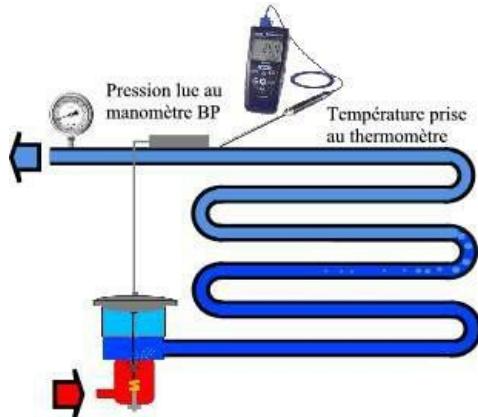
Elle représente une augmentation de la température des vapeurs aspirées à la fin de l'évaporateur sans augmentation de la pression, c'est aussi ce qui détermine la bonne alimentation en fluide de l'évaporateur.

La surchauffe représente la différence entre la température mesurée avec un thermomètre au bulbe du détendeur et la température d'évaporation lue au manomètre BP, (relations : pression, température).

Nb : On peut aussi la prendre avec un thermomètre à 2 sondes dont l'une sera située à l'entrée de l'évaporateur et l'autre à côté du bulbe du détendeur.

On considère que les pertes de charge des tuyauteries sont négligeables, si celles-ci sont importantes il sera nécessaire de mettre une vanne schrader en sortie d'évaporateur pour avoir une lecture fiable.

Elle est généralement comprise entre 5 et 8 °C.



Surchauffe trop importante

Le détendeur est fermé, il ne laisse passer que peu de liquide ou l'installation n'est pas suffisamment chargée en fluide, la puissance frigorifique est faible, la différence entrée, sortie sur l'évaporateur est faible, la BP est faible, l'installation n'arrive pas à température.

Surchauffe trop faible

Le détendeur est grand ouvert, il laisse passer trop de liquide ou l'installation est trop chargée en fluide, la puissance frigorifique est bonne, mais le compresseur risque des coups de liquide.

Surchauffe totale

Elle correspond à la différence de température prise sur le tube d'aspiration entre le bulbe du détendeur et l'entrée du compresseur, la surchauffe totale ne doit pas dépasser 15 K car les vapeurs aspirées servent à refroidir le compresseur.

Glissement de température (fluide zéotrope)

Le glissement de température est une spécificité des fluides zéotrope, ces fluides ne se comportent pas comme des fluides homogènes ou purs pendant les changements d'état...la condensation et l'évaporation.

Les différents fluides composant un fluide zéotrope changent d'état à des températures différentes d'où une dérive de la température au niveau de l'évaporateur et du condenseur.

Par exemple le R407C à un glissement de 4 à 7°C (pression, température) c'est un mélange constitué de 23% de R23, 25% de R125 et 52% de R134a, le R23 s'évapore à -82,1 °C, le R125 à -48,5°C, le R134 à -26,5°C ces différences de températures d'évaporation sont de natures à influencer le comportement dans la phases de changement d'état. Au contraire le R410, (fluide zéotrope) est constitué d'un mélange de fluide avec des températures d'évaporation et de condensation très proches, ce qui fait que son glissement de température est très faible, généralement considéré comme négligeable.

Température de bulle et température de rosée

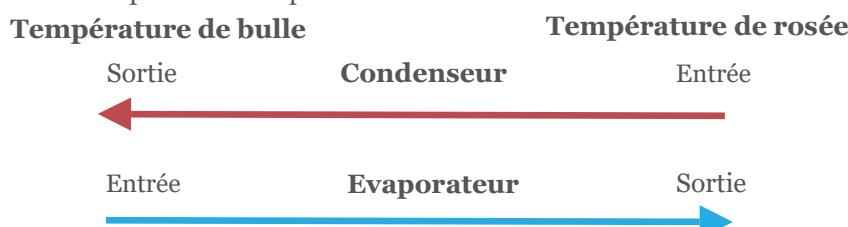
Avant toute chose il convient de préciser deux termes importants la température de bulle et la température de rosée, cette distinction n'existe pas avec les fluides purs, car la température de bulle est égale à la température de rosée.

Il n'en est pas de même avec les fluides zéotropes (fluide à glissement) comme ce sont des mélanges leurs propriétés Dépendent de leurs divers constituants et proportions.

À pression constante pendant toute la durée de l'évaporation, la température varie et augmente.

Le début de l'évaporateur correspond à la température de bulle.

La fin de l'évaporateur correspond à la température de rosée.



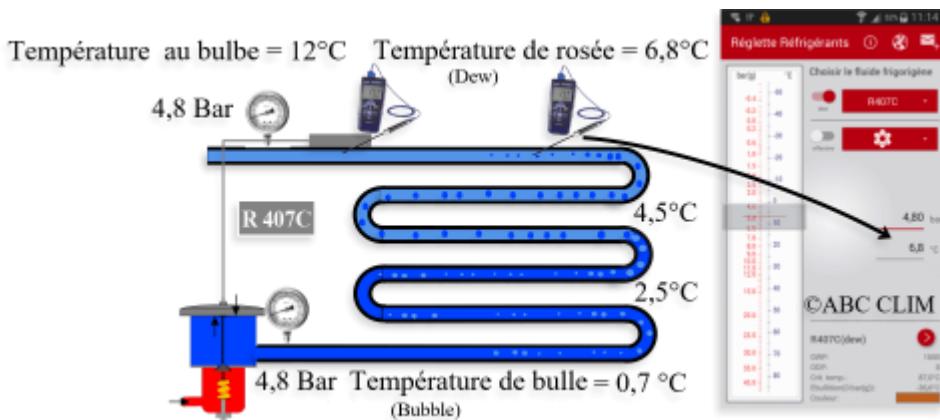
Surchauffe à l'évaporateur (fluides à glissement)

Ici pour cette démonstration nous utiliserons un fluide à fort glissement le R 407C.

Si l'on essaie de mesurer la surchauffe comme si l'on avait affaire à un fluide pur, on aurait dans ce cas une surchauffe égale à $11,3^{\circ}\text{C}$ ($12 - 0,7^{\circ}\text{C}$), ce qui représente une surchauffe très élevée.

Mais avec un fluide à glissement la surchauffe est égale à la température au bulbe(thermomètre) moins la température de rosée à 4,8 Bar (donnée réglette) et dans ce cas le résultat n'est pas du tout le même.

Ici on aurait $5,2^{\circ}\text{C}$ ($12 - 6,8^{\circ}\text{C}$) ce qui est tout de même plus conforme comme résultat.



Voir cette vidéo : <https://youtu.be/LVkJHhSgxkg>

Notes :

Organes du circuit frigorifiques

Le déshydrateur

C'est un organe important du circuit frigorifique qui a trois principales fonctions

: 1) Déshydrater le circuit (supprimer l'humidité):

L'humidité est l'ennemie du frigoriste, elle favorise la formation d'acide , dégrade l'huile des compresseurs ou provoque des dysfonctionnements au niveau détendeur.

Les matières déshydratantes les plus utilisées sont:

- L'alumine activée, l'humidité se fixe par capillarité à la surface de l'absorbant, c'est bon absorbant qui perd de ses performances en présence d'huile.

- Le gel de silice, l'humidité se fixe aussi par capillarité et son efficacité est plus grande sur le liquide que sur le gaz.

- Le crible (ou tamis) moléculaire a un pouvoir absorbant très supérieur, peut absorber jusqu'à 20 % de son poids en vapeur d'eau. Ce tamis poreux laisse passer les molécules de réfrigérant mais pas celles d'humidité plus volumineuses.

2) Neutraliser les acides:

La formation d'acide est non seulement néfaste pour l'huile de lubrification des compresseurs, mais aussi pour les enroulements du moteur du compresseur donc il est nécessaire d'utiliser un agent antiacide, c'est l'oxyde d'alumine qui joue le rôle d'antiacide.

3) Filtrer les fines particules (cuivre... etc)

Une bonne filtration permettra de maintenir le circuit propre, en stoppant tout corps étranger, ce qui garantira un bon fonctionnement des divers organes, cette fonction est assurée par un filtre à tamis piégeant les particules supérieures à 12µm .

Le choix d'un déshydrateur pour une installation donnée, doit tenir compte de la puissance de l'installation, du type de fluide et de sa quantité .



Images Carly

1. Déshydrateur classique

2. Déshydrateur nettoyage "Burn Out", liquide, aspiration

Changement périodique, on notera la présence de prises schrader afin de vérifier l'encaissement du déshydrateur (Delta P entrée-sortie).

3. Déshydrateur bouteille

Permet d'avoir en un seul organe un déshydrateur et une bouteille accumulatrice ,plutôt conçue pour les petites installations. Montage en position verticale, avec l'entrée du fluide frigorigène en partie supérieure.

4. Déshydrateurs cartouche, aspiration.

Filtre de nettoyage et de décontamination du circuit frigorifique.

Aimant pour les particules acier, filtre fin 10µm, anti-acide, charbon actif contre l'humidité

Les cartouches sont à changées en fonction des problèmes rencontrés, boue, particules diverses, phénomène de cuivrage, enroulements grillés.

5. Déshydrateur cartouche, liquide.

Déshydrateur classique à cartouche interchangeable.

6. Déshydrateur "Bi-flow"

Utilisés dans les pompes à chaleur, n'a pas de sens de montage le fluide peut circuler dans les deux sens ,le déshydrateur garde ces propriétés de nettoyage.

Montage:

Un déshydrateur doit être monté plutôt en position verticale, entrée en haut afin que le fluide passe entièrement dans l'agent déshydratant. Le sens de montage est indiqué par une flèche, pour garder l'intégrité de ses propriétés le déshydrateur doit rester bouché jusqu'au moment du montage .

Vidéo : <https://youtu.be/9gtXs7NYWhs>

Le voyant liquide

Il permet de contrôler:

1. l'état du fluide frigorigène dans la conduite liquide de l'installation
2. la présence d'humidité dans le circuit frigorifique
3. l'écoulement régulier de l'huile au carter, si le voyant est installé sur le retour d'huile qui relie le séparateur d'huile au compresseur.

Il est en laiton matricé à chaud ,le témoin en verre est soit fondu directement dans le corps voyant soit comprimé entre une bague métallique est le corps du voyant dont l'étanchéité est garantie par un joint.

Fonctionnement :

Le voyant liquide est constitué d'un élément sensible (sel chimique) qui change de couleur en fonction de la teneur en humidité du circuit. Quand celui-ci est de couleur verte le circuit est considéré comme sain, quand il vire au vert clair il y a risque d'humidité, mais quand celui-ci devient jaune on doit changer le déshydrateur .

La présence de bulle à travers le voyant indique ou un manque de fluide ou une évaporation partielle du fluide.

Rappel des taux d'humidité acceptables exprimés en ppm (partie par million d'eau dans le fluide frigorigène) :

- R404A: 50 ppm
- R407C : 50 ppm
- R744 : 10 ppm
- R134a : 50 ppm
- R507 : 50 ppm
- R410A: 50 ppm
- R407F : 50 ppm

Couleur: **Vert**

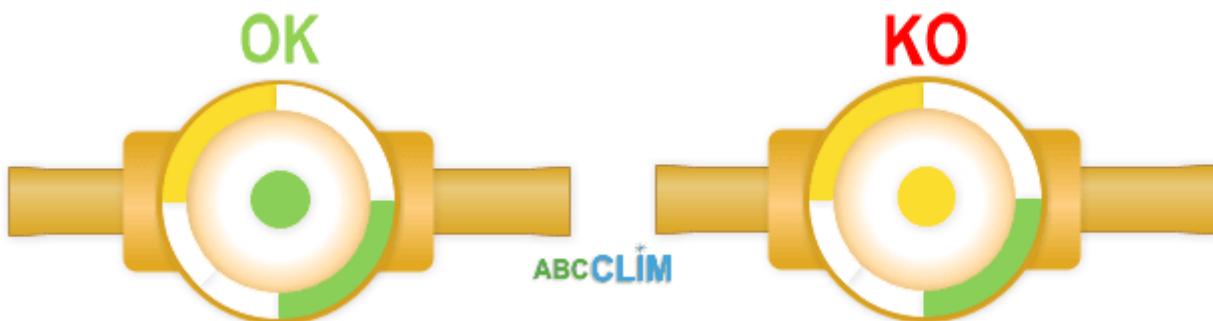
Conditions normales,circuit parfaitement déshydraté.

Couleur: **Vert clair**

Les filtres déshydrateurs ou les cartouches déshydratantes, sont train de se saturer. Il est nécessaire de procéder rapidement à leur changement.

Couleur : **Jaune**

Il y a danger,le circuit est humide et pollué ; une intervention s'impose installer rapidement des nouveaux filtres déshydrateurs.



Bouteille, réservoir liquide

Le réservoir ou bouteille liquide reçoit le liquide venant du condenseur, il est muni d'une vanne avec un tube plongeur qui assure l'alimentation en fluide même en cas de niveau bas de liquide, il existe en version horizontale ou verticale.

Le réservoir liquide compense les variations de volume de fluide en permettant d'alimenter le détendeur en fluide frigorigène de façon correcte, ceci en toutes saisons et au gré des ouvertures et fermetures du détendeur.

Il permet aussi de stocker en cas d'intervention la totalité du fluide de l'installation, c'est pour cela qu'il est toujours équipé d'une vanne de départ liquide.

Calcul capacité d'un réservoir liquide (source Carly).

VE= volume évaporateur

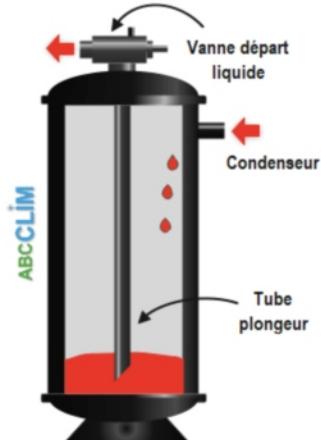
VC= volume condenseur

VL= volume ligne liquide(négligeable si distance courte)

1,25= volume supplémentaire de sécurité

$$V \text{ réservoir} = (VC \times 0.2) + (VE \times 0.8) + VL$$

$$V \text{ réservoir total} = V \text{ réservoir} \times 1,25$$



La vanne électromagnétique ou vanne solénoïde

La vanne électromagnétique ou vanne solénoïde permet d'interrompre l'écoulement du fluide frigorifique, cette vanne a de multiples applications, mais elle est principalement utilisée sur la ligne liquide soit pour éviter la migration du liquide dans l'évaporateur à l'arrêt de l'installation soit elle est utilisée pour le fonctionnement pump down *.

* La vanne solénoïde commandée par thermostat stoppe l'alimentation du liquide, l'évaporateur se vide, la pression descend, le pressostat BP arrête le groupe

Fonctionnement vanne à action directe :

Au repos (non alimenté) un clapet connecté à une masselotte en fer doux (induit) repose sur son siège, la pression présente dans la cheminée de l'induit conjuguer à l'action du ressort permet la fermeture de la vanne.

Lorsque la bobine est alimentée, l'induit est attiré par le champ magnétique créé, la force du champ magnétique étant plus importante que les forces combinées de la pression régnant dans la cheminée de l'induit et du ressort, le clapet se soulève et permet l'écoulement du fluide.

Montage :

Les vannes solénoïdes se montent sur la ligne liquide ou d'aspiration de l'évaporateur à réguler, mais le montage sur ligne liquide est plus courant.

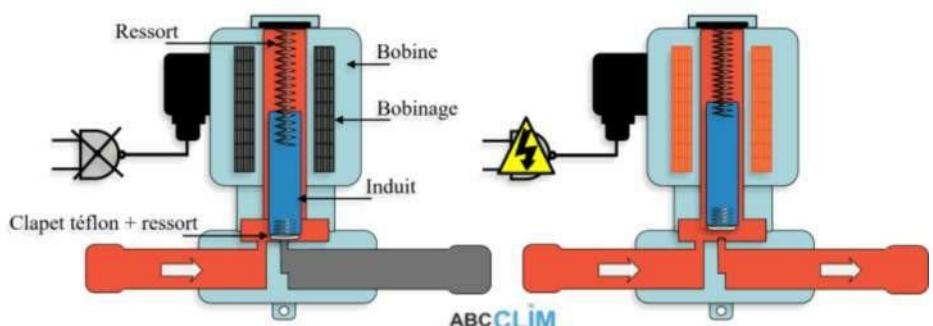
Le sens de montage est indiqué par une flèche sur le corps de la vanne celui-ci doit être respecté pour éviter des pertes de charge trop importantes et un fonctionnement erratique.

Cette vanne doit être montée en position horizontale de manière que la masselotte appuie verticalement sur son siège (Sauf contre-indication particulière).

La bobine une fois alimentée doit être positionnée sur sa cheminée, car dans le cas contraire celle-ci pourrait très rapidement être en court-circuit, la bobine ne pouvant dissiper sa chaleur sur la cheminée, la bobine chauffera exagérément jusqu'à la panne.

<https://youtu.be/cLBrZZMhm8w>

VEM "action directe"



Échangeur de chaleur

Le principe général d'un échangeur s'appuie sur la transmission de la chaleur entre deux fluides par contact intime, la quantité de chaleur échangée dépend de la surface d'échange, des caractéristiques thermiques des fluides, des températures et des coefficients d'échange des fluides.

Rôle de l'échangeur:

L'échangeur de chaleur permet de sous-refroidir le fluide frigorigène à l'état liquide à l'entrée du détendeur, ce qui améliore l'alimentation en liquide (absence de vapeur dans le liquide) du détendeur ainsi que les performances de l'évaporateur et du compresseur.

En effet comme on peut le constater sur un diagramme enthalpique l'abaissement de la température du liquide à l'entrée du détendeur permet un gain du coefficient de performance frigorifique .

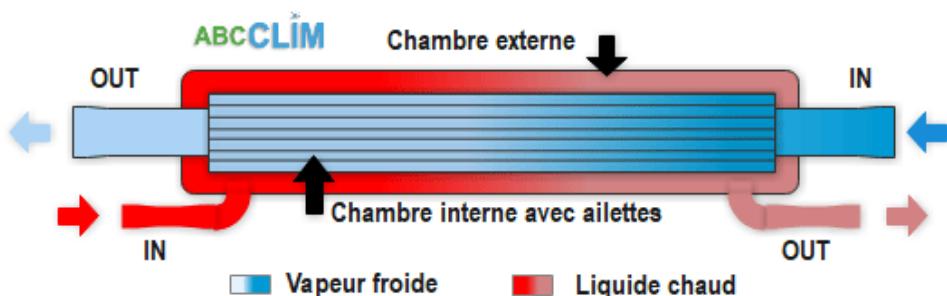
Exemple, pour une installation au R407C si l'on abaisse la température du liquide au détendeur de 25°C à 15°C on augmente la production frigorifique d'environ 7%.

Fonctionnement:

Le fluide frigorigène liquide provenant du condenseur s'écoule dans la chambre externe dans le sens opposé du gaz froid venant de l'évaporateur.

Une chambre interne munie d'ailettes permet d'améliorer l'échange gaz/liquide, en créant des turbulences avec de faibles pertes de charge.

Bien entendu, les deux flux doivent circuler à contre-courant.



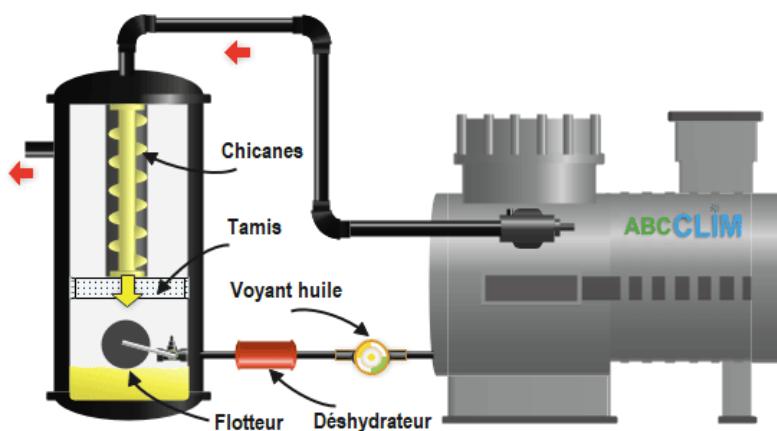
Résistance de carter:

Son rôle est de maintenir l'huile à une température suffisante pour éviter une trop grande miscibilité avec le fluide frigorigène et de ce fait l'huile ne quitte le carter que dans des proportions raisonnables. Les résistances de carter sont utiles aussi en cas de condensation du fluide qui pourrait apparaître dans le cas de carter soumis à des températures plus basses que l'évaporateur.

Séparateur d'huile :

Placé au refoulement du compresseur, il a pour rôle de séparer l'huile contenue dans les vapeurs sortant du compresseur et de la rediriger vers le carter par un dispositif à flotteur.

C'est par deux actions combinées, centrifuge générées par un mouvement hélicoïdal et un changement de direction brusque du flux gazeux que l'huile se dépose au fond du séparateur pour retourner au carter par gravité régulée par un flotteur.



A quoi sert une résistance de carter

Une résistance ou réchauffeur de carter est indispensable pour éviter que le fluide frigorigène migre en trop grande quantité dans le carter, notamment quand les compresseurs sont soumis à des températures plus froides que celle des évaporateurs.

En augmentant la température de l'huile, approximativement 20°C au-dessus de la température ambiante, on augmente sa tension de vapeur ce qui évite à l'arrêt du compresseur que l'huile se sature de fluide frigorigène.

Cette migration est possible en vertu de la paroi froide de Watt, qui stipule que quand deux récipients sont soumis à deux températures différentes le fluide migrera du récipient à la température (pression) la plus élevée vers celui qui a la température (pression) la moins élevée

Résistance de carter, élément indispensable ?

Un mélange d'huile et de fluide frigorigène dans le carter aurait pour cause au démarrage de l'installation un entraînement par miscibilité l' huile, de façon relativement importante hors du carter. L'abaissement de la pression dans le carter entraînerait non seulement le fluide, mais aussi une grande partie de l'huile, d'où la formation de mousse visible au niveau du voyant.

Notons qu'une grande quantité de fluide à l'intérieur peut induire en erreur sur le niveau réel de l'huile, en effet le niveau d'huile sera élevé artificiellement par la présence de fluide.

Pour les compresseurs lubrifiés par pompe à huile, la vaporisation du fluide frigorigène liquide au démarrage risquerait de désamorcer la pompe qui ne pourrait plus lubrifier correctement le compresseur.

Il existe différents types de résistance de carter elles sont généralement autorégulées (température) , elles sont alimentées seulement quand le compresseur est à l'arrêt via un contact auxiliaire (fermé à l'arrêt) situé sur le contacteur de puissance du compresseur.

Types de résistances de carter :

Résistance cylindrique logée dans un doigt de gant en fond de carter du compresseur, celles-ci sont généralement enduites d'une pâte thermique pour améliorer la conduction de la chaleur.

Résistance souple de type cordon chauffant placé à l'extérieur autour du carter maintenue par collier.

Résistance plate rectangulaire placée à l'extérieur sous le carter du compresseur.



Le silencieux de refoulement ou muffler

Le silencieux de refoulement ou muffler est conçu pour éliminer, pour réduire l'amplitude des pulsations des gaz et les ondes à haute fréquence des compresseurs de type alternatifs comme les compresseurs à pistons. Ceux-ci ont tendance à produire des phénomènes pulsatoires, en effet les mouvements des pistons (aspiration, refoulement) engendrent des pulsations du gaz dans les conduites de refoulement. Ces mouvements d'ondulation des gaz provoquent, des ondes sonores, des vibrations internes et externes des tubes Frigorifiques. A termes cela peut dans certains cas causer des ruptures notamment aux points faibles de la tuyauterie.

Constitution d'un silencieux de refoulement

Il est constitué d'une enveloppe en acier qui à pour rôle de permettre l'expansion du gaz, des chicanes ou des plaques internes perforées positionnées à l'intérieur du silencieux font chuter la pression et modifient la vitesse des gaz, réduisant l'amplitude des pulsations et les hautes fréquences.

Leurs performances sont optimales quelle que soit la vitesse de rotation des compresseurs.

Sauf indication du fabricant le montage des silencieux de refoulement est possible de façon verticale ou horizontale. Ceux doivent être installés immédiatement après le compresseur sur le tube de refoulement, fermement maintenu par des fixations, par exemple en amont et en aval du silencieux sur la tuyauterie de refoulement. On peut aussi installer en amont du silencieux, un éliminateur de vibrations (anaconda) mais en fait on voit cela assez rarement.

Critères de sélection d'un silencieux de refoulement :

- Puissance du compresseur
- Vitesse de rotation du compresseur
- Diamètre de la tuyauterie de refoulement
- Type de fluide frigorigène
- Distance entre le compresseur et le condenseur

Éliminateur de vibrations : anaconda

Son rôle est d'éliminer les vibrations dues au travail mécanique du compresseur et aussi réduire les dilatations des tuyauteries. Il est constitué d'un flexible ondulé en acier inoxydable recouvert d'une tresse croisée en fil d'acier.

Clapets de retenue

Les clapets de retenue n'autorisent le passage du fluide frigorigène que dans un seul sens. Il se compose d'un corps dans lequel se trouve un ressort de rappel et un élément(bille, disque). La bille ou le disque obture le passage quand il est appliqué contre un siège par le ressort. Ils sont utilisés en général pour court-circuiter le détendeur inutilisé d'une pompe à chaleur en mode froid ou en mode chaud ou pour le dégivrage par gaz chaud.

Bouteille anti-coup de liquide (ACL)

Le rôle de la bouteille anti-coup de liquide est de protéger le compresseur d'une éventuelle migration de liquide par la conduite d'aspiration ce qui causerait des dégâts irréversibles. La bouteille devra aussi assurer la réevaporation du liquide piégé.

Cet organe est très utile dans les pompes à chaleur au moment de l'inversion de cycle (dégivrage) le compresseur aspire brusquement du liquide, de ce fait le risque de coup de liquide est important, elle est aussi largement utilisée dans les installations à faible surchauffe.

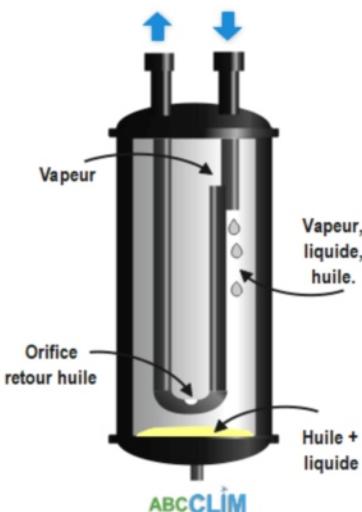
La bouteille anti-coup de liquide est installé entre l'aspiration du compresseur et la vanne quatre voies.

Le liquide qui tombe dans le fond de la bouteille par l'entrée ce vaporisant petit à petit au contact de la bouteille, elle possède une canne d'aspiration qui est percée à son extrémité basse ce trou est appelé "orifice de retour d'huile".

On peut améliorer la réevaporation du fluide frigorigène en entourant la bouteille d'une ceinture chauffante autorégulante ou en faisant passer la ligne liquide par le fond de la bouteille ACL.

Cette deuxième méthode présente l'avantage d'augmenter le sous-refroidissement et donc de diminuer les risques de pré-détente.

On augmente un peu aussi la performance de l'installation frigorifique en augmentant légèrement la puissance frigorifique.



Distributeur liquide

Dans les installations de forte puissance, les constructeurs pour réduire les pertes de charge scindent l'évaporateur en plusieurs parties alimentées par un détendeur unique, la répartition du fluide se fait par un élément appelé distributeur liquide.

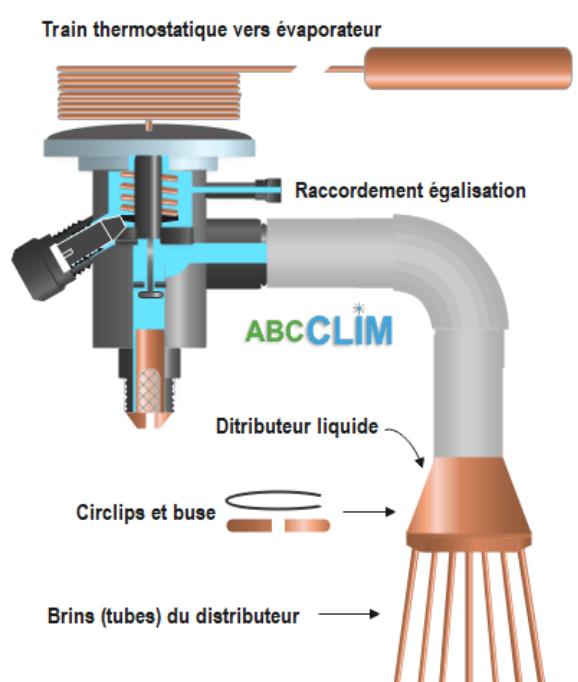
Celui-ci comporte des orifices de sortie égale au nombre de sections à alimentées, chaque orifice comporte un tube de distribution de longueur identique ceci bien entendu afin que la répartition du fluide se fasse de façon homogène.

Le montage du distributeur liquide doit être monté verticalement de telle manière que l'écoulement du liquide soit réparti uniformément dans chaque tube de distribution.

Les évaporateurs avec distributeur de liquide ayant toujours une grande perte de charge doivent être utilisés avec des détendeurs à égalisation externe.

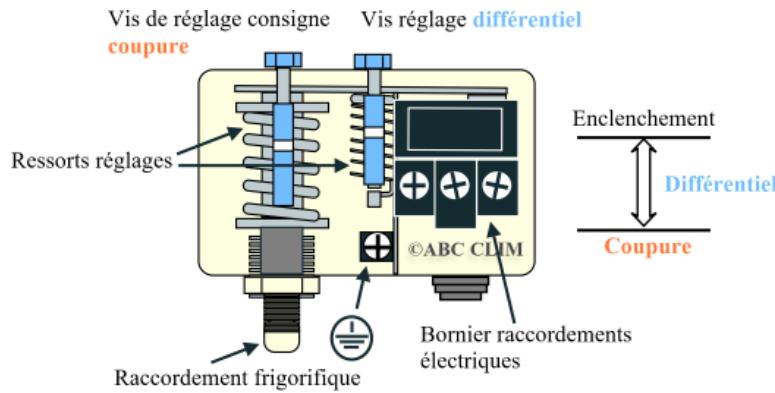
Buse de répartition et brins

Les distributeurs de liquide sont munis généralement de buse percée d'un orifice permettant de répartir de façon homogène le liquide dans les brins. Cette buse est soit démontable soit fixe. Cette répartition du liquide dans le distributeur est essentielle car une mauvaise répartition affectera le fonctionnement du détendeur et de l'évaporateur. En effet si les brins sont mal alimentés, l'évaporateur sera moins performant et le détendeur risque de pomper exagérément.



Le pressostat basse pression

Le pressostat basse pression est un organe important du circuit frigorifique, il est utilisé soit en sécurité soit en régulation (pump down).



Le pressostat BP en sécurité :

A savoir : Enclenchement=cut in, coupure = cut out

Le pressostat BP arrêtera le compresseur si la pression du circuit côté basse pression descend en dessous de la valeur de coupure et protégera de cette façon le circuit frigorifique et plus particulièrement le compresseur.

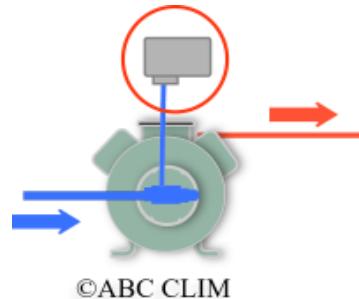
Ce pressostat permettra de protéger l'installation contre une éventuelle entrée d'air (plus exactement contre l'humidité contenue dans l'air) ou en cas de dysfonctionnement d'un organe frigorifique par exemple un détendeur. Quelque soit le type d'utilisation on doit toujours régler le point de coupure de ce pressostat au-dessus de la pression atmosphérique, généralement à 0,2 bar.

On peut prérégler les points de coupure et d'enclenchement avant montage, en utilisant un manomètre et une bouteille d'azote munie d'un détendeur.

Exemple de réglages

Coupe 0,2 bar (enclenchement - différentiel)

Température CF	Fluide	Enclenchement	Différentiel
+0 à + 2 °C	R 134a	1,2 bar	1 bar
-18 à -20°C	R 404A	1,6 bar	1,4bar



Le pressostat BP en régulation :

Ce type de régulation s'appelle aussi pump down, le principe consiste à arrêter le compresseur via le pressostat BP après que la température désirée soit atteinte.

La température de consigne étant mesurée par un thermostat mécanique ou électrique

Description du fonctionnement :

Mise à l'arrêt

La température réglée au thermostat est atteinte.

Le thermostat coupe l'alimentation électrique de l'électrovanne située sur la ligne liquide.

Le compresseur fonctionne encore, mais la pression descend le fluide n'alimentant plus l'évaporateur.

Le pressostat détecte un manque de pression et arrête le compresseur (réglage coupure).

L'enclenchement

La température remonte, arrivé au point de consigne le thermostat enclenche l'électrovanne qui libère le fluide.

L'évaporateur est alimenté et le fluide se répand dans l'installation.

Le point d'enclenchement du pressostat est atteint

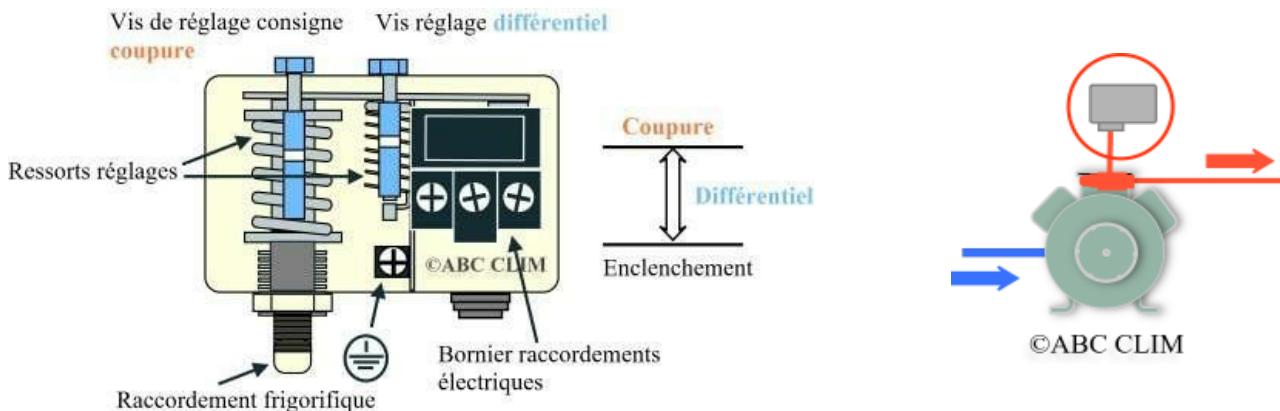
Le compresseur est mis en marche

Ce type de fonctionnement garantit un démarrage compresseur plus souple et évite une migration à l'arrêt du fluide vers le compresseur (coup de liquide).

Pressostat haute pression de sécurité :

Le pressostat haute pression est un organe de sécurité qui permet de protéger l'installation en cas de haute pression trop élevée souvent causée par un encrassement du condenseur ou un défaut du ventilateur condenseur, mais il est aussi employé pour réguler la pression de condensation d'un condenseur à air.

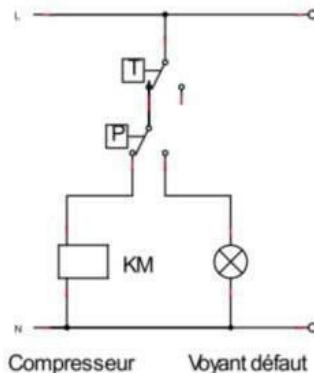
La réglementation stipule qu'un pressostat HP de sécurité est obligatoire pour les installations à partir de 2,5 kg de fluide frigorigène , au-delà de 100 kg cette norme rend obligatoire l'utilisation d'un double pressostat HP.



Pressostat haute pression de sécurité :

A savoir : Enclenchement=cut out, coupure = cut in

Celui-ci pourra être à réarmement automatique ou réarmement manuel . La plage réglage est comprise entre 8 et 32 bars avec réglage différentiel maximum de 6 bars. La valeur de coupure sera en fonction de la nature du fluide, du type de condenseur, du lieu d'implantation. Faire au préalable un réglage à l'aide d'un manomètre frigoriste et une bouteille d'azote avec son détendeur, vous gagnerez du temps.



Méthodes de réglages

Soit une installation au R 134a, située à Toulouse, température maximale en été 35°C.

Première méthode, par la pression maximale admissible

Tout d'abord avant de parler du réglage du pressostat haute pression il faut rappeler à la notion de PS. La PS est la pression de conception maximale admissible, cette valeur est indiquée par le constructeur.

Exemple de réglage :

Pression admissible maximale au compresseur à 40°C de température extérieur, 60°C (données constructeur).

Si nous regardons la relation pression température à 60° du R134a nous avons :

60°C=15,7 bar soit 16 bar

Sachant que la pression de coupure du pressostats HP doit être au maximum de 0,9 x PS donc :
 $16 \times 0,9 = 14,4$ bar

Méthode à l'ancienne

Calcul de la pression d'enclenchement du pressostat :

Température maximale en été + écart moyen de température (condenseur air) soit:

$35 + 15 = 50$ °C

50 °C= 12,2 bar

Calcul de la pression de coupure du pressostats :

Température d'enclenchement + écart de sécurité soit:

50 + 10 (écart de sécurité)= 60 °C

Si nous regardons la relation pression température, 60°C= 15,7 arrondis à 16 bar.

Ces deux méthodes ne donnent pas toujours les mêmes résultats il faudra donc être prudent toujours se conformer aux préconisations du constructeur.

Pressostat haute pression de régulation:

Le pressostat enclenchera à la pression de réglage le ou les ventilateurs de condenseur, ce type de pressostat peut-être mécanique (de moins en moins) ou du type électronique. Ceux-ci sont de 2 types, il agit soit par variation de la tension au ventilateur de 0 à 100 % en fonction de la pression de condensation (triac) ou encore par variation de la fréquence du courant (50Hz).

La régulation de pression de condensation par variation de la vitesse du moteur du ventilateur de condenseur permet non seulement un fonctionnement stable et optimisé de l'installation tout au long de l'année, mais c'est aussi un argument économique notamment dans les installations de grosses puissances.

Fonctionnement du variateur de vitesse :

Le variateur adaptera la vitesse du moteur du condenseur et par voie de conséquence le débit d'air en fonction de la pression de condensation. Tout ceci afin d'éviter une baisse importante de la pression de condensation en période hivernale ou en mi-saison ce qui perturberait le fonctionnement de l'installation. Une pression de condensation mal maîtrisée met à rude épreuve la fiabilité du matériel.

Ils peuvent être de deux types soit le variateur et le capteur de pression sont intégrés dans un seul élément c'est généralement le type de variateur l'on utilise pour les moteurs monophasés, soit le capteur de pression (transducteur) et le variateur sont en deux parties distinctes. Ces régulateurs de vitesse sont disponibles pour des ventilateurs monophasés ou triphasés, le transducteur envoie au variateur un signal analogique (0 à 10 V) en fonction de la variation de la pression de condensation.

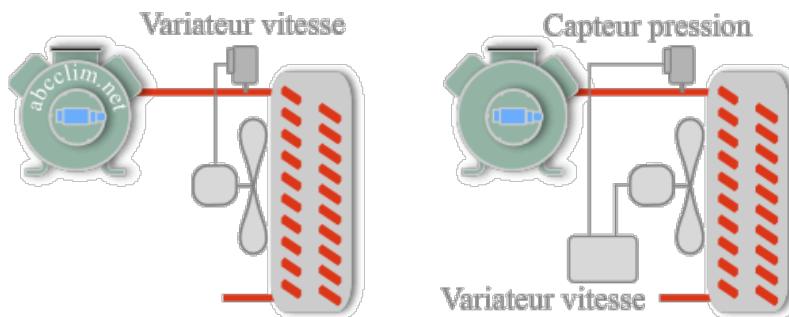
Techniques de variation de vitesse :

Pour faire varier la vitesse d'un moteur, deux technologies existent :

Le principe du hachage de phase*, ici la variation de vitesse se fait sur la tension d'alimentation, le variateur coupera à chaque alternance du courant une partie de la sinusoïde pour libérer au moteur qu'une partie de la tension.

La variation de vitesse par variation de fréquence, la réduction ou l'augmentation de la fréquence de la tension d'alimentation d'un moteur implique une modification de la vitesse du champ tournant et donc de la vitesse.

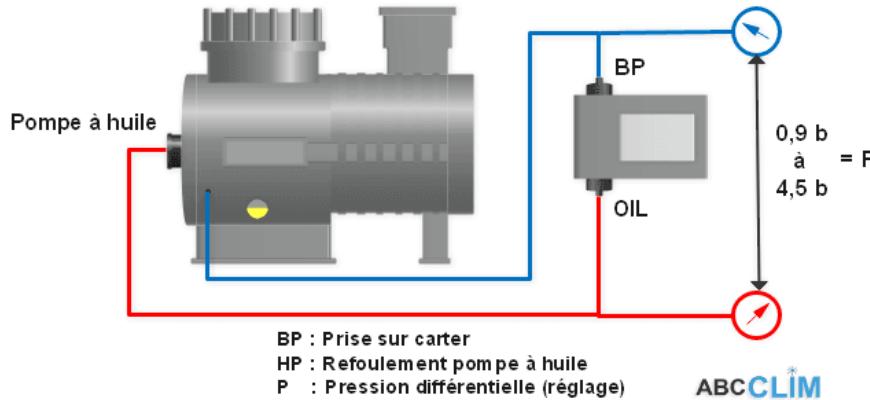
*Si on utilise un variateur de vitesse fonctionnant sur le principe du hachage de phase il faudra veiller à ce que le moteur utilisé supporte un dégagement de chaleur supplémentaire surtout à basse vitesse.



Le pressostat différentiel d'huile

Le pressostat différentiel d'huile est un organe de sécurité qui protège le compresseur contre un dysfonctionnement de la pompe à huile ou un manque d'huile en mesurant la pression différentielle entre la pression dans le carter (BP) et la pression en sortie de la pompe à huile (HP).

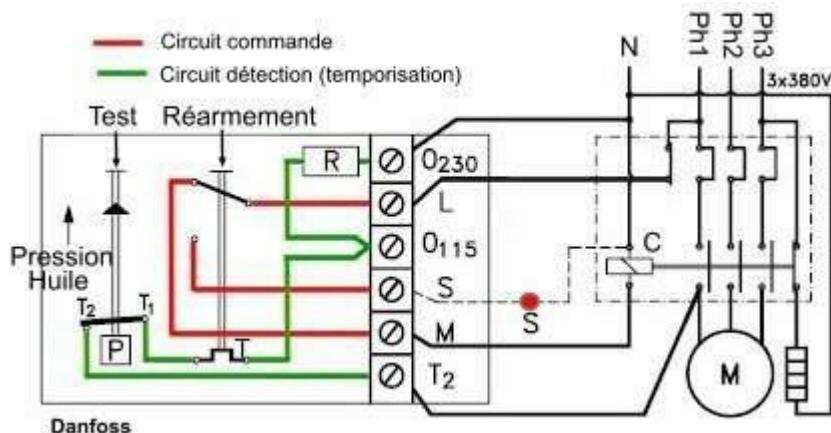
Si la pression différentielle d'huile descend en dessous de la valeur de réglage l'appareil arrête le compresseur après



Deux circuits électriques indépendants composent le pressostat un circuit de détection et un circuit de commande:

Circuit de détection: Dès que le compresseur démarre la temporisation(T)est alimentée, si la pression différentielle au soufflet(P)est correcte le contact T1-T2 ouvre et le relais thermique temporisé n'est plus alimenté et n'actionnera pas le contact du circuit de commande le compresseur restera en marche dans le cas inverse si la pression n'est pas correcte T1-T2 restera fermé, le relais temporisé(T) arrivé a la fin de sa temporisation actionnera le contact qui stoppera alors le compresseur .

Circuit de commande: Celui-ci fait partie du circuit de commande du compresseur le contact est normalement fermé et ouvre en cas de défaut.



Légende:

- O 230= Neutre température
- L= Phase contact
- S= Voyant défaut
- M= Marche compresseur
- T2= Phase température
- R= Résistance chutrice (tension)
- P= Contact pression huile
- T= Température thermique

https://youtu.be/_o7f5Nr1DBg

Régulateur de pression d'évaporation

KVP

Ce régulateur sert à maintenir une pression minimale préréglée dans l'évaporateur sur lequel il est raccordé, et ceci indépendamment des conditions de fonctionnement.

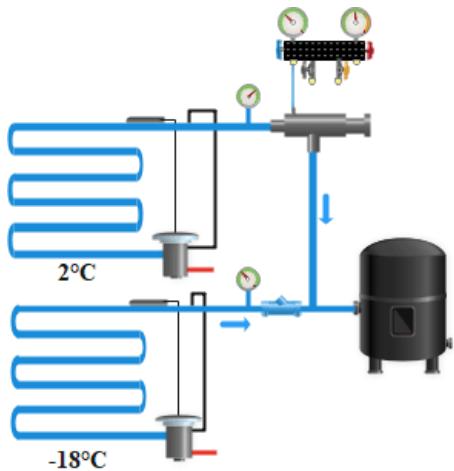
Il élimine les inconvénients liés à l'abaissement excessif de la pression d'évaporation dans les installations à évaporateurs multiples à températures différentes(négatives, positives)mais fonctionnant avec un compresseur commun.

Ce régulateur se monte après l'évaporateur sur la conduite d'aspiration et sur l'évaporateur dont la pression est la plus élevée.

Le régulateur de pression d'évaporation est réglé pour se fermer à une pression déterminée, qui correspond à la pression minimale admissible dans l'évaporateur, et ouvre progressivement lorsque la pression d'évaporation augmente.

Le régulateur agira indépendamment du fonctionnement du compresseur qui continuera à fonctionner pour le poste à la température la plus basse.

Afin d'éviter tout problème de condensation de fluide dans l'évaporateur dont la pression est la plus basse, le montage d'un clapet anti retour est préconisé.



Les réglages s'effectuent par une prise de pression prévue à cet effet.

Réglages :

- 1) Changement d'un régulateur existant :

Prenez la mesure entre le haut de la vanne et le haut de la vis de réglage afin de repérer le réglage d'origine, copiez ce réglage sur la vanne neuve, vérifiez le fonctionnement (prise de pression).

- 2) Installation neuve :

Ouvrir en grand le régulateur de pression d'évaporation.

Contrôlez le réglage du détendeur.

Fermez petit à petit la vis de réglage du régulateur, jusqu'à l'obtention du réglage désiré.

Repérez le réglage, fermez le capuchon de protection.

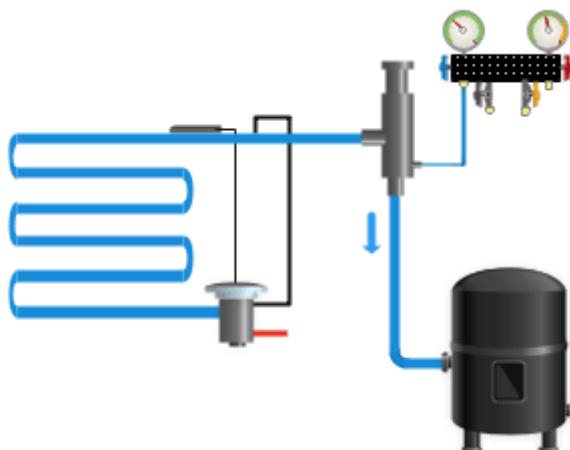
Régulateur de démarrage

KVL

Le régulateur de démarrage permet de limiter la pression d'évaporation à une valeur prédéterminée au démarrage d'un compresseur. Il est utilisé sur les installations de froid commercial à température négative afin de protéger le compresseur contre toutes surcharges.

En effet à l'arrêt du compresseur ,pour un dégivrage ou un arrêt prolongé, la température dans l'évaporateur augmente donc la pression, au démarrage du compresseur le régulateur étant réglé pour une pression d'aspiration maximale admissible ouvrira de telle manière à maintenir ce réglage.

Il doit être installé le plus près du compresseur, et son réglage est identique au réglage du régulateur de pression d'évaporation. C'est la pression régnant dans la tuyauterie avant le régulateur qui doit servir pour le réglage, la mesure de la pression doit être prise soit sur le régulateur lui-même soit sur le compresseur.



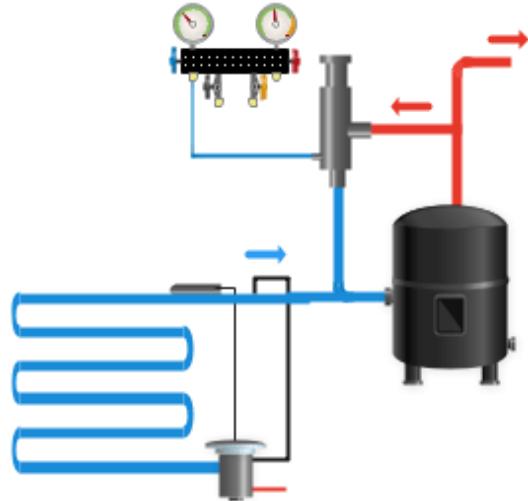
Régulateur de capacité

KVC

Le régulateur de capacité (vanne injection gaz chauds) permet en établissant un bypass entre la conduite d'aspiration et de refoulement d'adapter la puissance du compresseur à la charge variable de l'évaporateur ou des évaporateurs (évaporateurs multiples), et il évite ainsi que la température d'évaporation ne soit trop faible.

Le régulateur s'ouvre à pression décroissante en sortie de vanne, c'est à dire lorsque la pression dans l'évaporateur devient inférieure à la valeur de réglage.

Donc quand le détendeur se ferme la pression diminue côté BP et si celle-ci descend en dessous de la valeur du réglage, la vanne s'ouvre, ce by-pass permet de diminuer la puissance (débit) du compresseur afin de l'adapter à la puissance



Régulateur condensation

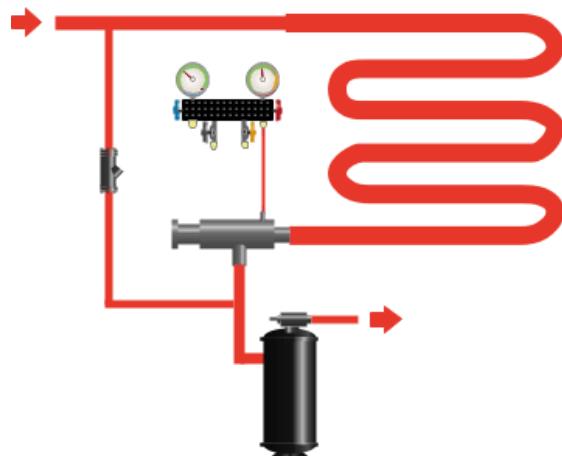
KVR

Le régulateur de pression de condensation est généralement raccordé entre la bouteille liquide et le condenseur à air, son rôle est de garder la pression de condensation dans des valeurs acceptables et ceci malgré les conditions extérieures.

Le régulateur ne régule qu'en fonction de la pression d'entrée.

Quand la pression dans le condenseur à air augmente, le régulateur ouvre afin de maintenir une pression de condensation conforme au réglage.

A l'inverse quand la pression diminue le régulateur se ferme, mais pour éviter que la bouteille de liquide ne soit plus alimentée on installe un clapet différentiel raccordé entre l'entrée condenseur air et l'entrée la bouteille liquide, celui-ci empêche une pression trop faible après le régulateur en injectant de la vapeur surchauffée venant du compresseur.



Les huiles frigorifiques

L'huile est un élément important dans le fonctionnement des compresseurs frigorifiques, elle assure la lubrification des pièces en mouvement ainsi que la bonne tenue des garnitures d'étanchéité, (compresseur ouvert) etc.

Les huiles minérales :

Les huiles minérales pour la lubrification des compresseurs frigorifiques sont des mélanges d'hydrocarbures sans cire spécifiquement sélectionnés pour leur très bonne fluidité à basse température.

Les huiles minérales sont les produits traditionnellement utilisés pour la lubrification des compresseurs frigorifiques. Elles sont adaptées pour l'utilisation avec des fluides frigorigènes CFC, HCFC, et l'ammoniac.

Les huiles synthétiques :

Les huiles synthétiques sont des polymères de monomères chimiques spécifiques tel que les esters ou les glycols.

Les premières huiles synthétiques ont été développées pour les HCFC (alkylbenzène et polyalphaoléfines).

Avec l'introduction :

-des nouveaux fluides

- les HFC

- le besoin de nouveaux types d'huiles est apparu, la raison principale étant la non miscibilité des huiles minérales avec les HFC, ce qui ne favorise pas le retour d'huile dans les systèmes.

Les huiles alkylbenzènes :

Ce sont les premières huiles synthétiques qui ont été utilisées dans l'industrie de la réfrigération. Elles ont une excellente stabilité thermique et chimique (moins de décomposition d'huile à haute température) et une excellente miscibilité à basse température. Les huiles alkylbenzènes sont recommandées pour les fluides de type R-22 et mélanges de HCFC. Elles sont compatibles avec les huiles minérales traditionnelles. En cas de mauvais fonctionnement avec les huiles minérales, les huiles alkylbenzènes peuvent avantageusement remplacer l'huile d'origine.

Les huiles polyalphaoléfines :

Les huiles polyalphaoléfines - ou PAO - peuvent être décrites comme des "huiles minérales synthétiques" car elles ont la même structure chimique que les huiles minérales traditionnelles mais ce sont des produits fabriqués à partir de monomères. Les huiles PAO ont des points d'écoulement très bas et une excellente stabilité thermique, ce qui permet de les utiliser dans des systèmes au R-22 ou à l'ammoniac fonctionnant dans des conditions extrêmes.

Les huiles polyalkylèneglycols :

Les huiles polyalkylèneglycols - mieux connues sous l'abréviation PAG - ont été les premières huiles développées pour l'utilisation des fluides HFC. Elles ont donc une bonne miscibilité avec ces produits. En revanche, elles sont très hygroscopiques. Du fait de leur tendance à absorber de l'eau et de leur réaction en présence de cuivre, les huiles PAG sont essentiellement utilisées dans les systèmes de climatisation automobile fonctionnant au R-134a, car les constructeurs ont éliminé les métaux cuivreux. Grâce à leur bonne miscibilité avec l'ammoniac, les PAG pourraient être utilisées dans les systèmes contenant ce fluide.

Les huiles polyolesters :

Les huiles polyolesters - ou POE - sont la deuxième génération d'huiles à avoir été développée pour les HFC. Il s'agit d'excellents lubrifiants, moins hygroscopiques que les PAG et beaucoup plus stables chimiquement que les PAG en présence d'eau. Les POE sont les huiles dédiées aux HFC dans toutes les applications de réfrigération et conditionnement d'air à l'exception de la climatisation automobile qui utilise principalement les PAG.

Sources Dehon, Copeland

Huiles POE, en savoir plus :

Les huiles du type minéral qui sont le produit d'une distillation du pétrole brut ou les huiles semi-synthétiques comme les Alkybenzene étaient parfaites compte tenu de leur miscibilité avec les HCFC, mais depuis l'arrivée des nouveaux gaz (HCF) la création d'une nouvelle huile appelée Ester (POE) était devenu nécessaire, cette huile nécessite de prendre des précautions, car à contrario des huiles du type minéral, les huiles Ester ont un pouvoir de rétention d'eau très supérieure.

Cette particularité et dû à sa fabrication, c'est une huile de synthèse qui est le résultat d'une réaction chimique entre un alcool et un acide donnant en fin de cycle un mélange d'huile et d'eau.

L'eau est alors extraite du mélange pour ne conserver que l'huile utilisée pour la lubrification des compresseurs fonctionnant avec les HCF.

Le gros problème c'est qu'une réaction inverse peut-être possible et que si de l'humidité est introduite dans le circuit frigorifique, l'huile a de grandes chances de se dégrader.

Des précautions sont donc à prendre, ne pas laisser ouvert un bidon d'huile trop longtemps, obligation d'installer un déshydrateur anti-acide sur le circuit frigorifique, précisons que les huiles POE sont de meilleurs solvants que les huiles minérales, cette caractéristique permet de déloger et véhiculer dans le système des débris(ex:copeaux de cuivre)de façon plus importante.

Les huiles POE sont aussi utilisées comme solution de rinçage des huiles minérales ou alkylbenzènes, pratique utilisée lors de reconversion au HCF.

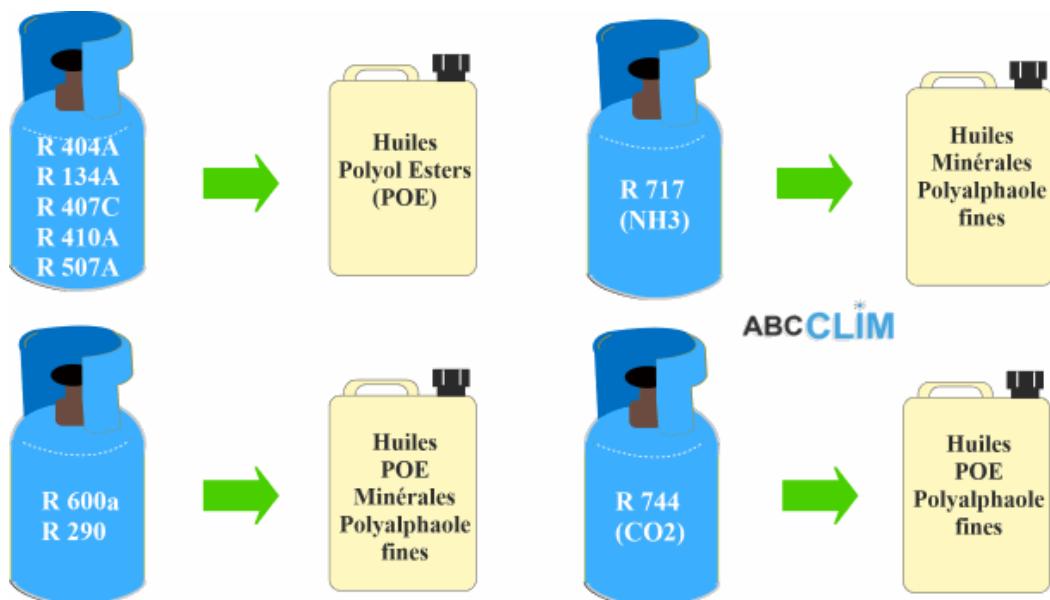
Les principales caractéristiques qui peuvent différencier deux huiles polyolester sont essentiellement, le pouvoir de lubrification, la miscibilité, il existe de différents types et de grades de viscosité.

Les huiles POE sont beaucoup plus élaborées que les huiles minérales, leur composition plus complexe de ce fait, leur coût de production sont plus importants.

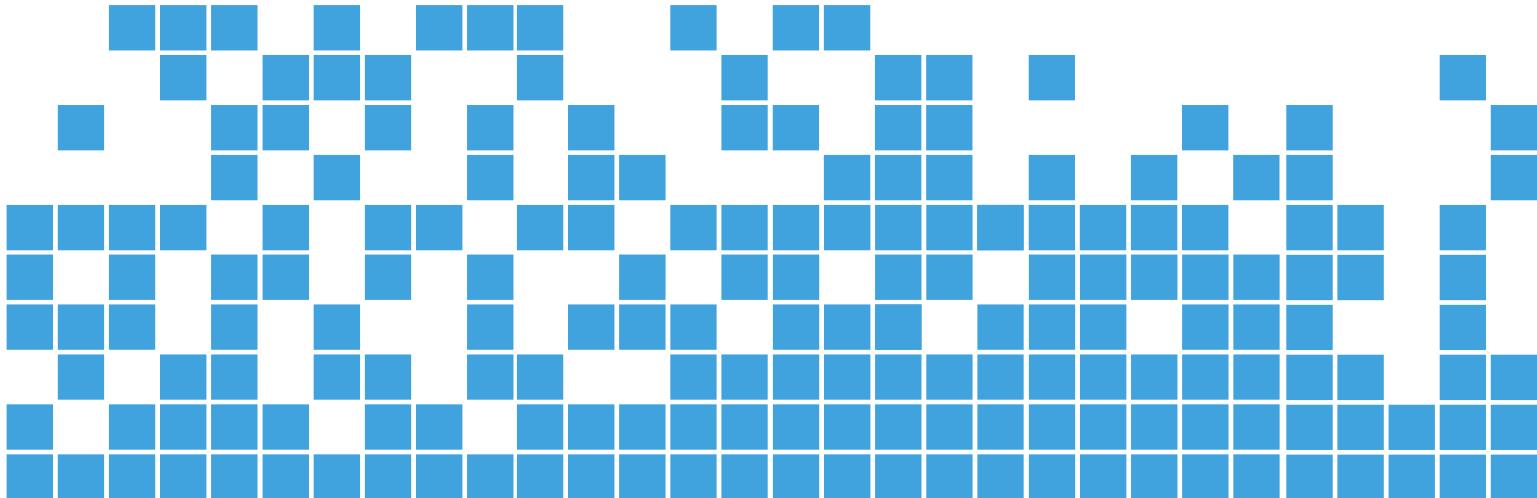
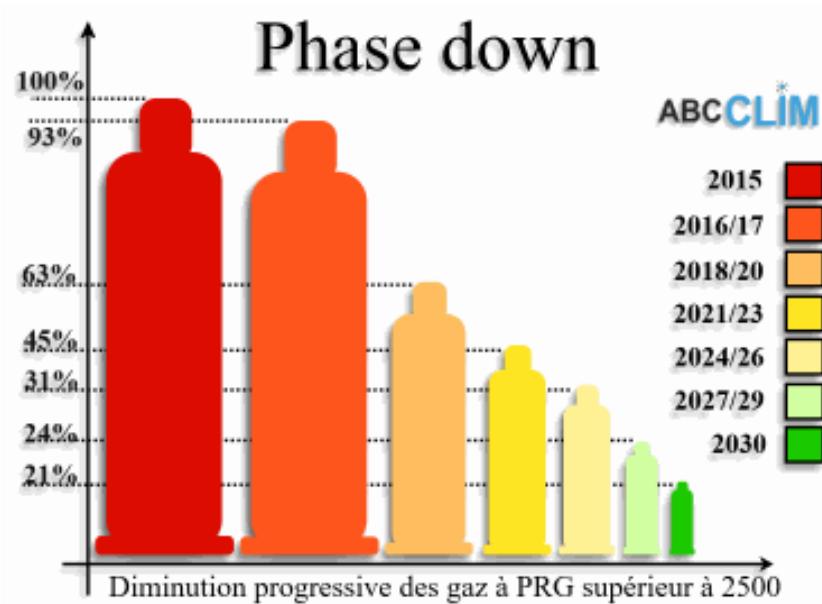
Malgré cela, elles présentent de nombreux avantages tels que:

1. une miscibilité complète avec les HFC, les CFC et les HCFC.
2. une parfaite compatibilité dans des systèmes chargés en huile minérale.
3. des caractéristiques de lubrification supérieures aux huiles minérales.
4. un retour d'huile plus efficace permettant d'améliorer les échanges thermiques dans les évaporateurs

Quelle huile pour quel fluide !!



Fluides et réglementation



Attestation d'aptitude fluides frigorigènes

Qui est concerné?

Tous les personnels (diplômés ou non) manipulant des fluides frigorigènes ou qui interviennent sur les équipements de réfrigération, de climatisation et de pompe à chaleur (maintenance, dépannage, installation, démantèlement des équipements) devront au plus tard le 4 juillet 2011 être en possession d'une attestation d'aptitude. Celle-ci est délivrée aux stagiaires par un organisme agréé à l'issue de tests théoriques et pratiques, en fait cette attestation prouve qu'un minimum de connaissances ont été acquises concernant la manipulation des gaz et la législation en vigueur.

Contenu de l'examen:

Épreuve théorique de 1 heure environ, portant sur les propriétés des fluides frigorigènes, description et rôle des différents composants du cycle frigorifique, impact des fluides frigorigènes sur l'environnement...etc

Épreuve pratique (2h30 maxi) utilisation de la pompe à vide, manomètres, thermomètres, multimètres, station de charge, contrôle de la charge suivant conditions de fonctionnement, mise en service installation, réglages des organes de sécurité, brasure...etc.

Rendez-vous sur cette page ([474](#)) pour en savoir plus sur le type de questions posées lors de l'examen théorique !

Les différentes catégories :

Plusieurs catégories existent ce qui permet aux entreprises de déterminer le type d'attestation nécessaire à son personnel en fonction de son secteur d'activité et des interventions qu'elles pratiquent.

- Catégorie I à IV concerne tous les équipements de réfrigération, de climatisation et de pompe à chaleur.
- Catégorie I : Contrôle d'étanchéité, maintenance et entretien, mise en service, récupération des fluides.
- Catégorie II : Maintenance et entretien, mise en service, récupération des fluides pour les installations contenant moins de 2 kg de fluide frigorigène + contrôle d'étanchéité des équipements.
- Catégorie III : Récupération des fluides des équipements contenant moins de 2 kg de fluide frigorigène.
- Catégorie IV : Contrôle d'étanchéité des équipements.
- Secteur automobile
- Catégorie V : Contrôle d'étanchéité, maintenance et entretien, mise en service, récupération des fluides des systèmes de climatisation de véhicules
- Catégorie V (D) : Démantèlement des équipements.

Outillage exigé pour l'examen

L'entreprise devra fournir à son personnel le matériel adéquat pour la catégorie visée.

Catégorie I

- Station de charge et de récupération
- Bouteilles de récupération par type de fluide
- DéTECTEUR de fuites conforme
- Raccords flexibles avec obturateurs
- Manomètres, thermomètres électroniques et balance de précision
- Matériel de marquage

Catégorie II

- Station de charge et de récupération
- Bouteilles de récupération par type de fluide
- DéTECTEUR de fuites
- Raccords flexibles avec obturateurs
- Manomètres, thermomètres électroniques et balance de précision
- Matériel de marquage

Catégorie III

- Station de charge et de récupération
- Bouteilles de récupération par type de fluide
- Manomètres et balance de précision 5 %

Catégorie IV

- DéTECTEUR de fuites conforme
- Manomètres, thermomètre

Catégorie V

- Station de charge et de récupération compacte ou en éléments séparés
- Matériel de détection de fuites adapté aux systèmes de climatisation de véhicules
- Thermomètre et balance de précision 5 %
- Tableau de mise à jour des charges en fluide et en huile des véhicules

Attestation de capacité

Les opérateurs (entreprises, fournisseurs, distributeurs, etc) doivent être titulaires depuis le 4 juillet 2009 d'une attestation de capacité délivrée par un organisme agréé. À cette date les distributeurs, fournisseurs ne peuvent plus délivrer de fluides frigorigènes qu'aux entreprises disposant d'une attestation de capacité.

Pour résumer, toute entreprise qui procède à des opérations sur des équipements de réfrigération ou de climatisation, installation, dépannage, entretien, contrôle de l'étanchéité, devront obligatoirement détenir une attestation de capacité de manipulation des fluides par type d'équipement et par catégorie d'opérations.

Ce document est délivré par un organisme agréé ou il faudra déposer un dossier de candidature réunissant des preuves documentaires sur la capacité de l'entreprise à manipuler les fluides frigorifiques, deux conditions doivent être remplies pour l'obtention de ce document.

1. L'ensemble du personnel (manipulant des fluides) doit détenir une attestation d'aptitude délivrée par un organisme qui formera et évaluera les candidats.
2. L'entreprise devra disposer d'un outillage adapté et en quantité suffisante pour pouvoir réaliser les opérations sur les équipements contenant des fluides frigorigènes.

Les attestations de capacité seront valables 5 ans, en outre l'entreprise devra fournir un bilan annuel des mouvements de Fluides frigorigènes mentionnant, pour chaque fluide les quantités :

- Achat.
- Chargement dans les équipements.
- Récupération.
- Stock.

Les catégories d'attestation par types d'opérations :

Catégorie I : Contrôle d'étanchéité, maintenance et entretien, mise en service, récupération des fluides de tous les équipements de réfrigération, de climatisation et de pompe à chaleur

Catégorie II : Maintenance et entretien, mise en service, récupération des fluides des équipements de réfrigération, de climatisation et de pompe à chaleur contenant moins de 2 kg de fluide frigorigène et contrôle d'étanchéité des équipements de réfrigération, de climatisation et de pompe à chaleur,

Catégorie III : Récupération des fluides des équipements de réfrigération, de climatisation et de pompe à chaleur contenant moins de 2 kg de fluide frigorigène

Catégorie IV : Contrôle d'étanchéité des équipements de réfrigération, de climatisation et de pompe à chaleur

Catégorie V : Contrôle d'étanchéité, maintenance et entretien, mise en service, récupération des fluides des systèmes de climatisation de véhicules, engins et matériels mentionnés à l'article R.311-1 du Code de la route.

Catégorie VHU : Catégorie exclusivement pour les opérations de récupération des fluides des systèmes de climatisation des véhicules hors d'usage.

Les organismes agréés :

- AFNOR Certification
- QUALICLIMAFROID
- SGS INTERNATIONAL CERTIFICATION SERVICE www.fr.sgs.com/fluides-frigorigenes
- BUREAU VERITAS CERTIFICATION www.bureauveritas.fr/fluidesfrigorigenes
- CEMAFROID www.cemafroid.fr
- CENTRE TECHNIQUE DES INDUSTRIES MECANIQUES www.cetim.fr
- GROUPE DE PRÉVENTIONS www.groupedeprevention.com

(Sources : Veritas, SGS)

Sanction en cas de non-respect

Contravention de 3ème classe (450 €) :

- Ne pas établir de fiche d'intervention,
- Acquérir à titre onéreux ou gratuit des fluides frigorigènes sans remplir les conditions prévues,
- Ne pas adresser à l'organisme agréé les informations prévues,

Contravention de 5ème classe (1500 €) :

- Dégazage de fluides frigorigènes dans l'atmosphère,
- Non-récupération des fluides frigorigènes lors de l'installation, de l'entretien, de la réparation ou du démantèlement d'un équipement,
- Recharge en fluide des équipements présentant des défauts d'étanchéité,
- Procéder à des manipulations sur circuit contenant des fluides sans être titulaire de l'attestation de capacité.
- Etc.

Critère de choix d'un fluide:

Un fluide frigorigène est un fluide pur ou un mélange de fluides purs utilisés dans les installations thermodynamiques de réfrigération, de climatisation et de pompe à chaleur.

Un ensemble de critères permettent de définir le fluide le mieux adapté à une certaine utilisation.

Il n'y a pas de fluides parfaits !

Les HFC ont un PRG élevé, les hydrocarbures sont inflammables, l'ammoniac est toxique en cas de fuite, le dioxyde de carbone (CO₂) fonctionne à des pressions très élevées. Pour des équipements de froid et de conditionnement d'air utilisant l'un de ces fluides, il faut que les émissions soient minimisées (confinement) pour fonctionner proprement, efficacement, et en sécurité.

Une formation adaptée sera nécessaire pour certains de ces fluides, qu'ils soient inflammables ou à haute pression, dans le cadre de la maintenance ou la réparation des divers systèmes.

Les types de fluides:

- Les CFC,(chlorofluorocarbures) interdits depuis le 1er janvier 2001.
- Les HCFC (hydrochlorofluorocarbures), par exemple le R-22, nocif pour la couche d'ozone et générateurs d'effet de serre.
- Les HFC (hydrofluorocarbures), par exemple les R-134a, R-404A, R-407C, R-410A et R-507A, ont une action sur l'effet de serre.
- Les fluides réfrigérants naturels, par exemple le R-717(ammoniac), R-744 (CO₂), R-290 (propane), R-600a (isobutane) et R-718 (eau) n'ont aucune action sur la couche d'ozone et l'effet de serre.
- Les HFO insaturés - des molécules à double liaison carbone, également appelées hydrofluorooléfines (HFO) sont classés A2L donc légèrement inflammables.

Critère de choix d'un fluide:

- Critères thermodynamiques :
- Bonnes propriétés thermodynamiques en général
- Puissance frigorifique volumétrique élevée
- Température critique élevée
- Point de congélation bas
- Taux de compression inférieur à 10(pression condensation/pression évaporation)
- Pression adaptée aux matériels et aux conditions d'utilisations
- Miscibilité avec le lubrifiant
- Stabilité chimique et thermique

Critères environnementaux:

Action sur la couche d'ozone, cette couche permet d'arrêter en partie les rayons ultra-violets, le chlore contenu dans certains fluides frigorigènes détruit cette couche d'ozone.

Un coefficient nommé ODP dont la référence est le R11 a été défini pour l'ensemble des fluides, ce coefficient doit être le plus faible possible.

Action sur l'effet de serre (réchauffement climatique), Le GWP(ou PRG = Potentiel de Réchauffement global) est une indication sur la nocivité d'un gaz par rapport à l'effet de serre.

La référence est le CO₂ avec un GWP=1, plus ce chiffre est élevé plus le fluide est nocif.

Critères de sécurité :

- Non inflammable
- Non toxique pour l'homme à faible concentration

Cas particulier:

L'ammoniac est certainement le fluide le plus dangereux pour l'homme et son environnement, il possède une action irritante et corrosive pour la peau et les voies respiratoires des protections sont donc nécessaires (gants, masque, combinaison).

En outre étant soluble dans l'eau il représente un danger pour la nappe phréatique.

À savoir:

Fluide pur: élaboré à partir d'une seule formule chimique.

Mélange azéotrope: Mélange homogène de fluide ce comportant comme un fluide pur dans les phases de changement d'état.

Mélange zéotrope : Mélange de fluide ayant pour caractéristique dans les phases de changement d'état, de condensation, d'évaporation de réagir de façon différente par apport à un fluide pur. Chaque composant ayant une température d'évaporation différente (à une même pression) un glissement général de température sera observé.

Tableau comparatif de quelques fluides

Catégorie de fluide	Type de fluide	Fluide frigorigène	ODP	PRG	Groupe de sécurité
CFC (fluorochlorocarbures, halogénés)	Fluides purs	R-11 R-12 R-13 R-13B1	1,000 1,000 1,000 10,000	4750 10900 14400 7140	A1 A1 A1 A1
	Mélanges	R-502	0,334	4657	A1
HCFC (fluorochlorocarbures partiellement halogénés)	Fluides purs	R-22	0,055	1810	A1
	Mélanges	R-401A (MP39) R-402A (HP80) R-402B (HP81) R-408A (FX-10) R-409A (FX-56)	0,037 0,021 0,033 0,021 0,048	1182 2788 2416 3152 1585	A1 A1 A1 A1 A1
HCFO (fluorochloro-oléfines partiellement halogénées)	Fluides purs	R-1233zd(E) R-1233zd(Z) R-1224yd(Z)	<0,0004 <0,0004 0,00023	3,7 0,4 0,8	A1 A1 A1
HFC/PFC (fluorocarbures partiellement ou totalement halogénés)	Fluides purs	R-23 R-32 R-125 R-134a R-143a	0 0 0 0 0	14800 675 3500 1430 4470	A1 A2L A1 A1 A2L
	Mélanges	R-404A R-407C R-407F R-410A R-413A R-417A R-422A R-422D R-437A R-507A R-508A R-508B	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	3922 1774 1825 2088 2053 2346 3143 2729 1805 3985 13214 13396	A1 A1 A1 A1 A2 A1 A1 A1 A1 A1 A1 A1
	Mélanges	R-448A R-449A R-450A R-452A R-454C R-455A R-513A	0 0 0 0 0 0 0	1386 1396 601 2140 146 146 630	A1 A1 A1 A1 A2L A2L A1
	Fluides purs	R-170 (éthane) R-290 (propane) R-717 (NH ₃) R-718 (H ₂ O) R-744 (CO ₂) R-600 (butane) R-600a (isobutane) R-1270 (propène)	- 0 - - 0 0 0 0	6 3 0 0 1 4 3 2	A3 A3 B2L A1 A1 A3 A3 A3
	Mélanges	R-290/R-600a R-290/R-170 R-723 (DME/NH ₃)	0 0 0	3 3 8	A3 A3 -4
HFO (fluoro-oléfines partiellement halogénées)		R-1234yf R-1234ze R-1336mzz(Z)	0 0 0	<1 <1 2	A2L A2L A1

Classification et toxicité des fluides

Dans les domaines du froid et de la climatisation les fluides frigorigènes sont classés en fonction de leur toxicité et de leur inflammabilité.

Ce système de classification s'appuie sur des normes telles que la ASHRAE 34, ISO 817, EN 378.classification A2L

Classification de toxicité.

- Les fluides frigorigènes de classe A, fluides dont la toxicité a été observé au dessus de 400 ppm.
- Les fluides de classe B ce sont ceux dont la toxicité est observée en dessous de 400 ppm.

Classes d'inflammabilité.

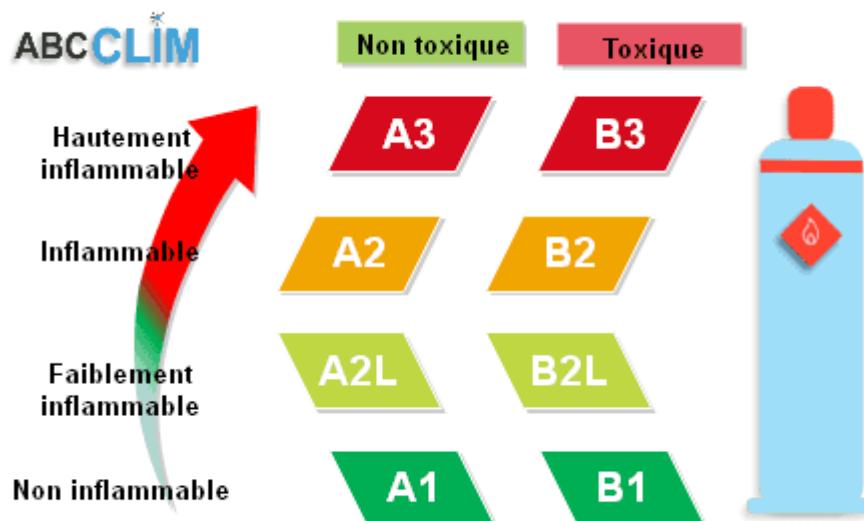
Ici les fluides sont catégorisés en fonction de leur inflammabilité, des tests en laboratoires permettent de connaître leurs limites inférieures d'inflammabilité (LIE ou LFL en anglais) et la chaleur émise par la combustion.

- Fluides de classe 1 : substances ininflammables n'engendrant pas de flamme, dans les conditions d'un test à pression atmosphérique à 60°.
- Fluides de classe 2 : faiblement inflammables, substances possédant une limite inférieure d'inflammabilité supérieure ou égale à 3,7 % en volume et une chaleur de combustion de l'ordre de 19 000 kJ/kg. Notons qu'à la pression atmosphérique à 60° ces fluides présentent une propagation de flamme.
- Fluides de classe 3: fluides fortement inflammables avec une forte propagation de la flamme lors des tests à 60° sous pression atmosphérique de l'ordre de 45cm/s. Leurs limites d'inflammabilité est inférieure ou égale à 3,5 % et leur chaleur de combustion est supérieure à 19 000 kJ par kilo.

Avec l'apparition de fluides ne pouvant être classifiés selon les trois classes d'inflammabilité de la réglementation existante, une sous-classe de la classe 2 a été mise en place.

C'est bien entendu la classe 2L, elle l'a elle possède les mêmes caractéristiques que la classe 2 en ce qui concerne la chaleur de combustion et la limite inférieure d'inflammabilité(LIE) par contre ce qui change c'est sa vitesse de propagation de flamme qui est inférieure à 0,1 m/s.

Donc pour un fluide classé A2L on peut donc dire que cette substance est un faiblement toxique et difficilement inflammable.



Familles de fluides frigorigènes

Un fluide frigorigène est un composé de molécules utilisé pur ou en mélange, qui a comme propriété physique de permettre un transfert d'énergie et ainsi de produire du froid ou du chaud.

Les familles de fluides frigorigènes

Les composés inorganiques (série 700)

Les composés inorganiques que l'on utilise pour la réfrigération sont l'eau, le dioxyde de carbone et l'ammoniac. Chacun d'entre eux est inoffensif pour l'environnement, mais présente certains inconvénients.

L'eau est un fluide frigorifique qui peut être utilisé mais cela reste théorique, car il faut beaucoup trop d'énergie pour pouvoir l'utiliser. L'eau a aussi une importante masse volumique, ce qui pose des problèmes en phase d'évaporation. Le CO₂ est également très présent sur terre, mais il a de faibles capacités thermodynamiques. Le fonctionnement transcritique de ces installations et les pressions très élevées sont des freins au développement de cette solution. Enfin, l'ammoniac est certainement le meilleur fluide frigorifique inorganique, il a de très bonnes capacités thermodynamiques, mais il est toxique, corrosif et inflammable. Il est surtout employé dans les grandes installations industrielles.

Les hydrocarbures (voir pages suivantes)

Les hydrocarbures halogénés (série 400 et 500)

La première catégorie de cette famille est aussi la plus tristement célèbre qui a été longtemps et largement utilisée dans le monde jusqu'à ce qu'on établisse leur dangerosité pour l'environnement.

Les CFC ou Chlorofluorocarbures ont été reconnus responsables de la dégradation de la couche d'ozone et ne sont aujourd'hui plus utilisés.

La deuxième catégorie de fluides hydrocarbures halogénés regroupe les HCFC ou HydroChloroFluoroCarbures. Composés de chlore, de fluor, de carbone et d'hydrogène, ils sont considérés comme dangereux au même titre que les CFC et seront eux aussi totalement interdits depuis le début de l'année 2015. Enfin, la troisième génération de cette famille présente le gros avantage de ne pas menacer la couche d'ozone. Il s'agit des HFC ou HydroFluoroCarbures, constitués d'hydrogène, de carbone et de fluor. Il semblerait toutefois que les HFC puissent contribuer à l'effet de serre, notons que leurs raréfactions est programmées (voir réglementation F-GAS).

Les fluides de la série 400 sont des mélanges zéotropiques ayant un glissement de température, la charge en fluides des installations s'effectue toujours à l'état liquide.

Les fluides de la série 500 sont des mélanges azéotropiques, n'ayant pas de glissement de température.

L'avenir les HFO ?

Les HFO sont des fluides de synthèse avec de bonnes propriétés thermodynamiques, à faible GWP grâce à une durée de vie relativement courte dans l'atmosphère, environ 11 jours. Par contre lors de leur décomposition dans l'atmosphère ils se transforment en acide trifluoroacétique, acide non biodégradable, mais à l'heure actuelle aucune étude vraiment poussée n'a pu permettre d'en connaître les effets néfastes sur l'environnement. Les HFO ont un faible niveau toxique, par contre ils sont inflammables et en cas d'incendie ils dégagent un acide fluorhydrique relativement toxique.

Nous verrons dans les mois et les années à venir si les HFO seront les fluides frigorigènes de l'avenir.

Quelques fluides les plus utilisés.

R 410A:

Le R-410A est un mélange (50% HCF 32, 50% HCF 125) de type HFC principalement destiné aux installations neuves. Il est utilisé dans les secteurs du conditionnement d'air de petite puissance, split system, pompe à chaleur et de la réfrigération industrielle.

R 407C:

Le R-407C est un mélange ternaire à fort glissement (R 32, R 125, R 134a) de remplacement "non azéotropique" de type HFC.

Il est principalement utilisé en remplacement du R-22 dans les applications de conditionnement d'air.

R 134a:

Le R-134a est un hydrofluorocarbone (HFC) destiné aux applications frigorifiques domestiques, commerciales et industrielles, ainsi que dans celles du conditionnement d'air, du refroidissement des liquides et des pompes à chaleur. Le R-134a est le fluide choisi par les fabricants de systèmes de conditionnement d'air automobile et agricole. Ce fluide peut également remplacer le R-12 dans les installations existantes suivant une procédure.

R 404A:

Le R-404A est un mélange ternaire Zéotrope (R 143a, R 125, R 134a) de type HFC, mis au point pour le domaine du froid commercial et industriel et les transports frigorifiques.

Il est utilisé de préférence pour les réalisations des installations neuves de type centrales frigorifiques pour grandes surfaces de vente (supermarchés et hypermarchés), entrepôts frigorifiques, installations de surgélation alimentaire et meubles pour la conservation des aliments congelés et les camions réfrigérés.

R 507:

Le R-507 est un mélange binaire de remplacement "azéotropique", de type HFC.

Il est essentiellement utilisé en réfrigération industrielle pour les installations neuves comprenant des évaporateurs noyés par exemple dans les patinoires.

R 427A:

Fluide zéotropique à fort glissement de température de type HFC, fluide de remplacement du R22. Les propriétés thermodynamiques de ce fluide sont assez proche de celles du R22

Le R-600a

Le R600a, également isobutane, est un hydrocarbure extrêmement inflammable. Sa température d'ébullition est de -11°C à la pression atmosphérique. Toute application en deçà de cette température exige une parfaite étanchéité de l'installation afin d'éviter que des gaz de l'air entrent dans le circuit frigorifique.

Le R-600a est principalement utilisé dans les meubles réfrigérés domestiques qui n'ont besoin que de faibles quantités de remplissage.

Le R 290

C'est un produit du traitement naturel de gaz et du raffinage de pétrole, avec la formule moléculaire C₃H₈. Il présente des propriétés thermodynamiques assez semblable au R404, avec tout de même des températures de refoulement plus faibles. C'est un fluide qui avec ses performances, taux de compression et température refoulement faibles peut être utilisé dans de nombreuses applications, du froid positif ou négatif à la pompe à chaleur.

Les R-23-R508A-R508B

Les R23, R508A et R508B opèrent en tant que fluides frigorigènes haute pression dans le cadre d'applications cryogéniques. Mais à cause de leurs pressions élevées, ces trois produits ne peuvent être employés que dans les étages inférieurs d'installations frigorifiques en cascade. Ils sont principalement utilisés dans les techniques médicales et de laboratoire, ainsi que dans les applications spéciales des secteurs de la recherche et du développement.

Le R-717

La technique du froid industriel, par exemple, dans les entrepôts frigorifiques, les brasseries et les abattoirs, fait appel, depuis plus de 100 ans, au fluide frigorigène naturel, le R717 (ammoniac/NH₃). En outre, il est de plus en plus employé dans les groupes d'eau glacée compacts. L'ammoniac est toxique et inflammable dans certaines conditions.

Le R-744

Le R-744 (dioxyde de carbone), au début du 20ème siècle, était principalement utilisé dans la technique froid pour les bateaux. Avec le développement des fluides frigorigènes fluorés, ce fluide tendait à disparaître. Les pressions très élevées limitant son développement, néanmoins, ces dernières années, le dioxyde de carbone revient en force. Le CO₂ est très prisé dans les installations frigorifiques en cascades.

Ses atouts, une puissance frigorifique volumétrique élevée et des propriétés intéressantes en matière de transfert thermique.

Le R744 n'est ni inflammable, ni toxique à faible concentration en milieu clos.



Les fluides frigorigènes hydrocarbure

La règlementation F gaz , notamment la phase Down c'est-à-dire la limitation progressive des HFC en fonction de leur nocivité concernant l'effet de serre (PRG = pouvoir réchauffement global) est de nature à mettre en avant des fluides moins nocifs pour notre planète..

Les hydrocarbures tels que le R290 (propane) dédié au froid commercial et le R600a (isobutane) pour le froid domestique deviennent des fluides frigorigènes incontournables.

Si ces fluides représentent un avantage au point de vue écologique (ODP = 0, GWP= 3), ils ont un inconvénient de taille car ils présentent une certaine dangerosité, en effet ils appartiennent au groupe A3, ils sont donc potentiellement inflammables et dans certaines conditions il y a risque d'explosion.

Bien entendu ces risques sont mesurés, ces fluides sont dangereux en fonction de leur concentration dans l'air (voir tableaux). Notons que leur utilisation est pour le moment limitée et encadrée selon des normes est bien définie (EN378-1, EN 60335-2-24 et EN 60335-2-89).

Les seuls accidents notables sont d'ailleurs survenus en usine lors de la charge en fluide d'appareils ménagers.

Petite histoire des hydrocarbures

Comme souvent dans l'histoire de la réfrigération on redécouvre des fluides qui ont été déjà utilisés parfois il y a longtemps mais qui n'ont pas connu de réel développement industriel.

Vers 1908 on retrouve des traces d'utilisation d'éthylène pour une installation frigorifique en cascade, un peu plus tard vers la fin des années 1920 J.G. de Remer (USA) utilisera l'isobutane dans plusieurs machines ne dépassant pas le stade de prototype. Un peu plus près de nous un scientifique anglais M.Ruheman vers 1950 utilisera un mélange de butane et de propane pour une machine frigorifique. Le peu de succès de ces diverses entreprises peut s'expliquer par la difficulté de rendre étanche les circuits frigorifiques afin de garantir la sécurité des biens et des personnes, d'autant que d'autres fluides réfrigérant (CFC, HCFC) plus faciles d'utilisation ont connu un succès grandissant pendant des décennies.

Ce n'est que très récemment que Greenpeace, l'O.N.G. bien connue a pu financer des études de recherche et de développement afin de mettre au point des réfrigérateurs fonctionnant à l'isobutane, les premiers réfrigérateurs de ce type furent commercialisés en 1992 en collaboration avec l'entreprise Foron.

Formation et dangerosité des hydrocarbures

Cette relative dangerosité implique une formation théorique et pratique des techniciens frigoristes, encore une fois ceux-ci devront s'adapter à de nouvelles pratiques. L'EN378-4 spécifie que tout intervenant sur un circuit avec gaz inflammable doit au préalable avoir suivi une formation et il doit bien entendu être titulaire d'une attestation de capacité. Cette formation théorique et pratique dure en général une journée, l'apprenant recevant en fin de journée une attestation prouvant qu'il a suivi une formation sur les hydrocarbures.

Ces fluides nécessitent un outillage spécifique et adapté, l'utilisation de raccords de type Lokring (sertissage) est souvent préconisée, le brasage est souvent déconseillé mais tout à fait possible en prenant certaines précautions d'inertage (mise sous pression d'azote + plus tirage au vide en plusieurs fois).

Compte tenu de leur faible impact sur l'environnement (gaz à effet de serre) les hydrocarbures peuvent être rejetés directement dans l'atmosphère en respectant quelques règles de sécurité (concentration inférieure à la limite d'inflammabilité). Ils peuvent aussi être récupérés dans une bouteille de récupération spécifique pour être rejeté à l'extérieur ultérieurement. L'utilisation d'une bouteille de récupération classique n'est pas conseillée surtout si celle-ci doit être transportée dans un véhicule par exemple. En usine un additif est incorporé à tous fluides hydrocarbures afin de pouvoir identifier à l'odeur une éventuelle fuite.

Concernant les fluides frigorigènes de type hydrocarbures quelques notions doivent être connues :

- Point éclair : température à partir de laquelle un fluide peut s'enflammer en présence d'une flamme.
- Point d'auto-inflammation : température où un fluide s'enflamme spontanément sans apport de chaleur.
- La limite inférieure d'inflammabilité c'est la limite en dessous de laquelle un mélange gaz/air est pauvre en gaz.
- La limite supérieure d'inflammabilité c'est la limite en dessus de laquelle un mélange gaz/air est pauvre en air.
- Entre ces deux limites se situe le domaine d'inflammabilité du fluide en question.

La règlementation en bref

Pour l'utilisation en réfrigération domestique la charge de fluide (R290, R600a) ne doit pas dépasser 150 g pour des appareils hermétiquement scellés. Ce qui garantit un taux de concentration faible dans une habitation.

Dans les ERP que dit la réglementation ?

Concernant la charge en fluide frigorigène de classe A2L, A2 ou A3 deux conditions devront être respectées :

- La charge totale en kg doit être inférieure à 20 % de la limite d'explosivité* en kg/m³ × volume de la salle en m³.
- La charge par circuits doit être inférieure à 1,5 kg si l'appareil est en RDC ou en étage, 1 kg si l'appareil est en sous-sol.

*Attention, la limite d'explosivité est différente pour chaque fluide.

Exemple :

Dans un magasin de 1000 m³ en RDC utilisant des appareils (groupes logés) au R290, le calcul nous donne :
20 % × 0,038 × 1000 = 7,6 kg

Et pour respecter la deuxième condition la charge sera limitée à 1,5 kg par circuit (indépendant).

Caractéristiques du R290 et du R600a

Le propane ou R 290

C'est un produit du traitement naturel de gaz et du raffinage de pétrole, avec la formule moléculaire C₃H₈. Il présente des propriétés thermodynamiques assez semblables au R404, avec tout de même des températures de refoulement plus faibles. C'est un fluide qui avec ses performances, taux de compression et température de refoulement faibles peut être utilisé dans de nombreuses applications, du froid positif ou négatif à la pompe à Chaleur.

Par contre sa capacité volumétrique est plus faible que celle du R-404A, ce qui représente un désavantage pour les grosses puissances.

- Meubles réfrigérés positif ou négatif
- Distributeur de boisson automatique
- Climatiseur portable et split système (en ASIE)

Le R600a ou Isobutane

Le R600a est un hydrocarbure de formule brute C₄H₁₀, qui a comme particularité d'avoir une température d'évaporation assez haute – 11,7 °C, et une capacité frigorifique volumétrique faible ce qui limite son champ d'application. Il est donc le candidat idéal pour la réfrigération domestique et le froid commercial de petite puissance.

D'autres hydrocarbures comme le R-50 (méthane), le R-601 (pentane), le R-601a (isopentane) et le R-1150 (éthylène) sont employés pour des applications industrielles.

Les huiles

Les hydrocarbures sont assez miscibles avec les huiles de lubrification, surtout à basse température, ce qui pose des problèmes d'abrasion et d'usure. Les huiles minérales et POE sont compatibles avec les fluides hydrocarbures avec des additifs. En cas de manipulation sur le circuit frigorifique il faudra procéder à un tirage au vide poussé pour dégazer le fluide contenu dans l'huile.

Comment manipuler les fluides hydrocarbures en sécurité !

<https://vimeo.com/584780162/b1ba08b5f9>

Le point sur le fluide R32 !

La réglementation européenne F-Gaz impose une réduction des HFC à fort potentiel de réchauffement global avant de les interdire d'ici 2025.

Le R401A avec un PRG de 2088 est donc visé par cette réglementation et le R32 s'impose comme son remplaçant "naturel", d'autant que le R32 entre à 50 % dans la composition du R410a et que les propriétés thermodynamiques de ces 2 fluides sont équivalentes. Avec toutefois à puissance égale, un gain de performance de 5 à 7 % pour le R32.

Quelques caractéristiques du R32.

Le R32 (difluorométhane) est un fluide pur qui fait partie de la famille des hydrocarbures saturés (HFC). C'est une molécule de méthane composé de 2 atomes d'hydrogène et 2 atomes de fluor.

- Nom : Difluorométhane
- Formule brute : CH₂F₂
- ODP = 0 (effet sur la couche d'ozone)
- PRG = Potentiel de Réchauffement Global = 675
- Point de fusion : -136 °C
- Point d'ébullition : -52 °C
- Classe A2L = légèrement inflammable sous conditions, tenir à l'écart de flammes nues, ne pas fumer.
- Asphyxiant simple dans un local non ventilé (norme NIOSH).

Avantages et inconvénients pour le frigoriste.

- Voyons tout d'abord quelques avantages.
- Comme le R32 est un fluide pur il peut être chargé aussi bien l'état liquide qu'à l'état gazeux.
- Comme tous les fluides purs il n'y a pas de glissement de température.
- Les machines utilisant le R32 auront des rendements supérieurs à celles fonctionnant avec du R410A , à puissance égale la taille des appareils aux R32 sont normalement réduite.
- Les pressions de service sont légèrement plus élevées pour le R32, + 10% .
- Le contrôle d'étanchéité compte tenu du seuil d'équivalent CO₂ ne sera obligatoire qu'à partir de 7,2 kg de charge R32.
- Compte tenue de son PRG de 675 ,c'est une solution de remplacement pérenne à court et moyen terme.

Les inconvénients sur l'utilisation du R32.

- Ce fluide est légèrement inflammable à un certain niveau de concentration il faudra donc respecter un taux maximum de concentration dans la pièce où l'appareil est installé.
- Les dudgeons et raccord devront être positionnés à l'extérieur par précaution.
- Certains outils comme les détecteurs de fuite, les manomètres, les pompes à vide, les stations de récupération devront être compatibles avec les hydrocarbures.

Réglementation ERP et R32

Zones d'exclusion autour des raccordements pour les ERP

La nouvelle mouture de la réglementation incendie CH 35 (Journal officiel du 17 mai 2019) intégré l'idée de « zones d'exclusion » autour des raccordements frigorifiques. Cette zone circulaire exprimée en mètre sera centrée sur les raccordements, zone où il ne faudra trouver aucune source permanente d'inflammation.

Le rayon sera fonction :

- Du diamètre de la tuyauterie liquide
- De la limite inférieure d'inflammabilité du fluide.

Les fluides concernés :

- A2L comme le R32
- Fluide inflammable A2
- Fluide hautement inflammable A3

Tableau des zones d'exclusion

Diamètre intérieur (ligne liquide en mm)	Installation extérieur (1)	Installation intérieure (2)	installation intérieure (3)
D ≤ 10	2m	1m	2m
10 < D ≤ 20	4 m	2m	4m
20 < D ≤ 50	10m	4m	10m

1) Zone d'exclusion uniquement exigible pour les installations extérieures dont les fluides frigorigènes inflammables présentent une vitesse de propagation de flamme supérieure à 10 cm/s.

2) Fluides frigorigènes inflammables présentant une limite inférieure d'inflammabilité supérieure à 0,10 kg/m³.

3) Fluides frigorigènes inflammables présentant une limite inférieure d'inflammabilité inférieure à 0.10 kg/m³.

Charges en fluide autorisées

Dans cette réglementation il y a aussi des conditions particulières concernant la charge de fluide maximale autorisée et notamment le dépassement de la limite. Celle-ci sera possible grâce à la mise en place de mesures de sécurité complémentaire détecteur de fuite fixe, extraction de sécurité, électrovannes.

Nul besoin d'être devin pour prédire que cela aura un certain impact dans nos habitudes, cette CH35 étant très encadrée, les impératifs de sécurité risques de modifier des tendances du marché actuel.

Réglementation CH 35 : https://youtu.be/7a6-n2_X6Oo

R32 , Un fluide clasé A2L

Les fluides A2L s'utilise dans la même manière que tout autre fluide, compte tenu de leur faible inflammabilité il n'est pas nécessaire d'utiliser de l'outillage de type antidiéflagrant. Mais comme on se dirige de plus en plus vers des fluides dont le caractère d'inflammabilité devient de plus en plus fort comme le R600 ou le R290(obligation matériel Atex) afin d'éviter d'avoir de l'outillage en double le mieux est de s'équiper dès et déjà en matériel antidiéflagrant.

Même si les risques de flamme ou d'explosion pour les fluides A2L sont très faibles il n'est pas intéressant de former le personnel sur quelques bonnes pratiques, par exemple tirer au vide l'installation pour faire évaporer complètement le fluide ou chasser à l'azote les tuyauteries avant de souder, ou ventiler autant que faire se peut le lieu d'intervention. Les dudgeons et raccord devront être positionnés à l'extérieur de préférence quand cela est possible.

La récupération des fluides A2L et bien entendu obligatoire suivant la réglementation,et les bouteilles doivent être étiquetées et identifiées. Les bouteilles de récupération et de charge sont spécifiques à ces fluides, ils ont de manière générale une ogive rouge et une étiquette spécifiant le caractère inflammable du contenu.

Les raccordements de ces bouteilles ont un pas à gauche à fin de ne pas les confondre avec d'autres conditionnements. Les détecteurs de fluides et les manomètres sont de type standard comme toujours vérifier les flexibles qui doivent être adaptés à la pression maximale d'utilisation.

Le R717 ou ammoniac(NH₃)

Le R717 ou ammoniac(NH₃) est un corps pur à molécule pyramidale, utilisé dans les installations de froid industriels. Il est composé d'un atome d'azote et trois atomes d'hydrogène (symbole chimique NH₃). Fluide frigorifique historiquement très ancien car les premières machines à compression furent utilisées en 1850 en France, puis en 1860 aux États-Unis. Les premières patinoires furent équipées d'installations à l'ammoniac vers 1920, puis 10 ans plus tard c'est au tour de la climatisation et de la réfrigération domestique d'utiliser ce fluide.

Aujourd'hui les utilisations de l'ammoniac sont multiples et variées :

- Industrie chimique et agroalimentaire
- Production d'eau glacée
- Usine de production glace
- Tunnel de surgélation
- Chambre climatique
- Conservation de produit transformé
- Pompe à chaleur CO₂ (premier étage)
- Climatisation des aéroports
- Patinoire
- Saumure

Caractéristiques R717

- Nature::: Composé chimique inorganique
- Formul::: NH₃
- Compositio::: 1 atome d'azote (N) et 3 atomes d'hydrogène (H)
- Couleur : Incolore
- Odeur : Très âcre et facilement reconnaissable
- Température critiqu : + 132,4 °C
- Température ébullition : - 33,5 °C (pression atmosphérique)
- Pression critique : 113 Bar

Toxicité et recommandation Fluide classé B2:

L'ammoniac est un fluide incolore, plus léger que l'air et son odeur est forte et très caractéristique. Il a aussi la particularité en s'évaporant d'occuper un espace important, par exemple l'évaporation à la pression atmosphérique d'un litre d'ammoniac liquide donne plus de 900 litres de gaz.

C'est donc un fluide particulièrement toxique, l'étanchéité des circuits frigorifiques doit être soignée, car une concentration 0,2 % dans l'air entraîne de sérieux problèmes, c'est un gaz potentiellement mortel.

L'ammoniac sous forme gazeuse ou liquide attaque certains métaux ou alliage et peut même sous certaines conditions devenir un composé explosif notamment en présence de mercure, d'argent, etc.

Peut-être inflammable par exemple en cas de concentration élevée ou de présence de flamme.

Quelques chiffres sur la concentration et les effets sur l'être humain : (*ppm = partie par million)

- À partir de 10 ppm* = légère irritation des yeux
- Au-delà de 20 ppm* = une irritation légères des muqueuses nasales.
- Vers 100 ppm* = gêne importante, malaise.
- À partir de 200 ppm * = masque obligatoire
- 300 ppm* = exposition de 30 minutes ou plus, danger grave pour la santé
- À partir 500 ppm* = Danger extrêmes grave, voir mortel si exposition prolongée
- De 2 000 à 5 000 ppm* = Danger de mort en quelques minutes

Pour résumer

- Produit très irritant et corrosif (vomissements, brûlures)
- Protection des mains et des yeux + protection respiratoire (masque)
- Au delà de 300 ppm dans l'air obligation de porter une combinaison étanche
- Explosif sous certaines conditions
- Douche de sécurité obligatoire
- DéTECTeur de fuite fixe obligatoire
- Interdiction de fumer à proximité
- Réaction en présence d'acides, d'oxydes, très soluble dans l'eau
- Ventiler le local de stockage a l'abris du soleil
- Ne pas inhale
- Applications
- Installations de type industriel et système à absorption

Quelles alternatives à la fin programmée du R404A

En 2015, la F-Gaz (nouvelle réglementation européenne en faveur de l'écologie et de la limitation des gaz polluants) a été mise en place. Cette dernière a pour projet de réduire de près de 80 % l'utilisation de gaz fluorés (hydrofluorocarbures ou HFC, par exemple). Une disposition similaire d'interdiction est prévue pour 2020 et concerne les gaz fluorés disposant d'un pouvoir de réchauffement global trop important. D'ici là une raréfaction progressive des gaz dont le potentiel de réchauffement climatique est supérieur à 2500 sera mise en place et le R404A en fera partie, donc il faut déjà penser à son remplacement mais pour quelle alternative ?

Les HFO pour remplacer le R404A ?

En ce moment, on parle beaucoup de R449A, de R452 ou bien même de R513A. Contrairement à ce qu'on peut en penser, ces derniers ne sont pas des HFO mais des mélanges de HFO et de HFC. Ces combinaisons ont été créées récemment, pour répondre aux exigences et remédier aux futures interdictions de la F-Gaz en proposant un pouvoir de réchauffement global (ou PRG) aujourd'hui très inférieur à celui qu'affiche l'utilisation du R404A (en dessous de la limite de 2500). Cependant, malgré cette possibilité optimiste, il faut garder deux informations à l'esprit :

- Ces nouveaux fluides proposés ne sont pas des équivalents parfaits.
- Une période d'adaptation pourra être nécessaire suivant les applications.

Étant des gaz différents, leurs propriétés physiques sont également différentes. Par exemple, on notera que la température de refoulement peut-être jusqu'à 30k supérieure. Une adaptation des compresseurs est nécessaire, par exemple une mise en place de ventilateurs au niveau de la culasse (compresseurs semi-hermétiques). Un changement d'échangeurs nécessaire ? Comme nous l'avons expliqué plus haut, comparés au R404A, les mélanges HFO et HFC se comportent de façon différente. En effet, ces derniers présentent des glissements de températures parfois importants durant les phases de condensation ou pendant la phase d'évaporation parfois importants.

Ce glissement de température représente un sérieux handicap notamment pour les échangeurs (condenseur, évaporateur) à flux parallèle, le meilleur choix étant d'utiliser des échangeurs disposant de flux à « contre-courant ». Ceux-ci sont utilisés depuis près de 15 ans en Europe.

Le réglage (surchauffe) des détendeurs seront adaptés en fonction des installations, il faudra dans certains cas changer le détendeur.

L'alternative du propane (R290) est-elle vraiment la meilleure option ?

Si vous connaissez un peu, vous avez sans doute déjà lu que l'alternative du propane est de plus en plus employée. En effet son PRG est très faible (de niveau 3) et c'est un gaz dont le volume frigorifique est très proche de celui de notre R404A. De plus sa consommation énergétique est faible et son glissement de température inexistant.

Cependant, un gros problème persiste. L'utilisation du propane n'est pas sans risques puisque ce dernier est un gaz légèrement inflammable. Un arc électrique, ou court-circuit sous certaines conditions pourrait être vraiment destructeur. Son utilisation est réglementée et il ne peut être utilisé que pour de petits frigos et autres meubles frigorifiques autonomes de taille réduite. Une formation sur son utilisation est préconisée.

Réglementation F-gas

Cette nouvelle réglementation mise en place janvier 2015, remplace l'ancienne datant de 2006.

Cette réglementation F-Gas a comme objectif de limiter l'utilisation de gaz à fort potentiel de réchauffement global (PRG OU GWP) notamment les HFC.

Commençons par un peu d'histoire, l'équipe de Frigidaire Corporation dirigée par T. Midgley met au point en 1930 de nouveaux fluides frigorigènes non toxiques et non inflammables à base d'hydrocarbures fluorés. Puis apparurent successivement le premier CFC, le R12 (CF_2Cl_2) en 1931, puis le premier HCFC, le R22 (CHF_2Cl) en 1934 et plus près de nous en 1961, le premier mélange azéotropique R502 (R22/R115).

En 1974 F.S. Rowland et M.J. Molina, prix Nobel américains montrent l'action du chlore sur la couche d'ozone stratosphérique (60 km d'altitude environ). Entrée en vigueur du Protocole de Kyoto le 16 février 2005 visant à lutter contre le changement climatique. Mise en application du règlement F-Gas en 2006 (CE 842/2006).

Voyons comment s'articule cette réglementation Européenne.

HFC et Phase down

La mesure la plus emblématique est appelée "Phase down" elle instaure une diminution progressive des gaz dont le potentiel de réchauffement climatique est supérieur à 2500, et ceci suivant un calendrier.

Ce calendrier s'étale sur la période 2015 à 2030, cette disposition oblige les détenteurs d'installation à réfléchir à des solutions de remplacement compte tenu de la raréfaction programmée des HFC.

Bien entendu cela va encore compliquer le travail sur le terrain des personnels qui devront apprendre à utiliser de nouveau fluide tel que les HFO,HF.. Etc.

Contrôle d'étanchéité (confinement)

Les anciennes obligations concernant le détenteur d'un équipement qui le rend responsable de la récupération des fluides par un personnel habilité reste d'actualité, quant à lui l'opérateur doit toujours récupérer les divers fluides en assurant leur recyclage, leur régénération ou leur destruction (CFC, HCFC).

Par contre la périodicité des contrôles d'étanchéité ne se fera plus en fonction de la charge contenue dans l'installation exprimée en kilogrammes, mais en tonnes d'équivalents CO₂ (potentiel de réchauffement global (PRG) d'un gaz à effet de serre) chaque fluide ayant sa propre équivalence en tonnes de CO₂.

Tonnes équivalent CO ₂	Fréquence contrôle sans détecteur	Fréquence contrôle avec détecteur
De 5 à 50 tonnes	Tous les ans	Tous les deux ans
De 50 à 500 tonnes	Tous les 6 mois	Tous les ans
Au delà de 500 tonnes	Tous les 3 mois	Tous les 6 mois

Poids et équivalence CO₂ de 2 fluides

Fluides	R 134a	R 410A
5 tonnes Eq CO ₂	3,49 kg	2,39 kg
50 tonnes Eq CO ₂	34,96 kg	23,95 kg
500 tonnes Eq CO ₂	349,65 kg	239,57 kg

Donc sans détecteur il faudra 3,49 kg de R 134a pour devoir vérifié tous les ans une installation.

Pour vous aider Climalife met à votre disposition une application Android nommé "F-Gas Solutions"

Ce qu'il faut savoir.

En ce qui concerne l'étiquetage des installations contenant du chlore celles-ci devront être obligatoirement repérées de façon indélébile comme suit" contient des gaz à effet de serre fluorée relevant du protocole de Kyoto".
Puis à partir de 2017 toutes installations seront étiquetées en équivalent CO2.

Les attestations de capacités et d'aptitude sont maintenues en l'état par contre le règlement stipule que les personnels doivent suivre une formation complémentaire concernant cette nouvelle réglementation.

Tous les équipements qui seront soumis à un contrôle étanchéité devront être consigné dans un registre qui sera conservé cinq ans, il devra contenir :

- la quantité et le type du fluide utilisé
- les quantités de fluide récupéraient
- les quantités de fluide ajoutaient
- identité de l'entreprise avec son numéro de certification
- les dates et les résultats des contrôles d'étanchéité.

La réglementation F-Gas : <https://youtu.be/WRKUIqQ53EE>

Future révision de la réglementation

La Commission européenne procèdera à une évaluation de la réglementation courant 2020 afin de jeter les nouvelles bases pour la F-Gas. Cette refonte est prévue pour 2022, d'ici là les divers partenaires et acteurs du marché seront consultés, des enseignements seront tirés concernant les résultats de la mise en œuvre de la F-gas de 2015.

Quelques idées nouvelles seront émises pour cette évaluation :

- Ajout de nouvelles étapes de réduction au-delà de 2030.
- Modifier certaines exemptions et certains seuils .
- Interdire l'utilisation des fluides fluorés.
- Lutter plus efficacement contre la contrebande en modifiant les pouvoirs des autorités douanières.
- Formation des techniciens devra être plus dirigée vers les fluides dits alternatifs.
- Rendre la future mouture de la F-Gas plus flexible.

Fluide et trafic illégal

Il était une fois, une soixantaine de pays qui décidèrent un beau matin à Kigali de réduire la production de fluides à fort pouvoir de réchauffement global.

Cette pénurie organisée (Phase down), a bien entendu un effet pervers car ce qui est rare est cher. Donc les prix des HFC ont progressivement augmenté depuis l'application de cet accord et atteignent actuellement des sommets.

D'autres pays par l'odeur alléchée organisèrent de leur côté un marché noir lucratif.

Ou importent des HFC parfois en toute légalité simplement en contournant les législations européennes.

Ne les blâmons pas... ! , car pour qu'une offre existe il faut bien une demande.

Certains pays et certaines entreprises européennes ne joueraient-elles pas le jeu ?.

Une enquête réalisée par l'ONG Environmental Investigation Agency (EIA) a établi une carte des routes de ce trafic illégal.

Les fraudes concernent surtout les pays en bordure de l'Europe - dont la Russie, l'Ukraine, la Turquie, et l'Albanie - tentés par les prix bon marché des HFC en dehors du Vieux Continent. Selon l'ONG, si une partie des HFC hors-quotas serait dissimulée dans des voitures ou des bateaux, l'essentiel transiterait par les circuits douaniers classiques, en exploitant les failles du système comptabilisant les quantités importées. Les sanctions, de plus, seraient faibles et rarement mises en œuvre.

Vigilance et risque

Soyez vigilant les bouteilles contenant des fluides illégaux ressemblent aux emballages officiels, mais ne comportent pas les étiquetages réglementaires. Les bouteilles non réutilisables souvent conditionnées dans un emballage cartonné, sont interdites dans l'Union Européenne.

Les fluides issus d'un trafic ne sont pas contrôlés, donc leurs compositions sont parfois surprenantes, impuretés, éléments toxiques, proportion d'éléments chimiques non respectés.

Ce que vous risquez en utilisant ces fluides ?

- Perte de votre attestation de capacité
- Garantie constructeur annulée
- Sanctions pénales jusqu'à 2 ans d'emprisonnement et 75 000 euros d'amende

Les obligations des détenteurs d'équipements

Les détenteurs d'installations de réfrigération et de climatisation sont soumis à des obligations non optionnelles en ce qui concerne les fluides frigorigènes. D'après l'article R 543-76 du code de l'environnement, sont concernés tous ceux exerçant une influence significative sur le fonctionnement d'équipements utilisant des fluides frigorigènes, propriétaires ou non. Les principales installations concernées se trouvent être les équipements réfrigérants ainsi que les appareils utilisés dans le secteur de l'alimentation.

Mesures à respecter en cas d'utilisation de fluides frigorigènes

Faire appel à un opérateur certifié

Les détenteurs d'équipements utilisant les fluides frigorigènes ont l'obligation, pour tout travaux de charge, de mise en service, d'assemblage ou d'entretien, de faire appel à un opérateur certifié et remplissant les conditions requises ou à une entreprise agréée. Cependant, et ce d'après l'article R543-78 du code de l'environnement, cette mesure n'est pas obligatoire lorsqu'il s'agit de raccorder un appareil à circuit hermétique, préchargé en fluide frigorigène et contenant moins de 2kg de fluide, à un réseau électrique ou hydraulique.

Contrôle d'étanchéité des équipements

Lors de la mise en service d'un équipement dont la charge de fluide frigorigène est supérieure à 2kg est tenu dans l'obligation de procéder à un contrôle d'étanchéité complet effectué par un opérateur agréé et remplissant les conditions requises. Ce contrôle, renouvelé périodiquement, a pour objectif de constater les fuites éventuelles le plus rapidement possible afin que les mesures nécessaires soient prises par le détenteur de l'équipement. Un constat sera envoyé au représentant de l'Etat du département en cas de fuite sur tout appareil contenant plus de 300kg de fluides frigorigènes. Pour les équipements contenant plus de 3kg de fluides, les constats de fuites doivent être conservés pour une durée minimum de 5 ans.

La fiche d'intervention établie par l'intervenant doit être signée respectivement par les deux parties et doit comporter les coordonnées de l'opérateur ou de l'entreprise ayant effectué l'assemblage de l'équipement ainsi que son numéro d'attestation de capacité. Une fiche d'intervention doit être établie pour toute intervention ou manipulation sur l'équipement.

Procédure du contrôle de l'étanchéité

Avant tout contrôle, il est obligatoire de procéder à une vérification des registres de l'équipement afin d'en connaître non seulement les utilisateurs, mais également les charges en fluides frigorigènes ainsi que les précédentes fuites constatées. Les parties des équipements soumises à des vibrations régulières comme les joints, les valves ou encore les tuyauteries doivent subir une vérification systématique et régulière afin d'assurer une étanchéité optimale.

Lors de la charge, de la mise en service ou de la réparation d'une fuite éventuelle, effectuée par du personnel spécialisé, il est souvent nécessaire de procéder à une récupération des fluides contenus dans l'équipement. Ainsi, l'intégralité du fluide évacué doit être récupérée. De plus, un contrôle d'étanchéité doit obligatoirement être effectué dans le mois suivant cette dite intervention.

Toute opération de recharge de fluide sur un équipement présentant des défauts d'étanchéité est interdite.

Etiquetage des équipements

L'étiquetage des équipements, réalisé soit par le producteur (pour les appareils à circuit hermétiques et préchargé en fluide ne nécessitant qu'un raccordement aux réseau électrique) soit par l'installateur chargé de la mise en service, doit comprendre, et ce de façon lisible, une mention indélébile et permanente indiquant non seulement la quantité, mais également la nature exacte du fluide frigorigène contenu.

Sont concernés par l'étiquetage :

- Tous les équipements contenant des fluides frigorigènes ayant été mis sur le marché après le 8 décembre 1992, hors appareils domestiques, climatiseurs et pompes à chaleur si la charge en fluide ne dépasse pas 2kg.
- Tous les équipements ayant été mis sur le marché à partir du 7 mai 2007, et ce quelle que soit leur charge en fluide frigorigène.

Fréquence des contrôles d'étanchéité

D'après l'arrêté du 7 mai 2007 relatif au contrôle d'étanchéité des équipements de confinement des fluides frigorigènes.

- Equipements avec charge en fluide frigorigène de 2kg à 30kg : Une fois tous les 12 mois.
- Equipements avec charge en fluide frigorigène de 30kg à 300kg : Une fois tous les 6 mois et tous les 12 mois à l'aide d'un contrôleur d'ambiance.
- Equipements avec charge en fluide frigorigène de plus de 300kg : Une fois tous les 3 mois et tous les 6 mois à l'aide d'un contrôleur d'ambiance.

Dégazage des fluides frigorigènes

Toute opération de dégazage de fluide frigorigène dans l'atmosphère sans certificat est strictement interdite, sauf si celle-ci consiste à assurer la sécurité des personnes.

Equipements sous pression

Conformément aux exigences imposées par la directive européenne des équipements sous pression pour être en parfaite conformité avec la réglementation en vigueur, les équipements sous pressions se doivent de respecter plusieurs critères :

- Obligation de procéder à la réalisation d'un dossier lors de l'installation, comprenant toutes les informations liées aux risques encourus par la catégorie de l'installation.
- Suivi par l'entreprise de principes techniques pour le montage (Qualification des modes opératoires de brasage et des braseurs) et la mise en service des installations ; principes liés aux catégories de risque des assemblages permanents qui devront être déterminés par l'installateur.
- Qualification des installations par une procédure interne ou par intervention d'un organisme notifié suivant la catégorie de risque des installations.

Sanctions applicables en cas de non-respect des obligations concernant les fluides frigorigènes

D'après l'article R 543-122 du code de l'environnement, il est interdit de faire charger, de mettre en service, de réparer ou encore d'entretenir un équipement utilisant les fluides frigorigènes sans faire appel à un technicien titulaire d'une attestation de capacité spécifique. Tout manquement à cette règle est passible d'une amende de 450€.

De plus, omettre de procéder aux contrôles obligatoires de l'étanchéité des appareils (et ainsi ne pas réparer les fuites constatées) est passible d'une amende de 1500€. Cette amende est également de mise pour toute opération non certifiée visant à un dégazage de fluides frigorigènes dans l'atmosphère.

Trackdéchets, l'outil de suivi des déchets

Comme son nom l'indique, Trackdéchets est un outil de suivi des déchets dangereux et polluants. Il s'agit d'une plateforme numérique 100 % gratuite développée en 2018 par le Ministère de la Transition écologique. Cette plateforme a comme rôle principal de maintenir une traçabilité sur l'ensemble des déchets dangereux en France.

Qu'est-ce-qu'un déchet dangereux ?

Par définition, un déchet dangereux est tout déchet contenant des quantités variables de composants toxiques qui ont des effets néfastes sur la santé humaine ou l'environnement.

Les déchets dangereux regroupent :

- les déchets classiques tels que les résidus de peinture, les piles et les produits phytosanitaires ;
- les fluides frigorigènes ;
- les déchets d'activités de soins à risques infectieux (DASRI) ;
- les véhicules hors usage (VHU) ;
- l'amiante.

Que dit la réglementation ?

À partir du 1er janvier 2023, la dématérialisation de la traçabilité des déchets dangereux sur l'ensemble de leur chaîne de transfert et de traitement devient obligatoire. Un seul outil pour assurer cette nouvelle exigence : Trackdéchets. Avec un double objectif, celui de faciliter puis de sécuriser la traçabilité des déchets dangereux pour réduire leurs risques sur l'être humain et l'environnement.

Initialement, l'obligation de dématérialisation de la traçabilité des déchets était prévue pour le 1er janvier 2022, ensuite, elle a été décalée d'une année. Ceci vous donne du temps pour vous y conformer donc pas d'excuses . Vous avez également une tolérance de 3 mois au-delà du 1er janvier 2023.

Trackdéchets : qui est concerné ?

Tous les acteurs intervenant dans la chaîne de transfert des déchets dangereux sont concernés par l'utilisation de la plateforme gouvernementale Trackdéchets, à savoir :

- les producteurs de déchets dangereux ;
- les collecteurs et transporteurs de déchets dangereux ;
- les entreprises qui font le traitement de déchets dangereux ;
- toute entreprise et toute personne intervenant dans la gestion de déchets dangereux, y compris les négociants ;

Trackdéchets : les fonctionnalités de la plateforme

Vous vous demandez sûrement ce qu'il est possible de faire avec Trackdéchets ? En clair, toutes les tâches concernant les déchets dangereux que vous faisiez sur papier :

- la création de bordereaux de suivi des déchets (BSD) dématérialisés qui viennent remplacer le formulaire CERFA au format papier ;
- l'enregistrement et la sauvegarde de l'ensemble des BSD en toute sécurité ;
- le téléchargement de votre dossier réglementaire en un simple clic, directement sur Trackdéchets ;
- le suivi de vos BSD en temps réel et la mise à jour automatique de votre dossier réglementaire avec les BSD traités.

Les étapes à suivre pour utiliser Trackdéchets

La plateforme Trackdéchets est conçue pour être utilisable sur ordinateur, téléphone ou tablette. Si vous disposez déjà d'un outil numérique de gestion comme InterFast (en savoir plus en fin d'article), vous pouvez le connecter directement à Trackdéchets.

La première étape consiste à créer un compte pour votre entreprise.

Lors de cette étape, vous allez renseigner vos informations personnelles telles que votre nom, prénom, adresse e-mail et numéro de téléphone. Vous allez ensuite recevoir un e-mail afin d'activer votre compte.

Une fois que c'est fait, il ne vous reste plus qu'à rattacher votre entreprise en insérant le SIRET correspondant ainsi que le profil ou le secteur de votre activité.

Vous pourrez ensuite y ajouter des membres en insérant simplement leur adresse mail. Vous pourrez par exemple inscrire l'un de vos conducteurs.

Dès le moment où c'est vous qui créez le compte pour votre entreprise, vous devenez l'administrateur. Lorsque vous ajoutez des membres, vous pouvez les désigner comme administrateur ou simplement comme collaborateur.

La personne ajoutée recevra automatiquement un e-mail d'invitation pour s'inscrire.

La deuxième étape consiste à créer un BSD. Celui-ci reste modifiable par tous les membres rattachés à l'entreprise tant qu'il n'est pas signé.

Lors de la création d'un BSD, vous devez introduire les informations suivantes :

- l'émetteur du déchet ;
- les caractéristiques du déchet ;
- la destination ;
- les informations du transporteur.
- Le BSD créé est enregistré sur la rubrique brouillon.

Lorsque le transporteur désigné arrive chez l'émetteur ou le producteur du déchet, il va faire signer le BSD par celui-ci. La signature est dématérialisée (électronique) et peut se faire de deux manières :

- Sur l'outil du conducteur avec le code du producteur ;
- Sur l'outil du producteur avec le code du conducteur.
- Une fois le BSD signé, son statut sur Trackdéchets passe à la rubrique "Collecté".

En cas de contrôle sur la route, le conducteur va présenter un récépissé numérique.

Lorsque le conducteur arrive à destination, l'installation de traitement ou de transit va valider la réception du déchet. À ce moment-là, le BSD est archivé automatiquement sur la plateforme.

Si vous souhaitez imprimer votre registre réglementaire, il suffit d'aller sur la rubrique "Mon espace" de la plateforme puis de sélectionner "Registre" et de cliquer sur "Exporter".

Zoom sur les professionnels du froid et de la climatisation

Après avoir dit l'essentiel sur la plateforme Trackdéchets, penchons-nous à présent sur le secteur du froid et de la climatisation. La première question qui se pose, c'est : quels sont les déchets dangereux pour ce secteur ?

Les fluides frigorigènes : des déchets potentiellement dangereux ?

On trouve des fluides frigorigènes dans tous les systèmes de production de froid notamment les réfrigérateurs, les chambres froides, climatiseurs ou encore les pompes à chaleur. Dans les domaines du froid et de la climatisation les fluides frigorigènes sont classés en fonction de leur toxicité et de leur inflammabilité.

Les fluides frigorigènes sont des composants chimiques qui peuvent avoir des effets néfastes sur l'environnement, ou être dangereux pour les humains. Certains peuvent contribuer à l'effet de serre, d'autres peuvent détruire la couche d'ozone.

De ce qui précède, on comprend pourquoi les professionnels du froid sont concernés par Trackdéchets. Notons aussi que la réglementation F-gas impose une traçabilité des fluides frigorigènes !

Pénurie et augmentation des prix des HFC

Les quotas imposés par la nouvelle réglementation européenne F-GAS*, vont fortement réduire la disponibilité des fluides HFC, notamment les fluides à fort pouvoir de réchauffement planétaire comme le R404A. En effet son GWP est de 3922 ce qui le place en tête des fluides visés par la réglementation F-gas, alors que son utilisation est encore très large dans les installations de réfrigération. La première conséquence de cette réduction de quotas imposés au niveau européen c'est tout d'abord le prix, c'est la loi de l'offre et de la demande, ce qui est rare est cher. Cette augmentation déjà perceptible touche tous les fluides HCF, mais plus particulièrement le R404A, le R507A ,le R410A et le R407C.

Augmentation prix réfrigérants HFC 2017



Une autre conséquence c'est que les entreprises se mettent à stocker certains fluides pour se prémunir d'une éventuelle pénurie, qui de ce fait ne manquera pas d'arriver.

D'ailleurs l'Alliance Froid Climatisation Environnement** met en garde les professionnels « il est urgentissime de ne plus du tout utiliser les frigorigènes à fort pouvoir de réchauffement planétaire ». Celle-ci met l'accent sur le fait qu'à partir de janvier 2018 en vertu de la nouvelle réglementation (Phase down) la mise sur le marché des fluides HFC va être limitée à 63 % du tonnage annuel mis sur le marché sur la période 2009-2012 (en tonnes équivalent CO₂).

Bien entendu à ces 63 % s'ajoutera la quantité de fluides récupérés et recyclés ce qui devrait équilibrer un peu la balance.

Pour comprendre l'ampleur du défi concernant l'abandon progressif des HCF, il faut savoir que l'Europe utilise plus de 80 000 tonnes de HFC par an soit plus de 10 % de la quantité mondiale, ce qui représente plus de 180 millions de tonnes d'équivalents CO₂. L'objectif étant de réduire à l'horizon 2018 de 37 % soit 66 millions de tonnes d'équivalents CO₂.

En outre une étude financée par l'ADEM démontre qu'il faudra réduire obligatoirement les consommations de fluide HFC causées par les fuites sur les installations, sous peine de créer une pénurie difficile à maîtriser.

Quelles mesures devront prendre les installateurs et les mainteneurs afin d'éviter une pénurie :

- Ne plus proposer à leurs clients des installations neuves avec les fluides frigorigènes à fort PRG (GWP).
- Pour les installations existantes prévoir des rétrofits avec des fluides de remplacement ayant moins d'impact sur l'environnement.
- Récupérer avec le plus grand sérieux les fluides frigorigènes soit pour être réintroduit dans l'installation soit pour être recyclé.
- Faire la chasse aux fuites de manière systématique, améliorer l'étanchéité des circuits frigorifiques.

Pour conclure,

On peut être sûr que les premiers effets de la pénurie des HFC vont être compliqués surtout en 2019 avec la deuxième phase de réduction des 37% .Les entreprises qui n'auront pas anticipé ces mesures, et les exploitants ceux disposant d'équipements déjà installés en fluide à effet de serre risquent d'être pénalisés car cette pénurie risque d'être mal maîtrisée ce qui augmentera de façon importante le prix des fluides et de l'exploitation des installations.

*Phase de réduction progressive des HFC (Phase Down), exprimés en équivalent CO₂ pour la période 2015 à 2030 qui seront mis à disposition sur le marché.

**Alliance Froid Climatisation Environnement (AFCE) : Organisme (loi 1901) crée en 1995, qui à pour but de suivre l'application de la réglementation sur le changement climatique dans l'Union Européenne.

Fuite de réfrigérant et coût caché !

Sur la base d'une étude menée par "Star Refrigeration", Chris Druce, directeur du service d'exploitation de la société basée à Glasgow, examine l'effet que les fuites de fluide frigorigène peuvent avoir sur les coûts de fonctionnement d'une installation frigorifique.

L'efficacité d'un système de réfrigération est influencée par un certain nombre de facteurs, mais un coût caché important (et souvent négligé) de l'exploitation d'une installation frigorifique c'est la fuite de réfrigérant.

On estime que certains systèmes de réfrigération peuvent perdre plus de 20 % de leur charge chaque année en raison d'une mauvaise conception, d'une qualité d'installation perfectible, et du manque d'entretien approprié. Il en résulte une consommation d'énergie accrue, une empreinte carbone élevée, et des coûts d'exploitation (énergie et service) plus élevés.

L'impact environnemental des émissions directes et indirectes

L'impact environnemental d'un système de réfrigération est une somme de ses émissions directes et indirectes. Les émissions directes proviennent de fuites de réfrigérant du système dans l'atmosphère. Ils sont un facteur de la quantité libérée et du potentiel de réchauffement global (PRG) du fluide frigorigène. Le choix d'un réfrigérant à faible PRG et ayant un système bien entretenu contribue à réduire au minimum les émissions directes. Les émissions de carbone indirectes proviennent de la production d'énergie nécessaire pour faire fonctionner le système, y compris les moteurs, ventilateurs et autres équipements électriques. Cette énergie électrique est produite dans une centrale ou localement, et a ses propres émissions de carbone par kWh. L'optimisation des performances permet de réduire au minimum les besoins en énergie, donc les émissions à la source, et d'éviter les fuites, ce qui est également essentiel.

Bien que l'utilisation d'un fluide frigorigène à faible PRG puisse faire une différence pour les émissions de carbone, seulement 20 % des émissions totales de carbone d'une installation proviennent des émissions directes. Les émissions indirectes représentent 80 % du total, ce qui démontre l'importance de s'assurer qu'un système de réfrigération fonctionne aussi efficacement que possible dès la conception, puis via l'entretien.

C'est la raison pour laquelle il est avantageux de prendre soin des équipements du point de vue de l'étanchéité. Les coûts énergétiques liés à l'exploitation d'un système qui perd du fluide frigorigène (et donc fonctionne de manière inefficace) sont souvent supérieurs aux coûts d'entretien et de réparation du système.

L'étude réalisée par Star Refrigeration a évalué les effets des fuites de réfrigérant sur les émissions de carbone directes et indirectes en utilisant le réfrigérant R404A, à PRG élevé. Ces données ont été comparées avec des réfrigérants de remplacement, dont le R449A, le R407A et le R407F. Il a été démontré que des réductions significatives de capacité et d'efficacité pouvaient être observées pour chaque réfrigérant lorsqu'il était sous-chargé. Dans les conditions de la conception, le R407A a montré la capacité et le rendement le plus élevé, et le R404A le plus faible. La réduction de la charge de fluide frigorigène à 50 % a montré que le R449A fonctionnait avec la plus grande capacité et efficacité, tandis que le R407A montrait les taux les plus bas.

De la même manière qu'un contrôle technique et un entretien assidu de votre voiture peuvent réduire les coûts de réparation de votre véhicule, un forfait d'entretien est une mesure préventive pour votre installation frigorifique. La conception initiale de l'installation et le choix du fluide frigorigène contribuant également à la facture énergétique annuelle et à l'empreinte carbone associée, il est donc important d'en tenir compte lors du choix du nouvel équipement.

Hydrofluorocarbures (HFC) revus à la baisse... et ensuite ?

En raison des règlements sur les gaz fluorés, l'utilisation de réfrigérants à haute valeur PRG sera interdite dans de nouveaux équipements à partir de 2020. L'interdiction de l'utilisation de réfrigérant vierge dont le PRG dépasse 2 500 sera également mise en place pour les systèmes existants.

L'un de ces gaz est le R404A. Son élimination progressive pour 2020 a entraîné une augmentation des prix et une pénurie de fluide frigorigène, que les utilisateurs finaux tentent de stocker pour l'avenir. Le R404A a un potentiel de réchauffement global (PRG) de 3 922, ce qui signifie que pour chaque kilogramme de R404A libéré dans l'atmosphère, l'équivalent des émissions de CO₂ est de 3 922 kg. Le secteur industriel doit être responsable de son empreinte carbone totale.

Il existe beaucoup d'alternatives, qui sont moins nocives, et ont un impact moins important sur l'environnement.

Les coûts financiers

Les conséquences financières des pertes de réfrigérant sur les coûts d'exploitation indirects sont considérables. L'étude montre qu'avec une charge de réfrigérant de 70 %, une augmentation de près de 20 % peut être observée sur les coûts d'exploitation.

Source : Kim, W et Braun, J E (2010) Impacts of Refrigerant Charge on Air Conditioner and Heat Pump Performance. Conférence internationale sur la réfrigération et la climatisation

Les options pour remplacer le R404A

Les fuites de réfrigérant sont toujours mauvaises pour l'environnement, mais certains réfrigérants sont pires que d'autres. C'est la raison pour laquelle il existe une échelle de PRG. La British Standards Institution définit le PRG comme « un indice décrivant les caractéristiques radiatives des gaz à effet de serre bien mélangés, qui représentent les effets combinés des différents temps pendant lesquels ces gaz restent dans l'atmosphère, et leur efficacité relative dans l'absorption du rayonnement infrarouge ».

Cet indice est une approximation de l'effet de réchauffement intégré dans le temps d'un gaz à effet de serre donné dans l'atmosphère d'aujourd'hui, par rapport au CO₂ ».

Alors que l'horloge tourne pour le R404A et les autres fluides frigorigènes à haut PRG, il est important que les utilisateurs finaux de ces systèmes de réfrigération examinent les options pour l'avenir. Les propriétaires d'entreprise disposent pour cela d'un certain nombre d'options :

- Rénover leur installation pour pouvoir utiliser un fluide frigorigène à base de gaz fluorés alternatifs.
- Investir dans un nouveau système avec un fluide frigorigène à faible PRG, qui a une plus longue durée de vie.
- Investir dans une nouvelle installation à l'épreuve du temps, qui utilise un réfrigérant naturel comme le CO₂ ou l'ammoniac, avec peu ou pas de PRG.

Une réfrigération plus écologique et économique

Les fuites de fluide frigorigène constituent un coût caché important et souvent négligé de l'exploitation d'une installation frigorifique. Les prix des HFC sont en forte hausse, raison de plus de s'assurer que le système est exempt de fuites : le coût des réfrigérants à PRG élevé a augmenté de plus de 1 000 % ces dernières années. On assiste à une pénurie de ces fluides frigorigènes, de sorte que les utilisateurs finaux doivent décider comment continuer à refroidir leurs actifs commerciaux. Un système qui fuit est littéralement une fuite d'argent, mais n'oubliez pas que l'efficacité énergétique d'une installation aura également une incidence sur ses émissions de carbone et le coût de ses factures d'énergie. Réparer des installations frigorifiques et investir dans des réfrigérants à faible PRG permet souvent de réduire le coût global de fonctionnement d'une installation inefficace pendant de nombreuses années.

Texte original en Anglais sur : <https://www.coolingpost.com/features/hidden-costs-of-an-inefficient-refrigeration-system/>

Rapport sur les méthodes de détection de fuite

L'ADEME * en partenariat avec l'AFCE** édite un rapport sur les moyens de détection de fuite dans les installations de froid et de climatisation.

Rapport complet disponible ici :<http://www.ademe.fr/detection-fuite-etude-moyens-detection-fuite-installations-refrigerationde-climatisation>

Ce rapport évalue à l'aide de divers tests, les systèmes et méthodes de détection de fuites de fluides frigorigènes disponibles actuellement ou en cours de développement.

Tout d'abord, il teste sur des installations frigorifiques équipées d'un système de détection de fuites de type "expert". Ceux-ci contrôlent de façon indirecte les éventuelles fuites, et sont basés sur la mesure de plusieurs paramètres de comportement anormal du système. Ils surveillent le niveau de liquide dans le réservoir, les paramètres de température et de pressions puis un algorithme analyse ces données. Les systèmes de détection de fuites experts ont besoin d'un certain temps d'apprentissage parfois de plusieurs jours.

L'étude démontre la capacité de ces systèmes à repérer des fuites de moins de 100g/h en quelques jours avec des pertes de moins de 5 % de la charge nominale de l'installation.

Le constat est différent lorsqu'il s'agit de fuites avec un débit plus élevé, jusqu'à 130g/min de débit moyen. Même si les premiers tests effectués sont assez concluants, l'un des systèmes de type experts conduit tout de même à des pertes supérieures à 10 % de la charge.

D'autres tests ont été faits avec un système de détection intégré à un équipement à volume variable de réfrigérant. Des pertes de fluide frigorigène de l'ordre de 5 % de la charge nominale sont normalement détectées.

Concernant les contrôleurs d'ambiance bien connus des frigoristes leurs efficacités est variable en fonction du choix de l'implantation des capteurs et du réglage de la sensibilité de l'organe de détection. Système des plus efficace pour des installations confinées, peu ventilées.

Retour sur la réglementation et les méthodes de détection

Le rapport revient aussi les réglementations Françaises et Européennes.

Concernant la réduction des émissions de fluides frigorigènes, des règles s'appliquent :

- Ciblage pendant le contrôle d'étanchéité des points susceptibles de poser problème.
- Après une mise en service, une réparation, un contrôle d'étanchéité doit être effectué.
- Formation du personnel (attestation d'aptitude) intervenant dans les installations de froid et de climatisation
- Mise à disposition des intervenants d'un registre de l'équipement véritable historique de l'installation.
- Choix de la méthode la plus adaptée, installation de détecteur fixe ou utilisation de détecteurs de fuites mobiles.

Différentes méthodes sont préconisées pour la détection de fuites de fluides frigorigènes.

Elles sont classées en deux catégories :

- Les méthodes directes permettent de "déterminer si la charge s'échappe du système". Elles mesurent directement une concentration de fluide. Cela s'effectue avec des détecteurs portables pouvant localiser avec précision une fuite : détecteur électronique manuel, solution savonneuse, produit fluorescent, test de pression à l'azote.
- Les méthodes indirectes sont fondées sur le constat d'un fonctionnement anormal du système et l'analyse de paramètres particuliers. Le contrôle se fait soit par pression, température, courant absorbé par le compresseur, niveaux de liquides, volume de la quantité rechargée.

Moyens de détection des fuites de fluide frigorigène

La norme NF EN 14624 et la norme Ashrae 173-2012 définissent les conditions d'essais pour qualifier la sensibilité des détecteurs et des contrôleurs d'ambiance.

Contrôleur fixe ou d'ambiance

Les contrôleurs d'ambiance comportent une ou plusieurs sondes disposées dans des sites définis autour de l'installation frigorifique. Elles sont raccordées à un analyseur centralisé qui mesure la concentration du volume.

Ils repèrent les fuites en fonction des mesures de concentration du fluide dans l'air ambiant. Parmi les méthodes directes, ils constituent le seul type de détecteur fixe permettant de surveiller l'installation en continu.

Les détecteurs nomades

Les détecteurs mobiles électroniques manuels sont utilisés par les techniciens pour la recherche de fuites lors des contrôles d'étanchéité. Un signal sonore avertit lors du dépassement d'un certain seuil de valeur.

Les détecteurs dits « mesureurs », pourvus de sondes de « reniflage », ont la possibilité d'évaluer le débit de fuite et de repérer le site de fuite de fluide frigorigène.

Plusieurs technologies de mesures peuvent être utilisées :

- L'effet Corona
- La diode chaude ou diode platine
- La spectrophotométrie Infra Rouge

D'autres méthodes peuvent être utilisées :

- Application d'un produit moussant pour localiser la fuite (installation en fonctionnement), méthode largement utilisée.
- Mise sous pression du circuit avec de l'azote ou de l'azote hydrogéné avant mise en service ou après réparation.
- Injection d'un fluide fluorescent pour repérer les points de fuite, utilisation non conforme aux prescriptions des constructeurs de compresseurs.
- Méthode du "niveau bas" : on repère la fuite par l'atteinte d'un niveau anormalement bas dans le réservoir.
- Les méthodes dites intelligentes ou « systèmes experts ». Citées plus haut.

Ce qu'il faut retenir

Pour optimiser l'utilisation et la gestion des alarmes la collaboration entre le détenteur, l'opérateur, le fabricant est essentiel note le rapport. C'est dans ces conditions de travail en commun que les taux d'émissions annuels sont fortement améliorés.

Les contrôleurs d'ambiance et systèmes experts ont un grand avantage : la surveillance en continu des installations frigorifiques. C'est un complément indispensable au contrôle périodique d'étanchéité pour réduire les émissions de fluides frigorigènes.

Concernant le contrôleur d'ambiance, il faut optimiser le placement des sondes. Pour cela, il faudra parfaitement analyser :

- La configuration de l'installation frigorifique
- Les endroits où les fuites sont récurrentes

Les contrôleurs d'ambiance sont principalement adaptés aux installations peu ventilées cependant les derniers développements tendent à montrer des possibilités d'utilisation en extérieur. Comme l'a montré l'étude de terrain, les modèles de haute précision ayant un seuil de sensibilité à 1 ppm, soit à technologie infrarouge, sont efficaces.

Leur efficacité doit être optimisée par la réalisation d'une étude d'implantation tenant compte des composants susceptibles de fuir et d'une visualisation de l'écoulement d'air autour de l'installation. L'idéal pour optimiser la détection étant de réaliser des tests afin de déterminer la meilleure implantation des capteurs. Le retour d'expérience montre que le contrôleur d'ambiance est le plus souvent installé pour des questions de réglementation et que finalement son utilisation pour la détection de fuites arrive au second plan.

Les systèmes experts alarmant directement l'opérateur sont particulièrement bien adaptés aux systèmes à détente directe, pour une intervention rapide. Mais ils ne peuvent, à ce jour, fonctionner qu'avec une installation frigorifique possédant un réservoir. Il faudra attendre la fin des développements en cours qui devront élargir le champ des possibilités. Ces systèmes experts sont récents en France mais les retours sont globalement positifs.

Un système de détection de fuites intégré à un équipement de type DRV, VRV a également prouvé son efficacité en situation réelle. Mais il doit être activé lors de la maintenance. Bien qu'il soit capable de détecter une perte de fluide inférieure à 10 % de la charge et apporte bien des avantages pour le frigoriste, il ne dispose pas d'alarme et ne répond donc pas aux critères de l'arrêté de Juillet 2016.

Sources : ADEME-AFCE

* Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie.

** Association Froid Climatisation Environnement.

GWP, ODP, TEWI

Avant de définir les trois indices que sont ODP, GWP, TEWI, il faut comprendre qu'ils sont issus de deux problèmes environnementaux, l'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique et l'accroissement de la concentration de gaz à effet de serre.

Couche d'ozone et effet de serre:

Couche d'Ozone

La Terre possède une atmosphère qui nous permet de vivre, la couche d'ozone est la partie de l'atmosphère ce situant entre 20 et 50 kilomètres d'altitude (stratosphère), cette couche d'ozone nous protège en absorbant la plupart des rayons ultraviolets émis par le soleil.

Une dégradation importante de la couche d'ozone implique une action nocive des rayons ultraviolets directement sur le vie sur terre comme la réduction de la photosynthèse, destruction du plancton, cancers, certains dérèglements de notre système immunitaire, des mutations, et n'oublions pas que l'ozone participe aussi à l'équilibre des climats.

Effet de serre

Quand les rayons du soleil atteignent la surface de la Terre, une partie de ces rayons sont renvoyés sous forme de rayonnement infrarouge vers l'espace, une autre partie est piégée par une couche de gaz située dans la basse atmosphère, contribuant ainsi à réchauffer la terre. Grâce à ce phénomène naturel, appelé effet de serre, la température moyenne de l'air à la surface de la Terre est d'environ + 15°C.

Si la proportion des rayons qui réchauffent notre planète augmente inconsidérément, cela induira une hausse globale des températures terrestres, c'est le phénomène bien connu des serres de jardin.

Quels sont ces gaz qui sont en cause dans l'effet de serre:

- Le dioxyde de carbone (CO₂) issu de la pollution automobile.
- Le méthane (CH₄) produit par l'élevage, la déforestation, le gaz naturel.
- Les CFC ont un impact sur la couche d'ozone et contribuent à l'effet de serre.
- L'oxyde nitreux (N₂O) issu d'engrais azoté dans l'agriculture.

ODP (Ozone Depletion Potential ou Potentiel d'appauvrissement de l'ozone)

C'est un indice qui classe la nocivité d'un composé chimique par apport à la couche d'ozone. Cet indice est calculé par rapport à une molécule de référence, à savoir le R11 qui a un ODP = 1. Ne concerne que les fluides contenant du fluor (CFC, HCFC).

GWP (Global Warming Potential ou Potentiel de réchauffement global)

Cet indice caractérise l'action d'un composé chimique sur l'effet de serre. La molécule de référence est le CO₂ qui a un GWP = 1 pour des durées bien déterminées généralement 100 ans. Plus cet indice est élevé plus le composé est néfaste.

TEWI (Total Équivalent Warming Impact ou impact de réchauffement total équivalent)

C'est un concept qui caractérise l'impact global d'une installation sur le réchauffement planétaire durant sa vie opérationnelle.

Cet indice comprend l'effet direct dû aux émissions par fuites dans les installations et l'effet indirect provenant des émissions de CO₂ dues à la consommation d'énergie requise pour faire fonctionner l'installation. Le TEWI s'exprime en Kg de CO₂.

Formule de calcul du TEWI :

$$\text{TEWI} = D + I = [\text{GWP100} \times m \times f \times n] + [E \times n \times A]$$

m : charge en fluide frigorigène. (Kg)

f : Taux annuel de fuite. (%)

n : durée de vie de l'équipement. (an)

E : consommation d'énergie / an. (KWh / an)

A : Emission de CO₂ par KWh. (kg CO₂ / KWh)

GWP sur 100 ou 20 ans quelle fiabilité ?

Pourquoi le calendrier du potentiel de réchauffement planétaire (PRP ou GWP) sur 100 ans n'est-il une valeur fiable ?

Parce que nous n'avons pas 100 ans pour atteindre nos objectifs de neutralité climatique, nous devons apporter des changements maintenant !

Les politiques décidées au cours de la prochaine décennie sont cruciales pour atteindre ces objectifs et limiter les dommages causés à l'environnement.

Pour prendre les bonnes décisions, les décideurs politiques doivent être informés de la meilleure manière possible sur l'impact réel des réfrigérants, la métrique du PRP sur 20 ans est bien mieux adaptée aux réalités environnementales. Les hydrofluorocarbures (HFC) et les réfrigérants de nouvelle génération tels que les hydrofluoroléfines (HFO) et les mélanges de HFO sont commercialisés comme « compatibles avec le climat » car ils n'appauvriscent pas la couche d'ozone et ont un PRG apparemment faible.

Cependant, lors de l'évaluation de la durée de vie réelle de ces réfrigérants, leur impact négatif sur la santé, la sécurité et l'environnement suscite de réelles inquiétudes.

Quant aux fluides naturels, Propane, CO₂, Butane sont de vraies bonnes alternatives pour la lutte contre le réchauffement climatique. Mais leurs utilisations demandent quelques précautions.

Actuellement, les GWP des fluides frigorigènes sont généralement mesurés sur une période de 100 ans en référence au CO₂. Cela signifie que le CO₂ (R744) est la référence avec un GWP de 1. Tous les autres fluides sont évalués en termes d'impact supplémentaire sur le réchauffement climatique par rapport au CO₂.

Refrigerant	Type	Composition	GWP 100 ans	GWP 20 ans
R404A	HFC	44% R125 / 4% R134a / 52% R143a	4,200	6,600
R22	HCFC	100% R22	1,780	5,310
R407A	HFC	20% R32 / 40% R125 / 50% R134a	2,100	4,500
R410A	HFC	50% R125 / 50% R32	2,100	4,400
R407C	HFC	23% R32 / 25% R125 / 52% R134a	1,700	4,100
R134a	HFC	100% R134a	1,360	3,810
R448A (Solstice N40)	HFC/ HFO	26% R32 / 26% R125 / 21% R134a / 7% R1234ze / 20% R1234yf	1,400	3,100
R449A (Opteon XP40)	HFC/ HFO	24,3% R32 / 24,7% R125 / 25,7% R134a / 25,3% R1234yf	1,400	3,100
R449C (Opteon XP20)	HFC/ HFO	20% R32 / 20% R125 / 29% R134a / 31% R1234yf	1,200	2,900
R32	HFC	100% R32	704	2,530
R452B (Opteon XL55)	HFC/ HFO	67% R32 / 7% R125 / 26% R1234yf	710	2,100
R513A (Opteon XP10)	HFC/ HFO	44% R134a / 56% R1234yf	600	1,700
R450A (Solstice N13)	HFC/ HFO	42% R134a / 58% R1234ze	570	1,600
R454B	HFC/ HFO	68.9% R32 / 31.1% R1234yf	250	890
R744	Natural	CO ₂	1	1
R600a	Natural	Isobutane	<1	<1
R290	Natural	Propane	<1	<1
R1270	Natural	Propylene	<1	<1
R717	Natural	NH ₃	0	0
R732	Natural	O ₂	0	0
R718	Natural	H ₂ O	0	0

Table 1: The "real" impact of refrigerants on the environment over the next 20 years. Source: UNEP¹

Néanmoins, compte tenu de la durée de vie relativement courte de certains réfrigérants synthétiques dans l'atmosphère, un horizon plus court, tel que 20 ans, refléterait beaucoup mieux les véritables effets de ces gaz sur le climat.

Par exemple, présenté comme une solution à « faible GWP », le R32 a un GWP₁₀₀ de 704. Cependant, ce gaz a une durée de vie atmosphérique de seulement 5,4 ans et lorsque son PRG est mesuré sur 20 ans, il est presque quatre fois plus élevé à 2 530.

Présenter des données GWP₁₀₀ au lieu de données GWP₂₀ (plus précises) induit en erreur le public ainsi que les décideurs politiques en ce qui concerne le fait que les réfrigérants sont vraiment respectueux du climat.

Sources :

UNEP. 2019. 2018 Report of the TOC Refrigeration, A/C and Heat Pumps Assessment Report. Kenya, Ozone

Effet de serre

Aujourd'hui, le réchauffement climatique est au cœur de tous les débats. Il s'agit en effet d'un problème important, car il en va de la pérennité de notre environnement. Et ce qui cause en particulier ces phénomènes climatiques, ce sont les gaz à effet de serre émis par les activités humaines.

Ceux-ci conditionnent ces changements qui ont une répercussion immédiate sur les espèces vivantes, qu'elles soient végétales ou animales, mais aussi sur la structure même de notre habitat, en générant par exemple la fonte des glaces et l'élévation du niveau de la mer.

Mais avant toute chose, il est important de comprendre le fonctionnement de ce phénomène.

L'effet de serre, le principe

Si ce phénomène porte ce nom, ce n'est pas le fruit du hasard. En effet, sous une serre, on accumule de la chaleur générée par le soleil, une grande partie de cette énergie sous forme d'infrarouge reste dans la serre, dont la conséquence est un réchauffement immédiat et durable de cette fameuse serre. C'est de cette façon simpliste que l'on peut décrire ce phénomène nommé l'effet de serre. En ce qui concerne la Terre le principe est identique. L'énergie du soleil parvient sur Terre sous forme d'un rayonnement de courte longueur d'onde. Cette énergie est partiellement absorbée par les nuages et l'atmosphère ou rejetée vers l'espace, mais une part importante atteint la surface, l'énergie absorbée par la surface du sol est ensuite redirigée à son tour, en direction de l'atmosphère sous forme de rayon infrarouge plus cette part de rayon augmentera, plus la température à la surface de la Terre augmentera.

Les gaz à effet de serre

Il existe plusieurs gaz à effet de serre, le méthane (activités agricoles), le chlorofluorures de carbone (aérosols, réfrigération), l'oxyde d'azote (combustion de produits fossiles) mais deux sont majoritaires dans notre atmosphère, et ont toujours fait partie de nos vies. Il s'agit de la vapeur d'eau en premier lieu, qui a toujours été là le gaz carbonique, que l'on appelle aussi CO₂ et dont les proportions dans notre atmosphère ont énormément changé, surtout depuis le siècle dernier (industrialisation).

Un effet nécessaire

L'effet de serre nous permet de vivre sereinement sur Terre, permettant d'avoir en permanence une température moyenne de 15°C à la surface de la Terre. On en a donc besoin. Mais cet effet de serre a été accentué, générant un réchauffement climatique, qui représente certains dangers pour les espèces vivant sur notre planète, nous y compris. Ce n'est donc pas l'effet de serre en lui-même qui est dangereux puisqu'il a toujours existé et nous a sans doute permis de devenir ce que nous sommes, mais plutôt le fait que nos émissions aient modifié le climat. C'est tout notre écosystème qui est menacé, d'où l'importance de réduire nos émissions de CO₂ pour éviter le pire.

Vidéo : <https://youtu.be/yE5x7krSbQQ>

Sécurité et manipulation des fluides

La manipulation des fluides frigorigènes n'est jamais anodine et au-delà de toutes les prescriptions de sécurité et les réglementations françaises et européennes, il faudra utiliser tout son bon sens afin d'éviter toute incident ou accident lorsqu'on travaille sur des installations frigorifiques.



Règles à observer :

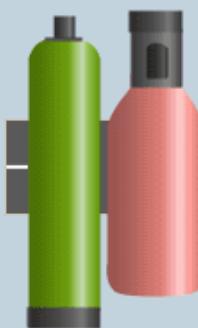
- Tout d'abord le port des EPI est obligatoire.
- Lorsqu'on travaille avec des fluides frigorigènes les lunettes de protection sont prescrites. Au contact des yeux les fluides frigorigènes peuvent provoquer de graves gelures.
- Les gants de protection eux aussi sont indispensables, les mains devront être protégées contre toutes gelures. En cas de gelures rincer abondamment la partie touchée avec de l'eau.
- Le danger d'asphyxie existe bel et bien, les fluides frigorigènes même s'ils sont plus lourds que l'air mais à partir d'une certaine concentration de gaz cela peut entraîner une perte de connaissance pour les cas les plus graves.
- Bien entendu le fluide frigorigène ne doit jamais être en contact avec une flamme car la décomposition du fluide frigorifique entraîne de graves liaisons des voies respiratoires. Donc il faudra porter une attention particulière avant tous travaux de soudage et le brasage.
- Des dangers d'incendie existent même avec des fluides non inflammables car l'huile contenue dans les systèmes frigorifiques est particulièrement inflammable.

Concernant le stockage des récipients et bouteilles de fluides frigorigènes il faudra observer quelques conseils simples :

- Les bouteilles récipients de fluides frigorigènes devant être attaché pendant tout transport dans un véhicule.
- Ne pas jeter les récipients ce qui pourrait modifier la structure de l'enveloppe et entraîné des fissures difficilement décelables.
- Les bouteilles renfermant des fluides frigorigènes ne devront jamais être chauffées au moyen d'une flamme. Les températures élevées qui en résulteraient pourraient endommager le matériel et conduire à une décomposition du fluide frigorigène.
- Les prescriptions inhérentes aux récipients sous pression stipulent que les récipient ne doivent en aucun cas être soumis à des températures supérieures à 50 °C.
- Ne jamais remplir à l'excès les bouteilles de fluide frigorigène, car dans ce cas une augmentation importante de la température pourrait entraîner des pressions très élevées. En règle générale il faut remplir à 80% de la capacité du récipient.

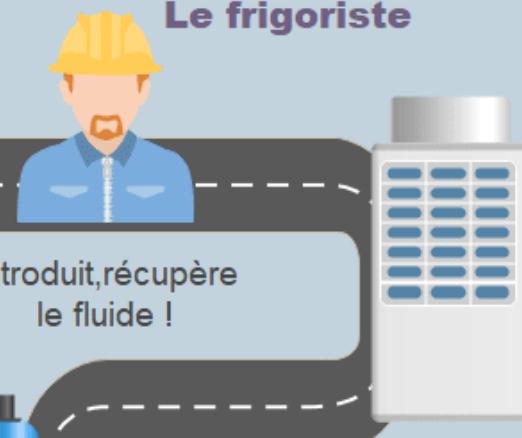
Parcours du fluide frigorigène ?

Le fournisseur



Distribue le fluide à ses clients !

Le frigoriste



Le frigoriste

Récupère le fluide pour destruction !
(bouteille récupération)

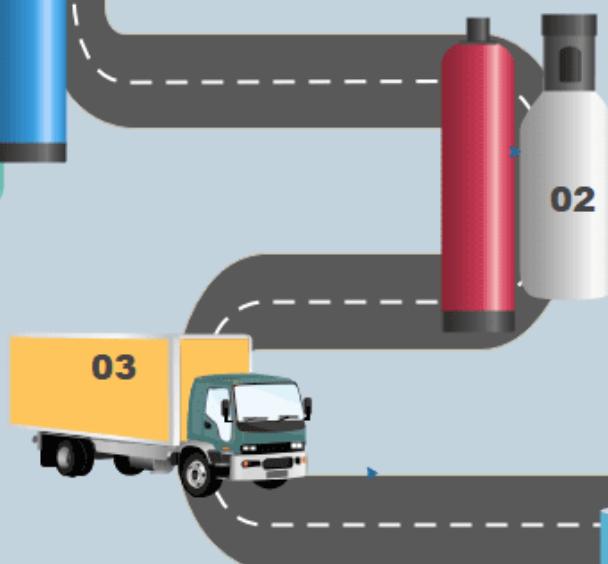


Le frigoriste

Récupère pour réintroduire le fluide après réparation!
(bouteille transfert)

Le transporteur

Achemine le fluide à recycler ou à détruire!



Le fournisseur

Collecte le fluide à détruire ou à recycler pour ses clients !

Le producteur



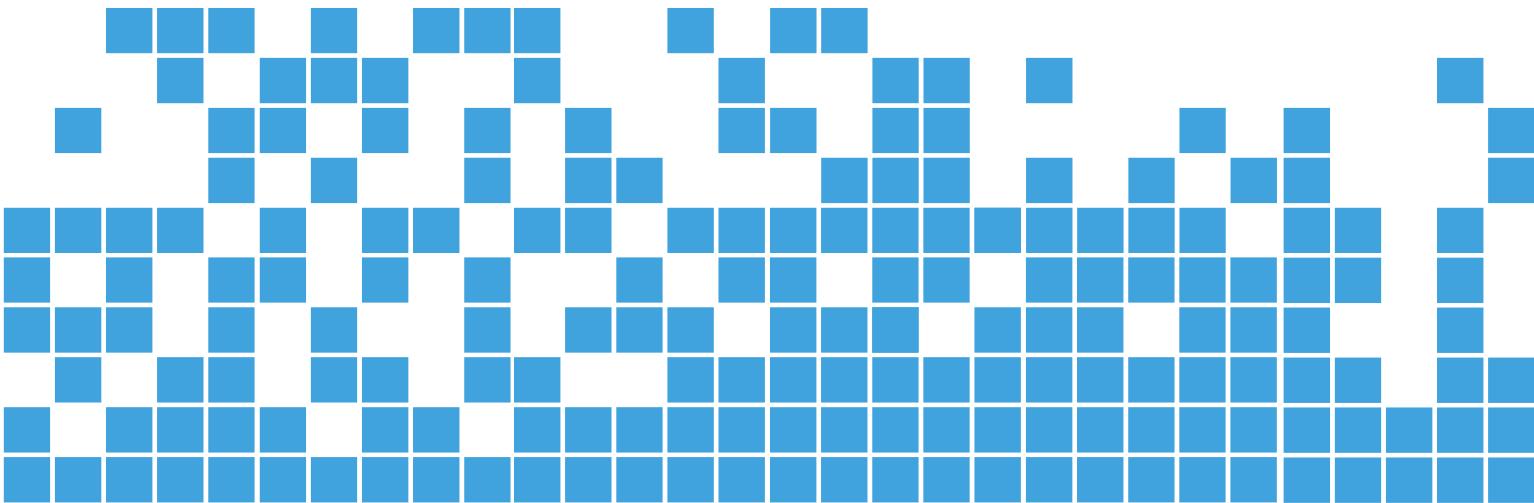
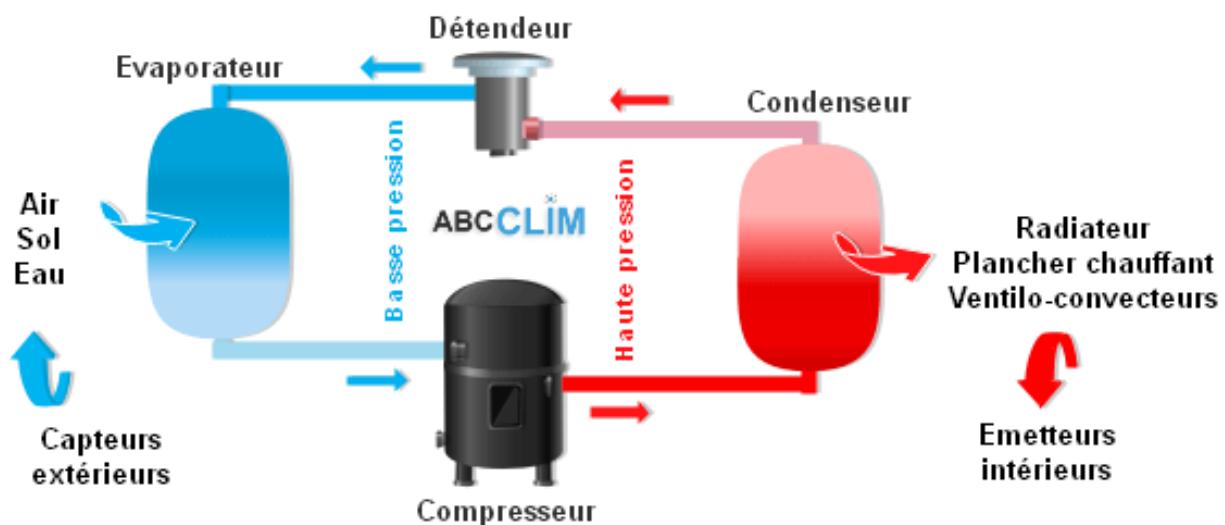
Détruit, recycle le fluide !



01,02,03,04

Tous les intervenants à chaque étape doivent compléter un Bordereau de Suivi des Déchets conforme à la réglementation

La pompe à chaleur



Petite histoire de la pompe à chaleur

Le principe de la pompe à chaleur n'est pas tout récent c'est la naissance de la thermodynamique qui jettera les bases à partir de 1832 des diverses règles qui définiront les lois de la pompe à chaleur, de grands chercheurs comme Sadi Carnot , James Prescott Joule , Lord Kelvin ,Rudolf Clausius en seront les précurseurs.

Jacob Perkins en 1834 réalise les premières machines de réfrigération avec de l'éther comme réfrigérant, ce sont les Américains qui dès 1920 s'intéressent à la climatisation ,Willis Haviland Carrier invente la première machine centrifuge de réfrigération, le conditionneur d'air s'installe dans la vie quotidienne, les magasins, les cinémas... et l'on commence à réfléchir à la récupération de l'énergie perdue par les installations de froid commerciales (condenseur).

L'ingénieur américain, Willis Carrier, crée, dès les années 1930, les premières pompes à chaleur à l'aide d'appareils de conditionnement d'air assurant ainsi un chauffage électrique et une source de chaleur. Son objectif est de satisfaire aux exigences des périodes de chauffage et de rafraîchissement. Il associe deux condenseurs et deux évaporateurs à un seul compresseur. Ce n'est que 25 ans plus tard que les scientifiques arrivent à maîtriser le système du circuit frigorifique. Avec une expérience à peine acquise dans les matériels de conditionnement d'air et de réfrigération, des fabricants américains commencent, à la fin des années 1950, à produire des pompes à chaleur. Les producteurs d'électricité voient en ce type de climatisation réversible un moyen d'augmenter leurs ventes. Il est donc grand temps de commencer à développer ce type de marché !

Crise pétrolière et pompe à chaleur

Le milieu des années 1970 voit le secteur pétrolier en crise lorsque les approvisionnements en pétrole du Moyen-Orient sont brusquement stoppés. Les conséquences sont majeures. D'un côté, les pays de l'OCDE (Organisation de coopération et de développement économique) font face à une provision limitée en pétrole et de l'autre, les fournisseurs en électricité voient la construction de nouvelles centrales électriques freinée, pour le nucléaire. Les gouvernements des pays industrialisés décident alors de créer des programmes d'économie d'énergie. L'utilisation des PAC pour le chauffage résidentiel est alors encouragée dès 1980. En France, EDF, en collaboration avec CETIAT (Centre Technique des Industries Aérauliques et Thermiques) développe le programme de recherche PERCHE (PAC en Relève de Chaudière) tentant d'introduire les pompes à chaleur dans les zones résidentielles. C'est ainsi que dès 1982, plus de 52 000 pompes à chaleur sont installées dans de nombreux foyers français.

Les enjeux environnementaux (1980-2000)

Au cours des années 1980, la croissance du marché des pompes à chaleur est freinée par le coût et la disponibilité limitée de combustibles comme le gaz naturel. Le Protocole de Montréal de 1987 se concentre sur la question de la réduction de la couche d'ozone. Il limite alors la production de fluides frigorigènes de type CFC (chlorofluorocarbones). Quelques années plus tard, c'est l'Accord de Copenhague qui décide, à son tour, de limiter les HCFC (hydro chlorofluorocarbones). Ces deux accords mondiaux répondent aux exigences de réduction de l'impact environnemental. De nouveaux défis pour les fabricants et les fournisseurs d'énergie voient le jour. Il leur faut tout d'abord trouver des alternatives adaptées aux fluides frigorigènes traditionnels. Ensuite, ils savent qu'ils doivent proposer des produits plus performants qui respectent les réglementations sur l'efficacité énergétique. Il est alors grand temps de travailler à l'efficacité des pompes à chaleur, des climatiseurs et de leur mode rafraîchissement !

La pompe à chaleur aujourd'hui

La fin du 20ème siècle est témoin du développement certain du marché des PAC et de grands développements technologiques. Le secteur est en pleine croissance dans des pays émergents, en Asie et en Europe de l'Est. Des pays comme la Chine connaissent d'ailleurs une forte croissance de l'usage du conditionnement d'air. L'objectif mondial commun est d'effectuer des économies d'énergie et de réduire les impacts sur notre environnement. L'utilisation des PAC est une excellente façon d'y arriver ! Au cours des années 2010, le marché de la climatisation réversible est en plein essor. L'utilisation des PAC aérothermiques réversibles pour le chauffage passe de 2,2 % en 2010 à 3,3 % dans les résidences principales en 2014. D'ici 2035, on estime que 20 % du parc de logements en sera équipé. 50 % en 2050. (source Afpac.org) Actuellement, les PAC sont donc LA solution écologique et économique pour chauffer et rafraîchir un logement.

Sources :AFPAC, ASHRAE, CETIAT

Le marché de la pompe à chaleur

Depuis l'apparition des premières pompes à chaleur sur le marché au début du vingtième siècle, ces unités ont connu une évolution dans leur conception, leurs performances et leurs applications que l'on peut qualifier d'exponentielle. Une forte croissance en vente de PAC a été enregistrée depuis 2018. En effet, 800 000 pompes à chaleur air/air ont été vendues en 2020, avec une croissance de 11 %. Il faut noter également l'évolution des ventes de pompes à chaleur air/eau, qui a connu une incroyable croissance de 84 % entre 2018 et 2019. Et bien que les chiffres aient été légèrement affectés par la crise sanitaire en 2020, ce marché reste dynamique et les résultats sont toujours satisfaisants.

Quel est l'avenir de la pompe à chaleur ?

Les avantages économique et écologique, sont essentiels dans cette technologie de plus en plus utilisée dans les systèmes de chauffage et de climatisation. Elle permet d'économiser de l'énergie primaire en offrant généralement à son utilisateur une réduction des coûts sur la facture d'électricité, avec une neutralité carbone. Les pompes à chaleur permettent de fournir du chauffage, de la climatisation et de l'eau chaude sanitaire en même temps. Ces machines thermodynamiques polyvalentes peuvent fonctionner à basse, moyenne et haute températures. La puissance de ces machines est généralement ajustée au strict nécessaire. Par conséquent, la puissance requise dans les maisons est souvent réduite, puisque l'isolation s'améliore selon la réglementation (RT 2020 ou RE 2021). Cela signifie par exemple qu'un chauffe-eau thermodynamique consomme moins d'énergie primaire par rapport à une chaudière à condensation gaz pour chauffer de l'eau sanitaire. Aujourd'hui, même si la pompe à chaleur air/air split (bi-split) est le modèle le plus courant, la PAC air/eau monobloc, ou bi-bloc on le vent en poupe.

Le point critique de la PAC est le bruit généré par les unités extérieures. La réglementation européenne établit des valeurs limites pour le bruit généré par ces machines. Mais au fur et à mesure que l'état de l'art progresse, des valeurs bien inférieures aux réglementations maximales sont atteintes, qui, si elles sont correctement installées, ne créeront pas de pollution sonore.

Un autre facteur très important qui influence l'avenir des pompes à chaleur, est le type de gaz réfrigérant utilisé et son influence sur l'environnement. Ces gaz réfrigérants sont d'une manière ou d'une autre nocifs pour l'environnement, il est donc nécessaire de limiter au maximum leur impact. Par conséquent, différents aspects doivent être pris en compte pour le futur, tels que le type de fluide frigorigène et les fuites possibles dans l'atmosphère. De plus, l'un des avantages des pompes à chaleur est la possibilité de s'intégrer parfaitement à l'énergie solaire photovoltaïque, qui permet de fournir l'énergie électrique nécessaire de manière renouvelable et l'économiser par autoconsommation. Il est bien sûr nécessaire que la gestion de l'énergie soit effectuée de manière automatique et intelligente pour pouvoir utiliser au mieux les ressources environnementales gratuites. Aujourd'hui, la technologie des pompes à chaleur n'a pas encore vu ses limites techniques, même si elle a déjà un rendement très élevé par rapport aux autres systèmes de production d'énergie.

La RE 2020 va booster les ventes de PAC

La norme RE 2020 qui entrée en vigueur le 1er janvier 2022 introduit certaines interdictions en ce qui concerne le chauffage au gaz et au fioul dans les logements neufs. Cette réglementation sera de nature à booster les ventes de PAC.

Le chauffage au fioul

Le fioul domestique est un combustible dérivé du pétrole qui est connu pour son caractère hautement polluant. Sa combustion émet dans la nature environ 324 g de CO₂/kWh. De plus, c'est un combustible dont le coût est relativement élevé par rapport aux autres sources d'énergie plus écologiques qui existent.

Pour toutes ces raisons, l'État a décidé, à travers la RE 2020, d'acter la disparition progressive du chauffage au fioul. Prévue à l'origine pour le 1er janvier 2022, la sortie du chauffage au fioul a été reportée à la mi-2022, cela concerne aussi bien les logements anciens que neufs. Cette interdiction est valide aussi bien pour les maisons individuelles que les bâtiments collectifs.

Le chauffage au gaz

Avec l'ancienne réglementation, la RT 2012, il n'y avait aucune restriction concernant l'installation des chaudières à gaz dans les maisons neuves ou anciennes. Il en était de même pour les appartements. C'est désormais chose faite avec la réglementation RE 2020. En effet, depuis le 1er janvier 2022 (comme l'a annoncé Emmanuelle Wargon, ministre déléguée au Logement), il ne sera plus possible d'installer un dispositif de chauffage au gaz dans une maison neuve .

Maintenance des pompes à chaleur

La maintenance préventive permet par des opérations de contrôle sur des équipements thermodynamiques de garantir la bonne marche d'une installation.

Elle permet par une surveillance régulière et programmée de suivre l'évolution d'une installation et le cas échéant de prévoir d'éventuelles réparations.

Ce que dit le décret 31 juillet 2020

Celui-ci rend obligatoire un contrôle des installations de climatisation et de pompes à chaleur dont la puissance est comprise entre 4 et 70 Kw. Ce décret détaille les différentes modalités concernant la maintenance des systèmes thermodynamiques. Cette inspection doit être réalisée par des techniciens certifiés ayant à sa disposition l'outillage adéquat. À l'issue de ce contrôle une attestation d'entretien devra être délivrée par l'intervenant.

Ci-dessous les points importants concernant cette inspection :

Pour tous les systèmes thermodynamiques :

- Vérification et réglage du système thermodynamique.
- Un contrôle d'étanchéité du circuit de fluide frigorigène, sauf pour les équipements soumis au règlement n° 517/2014
- Nettoyage des appareils.
- Relevés des températures de fonctionnement.
- Pour les systèmes de distribution par boucle d'eau

Contrôle de la pression du circuit d'eau.

- Vérification du fonctionnement des circulateurs.
- Nettoyage du filtre sur la boucle d'eau si nécessaire.
- Contrôle de la pression de gonflage des vases d'expansion
- Pour les systèmes à air

Nettoyage de l'unité intérieure et des filtres.

- Contrôle de la propreté de l'échangeur extérieur.
- Contrôle de l'état des gaines, nettoyage avec désinfection (éventuellement).

Conseils et amélioration

Le technicien pourra si nécessaire donner des conseils sur le bon usage et les éventuelles améliorations concernant l'installation. Notamment en ce qui concerne la réduction des consommations d'énergie. Ces conseils sont donnés à titre indicatif et ont une valeur informative.

L'attestation d'entretien en quelques mots

Une attestation d'entretien doit être rédigée par la personne ayant effectué la visite d'entretien (maintenance). Ce document détaille l'ensemble des éléments contrôlés pendant l'intervention, marque, référence ainsi que les résultats de la visite pour chaque appareil.

Dans le cas de bâtiment ayant plusieurs systèmes thermodynamiques l'attestation doit être fournie pour chacun des systèmes ayant fait l'objet d'un entretien.

Gammes de maintenance et contrat

Gammes de maintenance

	Préditive	Préventive	Curative
Action programmée	OK	OK	KO
Installation en service	OK	OK ou KO *	KO
Type intervention	Surveillance	Révisions, réparations	Dépannages

*Dans le cadre d'une maintenance préventive , soit le technicien peut intervenir sans mettre à l'arrêt l' installation sans gêner l'exploitant de l'installation soit ce n'est pas possible

La proposition de contrat de maintenance !

La proposition de contrat de maintenance devra être établie par l'entreprise en deux exemplaires dûment signés par les deux parties.

Ce contrat devra mentionner tout d'abord les adresses, les raisons sociales, des deux contractants, il devra lister pour chaque appareil la marque, le type de gaz, le numéro de série, la référence et le lieu d'implantation du matériel.

Ce document doit précisé la durée du contrat, le prix, les modalités de règlement,toutes les obligations du prestataire c'est-à-dire ce que contractuellement la société de maintenance doit assurer. En précisant la périodicité des visites (mensuelle, trimestrielle, annuelle, etc.), les pièces comprises dans le contrat, le type de vérification et de contrôles effectués pour chaque visite.

Les dépannages peuvent être inclus selon le type de contrat, mais dans le cas contraire il faudra préciser :

- Les délais d'intervention
- Le tarif horaire
- Prix du déplacement
- Les fournitures non comprises dans le contrat
- Les fournitures faisant l'objet d'un devis.

Le prestataire a des devoirs, mais aussi des droits il devra inclure dans son contrat des clauses qui obligeront son client à ne pas modifier ses installations sans son accord. A ne pas faire intervenir une entreprise concurrente dans la durée du contrat, à permettre à ses intervenants d'avoir un libre accès aux installations.

On peut tout à fait préciser que chaque visite sera accompagnée d'un relevé technique pour chaque matériel consigné sur un livret d'entretien. Pour finir, il faudra mentionner le tribunal compétent en cas de litige.

Fonctionnement de la pompe à chaleur

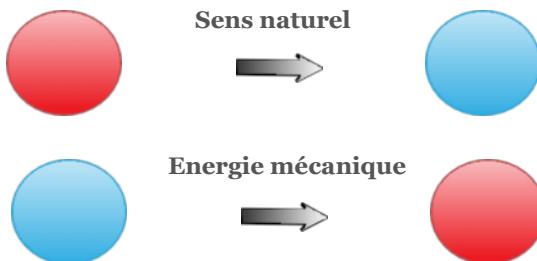
Pour comprendre le fonctionnement de la pompe à chaleur ou PAC commençons par une petite comparaison, tout le monde connaît le réfrigérateur qui possède une partie intérieure froide là où l'on conserve les aliments et une partie extérieure plutôt tiède, voir chaude.

Dans notre bon vieux réfrigérateur la chaleur dégagée par les aliments est soustraite puis transférée à l'extérieur où elle est évacuée.

Par contre la pompe à chaleur ou réversible a la faculté par le biais d'organes frigorifiques d'inverser le cycle de fonctionnement et donc de faire du chaud à l'intérieur et du froid à l'extérieur en fonctionnement hiver (l'inverse en été). La pompe à chaleur puisera l'énergie (ou chaleur) contenu dans l'air, le sol, dans l'eau d'un lac, d'une rivière ou simplement dans une nappe phréatique pour la transférée dans un réseau de chauffage.

Et pourquoi pompe à chaleur ?

L'écoulement naturel de la chaleur d'effectue toujours d'un corps chaud vers un corps froid, on peut définir la pompe à chaleur comme un matériel permettant de réaliser l'écoulement inverse du sens naturel.



Le principe du fonctionnement d'une pompe à chaleur est basé sur un phénomène physique "le changement d'état". Quand un fluide frigorifique change d'état, s'il s'évapore pour devenir un gaz , il absorbera alors de l'énergie, s'il se condense pour redevenir un liquide, il dégagera alors de l'énergie...la température d'évaporation du liquide étant plus basse que la température de l'air extérieur (aérothermie) ou du sol ou d'une nappe d'eau souterraine (géothermie) celui-ci absorbera les calories pour les restituer ensuite dans la phase de condensation.

Ce transfert thermique est assuré par un compresseur qui aspire, comprime et élève la température du gaz , le dirige vers le condenseur. Celui-ci permet le premier changement d'état gaz /liquide par échange avec de l'air directement ou de l'eau d'un circuit de chauffage, puis ce liquide est détendu par abaissement brusque de la pression par le détendeur puis redevient liquide par échange (air,eau,terre) à travers l'évaporateur, deuxième changement d'état et ainsi de suite. L'avantage de ce type de matériel c'est bien sûr d'assurer les besoins de chauffage ou de climatisation en un seul appareil, mais le principal atout c'est son coefficient de performance, qui est le rapport de l'énergie restituée sur l'énergie consommée.

COP= énergie restituée / énergie consommée - Exemple : COP= 9000W/3000W= 3

Notons qu'il existe plusieurs types de COP, le COP constructeur, le COP global de la pompe à chaleur et le COP annuel, en outre plus l'écart entre la source chaude (milieu où l'on restitue l'énergie) et la source froide (milieu où l'on extrait l'énergie) est important, plus le coefficient de performance sera mauvais.

Différents types de PAC :

Pompe à chaleur air/air, elle utilise l'air comme source froide et source chaude, ici les performances diminuent en fonction de l'abaissement de la température extérieure.

Pompes à chaleur air/eau, ici la source froide c'est l'air et la source chaude c'est de l'eau dont les émetteurs peuvent être un plancher chauffant, des ventilo-convection ou des radiateurs.

Pompes à chaleur sol/eau, l'énergie extraite contenue dans le sol est restituée le plus souvent à travers un plancher chauffant.

La pompe à chaleur eau/eau, la plus performante car elle utilise l'eau d'un puits, d'une rivière, d'un lac pour puiser l'énergie nécessaire.

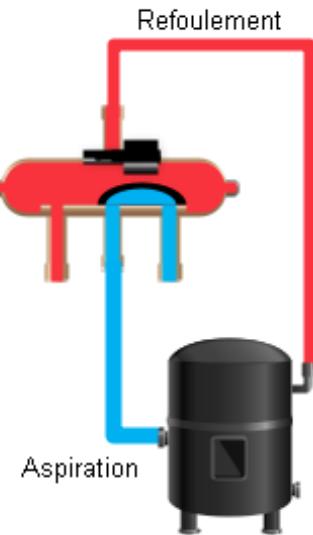
La pompe à chaleur est bien entendu un chauffage électrique mais c'est le plus performant comparativement à tout autre chauffage électrique.

Il conviendra dans le choix de la puissance nécessaire pour chauffer une habitation d'effectuer un bilan thermique.

Pompe à chaleur, fonctionnement thermodynamique : <https://youtu.be/dZHY7DnotGA>

La vanne 4 voies

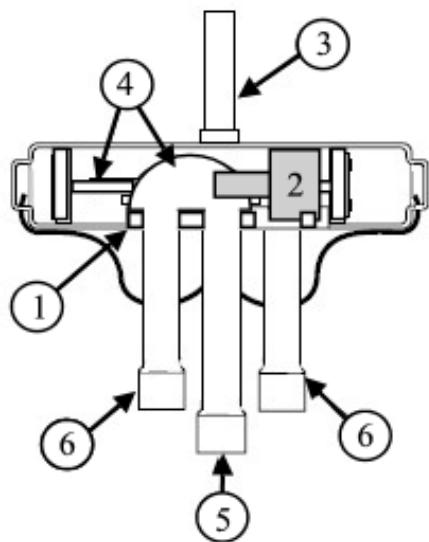
La différence entre un climatiseur (froid seul) et une pompe à chaleur, c'est que la pompe à chaleur a la capacité de fonctionner en chaud comme en froid , l'élément déterminant pour obtenir ce fonctionnement c'est la vanne d'inversion de cycles. Il faut ajouter que la deuxième fonction de la vanne d'inversion de cycles ou vanne quatre voies



La vanne d'inversion de cycle permet donc de changer le sens de fonctionnement ou plus exactement d'inverser l'écoulement du fluide afin d'obtenir l'effet souhaité.

La vanne 4 voies est constituée d'une vanne principale (1) et d'une vanne pilote (2) montée sur le corps de la vanne principale.

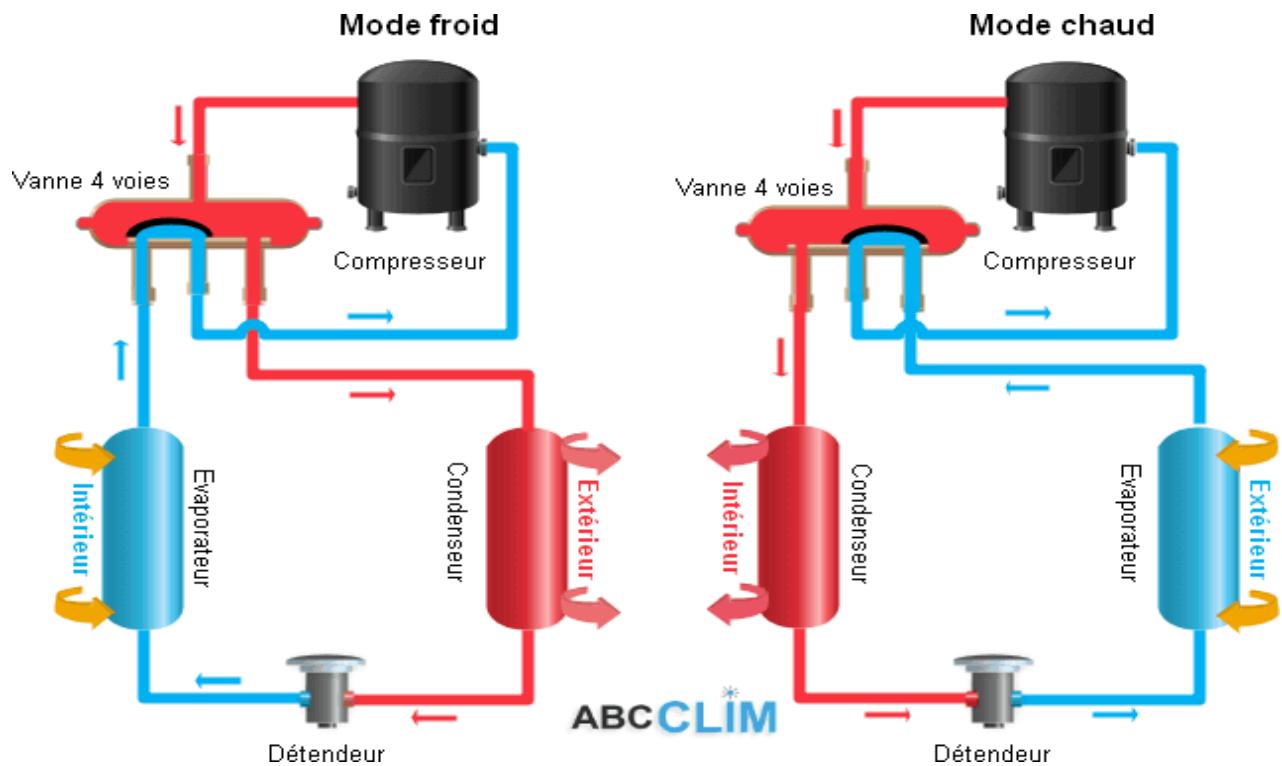
La vanne pilote est actionnée électriquement par une bobine qui en libérant le fluide par de petits capillaires(en noir sur le dessin) permet à la vanne principale de faire coulisser un tiroir (4) qui inverse les tuyauteries.
Le refoulement (3) et l'aspiration (5) du compresseur sont raccordés à l'opposé l'un de l'autre, les échangeurs condenseurs et évaporateur sont raccordés de part et d'autre du branchement de l'aspiration(6).



Voir la vidéo expliquant le fonctionnement de la vanne 4 voies : <https://youtu.be/CJOrPG1OZEw>

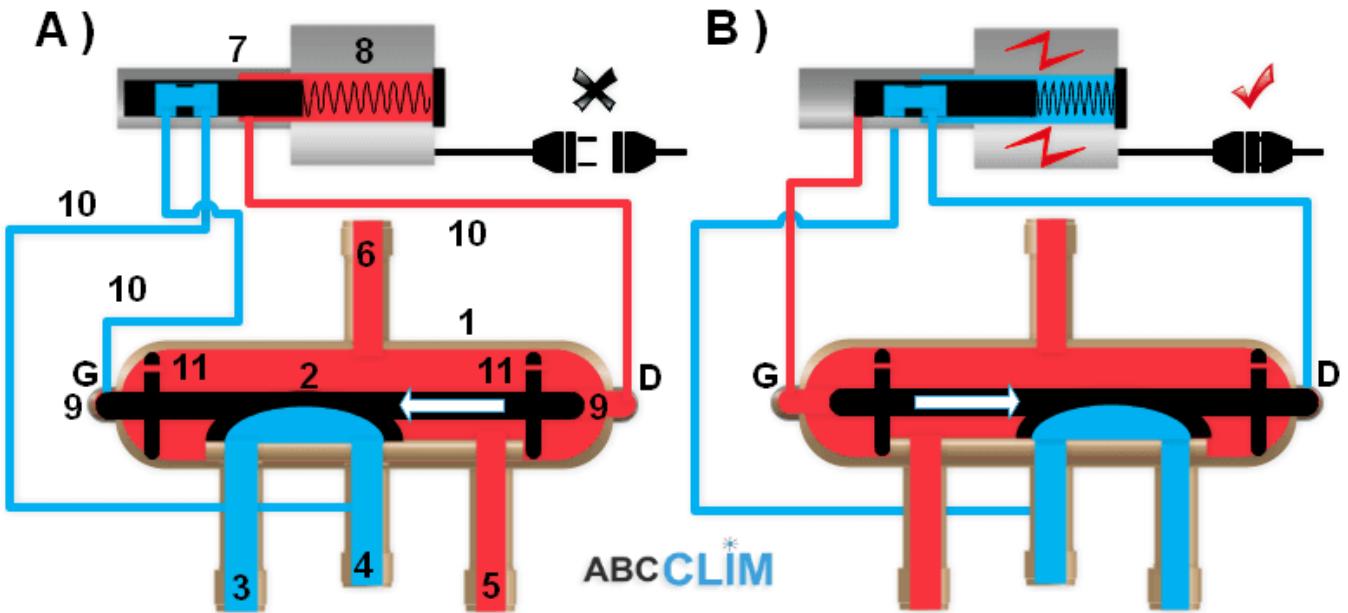
Mode chaud et mode froid, schéma de principe:

Positionnement de la vanne d'inversion de cycle, dans le circuit frigorifique.



Notes :

Voici donc la vanne d'inversion de cycle en détail ,on remarque la vanne pilote avec les petits capillaires qui actionnent la vanne principale, les raccordements compresseurs, évaporateurs ..etc sont a soudés.



- 1) Corps de la vanne principale
- 2) Tiroir et piston
- 3) Échangeur extérieur
- 4) Aspiration compresseur
- 5) Échangeur extérieur
- 6) Refoulement compresseur
- 7) Vanne pilote + bobine
- 8) Bobine vanne pilote
- 9) Obturateur (pointeau)
- 10) Capillaires
- 11) Orifice équilibrage pression

Les capillaires venant de la vanne pilote permettent d'actionner la vanne principale, dans un sens ou dans l'autre. Les orifices d'équilibrage de pression permettent à la haute pression d'arriver à l'arrière du piston pour pouvoir le pousser dans la direction opposée.

A) La bobine de la vanne pilote n'est pas alimentée.

Le pointeau du piston obture la liaison BP côté gauche. La pression régnant côté gauche (G) de la vanne est inférieure à celle présente côté droit (D). La haute pression exerce une force suffisamment importante pour maintenir le tiroir en place.

B) La bobine de la vanne pilote est alimentée. Les capillaires de la vanne pilote mettent en relation la basse pression avec le côté droit de la vanne.

La pression côté droit de la vanne est inférieure à celle du côté gauche. La haute pression pousse le tiroir vers la droite, arriver en butée le pointeau du piston bouche le capillaire de la liaison basse pression.

Il faut une différence de 1 bars minimum entre la basse et la haute pression pour que le tiroir puisse ce déplacer. C'est pour cela que le tiroir de la vanne ne se déplace que quand l'installation fonctionne.

Coefficient de performance

Que ce soit pour évaluer une pompe à chaleur existante ou pour avoir tous les éléments en main avant de réaliser une acquisition, vous devriez comparer les PAC. Pour cela, le meilleur indicateur est le coefficient de performance (COP), car il répond à la question : pour une quantité d'énergie consommée (en kWh, Wh ou joules) quelle sera l'énergie restituée ?. Cette métrique entre de plus en compte dans la détermination du label énergétique (label garantissant les performances énergétiques d'un bâtiment).

Comment fonctionne une pompe à chaleur ?

La PAC utilise un réservoir de chaleur (appelé source froide) à faible température, mais renouvelable (comme l'atmosphère, les nappes phréatiques, les lacs ou le sol). Elle extrait l'énergie de cette source pour l'injecter dans votre système de chauffage (source chaude). C'est le principe inverse du réfrigérateur qui lui吸orbe l'énergie des aliments et abaisse leurs températures. On distingue les pompes à compression (composée d'un évaporateur, d'un compresseur, d'un condenseur et d'un détendeur) de celles basées sur un principe chimique l'absorption qui permette aussi de générer chaud et froid.

Pourquoi ne pas utiliser le rendement ?

Pour une chaudière par exemple, l'indicateur répondant à la question posée en introduction est le rendement. Il est souvent de l'ordre de 0.8 (80 %). Mais, au-delà du nombre, le point important est qu'il est toujours inférieur à 1. Or une PAC produit plus d'énergie qu'elle n'en consomme (grâce aux calories gratuites du fameux réservoir). Le concept thermodynamique de rendement n'est plus adapté et nous devons donc introduire ledit COP.

Calculer le COP

En pratique, pour être plus proche de la réalité et du rendement de Carnot, il faudrait prendre les températures d'évaporation T_0 et de condensation T_{kv} exprimées en Kelvin. Mais dans un but de simplification, nous nous arrêterons à des explications moins justes mais plus facilement compréhensibles.

À partir des énergies

Sur de nombreux sites, vous verrez la même formule :

$$\text{COP} = \frac{Q_{\text{chaud}}}{W}$$

Que signifie-t-elle ?

Q_{chaud} : désigne la valeur absolue de la chaleur utile, celle qui va chauffer votre habitation., W quant à lui, est l'énergie fournie à la machine pour assurer son fonctionnement.

Exemple : Si votre pompe a une puissance de 3kW, qu'elle est utilisée pendant deux heures et produit 18 kW en une heure, alors (formule simplifiée) :

$$\text{COP} = \frac{18}{2 \times 3} = 3$$

Il faut faire attention à ne pas confondre la puissance (exprimée en watts ou Kw) et l'énergie (exprimée en wattheures, kWh ou en joules) qui est une puissance pendant un temps donné.

À partir des températures

D'après le premier principe de la thermodynamique, une variation d'énergie d'un système est égale au travail fourni plus le transfert thermique reçu. Dans notre cas, nous pouvons simplifier l'équation pour obtenir :

$$W = Q_{\text{chaud}} - Q_{\text{froid}}$$

Nous pouvons enfin remplacer par son expression dans la formule du paragraphe précédent :

$$\text{COP} = \frac{Q_{\text{chaud}}}{Q_{\text{chaud}} - Q_{\text{froid}}}$$

Grâce au modèle de Carnot, nous pouvons aussi utiliser les températures des deux sources (intérieure et extérieure) pour calculer le coefficient de performance.

$$\text{COP}_{\text{chauffage}} = \frac{T_{\text{chaud}}}{T_{\text{chaud}} - T_{\text{froid}}} \quad \text{COP}_{\text{froid}} = \frac{T_{\text{froid}}}{T_{\text{chaud}} - T_{\text{froid}}}$$

Exemple :

Pour un système air/air, si la température intérieure est de 19°C et que celle de l'air extérieur est 12°C, alors...le COP sera environ :

$$\text{COP} = \frac{19}{19 - 12} \simeq 2,7$$

Les coefficients types

La nature de la machine ainsi que la température de la source froide influence grandement le coefficient moyen de performance. Voici les valeurs auxquelles vous devez vous attendre.

Air/air = 3 , Air/eau = 3 , Sol/eau= 4 , Eau/eau=5

Augmenter le coefficient de sa PAC

Pour obtenir de plus grandes valeurs de COP, deux solutions :

- Utiliser une source plus chaude (par exemple réaliser un forage plus profond dans le cadre d'une pompe sol/air)
- Utiliser une installation différente (on pense à un plancher chauffant plutôt qu'à des radiateurs car la température voulue de l'eau est plus basse, le but est d'influer sur un facteur de la formule).

Différents types de coefficients de performance !

Ces calculs théoriques fournissent une bonne approximation du COP mais ne reflètent pas toute la complexité de la réalité car ils ne prennent pas en compte les spécificités de l'installation. De nombreux facteurs ne doivent pas être négligés, que ce soit la densité du sol, le volume de la nappe, l'humidité de l'air, etc

Autres coefficients importants à retenir :

Le COP constructeur est le ratio mesuré en laboratoire par l'entreprise de production, la réglementation impose une base d'air extérieur à 7°C.

Le COP global tient compte des équipements externes (ventilateurs, pompes, etc.) et du dégivrage.

Le COP annuel est la mesure sur un an de la performance de la pompe pour un contexte donné. C'est l'indicateur le plus fiable.

Le SCOP fonctionne comme le rapport précédent mais se base uniquement sur une saison de chauffe, cette fois, les températures de test sont : -10°C, -7°C, 2°C, 7°C et 12°C.

Ce que dit la réglementation européenne

Depuis le mois de janvier 2013, une directive européenne définit une nouvelle façon de calculer la performance des pompes à chaleur et des systèmes de climatisation, pour des puissances inférieures ou égales à 12 kW.

Ils sont nommés respectivement SEER pour le coefficient saisonnier en mode froid et le SCOP pour coefficient saisonnier en mode chaud.

Ce nouveau mode de calcul a pour objectif de donner une information plus réaliste sur les performances d'une pompe à chaleur ou d'un système de climatisation.

Formule des de performance :

SEER = QC/QCE

QC = puissance annuelle en mode froid exprimée en kWh/an.

QCE = consommation annuelle d'électricité en kWh/an.

SCOP = QH/QHE

QH = puissance annuelle en mode chaud de référence en kWh/an.

QHE = consommation saisonnière d'électricité en kWh/an.

Depuis le 1er janvier 2014, la réglementation précise que :

Si le GWP* du fluide frigorigène utilisé est supérieur à 150 pour une puissance nominale inférieure à 6 kW, SEER = 4,6 et le SCOP à = 3,80

Si le GWP du fluide frigorigène utilisé est supérieur à 150 pour une puissance nominale supérieure à 6 kWSEER = 4,14 et le SCOP = 3,42

Si le GWP du fluide frigorigène utilisé est inférieur à 150 pour une puissance nominale comprise entre 6 et 12 kWSEER = 4,30 et le SCOP = 3,80.

Si le GWP du fluide frigorigène est supérieur à 150 pour une puissance nominale comprise entre 6 et 12 kW,SEER = 3,87 et le SCOP = 3,42.

GWP ou encore PRG, Potentiel de Réchauffement Global est un indice sur la nocivité d'un fluide par rapport à l'effet de serre et ceci dans un temps déterminé.

Ce qu'il faut retenir

Vous savez désormais déchiffrer les obscures informations du constructeur et même les calculer. Cependant, il faut relativiser ces valeurs et les mettre en perspective avec la nature de votre projet.

Le COP n'est pas une formule magique et dépend du type de pompe à chaleur (air/air, air/eau, eau/eau) , des conditions de température du milieu où l'on récupère l'énergie (air,eau, sol) et des conditions intérieures.

Par exemple sur une PAC air/air quand la température extérieure descend à -10°C ou -15°C , la puissance restituée perd de 30 à 35 % de sa valeur.

Attention sur les catalogues le COP (constructeur) est calculé à partir d'une température extérieure de 7°C pour les pompes à chaleur air/air et air/eau, pour les pompes à chaleur eau/eau à partir d'une température d'eau de nappe phréatique de 10°C.

Aérothermie

Pac air/air

Une pompe à chaleur air/air (PAC air air) puise dans l'air extérieur (source froide) la chaleur à basse température, porte cette chaleur à une température plus élevée par compression pour la restituer dans le local à chauffer (source chaude).

La pompe à chaleur air/air (pac air air) est donc un dispositif thermodynamique permettant un transfert de chaleur de l'extérieur vers l'intérieur, c'est la plus commune des pompes à chaleur, ses avantages sont nombreux, installation plutôt aisée, réversibilité, entretien aisés, prix abordable.

En outre le Cop ou coefficient de performance de ces PAC est bon de l'ordre de 2,5 à 3. Le choix du type des appareils intérieurs est important, mural, plafonnier, gainable, console etc, existe en split pour une pièce ou multisplit pour plusieurs pièces.

Les inconvénients majeurs sont:

1: Le dégivrage, car en région très froide et humide l'échangeur extérieur aura tendance à ce couvrir de givre et ceci malgré les efforts des constructeurs pour minimiser le temps de dégivrage, augmentation du taux de brassage de l'air, surdimensionnement de la batterie extérieure, pas des ailettes optimisées ... le dégivrage (par inversion de cycles) est inévitable et fait baisser les performances .

2: Le rendement baisse, car la puissance fournie par la PAC diminue en même temps que la température extérieure, à -10 la puissance d'une PAC est presque divisée par deux, donc plutôt réservé aux zones tempérées.

Côté technique le compresseur inverter (variation de vitesse) est idéal pour ce type de PAC cette technologie élimine les pics de consommation d'énergie liés aux démarriages successifs des compresseurs tout ou rien.

Pac air/eau

La pompe à chaleur air/eau(pac air eau) est un choix intéressant dans les régions tempérées, dont la température de base ne descend pas en dessous de -7°C.

On distingue deux applications dans la famille PAC air/eau, la pac basse température (40 à 55°C) idéale pour les émetteurs du style plancher chauffant ou ventilo convecteur et la PAC hautes températures (65 à 80°C) en remplacement d'une chaudière solution adaptée pour les radiateurs.

Les PAC air /eau sont constituées d'une unité extérieure qui capte l'énergie contenue dans l'air, d'un kit hydraulique constitué d'un échangeur à plaque ou d'un échangeur tubulaire permettant de restituer l'énergie récupérée à l'eau de chauffage et l'eau du ballon d'eau chaude sanitaire, pour les périodes plus froides le kit hydraulique sera équipé d'une résistance électrique d'appoint(ou autre énergie).

La technologie inverter est intéressante pour ce type de PAC car elle permet d'adapter la vitesse du compresseur à la puissance qu'il faudra délivrée pour chauffer l'eau ,compte tenu de l'inertie de l'eau c'est plutôt appréciable au niveau énergétique.

Comme pour les PAC air/air, le dégivrage dans les périodes froides et humides ont tendance à faire chuter le rendement, mais globalement suivant les émetteurs ces pompes à chaleur ont un COP de 2,5 à 3,5.

Dégivrage des pompes à chaleur

Valables pour les pompes à chaleur qui utilisent comme source d'énergie (sources froides) l'air extérieur, elles ont l'inconvénient d'être soumises au phénomène de givrage dès que la température extérieure est inférieure à 5°C et malgré les efforts des fabricants pour optimiser le dégivrage, surdimensionnement des batteries extérieures, modification des pas des ailettes, le dégivrage reste un passage obligé.

Inversion de cycle:

Un automate ou une platine électronique gère de façon cyclique la fonction dégivrage par interrogation soit :

- d'une thermistance(sonde) placée dans la batterie extérieure qui suivant sa valeur ohmique (résistance) enclenchera le dégivrage.
- Soit par un pressostat Basse Pression.

Le ventilateur extérieur sera mis à l'arrêt puis grâce à l'inversion de cycle permis par une vanne 4 voies c'est-à-dire que l'évaporateur qui dans son état initial capte et absorbe des calories extérieures, devient alors le condenseur, le givre fond progressivement, une fois le dégivrage terminer quand la température de surface de l'évaporateur sera conforme à la température de fin de dégivrage, la vanne 4 voies revient en position normale et le ventilateur sera actionné.

Sources chaudes, sources froides

La pompe à chaleur, est un appareil thermodynamique qui permet de capter l'énergie contenue dans une source appelée "source froide" pour la transférer vers une "source chaude"...mais quelles sont ces différentes sources ? .

Sources froides.

On appelle source froide la source où l'on va capter la chaleur ou l'énergie. Les trois principales utilisées sources sont le sol, l'air et l'eau (nappe phréatique,lacs,rivière). Cette énergie est renouvelée constamment par le rayonnement solaire, le vent, pluie et même la neige.

Le sol.

Le sol se charge petit à petit d'énergie (soleil,pluie..) et grâce à son inertie, il garde une bonne stabilité au niveau des températures.

Les températures du sol sont stables, mais varient quand même et ceci est fonction de la saison, de la profondeur et de la conductivité thermique du sol.

Une partie de l'énergie vient du magma en fusion, mais elle est relativement faible, cette émission est de l'ordre de $0,06\text{W/m}^2$. Le gradient thermique (variation de température) est d'environ 3°C par 100 mètres mais suivant sa nature (calcaire,argile,sable) les échanges thermiques seront différents. Le puisage dans le sol permet l'utilisation des pompes à chaleur en mode rafraîchissement (la température de la source froide étant en moyenne de 10 à 12°C) .

Types de capteurs

Capteur horizontaux : Ce capteur est un circuit constitué de tuyaux en PEHD (tuyauterie souple) ou circule un fluide caloporteur (eau glycolée) enterré à 1 mètre de profondeur formant une nappe horizontal. La surface occupée par les capteurs dépend de la nature du sol, généralement une fois et demie la surface à chauffer.

Capteurs verticaux : Le circuit comporte une sonde géothermique formant une seule boucle verticale. Nécessite un forage en profondeur, entre 30 et 100 m. Parfois très coûteux, il présente l'avantage d'occuper moins de surface au sol.

L'air.

L'énergie contenue dans l'air est facile à extraire, mais la nature des caractéristiques physiques de l'air est plutôt un handicap et les températures de l'air fluctuent de façon très importante d'une saison à l'autre.

Aux périodes les plus froides quand la température de l'air extérieure approche 0°C et qu'il est chargé d'humidité, du givre (perte de rendement) peut apparaître car la température d'évaporation du fluide frigorigène étant beaucoup plus basse que la température de l'air il y aura transformation en givre de cette humidité. Le givre va obstruer en partie ou complètement l'évaporateur ce qui va immanquablement déclencher un dégivrage d'où une consommation d'énergie supplémentaire. Les dégivrages successifs vont réduire le COP (coefficient de performance) de la PAC.

La faible chaleur spécifique de l'air $0,34 \text{ Wh/m}^3\text{K}$ est défavorable, car il faudra une grande quantité d'air et une grande surface d'échange pour obtenir un bon résultat au niveau échange thermique. Avoir besoin d'un grand volume d'air nécessite l'utilisation d'un puissant ventilateur qui va bien évidemment consommer de l'énergie.

L'eau.

Un peu comme le sol, les nappes phréatiques, les rivières, lacs sont de bons réservoirs d'énergie, car leurs températures restent relativement stables tout au long de l'année. Le principal problème c'est la difficulté pour capter cette énergie, car il faudra soit creuser un puits (nappe phréatique) parfois de grandes profondeurs d'où un surcoût financier, notons que la construction d'un puits est soumise à autorisation, soit puiser dans une étendue d'eau avec tous les problèmes que cela comporte (crédit, pompe, entretien). Un autre souci, certaines nappes sont très chargées en minéraux ce qui risque d'endommager les échangeurs des pompes à chaleur.

Dans tous les cas, il est préconisé d'installer un échangeur à plaques intermédiaire (eau glycolée) avec un filtre (entrée eau) pour protéger la pompe à chaleur ainsi que la nappe phréatique contre tout risque de pollution par le fluide frigorigène.

Les PAC eau/eau ont des coefficients de performance bien plus élevés que les PAC air /eau, car la chaleur spécifique de l'eau est plus importante, l'eau développe plus de 3000 fois plus d'énergie que l'air.

Sources chaudes.

On appelle source chaude la source où l'on va restituer la chaleur (énergie) récupérée dans la source froide. Les trois principales sources chaudes sont : les ventilo-convection, les radiateurs, et le plancher chauffant.

Les ventilo-convecteurs.

Les ventilo-convecteurs se composent en gros d'une batterie d'échange thermique, d'un ventilateur qui pulsera l'air dans le local, et d'un filtre à l'aspiration. L'utilisation de ventilo-convecteurs avec une PAC pose un problème car c'est l'émetteur qui a la contenance en eau la plus faible et qui a le moins d'inertie donc l'emploi d'un ballon tampon est conseillé pour éviter les courts cycles de la PAC (démarrages et arrêt compresseurs fréquents). L'avantage déterminant des ventilo-convecteurs est qu'ils peuvent être utilisés aussi pour climatiser une habitation (PAC réversible).

Les radiateurs.

Les radiateurs ont eux aussi une assez faible inertie ce qui induit la pose d'un ballon tampon. De fait les radiateurs en tôle acier ont une inertie et une contenance en eau bien plus faible que ceux en fonte. Pour l'utilisation de radiateurs avec une PAC fonctionnant en mode mono énergétique (pompe à chaleur seule), devront être dimensionnés en basse température, c'est-à-dire avec une différence de température par apport à l'air ambiant de 25°C, donc un départ de 45 ou 50 °C. Pour un bon fonctionnement de la PAC, la chute entre le départ et le retour ne devra pas être supérieure à 7°C.

Le plancher chauffant.

Le chauffage au sol ou plancher chauffant remonte à l'antiquité les Romains utilisaient déjà un système équivalent, c'est l'émetteur idéal pour l'utilisation d'une PAC mono énergétique.

Il a une forte inertie ce qui induit des longs cycles pour la PAC et donc augmente le COP. Les pas de pose du serpentin s'ils sont conformes au DTU permettront une répartition homogène de la température, dans certains cas la contenance en eau de l'installation permet d'éviter la pose d'un ballon tampon.

Le plancher chauffant a besoin d'une température de départ plus faible que les autres émetteurs. Le gain en COP de la PAC est de l'ordre de 3 % par degré d'abaissement de la température de départ. Le plancher chauffant doit être calculé avec une température de départ maximale de 30 à 35°C et la différence de température entre le départ et le retour devra être de l'ordre de 5 °C.

Sous conditions le plancher permet de fonctionner en mode rafraîchissement car la température de l'eau de la source froide est suffisante pour rafraîchir une habitation mais ce n'est pas une vraie climatisation, .Les performances ne seront jamais à la hauteur de celles d'un ventilo-convector par exemple qui lui utilise de l'eau glacée (régime 7-12°C).

PAC sources froides insolites !

Les matériaux solides et liquides sont par nature d'excellents accumulateurs thermiques, ils emmagasinent l'énergie sensible (sans changement d'état) au sein de leur propre masse.

Cette énergie sous forme de chaleur est captée à partir du rayonnement infrarouge du soleil ou directement au contact de l'air ambiant ou encore du sol sous nos pieds. Plus l'inertie d'un matériau est forte, plus il emmagasinera et restituera lentement cette énergie, ce qui est un avantage.

Quand on parle de chauffage par pompe à chaleur, on pense souvent aux termes de géothermie, d'aérothermie, d'aquathermie, qui puisse l'énergie respectivement dans le sol, l'air ambiant et l'eau (rivière, lac).

Mais d'autres technologies existent pour chauffer un bâtiment à partir d'une pompe à chaleur. Celles-ci utilisent des sources froides insolites et méconnues.

Clôture énergétique !

La clôture énergétique utilise deux procédés : l'aérothermie et le captage solaire. Elle a été conçue avec l'objectif de démocratiser l'accès au système des pompes à chaleur géothermiques. Souvent, les principaux freins invoqués à leurs installations sont la difficulté de mise en place d'un tel système et son coût. La clôture énergétique est un système plus facile à mettre en place que des capteurs horizontaux ou verticaux plus traditionnels.

Une clôture énergétique est en fait une série de capteurs constitués panneaux modulaires en PEHD ou circule un liquide caloporteur. Exposée aux éléments (soleil, vent) toute l'année, cette clôture fournira une énergie de manière ininterrompue, quelle que soit la saison ou la période de la journée. La clôture est ensuite reliée à une pompe à chaleur eau/eau, qui est chargée de chauffer la maison.

Les émetteurs de chaleur peuvent être des radiateurs ou un plancher chauffant à eau chaude.

Un modèle du genre : la clôture énergétique de Bernier Energies. Lauréate du concours Lépine, est un modèle qui supporte des températures allant jusqu'à - 15 °C, silencieux et peut être couplé à une pompe à chaleur neuve ou déjà installée. On retiendra l'aspect extrêmement autonome d'un tel système. Il s'agit en effet d'une énergie renouvelable, le système est très performant et surtout il affiche une grande stabilité, contrairement à ce qu'on pourrait croire.

Pour faire construire sa propre clôture énergétique, il faut obligatoirement faire une déclaration auprès de sa mairie.

Eaux usées, la pêche aux calories !

Les eaux usées ou eaux grises, cuisines, salles de bains, provenant des habitations se révèlent être une source d'énergie renouvelable inattendue.

Les eaux qui s'évacuent des maisons conservent en sortie une température comprise entre 10 et 20°C selon les saisons et sont nettement plus chaudes que l'air extérieur. Ces calories peuvent être récupérées pour chauffer ou climatiser des bâtiments produire de l'eau chaude sanitaire.

Pour cela on dispose un échangeur de chaleur dans le flux des eaux usées dans lequel circule de l'eau glycolée. Celle-ci sera mise en contact avec l'évaporateur d'une pompe à chaleur, échangera les calories puisées à l'eau. Puis la pompe à chaleur élèvera la température de l'eau (entre 50 et 60 °) d'un deuxième circuit dédié au chauffage. Le principe est simple encore faut-il y avoir pensé !

Pour certaines industries un système de secours ou d'appoint est souvent prévu, de type chaudière.

Une solution permettant des économies et près de 60 % d'émissions de gaz à effet de serre en moins par rapport à d'autres énergies.

Cette technique est utilisée en Suisse, en Allemagne, aux États-Unis et... en France.

Pour quel type de bâtiments :

Hôpitaux, piscines, bâtiments administratifs, immeubles, industrie.

Une idée béton !

L'idée d'utiliser des structures en béton comme réserve d'énergie n'est pas nouvelle, c'est en 1980 que les premières fondations thermoactives furent mises en œuvre pour la première fois en Autriche.

De manière naturelle en hiver, le béton des murs ou parois absorbe la chaleur de la journée et le restitue la nuit, par conduction. En été, le béton accumule la fraîcheur de la nuit et fait baisser la température pendant la journée.

Toutes constructions en béton peuvent être utilisées, dalle, paroi, pieux de fondation. Il suffit que la masse soit assez importante et qu'elle soit suffisamment en contact avec le sol. Bien entendu le rendement dépend de l'exposition et de la nature même du sol.

Comme d'autres technologies on utilise un échangeur, mais ici il sera noyé dans le béton, au cœur de la cage d'armature en acier. Cet échangeur est constitué de tube en résine polymère (PEHD) ou circule un fluide caloporteur. Ce serpentin va permettre de récupérer l'énergie stockée, pour être utilisée via une PAC eau/eau qui produira de l'eau chaude ou froide selon la saison.

Dans certains pays comme la Suisse, l'Allemagne ou encore la Chine on utilise depuis assez longtemps ce système géothermique.

PAC en relève de chaudière

C'est une pompe à chaleur qui prélève dans l'air (ou l'eau) l'énergie pour la restituer dans l'eau d'un réseau de chauffage et qui est raccordée en parallèle d'une installation existante, par exemple une chaudière.

Comme vous pouvez le deviner, ce type d'installation est plus particulièrement destinée à la rénovation.

Les émetteurs sont soit basse température tel que le plancher chauffant ou haute température comme les radiateurs. Les deux principes de fonctionnement d'une pompe à chaleur en relève de chaudière sont le fonctionnement alterné (bivalent alternatif) et le fonctionnement simultané (bivalent parallèle), ils permettent tous deux de réaliser de substantielles économies sur la facture de chauffage.

Voyons le principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur en relève de chaudière

Point de bivalence ou d'équilibre

C'est le point défini par la température à laquelle la pompe à chaleur ne peut plus assurer à elle seule les besoins de chauffage, c'est aussi le point d'enclenchement de l'appoint.

Ce point théorique est établi par l'intersection de la droite des besoins en chauffage (bilan thermique) et de la courbe de puissance de la pompe à chaleur.

Fonctionnement bivalent parallèle

La pompe à chaleur assure seule les besoins de chauffage jusqu'à la température extérieure déterminer par le point de bivalence, situé généralement entre - 5 et du 5°C, en dessous de ce point la chaudière et la pompe à chaleur fonctionnent ensemble. Ce fonctionnement simultané s'opère jusqu'à ce que la température minimum extérieure d'arrêt de la pompe à chaleur soit atteinte puis la chaudière assure seule la totalité des besoins.

Fonctionnement bivalent alternatif

La pompe à chaleur fonctionne de manière individuelle jusqu'à la température extérieure déterminer le point de bivalence, au-delà de ce point c'est la chaudière qui prend le relais et assure intégralement les besoins.

La régulation (loi d'eau)

La régulation par loi d'eau (courbe de chauffe) permet de régler la température de départ ou de retour de l'eau de chauffage en fonction de la température extérieure, ce type de régulation est idéal, car la température de l'eau vers les différents émetteurs s'ajustera en fonction de la demande de chauffage. Les régulations les plus avancées permettent le raccordement une sonde d'ambiance afin de tenir compte de la température de la pièce pour affiner la température d'eau du circuit de chauffage.

À chaque type d'émetteurs (radiateur, ventilo-convecteur, plancher chauffant) correspond une loi d'eau, qui est caractérisée par une pente non linéaire.

La sonde extérieure doit être positionnée côté nord du bâtiment afin d'éviter toute perturbation causée par l'ensoleillement.

La régulation par loi d'eau est bien adaptée aux pompes à chaleur à variations de vitesse (inverter).

Volume minimum et ballon tampon

Toutes les pompes à chaleur air/eau pour fonctionner de manière optimale doivent avoir un volume d'eau minimal. Ce volume évite une usure prématuée du compresseur provoquée par un fonctionnement en courts cycles. Si l'installation ne dispose pas d'un volume d'eau suffisant et conforme aux préconisations du constructeur, il faudra mettre en place un volume tampon.

Un ballon tampon peut être placé sur l'aller de la pompe à chaleur, avec l'entrée du ballon par en bas et la sortie positionnée en haut, c'est le volume tampon à deux piquages.

Le volume tampon à quatre piquages permet le raccordement de la pompe à chaleur et de la chaudière sur une même réserve tampon, l'avantage de ce raccordement est de maintenir un débit constant nécessaire au bon fonctionnement de la pompe à chaleur, montage conseillé lorsque le réseau de chauffage est constitué de plusieurs émetteurs fonctionnant à des températures différentes. Sa capacité est plus importante qu'un ballon à deux piquages et doit être isolé thermiquement afin d'éviter les déperditions.

Bouteille de découplage

Comme son nom l'indique la bouteille de découplage permet de découpler ou de rendre indépendant hydrauliquement le circuit primaire et le circuit secondaire d'une installation en créant une zone neutre avec une perte de charge réduite, assurant ainsi un débit minimal sur l'échangeur de la PAC pour garantir un bon échange thermique.

Ce découplage est nécessaire pour assurer un régime d'eau conforme à la pompe à chaleur avec une différence de température de 5 à 7 °C entre l'entrée et la sortie de la PAC, tout en permettant des écarts plus importants sur les émetteurs. Attention le calcul d'une bouteille de découplage n'est pas anodin et réponds à des exigences bien précises.

PAC haute température

Une PAC haute température c'est quoi? :

En rénovation, en remplacement d'une chaudière et quand on doit garder des radiateurs comme terminaux de chauffage, la pompe à chaleur haute température est une bonne solution, elle délivre une eau de 65 °C à 80 °C même à une température extérieure négative. Elle peut aussi assurer la production d'eau chaude sanitaire avec un kit Hydraulique.

Pompe à chaleur basse ou haute température ?

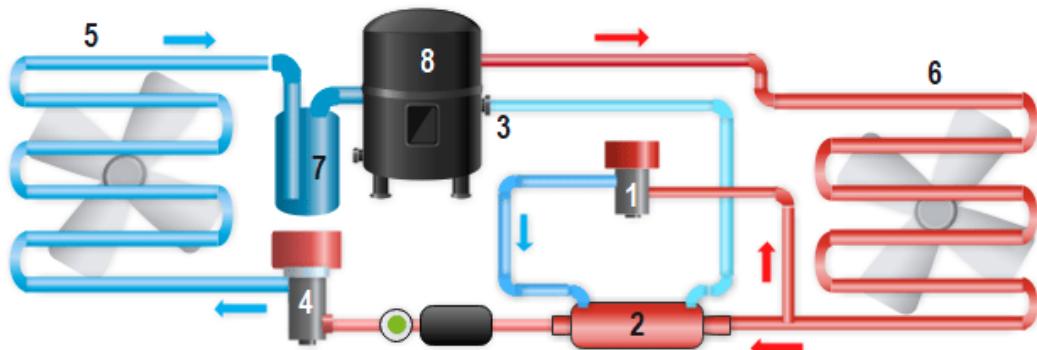
On distingue deux types de pompes à chaleur « air-eau ». Ces pompes ne produisent pas la même température d'eau à l'intention du circuit de chauffage. En effet, les pompes à chaleur basse température sont plus adaptées aux planchers chauffants et aux radiateurs à basse température, puisqu'elles produisent de l'eau à environ 40 à 50° C. On les priviliege aussi dans les régions où la température descend rarement en dessous de 0 °C.

Les traditionnels radiateurs en fonte sont considérés comme des radiateurs haute température. Pour les faire fonctionner, il est préférable de se tourner vers une pompe à chaleur haute température. Elle est également adaptée aux très basses températures extérieures, même négatives (jusqu'à -20 °C). On la priviliege donc dans les régions les plus froides. Mais à ces températures extérieures attention au rendement réel des appareils.

Les différentes technologies :

Compresseur EVI (beaucoup de marques):

Les compresseurs EVI sont des compresseurs équipés d'une connexion à injection de vapeur. Une partie du liquide après le condenseur passe au travers d'un détendeur annexe et d'un échangeur à plaques, le liquide du circuit principal est ainsi sous-refroidit, ce qui permet au taux de compression et à la puissance frigorifique de s'accroître. Notons que plus élevé est l'écart de pression entre condensation et évaporation (taux de compression), plus élevés seront les performances de la pompe à chaleur.



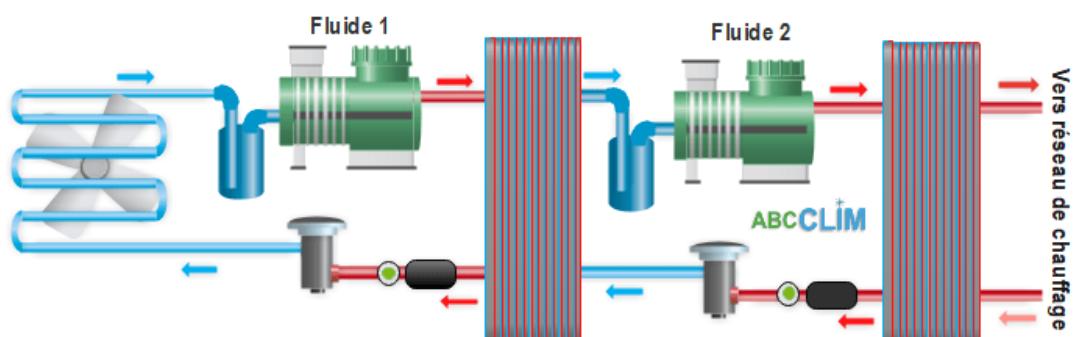
1 : Détendeur injection, 2 : Echangeur, 3: Raccordement injection vapeur, 4 :Détendeur , 5 :Evaporateur, 6 : condenseur
7 : Bouteille anti-coup de liquide, 8 : Compresseur Evi

Zubadan de Mitsubishi Electric:

Cette technologie est basée sur un circuit frigorifique complexe qui permet une réinjection à 3 niveaux à la fois liquide et gazeuse

Système en cascade :

Il reste en service dans le parc des PAC, des systèmes avec 2 circuits indépendants montés en cascade, un au R410A et un autre au R134a, ce type de PAC permet des températures de 80 °C .



Régulation:

Régulation par loi d'eau: Suivant une température extérieure mesurée par une sonde, un automate ajustera la température d'eau de départ du chauffage suivant une pente prédéfinie soit en agissant soit sur une vanne 3 voies, soit en régulant la vitesse d'un compresseur à vitesse variable. En savoir plus.
Régulation sur la température d'eau: Régulation sur la température du départ ou du retour de l'eau de chauffage.

Prix d'une pompe à chaleur haute température ?

Plusieurs facteurs peuvent influencer le prix d'une pompe à chaleur haute température. Parmi eux se trouvent la marque, la puissance, les performances thermiques, la température minimale de fonctionnement, le volume du ballon tampon et les fonctions diverses de la machine. À cela, il faut ajouter le prix de la main-d'œuvre en lien avec l'installation et la mise en service de la pompe à chaleur haute température. Pour l'installer, les propriétaires peuvent prétendre à plusieurs aides.

Le prix moyen de la PAC haute température

En tenant compte de toutes les températures, installer une pompe à chaleur haute température coûte entre 8 000 et 16 000 euros. Le prix moyen est donc de 12 000 euros pour l'installation du dispositif. Il faut préciser que cette installation est souvent plus coûteuse qu'une pompe à chaleur basse température.

Sa solidité ainsi que sa technologie doivent permettre à la pompe de fonctionner en toutes circonstances, malgré des températures extérieures très basses, de l'ordre de -20 °C. Le prix évolue donc en fonction des performances et de la qualité de la PAC haute température.

Le prix des travaux va aussi dépendre de la difficulté de l'installation, et des besoins du chantier. En effet, le prix augmente si le circuit de chauffage central doit être installé avec la pompe à chaleur haute température. En fonction du logement (plancher chauffant, nombre de radiateurs), le surcoût peut être de 3 000 à 8 000 euros. Il est donc important de définir l'étendue des travaux d'installation pour avoir une idée très précise du prix de l'installation globale de la pompe à chaleur haute température. L'estimation d'un professionnel peut s'avérer utile dans ce cas.

Les aides financières de l'État pour l'installation d'une PAC haute température

Il faut savoir que l'installation d'une pompe à chaleur haute température est éligible à la prime Renov. Quelques autres aides peuvent être sollicitées par les propriétaires qui décident d'installer ce système de chauffage. Parmi elles se trouvent la Prime Énergie et la Prime Énergie Plus, qui peuvent être accordées en fonction des performances thermiques de l'installation ainsi que sous certaines conditions de ressources. D'autres alternatives existent aussi comme l'Éco Prêt à Taux Zéro, la TVA à taux réduit ainsi que l'aide de l'ANAH.

Régulation par loi d'eau

La régulation par loi d'eau des pompes à chaleur établit une correspondance entre les besoins en chaleur du bâtiment et température de l'eau du circuit de chauffage.

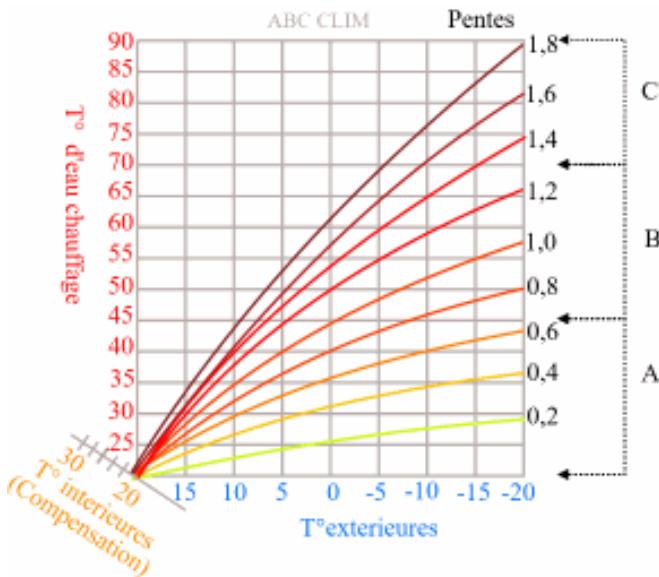
La loi d'eau ajustera la température d'eau vers les différents émetteurs en fonction des fluctuations de la température extérieure et pourra être compensée en fonction de la température intérieure.
Cette correction par la température d'ambiance permet d'optimiser le confort en prenant en compte les variations de la charge thermique interne.

Ce type de régulation est particulièrement bien adapté au mode de fonctionnement des pompes à chaleur à variation de vitesse (Inverter), car la régulation pilotera la vitesse de rotation du compresseur afin de délivrer juste l'énergie nécessaire pour chauffer l'eau aux degrés près.

Chaque installation de chauffage correspond une loi d'eau bien déterminée.

Cette loi d'eau est définie par une pente *non linéaire sur un abaque permettant le réglage de la température d'eau de chauffage.

Nota: * Les coefficients d'émissivités (K) des émetteurs, radiateurs hautes températures, radiateurs basses températures, chauffage au sol, étant tous différents, les régulations par loi d'eau d'aujourd'hui en tiennent compte et doivent compenser ce coefficient K d'où une pente non linéaire.



A= courbe pour chauffage au sol

B= courbe pour chauffage basse température

C= courbe pour chauffage haute température

Calcul de la pente:

$$\text{Pente} = (T^\circ \text{ eau de retour} - T^\circ \text{ ambiante}) / (T^\circ \text{ ambiante} - T^\circ \text{ extérieure}).$$

$$\text{Ex : } (50-20) / (20-(-5)) = 30 / 25 = 1,2$$

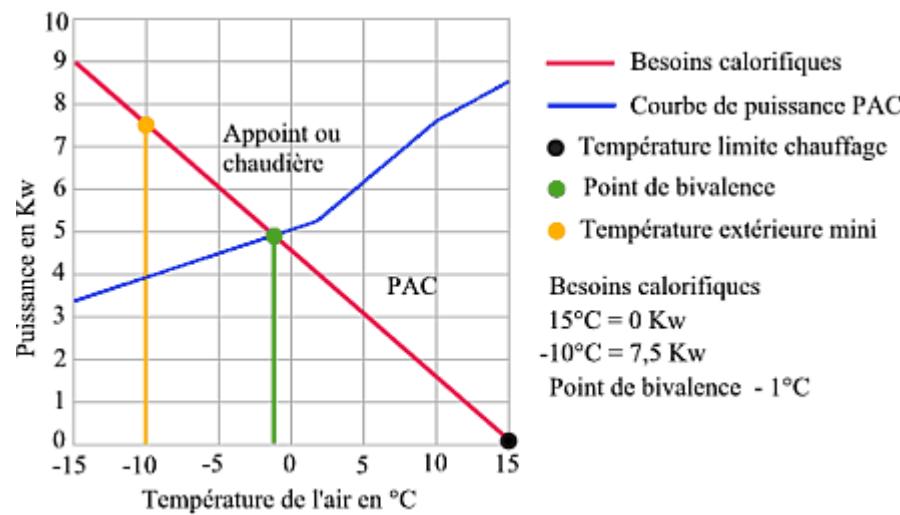
Point de bivalence

Mode monovalent

La pompe à chaleur couvre la totalité de la puissance nécessaire pour chauffer le bâtiment, il n'y a pas de chauffage d'appoint. Type de fonctionnement réservé au chauffage basse température et aux régions plutôt clémentes. La pompe à chaleur eau/eau est plus particulièrement adaptée à ce mode de fonctionnement.

Avant d'aller plus loin est nécessaire de comprendre ce qu'est le point de bivalence.

Point de bivalence



Le point de bivalence se situe à l'intersection de la droite représentant les besoins calorifiques déterminés par un bilan thermique et la courbe de puissance de la pompe à chaleur donnée par le fabricant.

Ce point détermine la température théorique de la limite de fonctionnement de la pompe à chaleur au-delà de ce point, soit un apport est nécessaire soit une autre énergie reprend le relais.

De manière générale le point de bivalence se situe entre 0°C et -5°C.

Les courbes de puissance des pompes à chaleur sont données par les fabricants pour une température de condensation donnée, une puissance restituée par rapport à une température extérieure, il faudra donc sélectionner une pompe à chaleur en fonction des conditions climatiques et de l'application

dans laquelle elle sera utilisée.

Mode mono-énergétique :

La pompe à chaleur devra couvrir 80 % de la puissance totale des besoins calorifiques le reste étant fourni par un appoint électrique c'est-à-dire des résistances électriques insérées dans un kit hydraulique. La pompe à chaleur fonctionnera seul jusqu'au point de bivalence, au-delà la pompe à chaleur fonctionnera en binôme avec les résistances.

Notons que les résistances fonctionneront aussi pour maintenir la température de l'eau pendant les périodes de dégivrage de la pompe à chaleur.

L'utilisation des résistances électriques étant réservées pour les températures les plus froides elles ne doivent fonctionner que de façon très limitée.

Mode bivalent

Dans ce mode de fonctionnement la puissance de la pompe à chaleur devra couvrir de 50 à 60 % des besoins calorifiques, le reste de la puissance sera fourni par une chaudière gaz ou fioul.

Bivalent alternatif

La pompe à chaleur fonctionnera jusqu'au point de bivalence par exemple 0°C pour une température d'eau au départ de 55°C, si la température extérieure continue de descendre en dessous de la température de bivalence et que la régulation demande une température de départ plus élevée, la pompe à chaleur s'arrêtera et la chaudière prendra le relais.

Le mode bivalent alternatif convient pour les anciennes installations avec des émetteurs de type radiateur.

Bivalent parallèle

La pompe à chaleur fonctionne en duo avec un générateur de chaleur, chaudière fioul ou gaz et dans les installations où la température de départ d'eau n'excède pas 60°.

Ce type de fonctionnement est préconisé en cas de rénovation d'un chauffage existant (radiateur basse température).

Point de bivalence : <https://youtu.be/jpEx-IXpMnE>

Pompe à chaleur piscine

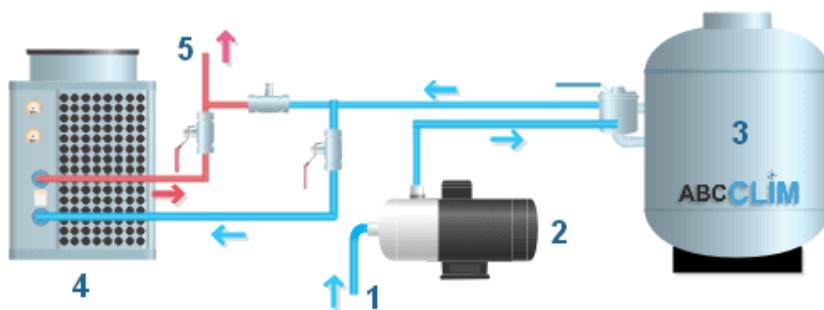
L'installation d'une pompe à chaleur air/eau pour anticiper ou prolonger la période consacrée à la baignade est une bonne idée, mais cet investissement parfois assez lourd doit être réfléchi.

Il faut beaucoup d'énergie pour chauffer de l'eau, environ 1 kW pour éléver d'un degré la température d'1 m³ d'eau et ceci en une heure.

Ainsi, pour éléver l'eau d'une piscine de 40 m³ de 3 °C par exemple en 12 heures, il faudra :

$$40 \times 3 / 12 = 10 \text{ kW minimum d'énergie.}$$

Comme la plupart des piscines sont utilisées à des périodes où la température extérieure dépasse les 7° l'utilisation de pompe à chaleur se justifie pleinement, car à ces températures extérieures les coefficients de performances des pompes à chaleur sont de l'ordre de 5, soit pour 1 kW consommé (donc, payer) 5 kW d'énergie rendue.



1. Aspiration bassin
2. Pompe de circulation
3. Filtre à sable
4. Pompe à chaleur
5. Refoulement vers piscine

Pour faire des économies sur le fonctionnement de la pompe à chaleur voici quelques conseils, il faudra faire attention à la situation de la piscine, réfléchissez à l'implantation de votre bassin de telle manière qu'il dispose de la meilleure exposition aux rayons solaires, vous profiterez ainsi de cette énergie gratuite, la piscine doit être abritée des vents dominants, si possible couvrir la piscine en période nocturne, car les écarts entre les températures nocturnes et diurnes sont importants, parfois plus de 15°C.

Le niveau sonore des PAC, c'est beaucoup amélioré ces dernières années, mais attention il faudra en tenir compte pour garantir votre tranquillité et celle de vos voisins, donc évitez les pompes à chaleur bas de gamme. Voir décret no 2006-1099 du 31 août 2006, relatif à la lutte contre les bruits de voisinage.

Côtés techniques ces pompes à chaleur sont identiques aux pac air/eau, la grande différence est que l'échangeur souvent à plaque est en titane pour éviter la corrosion. Une régulation électronique gère via des sondes la température de l'eau ainsi que l'ensemble du fonctionnement, protections, défauts, cycle de dégivrage..etc. Il faudra privilégier les PAC équipées de compresseur de type inverter, car cette technologie permet d'adapter la puissance délivrée par le compresseur en fonction de la température demandée.

Quant au prix de la pompe à chaleur seule, cela dépendra de plusieurs facteurs, volume de la piscine, votre zone climatique, technologie de matériel installé..etc

A titre indicatif :

- Pour une piscine entre 30m³ et 50m³ : de 1000 à 2500€
- Pour une piscine supérieure à 50m³ : de 2000 à 4000€

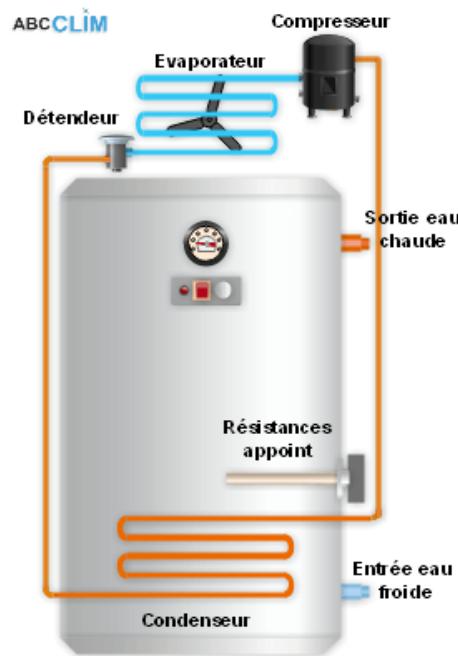
Les températures d'eau en fonction de l'utilisation :

- Bassin de compétition : 25°C
- Loisirs : 24 à 28°C
- Thérapeutique : 29 à 35°C
- Spa : 40°C

Chauffe-eau thermodynamique

Un chauffe-eau thermodynamique (CET) fonctionne sur le principe de la pompe à chaleur, de ce fait c'est un circuit frigorifique qui permet de transférer les calories récupérées dans l'air pour chauffer l'eau sanitaire jusqu'à 65°C. Ce type de production d'eau chaude a en général des capacités de stockage de 150 à 400 litres.

Les performances d'un ballon d'eau chaude thermodynamique sont directement liées à la température de l'air où l'on récupère l'énergie, ainsi on peut dire que ses performances optimales se situent aux alentours des 7°C, on aura donc tout intérêt pour un chauffe-eau monobloc, à ce que cet air soit repris dans un local non chauffé mais tempéré, bien ventilé du type garage ou dépendance (15m³ minimum), il est aussi possible de récupérer directement l'air rejeté de la VMC de l'habitation notons que le rejet du chauffe-eau est obligatoirement dirigé vers l'extérieur.



CET sur air extrait

C'est bien évidemment une bonne solution quand cela est possible. En effet pourquoi rejeter l'air extrait d'une habitation (cuisine, WC, etc.) vers l'extérieur alors que celui-ci contient une certaine quantité d'énergie sous forme de chaleur. On peut donc raccorder le rejet d'une VMC simple flux, hydroréglable, sur un chauffe-eau thermodynamique à condition bien sûr que le débit rejeté soit compatible avec celui du CET. En rénovation le raccordement de la gaine provenant de la VMC est parfois compliqué mais le bénéfice en termes d'économies d'énergie en vaut la peine. Pour réduire les pertes thermiques il faut dans tous les cas isoler la gaine de raccordement entre le système de ventilation et le chauffe-eau.

CET sur air ambiant

Ici il s'agira d'installer la production d'eau chaude dans un local tempéré non chauffé idéalement un garage, d'un cellier, afin d'utiliser l'énergie contenue dans l'air environnant. Le rejet du chauffe-eau doit être impérativement fait vers l'extérieur pour ne pas refroidir le local, cela va de soi. Attention le volume du local doit être en rapport avec le débit aspiré du système thermodynamique installé dans le CET. Suivant la capacité du ballon (volume eau) la puissance du système frigorifique change donc le débit d'air, en général il faut un volume tampon de 15 à 50m³ d'air dans le local pour un fonctionnement optimal.

Type split system

En ce qui concerne le chauffe-eau thermodynamique de type Split system (en deux parties) c'est-à-dire la pompe à chaleur séparée du chauffe-eau, il faut savoir que les performances sont moins importantes qu'un système monobloc, mais il fonctionne de façon correcte jusqu'à une température extérieure de -5° au-delà, il est obligatoire d'avoir un appont du type résistances électriques pour assurer le chauffage de l'eau quand la pompe à chaleur ne suffit plus ou quand celle-ci est en dégivrage. Son installation doit être obligatoirement exécutée par un professionnel compétent (liaisons frigorifiques).

Chauffe-eau thermodynamique, quelques idées utiles

Les économies d'énergie peuvent atteindre jusqu'à 70 % par rapport à un ballon d'eau chaude tout électrique. Le coefficient de performance des chauffe-eaux thermodynamiques dépend naturellement de la température de l'air où l'on puise les calories, mais aussi de la température de l'eau (55 à 65°), en général il se situe entre 2 et 2,9 avec un air à 7 °C. Rappelons que le COP c'est : COP = énergie restituée /énergie consommée
Les chauffe-eaux thermodynamiques sont éligibles aux crédits d'impôt, TVA réduite.

Investissement, prix

Selon l'Ademe, le coût d'un chauffe-eau thermodynamique d'une capacité de 300 litres tourne autour de 2 300 € , tandis que le prix de la pose est variable suivant les difficultés d'installation mais 450 € est une moyenne . Prévoir deux années minimums afin d'amortir cet investissement, suivant votre utilisation.

Temps de chauffe

Il faut en général 4 heures pour monter en température un ballon 200L de 15°C à 50°C, température air 15°C. La température de consigne de l'eau chaude ne doit pas dépasser 50 °C, car au-delà les performances ne sont plus au rendez-vous.

Capacité du ballon

Des consommations trop faibles par rapport au volume du ballon engendrent des court-cycles néfaste à la fiabilité du matériel. Le contraire, une capacité trop faible par rapport à l'utilisation crée aussi des dysfonctionnements. Donc il faudra bien évaluer ses besoins en eau chaude sanitaire.

Régulation

- Régulation avec les programmes heures creuses/heures pleines EDF.
- Certaines marques proposent une régulation auto-adaptative qui régule la production en fonction de l'utilisation.
- Horloge programmable hebdomadaire.
- Fonctionnement automatique/réduit/forcé.
- Limite de fonctionnement air extérieur : -5°C +35°C.

Fiche de synthèse : installation pompe à chaleur.

Attestations obligatoires.

Pour l'intervenant :

- Attestation d'aptitude à la manipulation des fluides frigorigènes.
- Habilitation électrique.
- CACES en cas d'utilisation de nacelles.

Pour l'entreprise

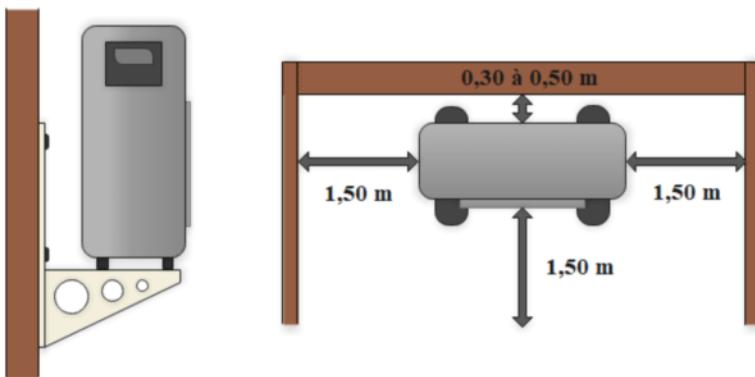
- Attestation de capacité.
- Assurance.

Installation de l'unité extérieure PAC air/air, air eau

Que l'unité extérieure soit de type monobloc ou de type Split système son implantation doit tenir compte de la réglementation plus particulièrement en ce qui concerne le niveau sonore des appareils.

Il faudra donc prêter une attention particulière en ce qui concerne l'installation de l'unité extérieure, pour protéger le voisinage contre tout bruit intempestif. Éviter l'installation au voisinage des chambres tout particulièrement.

Dans les cas extrêmes il est tout à fait possible d'installer des écrans acoustiques afin de limiter le bruit, mais tout cela a un prix.



Choix de l'emplacement de l'unité extérieure

Il doit répondre à deux préoccupations majeures la technique et la nuisance sonore, le côté esthétique étant subjectif. L'unité extérieure doit être accessible pour l'entretien et les futurs dépannages dans tous les cas le mieux est de respecter les recommandations techniques du fabricant. De manière générale prévoir 1,50 m de dégagement autour de l'appareil sauf côté échangeur la distance étend plus réduite de l'ordre de 0,30 m.

Évitez d'installer l'unité extérieure face aux vents dominants car compte tenu de la faible pression disponible des ventilateurs de condenseurs attention à la puissance du vent qui pourrait contrarier la rotation des hélices.
Prêter une attention particulière à l'accumulation de feuilles autour de l'appareil.

Le groupe extérieur doit être posé sur plots antivibratiles qu'il soit installé, poser sur le sol ou sur support mural. Quand celui-ci est posé sur le sol et suivant son poids il sera peut-être nécessaire de créer une dalle désolidarisée du bâtiment spécifiquement étudiée pour éviter la transmission des vibrations.

Dans tous les autres cas des plots antivibratiles en caoutchouc ou élastomère sont recommandés. Dans le cas où l'unité extérieure est installée sur la façade sur un support, des silent-blocs performants seront nécessaires afin d'éviter toute transmission de vibrations au bâtiment.

Côté esthétique attention au cache climatiseurs vendus ici ou là, car ceux-ci ne tiennent que très rarement compte des spécificités techniques des appareils. Les fabricants ont conçu leurs appareils pour être installés à l'air libre, les ventilateurs des condenseurs ont des pressions disponibles assez faibles, donc attention aux pertes de charges supplémentaires. Avec ce type d'éléments décoratifs le recyclage entre l'air soufflé et l'air repris n'est pas rare.

Dans le cas de l'installation d'un groupe extérieur à l'intérieur d'un bâtiment :

- Si le groupe extérieur est gainé au soufflage ou à la reprise ou les deux, attention pertes de charges.
- Eloigner suffisamment les grilles de reprise et de soufflage afin d'éviter le recyclage de l'air.
- Utiliser des produits absorbant les ondes sonores sur les murs, dans les cas extrêmes fait appel à un acousticien.

- Respecter la réglementation concernant la quantité de fluide frigorigène autorisé en local technique
- La ventilation d'un local technique est réglementée par la norme NF EN 378-3
- Prévoir l'évacuation des condensats, pente 1 cm par mètre minimum
- En ERP quelle que soit son installation une coupure de proximité électrique est obligatoire

Implantation des appareils intérieurs

Pompe à chaleur air/air

Les types d'unités intérieures le plus souvent rencontrées sont les appareils apparents :

- Unité murale.
- Console posée sur le sol où on allège.
- Cassettes encastrables.
- Plafonnier apparent.

L'implantation de ce type d'unité intérieure doit se faire en fonction :

- De la disposition des locaux où ils sont installés.
- Des contraintes imposées par le bâtiment.
- Des possibilités techniques offertes par l'appareil choisi.
- De l'esthétique et de la décoration des pièces à traiter.
- Des impératifs du client

Unité murale ,cassette, console

Les raccordements des tubes frigorifiques (dudgeons) après avoir été testés doivent être isolés parfaitement.

L'évacuation des eaux de condensation doit se faire si possible de manière gravitaire avec une pente de 1 cm par mètre. Quand cela n'est pas possible on peut utiliser des pompes de relevage spécifique. Celle-ci demande un entretien avant la saison d'été afin d'éviter des fuites d'eau toujours gênante.

L'unité intérieure de type murale devra être posé parfaitement de niveau et être positionnée de façon à diffuser l'air dans la pièce du mieux possible, plutôt dans la longueur de la pièce. Le perçage du trou pour le passage des tubes devra avoir un pente légère vers l'extérieur, afin d'éviter que l'eau de pluie puisse entrer. Cette pente aide aussi l'évacuation des condensat vers ce même extérieur.

Pour les cassettes encastrables il est parfois nécessaire d'isoler sur 1 m par exemple le tube d'eau d'évacuation de condensats, car l'eau étend froide et le plafond plutôt chaud on risque parfois d'avoir des points de rosée, gare aux taches sur le plafond.

Appareils gainables

Dans ce type de configuration l'appareil sera raccordé aux bouches de reprise et de soufflage via des gaines rigides ou souples.

Il sera installé plus particulièrement :

- En faux plafond.
- Directement dans les combles
- Dans l'espace non utilisé des placards
- En faux plafond surbaissé par exemple dans l'entrée ou dans un couloir de distribution.

Dans tous les cas il faudra prêter attention au bruit engendré par ce type d'appareil. L'accès aux différents éléments composant l'appareil intérieur est un point important pour permettre la maintenance et le remplacement du matériel. Il faut donc prévoir des trappes d'accès suffisamment grandes en faux plafond.

Concernant le réseau aéraulique quand l'installation est faite entièrement dans les combles l'isolation des gaines doit être particulièrement soignée pour éviter toute déperdition thermique. L'isolation comprend les gaines de reprise, de soufflage ainsi que leur plenum respectif.

Les appareils gainables ayant des pressions disponibles plus importantes, il faudra prévoir des siphons sur l'évacuation de l'eau de condensation pour éviter que cette eau soit retenue à l'intérieur du bac de condensats. La hauteur minimale du siphon en millimètres doit être au moins égale à deux fois la pression négative existante dans l'appareil en fonctionnement, sachant que $10 \text{ Pa} = 1 \text{ mm}$.

Pompe à chaleur air/ eau

Nous ne parlerons pas de l'unité extérieure puisqu'elle a été traitée plus haut.
Ici nous parlerons d'émetteurs de chaleur plutôt que d'appareil intérieur.

On distingue trois types d'émetteurs :

- Les radiateurs basse température.
- Le ventilo-convecteur.
- Le plancher chauffant

Quel que soit l'émetteur de chaleur les éléments de base d'une installation sont sensiblement les mêmes. Les connexions hydrauliques sont réalisées généralement, en acier, en cuivre, en PVC, en PER ou encore en multicouche. L'ensemble du circuit hydraulique accessoire compris doit être isolé thermiquement afin de limiter les déperditions.

Ci-dessous nous allons détailler les éléments indispensables voire obligatoires dans une installation de pompes à chaleur air.

Le disconnecteur

C'est un organe de protection contre les retours d'eau du chauffage vers le réseau d'eau froide sanitaire. Le disconnecteur est installé juste après la vanne de remplissage de l'installation.

Il doit être fixé solidement à l'aide de colliers car il est souvent assez lourd.

Soupape de sécurité.

Cet organe est obligatoire dans un réseau hydraulique, il protège l'installation contre toute pression excessive. La soupape de sécurité est généralement installée près du vase d'expansion, aucune vanne ne doit permettre son isolement.

Purgeur d'air automatique

La présence d'air dans un circuit hydraulique est néfaste au bon fonctionnement d'une installation.

Le bruit engendré par la présence d'air est la première cause qui vient à l'esprit car c'est la plus flagrante. Mais c'est la présence d'oxygène contenu dans l'air qui pose problème, et elle est bien plus insidieuse car elle provoque des phénomènes de corrosion parfois difficile à régler.

Les purgeurs automatiques vont permettre d'éliminer l'air dans les installations de chauffage et de climatisation sans intervenir manuellement.

Installés sur tous les points hauts d'une installation, colonnes montantes, bouteille de découplage, de manière générale en tous points susceptibles de contenir des poches d'air.

Vase d'expansion

Un vase d'expansion ou flexcon a pour rôle de compenser et d'absorber les fluctuations de volume de l'eau suite aux variations de température dans un réseau de chauffage ou de climatisation.

Une attention particulière doit être prise concernant sa capacité, elle doit être calculée.

Filtre à tamis et pot à boue

L'air introduit malencontreusement et les oxydes métalliques vont créer les conditions à la formation de bout néfaste aux échanges thermiques. Il faut savoir que certains organes du circuit hydraulique peuvent être détériorés par la boue. Notons que la présence de filtres à tamis est obligatoire dans une installation de pompes à chaleur.

Ballon tampon

La quantité d'eau présente dans un circuit de chauffage ou de climatisation doit être compatible avec la quantité minimum nécessaire au bon fonctionnement d'une pompe à chaleur. Quand cela est nécessaire la présence d'un ballon tampon va permettre d'augmenter l'inertie du circuit hydraulique tout en réduisant les cycles de marche/arrêt de la PAC.

Un ballon tampon doit être isolé thermiquement.

Vanne d'équilibrage

Une installation hydraulique peut avoir plusieurs départs vers différents émetteurs qui en fonction de leur puissance n'auront pas besoin de la même quantité d'énergie pour fonctionner correctement.

La répartition inégale de l'eau entraîne soit une température ambiante insuffisante soit trop élevée, dans les deux cas le confort thermique n'est pas au rendez-vous.

Comme le plus facile est de jouer sur les débits d'eau, on utilisera des dispositifs ou vanne d'équilibrage.

Manomètre et thermomètre

Afin de pouvoir contrôler la pression et la température en certains points du circuit hydraulique la présence de manomètre et de thermomètre est très utile en maintenance comment dépannage.

Kit hydraulique

Certains types de pompes à chaleur possèdent leur propre kit hydraulique avec tous les éléments indispensables pour faire fonctionner l'installation, pompe, vase expansion, vanne trois voies, etc.

Le groupe extérieur et le kit hydraulique sont raccordés par des tubes frigorifiques isolés dont la dimension est spécifiée par le fabricant.

La pose des tubes frigorifiques doit être faite selon les règles de l'art.

Quand le parcours des tubes est réalisé en toiture il faudra protéger l'isolation contre les UV (cache, peinture spécifique). Notons que les oiseaux ont une fâcheuse tendance à picorer l'isolant.

Raccordement électrique

Le raccordement électrique des pompes à chaleur s'effectue de la même manière que n'importe quel appareil en respectant la réglementation.

Néanmoins la ligne électrique qui alimente la PAC doit être protégée par un disjoncteur différentiel 30 mA, magnétothermique, courbe D.

Le disjoncteur différentiel 30 mA, a pour but de protéger les occupants d'un logement en empêchant les éventuels chocs électriques.

PAC , pièges et contre-performances

Pour profiter au mieux des avantages de l'installation d'une pompe à chaleur air/eau, plusieurs éléments sont à prendre en considération. Des règles d'installation sont à respecter et il ne suffit de l'installer suivant les règles de l'art pour qu'elle soit réellement efficiente.

PAC mal dimensionnée= surconsommation

Une pompe à chaleur air/eau doit être dimensionnée pour compenser les déperditions d'une habitation, il faut donc d'abord effectuer une bonne évaluation des déperditions avec une étude thermique sérieuse. En effet, l'installateur ne doit ni sous-dimensionner ni surdimensionner la pompe à chaleur, car dans les deux cas, il y aura augmentation de la consommation d'énergie et une baisse de la performance de la machine.

Une pompe à chaleur sous dimensionnée allongera significativement le temps de fonctionnement du compresseur surtout pendant les périodes les plus froides. Cet allongement du temps de fonctionnement sera de nature à réduire la durée de vie du compresseur par une usure prématuée. La température de confort ne sera pas atteinte et la consommation d'énergie sera significativement en hausse.

Une pompe à chaleur surdimensionnée sera plus onéreuse à l'achat et sa consommation électrique ne sera pas vraiment optimale. Les pompes à chaleur de type inverter tendent à amoindrir cet aspect.

La pompe à chaleur est généralement dimensionnée pour compenser 70 % des déperditions. Dans ces conditions, elle fonctionne à pleine charge et à son optimum de consommation énergétique.

Notons enfin que pour une pompe à chaleur sous-dimensionnée (60 % des déperditions thermiques) ou surdimensionnée (80 % des déperditions thermiques), la consommation d'énergie augmente de 3 %

Loi d'eau mal réglée !

Un mauvais réglage ou l'absence de réglage de la loi d'eau engendre une surconsommation d'énergie pouvant atteindre plus de 10%.

La loi d'eau permet de déterminer, en fonction de la température extérieure, la température de départ du circuit hydraulique et pourra être compensée aussi en fonction de la température intérieure.

Pour un calcul exact de la loi d'eau, il faut prendre en compte la température extérieure de base et la température de sortie de la pompe à chaleur, pour combattre toute déperdition de chaleur dans la maison. Il faut également fixer la température extérieure à partir de laquelle le chauffage n'est plus nécessaire et celle à laquelle la pompe à chaleur doit être relevée par une autre énergie (bivalent alternatif).

La plupart des machines sont régulées par rapport à la température de retour du circuit de chauffage. Ce réglage réduit le nombre de cycles marche/arrêt du compresseur.

Le réglage du différentiel c'est-à-dire l'écart de température entre le point d'enclenchement et celui de coupure de la pompe à chaleur, joue un rôle important dans le fonctionnement d'une pompe à chaleur. En effet, un réglage du différentiel mal maîtrisé peut engendrer une consommation énergétique importante, des cycles marche/arrêt réduits ou trop long, une température de confort fluctuante et même réduire la durée de vie de la machine.

Un différentiel de 3 à 4 °K est généralement un bon compromis. Sachant que les constructeurs calculent leurs échangeurs pour une différence de température d'eau entre l'entrée et la sortie de la pompe à chaleur de 5 à 6 °K.

Dégivrage pas optimal !

Le dégivrage est clairement un désavantage des pompes à chaleur air eau, car l'énergie nécessaire au dégivrage réduit les performances.

La quantité de givre et la fréquence des dégivrages dépendent de la température extérieure et de l'humidité relative contenue dans l'air. En général, le givre commence à apparaître à partir 4 °C extérieurs, et celui-ci agit un peu comme un isolant qui réduit l'échange entre l'air et l'échangeur de la pompe à chaleur.

Les constructeurs ont conçu des systèmes de dégivrage de plus en plus performant et permettent un certain nombre de réglages.

- Température du début de dégivrage
- Durée entre deux dégivrages
- Température de batterie en fin de dégivrage
- Durée maximale d'un cycle de dégivrage

L'impact du dégivrage sur la consommation énergétique est bien réel.

L'idéal pour un dégivrage performant, il faut tenir compte de plusieurs variables comme la température de la batterie, l'humidité de l'air et la température extérieure. Certes, tout ceci n'est pas facile à mesurer, mais le gain en rendement est important pour ne pas le négliger.

Ballon tampon, attention danger !

Toutes les pompes à chaleur air/eau pour fonctionner de manière optimale doivent avoir un volume d'eau minimal conforme aux préconisations du constructeur. Ce volume évite une usure prématuée du compresseur provoquée par un fonctionnement en cours cycles . Si l'installation ne dispose pas d'un volume d'eau suffisant, il faudra mettre en place un volume tampon notamment quand on utilise des radiateurs comme terminaux (inertie faible).

Ballon tampon et PAC

Les volumes tampons sont de façon générale employés pour le stockage de l'énergie et ceci quel que soit le type production de chaleur.

En ce qui concerne les pompes à chaleur (air/eau ou eau/eau), le sujet du volume d'eau minimal à respecter pour un fonctionnement pérenne est essentiel.

Cette réserve d'eau tampon se présente sous la forme d'un corps cylindrique (cuve) en acier, inox ou en acier carbone, isolée thermiquement.

Ballon tampon et fonctionnement d'une pompe à chaleur

Pourquoi faut-il être vigilant sur la contenance d'eau d'un réseau de chauffage ou de climatisation avec une pompe à chaleur ?

Tout d'abord ce volume d'appoint évite une usure prématuée causée par un fonctionnement en cours cycles des compresseurs tout ou rien (TOR) monoétages ou multiétages. En effet des démarrages et arrêts successifs ne permettent pas à ce type de compresseurs un retour d'huile optimal.

L'utilisation d'un ballon tampon permet d'éviter lors du dégivrage de la PAC de refroidir l'eau du circuit de manière trop importante. Les émetteurs de chaleur puisent les calories directement dans le ballon, ce qui évite une perte de rendement global de l'installation.

Il faut aussi penser que certains émetteurs comme les planchers chauffants, les ventilo-convection et même certains radiateurs ont une contenance parfois insuffisante en eau et une inertie thermique limitée.

Attention à la garantie constructeur, le volume d'eau de l'installation doit être compatible avec les préconisations techniques du constructeur.

Le cas des pompes à chaleur à compresseur inverter.

La technologie inverter est particulièrement intéressante en termes d'économie d'énergie et de confort. Mais ces pompes à chaleur ne s'affranchissent pas d'un volume d'eau minimal, cela réduit seulement la quantité en litres de cette réserve.

On considère que pour une installation dotée de compresseur inverter le volume minimal (réseau + réserve) doit correspondre à 15 à 20 litres d'eau par kW de puissance nominale contre 50 litres/kW pour une installation à compresseur TOR.

Ballon tampon à 2 piquages

Raccordements des volumes tampon à 2 piquages :

- Sur l'aller de la PAC
- Sur le retour de la PAC

L'implantation du ballon tampon sur l'aller de la pompe à chaleur est recommandée notamment avec l'utilisation d'une source d'énergie d'appoint (résistance électrique par exemple).

Dans les zones géographiques où la température extérieure d'hiver nécessite des dégivrages réguliers, ce raccordement permettra de limiter les incidences causées par l'inversion de cycle de la PAC.

Dans ce cas de figure l'entrée se fera en partie basse du ballon tandis que la sortie vers les émetteurs en partie haute. L'eau la plus chaude se trouvera en partie haute grâce à la stratification.

Concernant le raccordement du ballon tampon sur le retour de la pompe à chaleur, l'entrée dans le ballon se fera en haut (venant des émetteurs) et la sortie en bas (vers le retour de la PAC). L'eau plus froide en partie basse sera de nature à améliorer le fonctionnement de la régulation de la pompe à chaleur.

Ballon tampon 4 piquages

Ce type de volume tampon n'est pas toujours une bonne solution. Certaines études démontrent que des phénomènes de mélange de température ne sont pas compatibles avec le fonctionnement des pompes à chaleur.

Le COSTIC, explique que ces phénomènes de mélange induisent une température plus basse que celle de la pompe à chaleur. Ce qui dégrade irrémédiablement les performances. D'autant que la fonction initiale du ballon c'est-à-dire le volume tampon afin d'éviter les courts cycles n'est pas toujours garantie avec les ballons à 4 piquages.

Alors pourquoi utiliser ce type de configuration ?

Essentiellement pour découpler en deux parties distinctes le côté production et le côté émetteurs. Ici dans ce montage le primaire possède sa propre pompe et le secondaire possède une ou plusieurs pompes suivant l'installation.

Quels avantages :

- Isole la pompe à chaleur du réseau de distribution (séparation)
- Fais office de ballon tampon !
- Permet d'avoir plusieurs températures de départ pour plusieurs émetteurs de nature différentes.

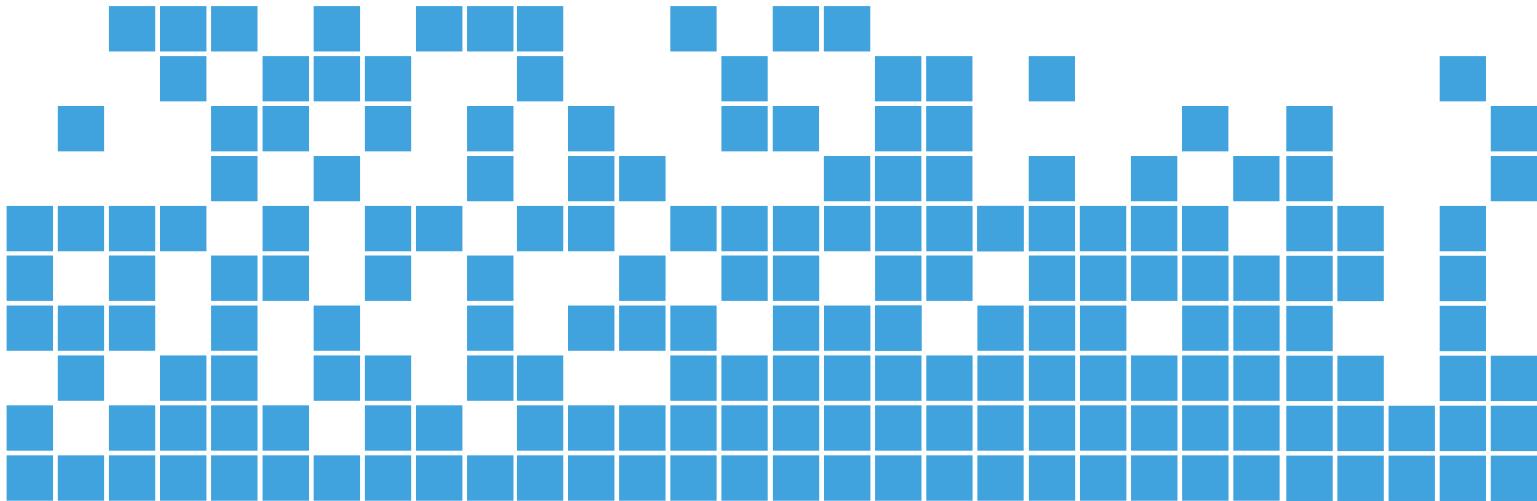
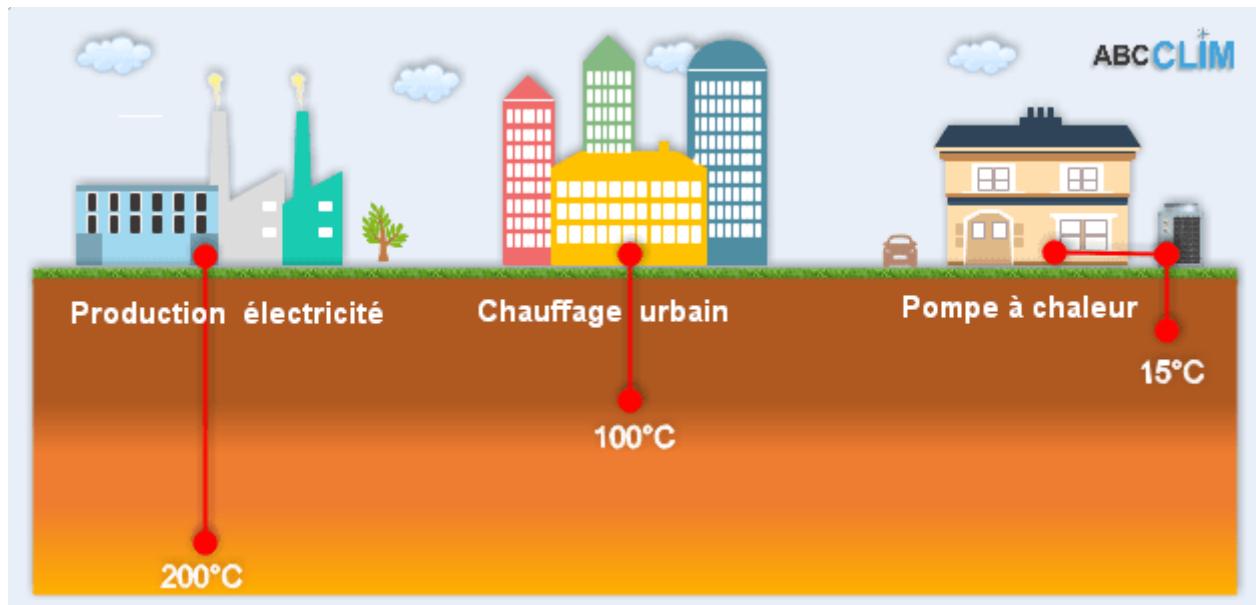
Calcul du volume tampon et pompe à chaleur

Ce calcul est un extrait du rapport RAGE.

$$CR = \frac{P_{pac} \times T_{Fmini} \times 1000}{p \times C_p \times DR}$$

- P_{pac} : puissance calorifique du régime le plus faible de la pompe à chaleur (compresseur TOR) en kW, pour une PAC inverter ce sera égale à 30 % de la puissance calorifique nominale.
- T_{Fmini} : temps de fonctionnement minimal en seconde (par défaut 360 secondes).
- CR : contenance en litre de l'installation de chauffage
- p : la masse volume en kg/m³ du fluide caloporteur de l'installation de chauffage (1000 pour de l'eau non glycolée).
- C_p : la capacité thermique massique en kJ/(kg. K) du fluide caloporteur de l'installation de chauffage (4,185 pour de l'eau non glycolée).
- DR : le différentiel de régulation de la pompe à chaleur en Kelvin (par défaut 5K).

La géothermie



La géothermie et ses avantages

L'utilisation de l'énergie sous forme de chaleur qui est stockée sous nos pieds, n'est pas nouvelle, les Romains connaissaient déjà cette technique pour les thermes notamment. Mais de nos jours cette exploitation revêt une dimension plus grande, il est donc important d'en saisir tous les avantages.

Qu'est-ce que la géothermie ?

Pour mieux comprendre les avantages de la géothermie, il est important de définir ce concept.

Il s'agit d'un terme accepté par extension pour parler de l'énergie stockée sous dans le sol. Elle est issue de l'énergie de la terre qui est ensuite convertie en énergie. Pour capter cette énergie on fait circuler un fluide dans les profondeurs de la terre jusqu'à ce que celui-ci entre en contact avec une roche chaude et imperméable. Le fluide se réchauffe alors et revient à la surface, chargé de calories sous forme de chaleur.

Certaines zones géographiques permettent un usage plus important de la géothermie, cependant il faut retenir qu'il s'agit d'une énergie qui peut être utilisée pour se chauffer, pour la balnéothérapie ou encore produire de l'électricité, partout dans le monde (un bon point pour la géopolitique). Ici pour ces utilisations on parlera de haute, moyenne et basse énergie, car les températures où l'on capte cette énergie sont comprises entre 100 et 380 °C.

Quant à la géothermie basse énergie ou de surface elle est utilisée pour le chauffage ou le rafraîchissement des habitations par pompe à chaleur avec capteur en surface ou par forage dans le sol.

La géothermie pour quoi faire ?

Quand on pense à la France on pense souvent, France métropolitaine, mais n'oublions pas les départements d'outre-mer comme la Guadeloupe, la Martinique ou encore la Réunion. En effet, ces régions ont un fort potentiel en termes d'énergies issues de la géothermie. La Guadeloupe possède d'ailleurs la première centrale géothermique productrice d'électricité appelée « Bouillante ». Pour le moment, en France métropolitaine, on s'en sert surtout pour le chauffage (sous forme de vapeur) des logements dans le bassin Aquitain et Parisien.

Autre utilisation moins évidente la balnéothérapie qui utilise la chaleur de l'eau captée en profondeur comme thérapie.

Même s'il est possible d'accéder à la géothermie partout, toutes les régions n'ont pas le même potentiel.

Vous pouvez, si vous le souhaitez, accéder à un chauffage par géothermie de surface ou de basse énergie de façon individuelle. Pour cela, il vous suffit de faire intervenir un professionnel qui commencera par vérifier la faisabilité du projet. En effet, avant de vous engager dans des travaux parfois coûteux assurez-vous que votre terrain soit compatible avec cette technologie. Là pose de capteurs horizontaux ou le percement d'un forage n'est pas toujours possible partout.

Avantages de la géothermie et de la pompe à chaleur ?

Tout d'abord, la géothermie de surface pour le particulier est une énergie relativement propre, qui n'émet que très peu de gaz à effet de serre. Aux vues du contexte climatique actuel, il s'agit donc d'une énergie sur laquelle il ne faut pas hésiter à miser.

Malgré un investissement initial parfois assez important, celui-ci se retrouvera amorti au bout de 5 ans. Ce qui vous garantit de belles années de bénéfice. Sachez également que des crédits d'impôts et un fonds de garantie ont été mis en place afin de faciliter l'installation de votre système géothermique. Autre avantage de taille, c'est une énergie inépuisable !

L'énergie géothermique s'accompagne en général d'une pompe à chaleur qui a pour avantage d'être assez discrète, en comparaison avec les autres sources d'énergies renouvelables.

La géothermie est une énergie renouvelable qui puise dans le sol une énergie gratuite constamment renouvelée par le vent, la pluie, le rayonnement solaire. Donc le gros avantage de ce type de chauffage et bien sûr énergétique, l'énergie que l'on récupère n'est pas négligeable de l'ordre de 75 % contre seulement 25 % sous forme d'énergie électrique nécessaire au fonctionnement de la pompe à chaleur qui assure le transfert de calories.

Profitons-en également pour aborder le sujet du coefficient de performance des pompes à chaleur, il s'agit du rapport entre la puissance rendue par l'appareil et la puissance électrique absorbée. Pour 1 kilowatt consommé afin de faire fonctionner les différents éléments d'une pompe à chaleur, vous disposerez de 3 à 4 kilowatts d'énergie pour vous chauffer.

Il n'est pas inutile de rappeler qu'on parle souvent de l'usage de la géothermie pour se chauffer, mais qu'il est également possible de refroidir votre habitat grâce à ce système.

Enfin, contrairement aux principales sources d'énergies renouvelables existantes aujourd'hui, la géothermie ne dépend pas de la météo pour accumuler de l'énergie. Certes, c'est la météo qui fait en sorte que cette source d'énergie soit inépuisable, rappelons que c'est grâce aux actions du soleil, du vent ou encore de la pluie. Cependant, la chaleur naturellement présente dans le sol ne va pas disparaître du jour au lendemain. Vous pouvez donc prévoir de passer un hiver au chaud, même si celui-ci n'est pas très ensoleillé.

La géothermie présente-t-elle des inconvénients ?

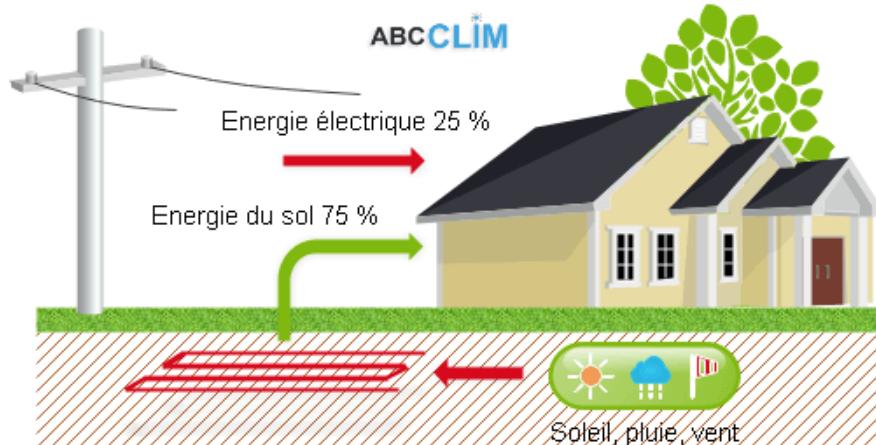
Comme toute source d'énergie, la géothermie présente aussi son lot d'inconvénients, qui sont tout de même à relativiser.

Le premier frein : le prix d'investissement de départ ! Le décapage du sol pour permettre la pose de l'échangeur extérieur ou le percement d'un forage ne sont pas des opérations anodines financièrement. Mais comme vu précédemment, des aides ont été mises en place par l'état, afin de vous accompagner.

Ensuite, il faudra disposer d'un espace extérieur assez important dans le cas d'une pompe à chaleur sur échangeurs horizontaux, car celle-ci représente une fois et demie la surface à chauffer. En ce qui concerne la géothermie verticale, n'oubliez que tout forage est soumis à l'obtention d'une autorisation préalable.

Pour conclure

La géothermie profonde n'est pas une énergie exclusivement réservée aux terres volcaniques, et celle-ci peut aussi être envisagée en France pour se chauffer, produire de l'électricité. Quant à la géothermie de surface dédiée aux particuliers, l'investissement initial est à prendre en compte, mais des aides de l'État pourront vous aider à franchir le cap. Une fois mise en place, cette source d'énergie vous permettra de vous chauffer quasiment gratuitement dès lors que l'installation sera amortie.



NB :

Petit rappel concernant, deux notions souvent utilisées en géothermie.

Sources froides.

On appelle source froide la source où l'on va capter la chaleur ou l'énergie. Les trois principales utilisées sources sont le sol, l'air et l'eau (nappe phréatique,lacs,rivière). Cette énergie est renouvelée constamment par le rayonnement solaire, le vent, pluie et même la neige.

Sources chaudes.

On appelle source chaude la source où l'on va restituer la chaleur (énergie) récupérée dans la source froide. Les trois principales sources chaudes sont : les ventilo-convecteurs, les radiateurs, et le plancher chauffant.

Les quatre types de géothermie

La géothermie (mot issu du grec « gê » = terre et « thermos » = chaud) consiste à extraire l'énergie gratuite contenue dans le sol sans cesse régénérée par le rayonnement solaire, la pluie, le vent pour l'utiliser comme source froide pour le chauffage par pompe à chaleur, soit sous forme d'eau chaude utilisée pour chauffer directement des habitations, ou encore sous forme de vapeur pour produire de l'électricité.

Quand on creuse profondément sous terre, par exemple une mine ou un forage, on s'aperçoit que la température augmente peu à peu, en moyenne de 3°C par 100 mètres. C'est ce qu'on appelle le gradient géothermique.

La production d'électricité via la géothermie est possible grâce à des installations complexes puisque la température est comprise entre 150 et 350°C. Plusieurs méthodes sont déjà utilisées. En Guadeloupe, une centrale est exploitée depuis les années 60. Elle fonctionne grâce à quatre puits de forage. Cette centrale permet de couvrir 7% de la demande électrique totale de la Guadeloupe. Les îles voisines devraient s'inspirer de ce fonctionnement pour exploiter leur propre richesse géothermique. A l'heure actuelle, la France se situe au troisième rang européen en termes de capacité géothermique installée pour la production de chaleur.

Le principe de la géothermie basse énergie est d'utiliser les réservoirs d'eau chaude sous terre pour récupérer une partie de cette chaleur. Elle peut être utilisée directement pour le chauffage ou quand l'eau est suffisamment chaude, pour la production d'électricité. L'eau chaude géothermique était déjà utilisée dans l'Antiquité, en Chine, au Japon et à Rome, pour les lavages, les bains et ses vertus thérapeutiques. Les Romains l'utilisaient même pour chauffer les parois et les planchers de leurs maisons. La Maison de la radio à Paris est ainsi équipée d'un système de géothermie qui fut mis en place dans les années 60. Ce système est utilisé comme chauffage d'appoint. C'est l'eau de l'Albien puisée à 600 mètres de profondeur à 27°C qui permet de chauffer en partie ce bâtiment.

En ce qui concerne la géothermie très basse énergie ou de surface (pompe à chaleur) ce n'est qu'au début du siècle que les premières expériences furent tentées. Ce n'est que dans les années 1970 qu'aux États-Unis et au Canada les premières maisons furent équipées de ce système. En Europe il a fallu attendre le début des années 80 pour voir apparaître quelques installations de pompe à chaleur pour chauffer et produire de l'eau chaude sanitaire, depuis bien sûr compte tenu des incitations fiscales, du prix des énergies fossiles telles que le fioul, le gaz, etc, cette technologie a le vent en poupe ces dernières années.

On distingue quatre types de géothermie : la haute, la moyenne, la basse et la très basse énergie.

Type	Caractéristiques	Utilisations
Très basse énergie	Sol entre 10°C et 15°C	Chauffage et rafraîchissement de locaux avec pompe à chaleur par capteur de surface ou forage dans le sol
Basse énergie	30°C < T ° < 100°C	Chauffage urbain, utilisations industrielles, thermalisme, balnéothérapie (nappe phréatique)
Moyenne Haute énergie	100°C < T ° < 180°C 180°C < T ° < 380°C	Production d'électricité (eau sous forme de vapeur)

Principe de la géothermie

Le principe de la géothermie consiste à puiser dans une nappe phréatique ou le plus souvent à prélever l'énergie gratuite contenue dans le sol pour chauffer une habitation, cette énergie est constamment renouvelée par la nature, le soleil, le vent, la pluie. C'est donc une énergie renouvelable.

Ce transfert d'énergie de l'extérieur vers l'intérieur est assuré par deux échangeurs, un détendeur et un générateur :

1. L'évaporateur est un échangeur de chaleur qui prélève l'énergie dans le sol celui-ci est soit constitué de tuyaux en PEHD (tuyauterie souple) ou circule un fluide caloporteur (eau glycolée) formant une nappe horizontale soit par un forage intégrant un échangeur vertical ou encore en prélevant la chaleur de l'eau directement dans une nappe phréatique. Le milieu où l'on prélève l'énergie est appelée la source froide.
2. Le condenseur restitue cette énergie souvent par un chauffage au sol c'est-à-dire des tuyaux intégrés dans une chappe avant carrelage ou de ventilo-convection (air pulsé), ou encore des radiateurs basse température. Le milieu où l'on restitue l'énergie est appelée la source chaude.

Ce transfert d'énergie est possible grâce à un générateur, le compresseur

Cet ensemble constitue la pompe à chaleur.

Une pompe à chaleur est un système de chauffage thermodynamique basé sur un principe physique, le "changement d'état" et plus précisément l'évaporation et la condensation.

Quand un liquide s'évapore pour devenir un gaz, il absorbe de l'énergie, quand il se condense pour revenir à l'état liquide, il dégage de l'énergie.

La température d'évaporation du fluide frigorifique étant toujours plus basse que la température du sol ou d'une nappe d'eau souterraine celui-ci吸 les calories pour les restituer ensuite dans la phase de condensation. Ce transfert est possible grâce à un compresseur qui aspire, comprime et porte à haute température un fluide, ce compresseur permettra la circulation du gaz dans le circuit frigorifique.

Différents types de captage et source d'énergie

Capteur horizontal

La conductivité et l'inertie thermique du sol sont particulièrement intéressantes, stables tout au long de l'hiver de jour comme de nuit. Les minéraux et les matières organiques sont d'excellent conducteur thermique.

Il faudra disposer d'un terrain d'une surface de 1,5 à 2 fois la surface à chauffée, les tuyaux souples (PEHD ou PER) sont disposés en serpentins enterrés de 80 cm à 1 mètre, de l'eau glycolée circule dans cet échangeur et permet le transfert d'énergie. La longueur totale des tubes du capteur peut être de plusieurs centaines de mètres, chaque spire est espacée de plusieurs dizaines de centimètres. Cet écartement est important pour que le sol ne gèle pas et qu'il puisse se régénérer plus facilement.

Le sol doit être naturellement perméable pour faciliter les échanges thermiques, dans les sols argileux les capteurs doivent être posés sur un lit de sable.

Les capteurs peuvent être recouverts d'une pelouse, d'un jardin, mais aucun arbre à proximité car les racines pourraient abîmer les tubes.

Capteur vertical, sonde géothermique

Les sondes verticales en tubes PHED sont installées dans un forage rempli de bétonite pour améliorer la conductivité, ce forage peut atteindre une profondeur allant jusqu'à 100 mètres. De l'eau glycolée circule à travers la sonde en circuit fermé dans des tubes de polyéthylène de 25 à 40 mm de diamètre. S'il y a plusieurs capteurs verticaux sur un même terrain, ils doivent être séparés par 10 mètres de distance.

Si ce dispositif occupe moins de place, il est plus onéreux qu'un captage horizontal et de plus il est soumis à autorisation (DRIRE). L'aide d'un géologue est fortement conseillé, il dispose du savoir et de certains logiciels pour optimiser la pose des capteurs.

Captage par nappe phréatique

Le captage peut être fait de deux manières soit on puise dans un puits unique puis on rejette cette eau dans une rivière ou un lac, soit par le principe des deux forages.

Ce type de captage nécessite un forage pour récupérer les calories contenues dans l'eau, l'autre pour rejeter l'eau une fois l'énergie extraite. Compte tenu de la grande stabilité de la température de l'eau (7 et 12 °C), ce type de captage est très intéressant au point de vue énergétique. Les qualités physiques (dureté, acidité) de l'eau doivent être prises en compte, la source de captage doit aussi être disponible en quantité suffisante, faire une étude avant toute réalisation.

Types de pompe à chaleur (géothermie)

PAC sol/sol :

La Pac sol sol est une pac à détente directe ou l'évaporateur (source froide) est directement incorporé dans le sol cet échangeur est composé de couronne de cuivre gainé (capteur plan) , le condenseur(source chaude) est lui noyé dans la dalle avant carrelage.

Ce type de Pac nécessite une pose rigoureuse (soudure,test étanchéité,tirage au vide) et contient une quantité de fluide frigorigène non négligeable. Compte tenu de la réglementation sur les fluides, ce type d' installation n'est plus d'actualité seul reste d'anciennes installations.

COP= 3 à 4

PAC sol/eau ou mixte :

Ici cette pompe à chaleur possède un évaporateur(source froide) à détente directe en couronne de cuivre gainé tandis que la partie condenseur est constituée d'un échangeur fluide/eau (à plaque ou coaxial) qui permet le transfert de calories vers le circuit de chauffage .Les émetteurs (source chaude) sont soit un plancher chauffant ,soit des radiateurs ou encore des ventilo-convection.

COP= 3 à 4



PAC eau glycolée/eau:

Ce type de pac est nommée aussi à fluide intermédiaire, car le circuit frigorifique est monté d'usine dans la pompe à chaleur et les différents échanges avec le condenseur et l'évaporateur ce font par le biais d'échangeur fluide/eau(à plaque ou coaxial).Coté source froide les capteurs sont soit horizontaux constitué d'une trame de tuyaux en PEHD (tuyaux souples)ou circule un fluide caloporteur (eau glycolée) soit verticaux ici c'est en fait une sonde voir deux incorporées dans un forage profond. Les émetteurs sont les mêmes que pour la PACsol/eau.

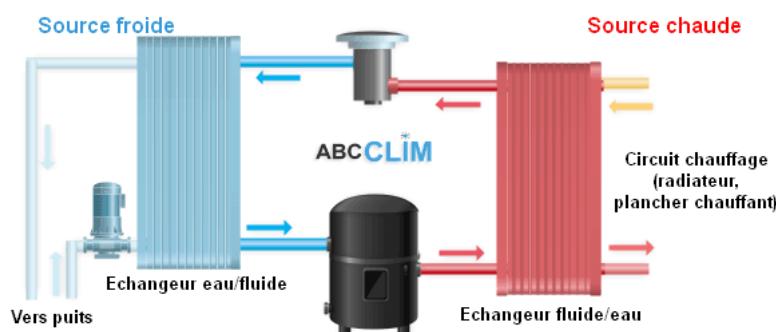
COP= 3 à 4,5



PAC eau/eau :

Cette pompe à chaleur est identique à la PAC eau glycolée/eau du moins en ce qui concerne la partie condenseur, car du coté évaporateur même si le type d'échangeur est identique c'est la nature de la source froide qui diffère, car c'est de l'eau d'un puits ou d'une nappe phréatique que l'on utilise.. Les émetteurs(source chaude) sont soit un plancher chauffant ,soit des radiateurs ou encore des ventilo-convection.

COP= 4 à 6



Chauffage au sol, plancher chauffant

Le chauffage au sol ou plancher chauffant est un système de chauffage par rayonnement basse température (la température du sol n'excède jamais 28°C), cette émission de chaleur ce fait du niveau du sol et s'étend au reste de la pièce, le confort est appréciable grâce à une répartition homogène de la chaleur. Ce type de chauffage est adapté à la rénovation (sous certaines conditions) comme aux bâtiments neufs, il accepte presque tous les types de sols sauf la moquette (attention aux émanations de colle) et certains sols stratifiés.

Les avantages sont multiples, pas de mouvement d'air, un chauffage discret pas de tubes ni d'appareils de chauffage apparents, le régime de température d'eau (35°) permet de l'associer à une pompe à chaleur ou à une chaudière à condensation avec des rendements énergétiques très intéressants.

L'inconvénient majeur étant l'investissement qui est pondéré par les aides et les crédits d'impôt (prix au m² entre 70 et 100 €). Grâce à son efficacité, ce système permet d'abaisser la température de chauffage de 2 ou 3°, ce qui représente une économie d'énergie de près de 15% (Source Ademe).

Il est tout à fait possible si cette option a été prévue dès le départ de climatiser par le plancher une habitation on parle alors de plancher réversible.

Le fonctionnement du plancher chauffant:

Le plancher chauffant est alimenté en eau chaude par un générateur par exemple une pompe à chaleur (air/eau ou eau/eau), une pompe de circulation véhicule l'eau vers un (ou des) collecteur qui répartit et régule le débit pour chaque pièce. Chaque circuit étant équipé d'organe d'arrêt et d'équilibrage. Le réseau est constitué de tuyaux en polyéthylène espacés entre de 10 à 30 cm et disposés en escargot ou en forme de serpentin posé et fixé sur une isolation thermique en polystyrène, le tout est enrobé d'une chape.

Les dimensions des tubes polyéthylène les plus utilisés sont les diamètres 13x16 et 16x20. Avec un diamètre 16x20, les pertes de charge seront globalement plus faibles et à pertes de charge égales, il sera possible d'avoir des longueurs de boucles plus longues. Les longueurs maximales préconisées sont, 160 m pour du 16x20 et 120 m pour du 13x16.

L'eau en circulation chauffe toute la surface du sol et se propage de façon homogène à travers la pièce en évitant le phénomène de la stratification.

Il existe plusieurs types de régulation, mais la plus fiable est celle qui privilégie le réglage zone par zone ou pièce par pièce, un régulateur électronique interprète des données fournies par des sondes extérieures, intérieures, de fluide ce qui lui permet d'agir sur des vannes motorisées, pour répondre à la demande.

Quelques conseils:

- Avant la mise en place de l'isolant vérifier que le sol soit sans gros défaut si nécessaire prévoir un ragréage.
- En périphérie, posez une bande isolante pour permettre la dilation de la future dalle flottante.
- À l'aide d'un plan repérez sur l'isolant le parcours des tubes, serpentin, tube aller et retour pour chaque nappe afin d'évitez les surprises (croisement, manque de place). Le collecteur doit être fixé solidement sur un mur assez haut afin de faciliter le raccordement, dans un endroit discret, mais accessible, repérez les circuits.
- Une fois les tubes posés et fixés sur l'isolant, procédez à un rinçage des circuits puis remplir les circuits avec de l'eau de ville et d'additifs antigel, anticorrosion, antiboue et mettre sous pression (8 Bars max, pression d'essai).
- A partir de ce moment, évitez de circuler sur le plancher chauffant.
- Des joints de dilatation sont préconisés tous les 50 m² et au plus tous les 10 m.
- Une fois le mortier qui enrobe les tubes coulés attendre un mois pour mettre en chauffe, par paliers jusqu'à la température de régime.
- Posez le revêtement de sol.

NB:

Il existe deux types de plancher chauffant :

1. plancher chauffant par résistances électriques
2. plancher chauffant ou réversible par fluide caloporteur

Pose plancher chauffant : <https://vimeo.com/267075212>

Puits canadien

Le puits canadien (en hiver) ou provençal (en été) est un système qui utilise l'énergie disponible dans le sol pour réchauffer ou refroidir l'air neuf nécessaire à la ventilation des bâtiments. La température du sol est très stable, été comme hiver, à une profondeur de 1,5m le sol est à une température constante de 10 à 15°C. Cette énergie gratuite disponible dans le sol est utilisée par le puits canadien, l'échange de chaleur est de deux ordre du sol vers le tube c'est la conduction, et du tube vers l'air c'est le phénomène de la convection.

Le fonctionnement du puits canadien:

L'air est capté par une grille extérieure disposant d'un filtre (G2 à G4) puis circule à travers un ou plusieurs de tubes enterrés (diamètre 160 à 250 mm), le contact intime entre l'air et le sol permet un échange thermique, l'air sera distribué dans les pièces par un ventilateur via un réseau de gaines avec diffuseurs.

Ce système permet des économies d'énergie substantielles, car l'air introduit sera réchauffé gratuitement en hiver et refroidi en été et compensera l'air rejeté par la VMC.

Quelques idées simples à retenir :

- Le réseau peut être composé d'un seul tube enterré ou d'un réseau de tubes parallèles.
- Les caractéristiques du sol devront être connues lors de la conception du puits car la texture et la granulométrie du matériau entourant la canalisation jouent un rôle..
- La température de base, le débit nécessaire détermineront la longueur et la section du réseau.
- Utilisez des tuyaux polyéthylène, polypropylène conçu pour cette application évitez les bricolages ils devront être lisse intérieurement avec une couche intérieure bactéricide (sulfates d'argent),les tuyaux doivent pouvoir résister à la pression de la terre, ils devront être posée avec une pente de l'ordre de 2% pour l'évacuation par gravité des condensats (fonctionnement été).
- Le réseau de tubes doit être parfaitement étanche pour éviter l'humidité et la prolifération microbienne.
- Pour favoriser l'échange, une vitesse d'air de 1 à 2 m/s est préconisée.

En été et en intersaison:

En été l'air qui est introduit étant à une température moyenne de 20°C, celui-ci permettra de tempérer un peu l'atmosphère dans l'habitation. Ce qui limitera l'utilisation de la climatisation. Puis quand la température extérieure est proche de la température de confort, on peut alors couper la ventilation du puits canadien.

Dans les climats océaniques la différence entre la température du sol et celle de l'air est rarement supérieure à 10°C. Le puits canadien n'est pas toujours une bonne idée.

Par contre dans les climats méditerranéens, la température de l'air est souvent supérieure de 10°C à celle du sol. Ici on comprend que cette technologie est souhaitable quand cela est possible.

Puits canadien et VMC double flux:

On peut aussi pour améliorer le rendement coupler le puits canadien avec une centrale double flux.

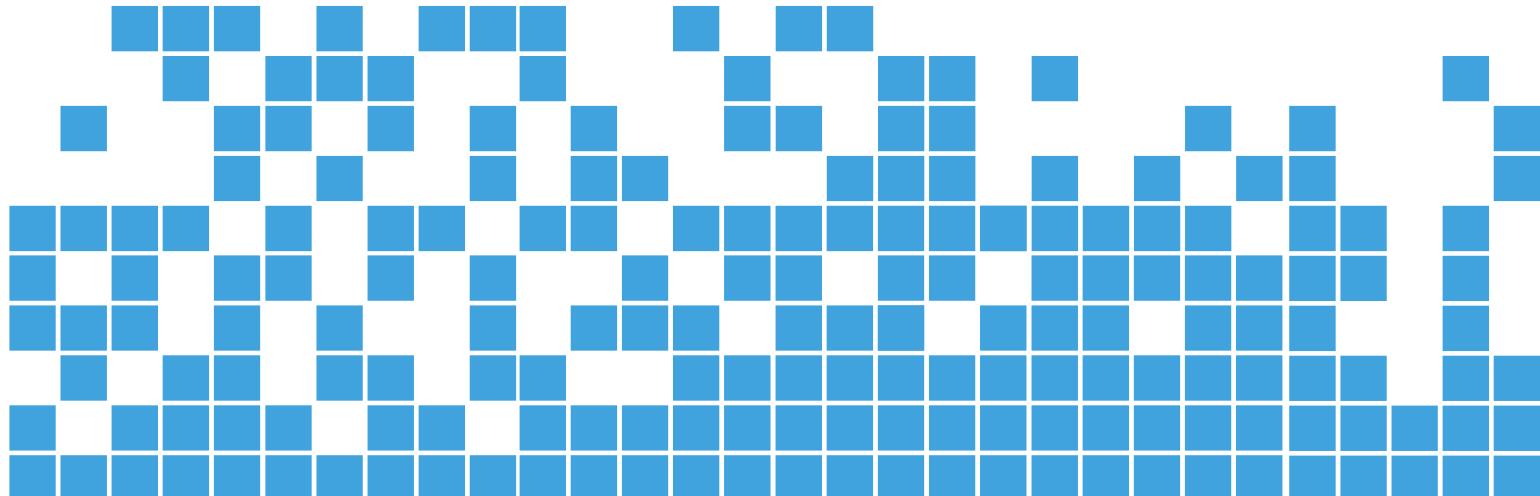
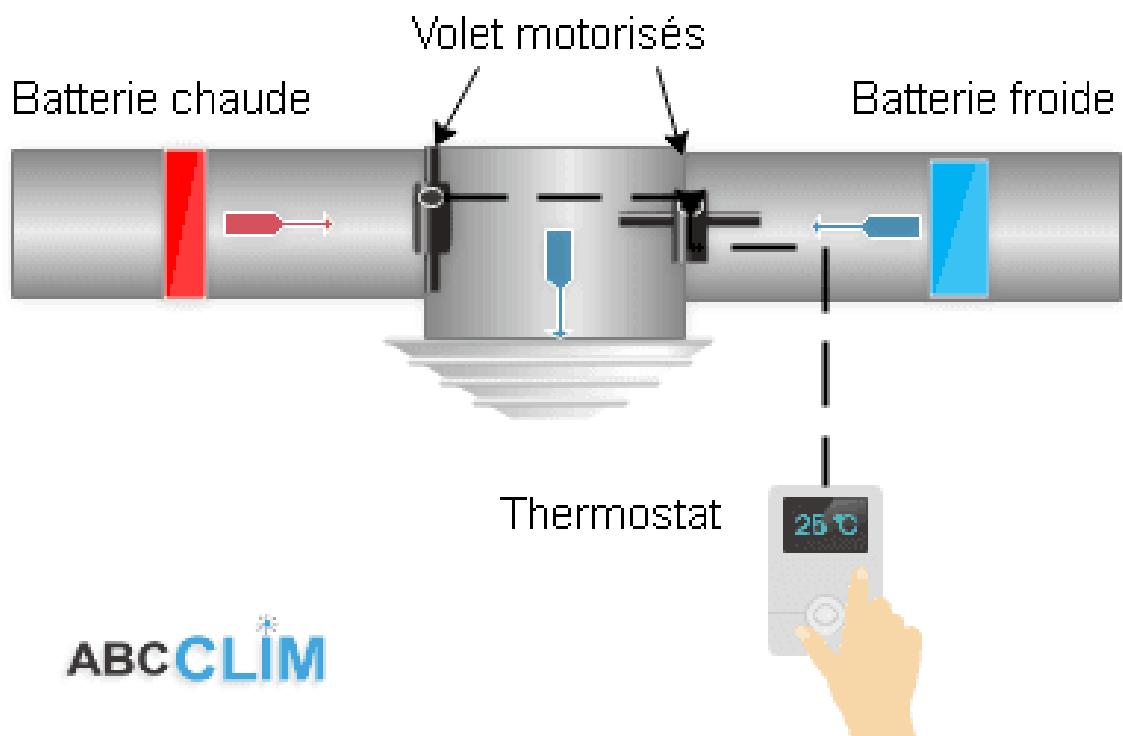
La VMC double-flux permet d'insuffler l'air du puits canadien dans la maison et d'extraire l'air vicié, en récupérant à travers un échangeur les calories de l'air extrait. En été, un bypass manuel sur la VMC permet de désactiver l'échangeur.

Prix et dimensionnement :

Le dimensionnement d'un puits canadien n'est pas aisné, car il faut tenir compte d'un certain nombre de paramètres :

- Température et conductivité thermique du sol, variable selon la nature du sol
- Profondeur d'enfouissement des tubes
- Longueur et diamètre des tubes
- Exposition aux rayonnement solaire, au vent à la surface du sol
- Débit nominal de la ventilation.
- Vitesse d'air dans le conduit

Climatisation, chauffage



Comment la climatisation a changé le quotidien des américains!

Dans le monde, une dizaine de climatiseurs sont vendus chaque seconde. Cela correspond à 2 milliards d'appareils, chiffre qui pourrait atteindre les 6 milliards vers 2050.

La climatisation aux États-Unis a un réel impact sur l'environnement et l'énergie : 6 % de la consommation d'électricité est due à l'air climatisé et une moyenne de 30 milliards de litres de pétrole est nécessaire pour climatiser des véhicules.

La climatisation est une technologie qui apporte une qualité de vie confortable pour l'humain et une nécessité incontournable dans certains domaines professionnels, notamment l'alimentaire et le médical. Il faut juste savoir en faire bon usage et ne pas en abuser car son impact sur l'environnement est réel.

L'histoire a commencé par un problème dans une imprimerie new-yorkaise, au début du 20e siècle. L'imprimeur découvrit avec stupeur qu'il ne pouvait plus stocker et imprimer son papier, déformé par une teneur d'humidité trop importante dans l'air. Il demanda à un jeune ingénieur, Willis Carrier, de trouver une solution, et il inventa une machine capable de contrôler la température et l'humidité de l'air. Le jeune homme imagina une grosse machine encombrante composée de tubes contenant un fluide réfrigérant, le premier climatiseur est né.

Les hommes de cette époque étaient alors loin d'imaginer l'impact de cette nouvelle technologie sur la société et sur notre planète.

Cette technologie marque le début d'un intérêt économique important, imaginée pour la préservation des marchandises et du matériel, faire du froid est par conséquent rapidement utilisé par toutes les industries de l'alimentaire, pour le tabac, le textile. Son objectif premier se déplace peu à peu vers le confort des humains, à tel point que l'air conditionné fait partie de notre univers : en plus des usines, bureaux et foyers, on trouve la clim dans les hôtels, les restaurants, les magasins, les administrations, les voitures, les trains et jusque dans les écoles, églises, salles de sport et ascenseurs, et ce même en hiver pour garder une température constante.

Voici 6 domaines qui ont été impactés par cette invention, dont certains pourront vous étonner. Impact sur l'économie, le mode de vie (la politique !), la démographie, la géographie, l'urbanisme et enfin sur notre planète .

Impact sur la vie professionnelle

Les premières climatisations sont installées dans les salles de cinéma, étouffantes en été et donc désertées par les clients. Ensuite c'est au tour des usines, mais il faut d'abord convaincre les patrons, à qui on diffuse une étude montrant qu'un employé travaille mieux avec une atmosphère climatisée.

Les conditions de travail en sont transformées, surtout en usine pour ceux qui côtoient des machines produisant de la chaleur. Une usine climatisée au début du siècle voyait affluer les demandes d'emploi, pour le confort de travail que cela impliquait. Il était évident que travailler dans la chaleur diminuait les capacités de travail, l'énergie et la créativité aussi, c'était une vraie révolution de pouvoir travailler dans un air sain et frais et donc une ambiance agréable et sans conflits majeurs.

Aujourd'hui, à l'air numérique ce sont surtout les data center qui ont besoin d'air traité pour fonctionner correctement. D'autres lieux professionnels, indépendamment des métiers alimentaires liés à la chaîne du froid, ont besoin d'une température basse constante, comme les hôpitaux et les laboratoires.

Impact sur la vie privée : l'air conditionné s'étend aux foyers dès les années 1950, grâce à la fenêtre « clim de fenêtre » inventée par Willis Carrier pour les ménages.

La clim a donc un impact sur l'économie : en effet, si 10 % des foyers américains possédaient un appareil de climatisation dans les années 1960, 90 % en possèdent dans les années 2000.

Une manne pour les fabricants et les commerçants car la clim est devenue indispensable. À tel point que le gouvernement a mis en place un système d'aides publiques pour les ménages les plus pauvres.

L'impact sur le mode de vie aux USA :

La sédentarité :

Le fait d'avoir un intérieur plus confortable a contribué à moins sortir, par exemple pour assister à des matchs de sport et à davantage regarder la télé, ce qui a contribué à l'obésité.

La tolérance au froid :

Les Américains se sont accoutumés à la climatisation installée partout.

La politique :

Des spécialistes considèrent que le président républicain Reagan a été élu **en partie** grâce à l'air conditionné... Incroyable !

Pourquoi ? Tout simplement parce que la majorité des personnes ayant choisi de vivre dans la Sun Belt, le sud chaud des États-Unis sont des seniors et des retraités aisés. Et que les bureaux de vote étaient bien climatisés

L'impact sur la démographie (natalité et mortalité)

Des études ont montrées qu'en périodes de canicule, la procréation est réduite. Avec l'arrivée de la clim dans les foyers, les variations saisonnières ont été moins marquées et il y eut à nouveau plus de naissances en mars, avril et mai. De même, le taux de mortalité (crises de paludisme, vagues de chaleur mortelles, fragilité des personnes âgées) a été réduit pendant les périodes de grosses chaleurs grâce à la climatisation.

L'impact sur la géographie

Auparavant, les personnes se déplaçaient plutôt dans le nord du pays, plus frais et plus agréable que le sud avec ses chaleurs étouffantes. L'arrivée des climatiseurs a changé la donne et la Sun Belt (ceinture du soleil, en français), toute la région du sud, est devenue attractive. Il était désormais très agréable de vivre dans des villes comme Miami, Dallas, Phoenix, Las Vegas ou Los Angeles où 97 % de la population est équipée d'air conditionné. L'Arizona oblige même les propriétaires à fournir un système de climatisation à leurs locataires !

D'autres villes du monde, au climat tropical ou construites dans le désert comme Dubaï, Bangkok, Singapour ou Rio de Janeiro, sont très agréables à vivre grâce au conditionnement d'air.

L'impact sur l'urbanisme

L'absence de conditionnement d'air a permis d'imaginer des maisons aérées, plutôt en longueur avec un sol surélevé, des hauts plafonds (certains avec ventilateurs), des grandes fenêtres et un porche abritant du soleil. Le traitement d'air a permis de bâtir de hauts buildings au design recherché (verre, béton), même en plein désert.

L'impact sur notre planète

La pollution :

Les systèmes d'air conditionné utilisent des fluides parfois toxiques pour la couche d'ozone, même si la réglementation F-gas tient à diminuer leurs utilisations. Sachez aussi que plus on utilise la climatisation, plus il fait chaud ! Eh oui, des études ont montré que l'air chaud rejeté par les appareils extérieurs faisait monter la température de l'air extérieur d'un à deux degrés, ce qui peut conduire les personnes à vouloir augmenter la clim... Cercle vicieux...!

La surconsommation d'énergie :

Les appareils de froid et de climatisation demandent de l'énergie pour fonctionner. Aux États-Unis, la consommation d'électricité nécessaire pour faire fonctionner tous les systèmes de refroidissement équivaut à la consommation d'énergie totale de l'Afrique !

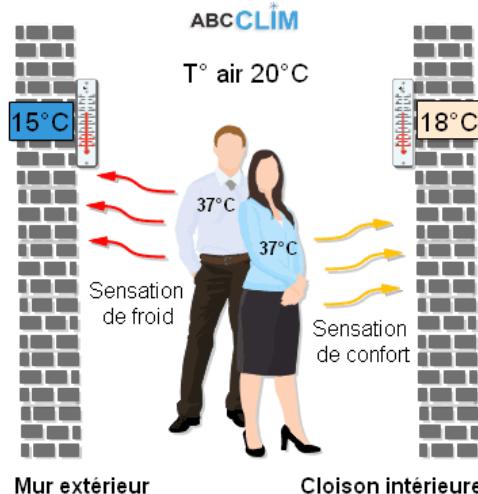
Et la France dans tout cela, dans le secteur résidentiel, le taux d'équipement reste faible 4 % en comparaison au tertiaire (commerce, hôtel) mais les équipements sont en constantes progressions notamment depuis les hausses des températures moyennes et les périodes de canicules .

Notions de confort

L'homme a de tout temps cherché à améliorer son bien-être, le chauffage a toujours été vital pour lui et plus récemment la climatisation.

La notion de confort est définie de façon générale comme l'absence de gêne ou de contraintes qui seraient susceptibles de gêner les activités d'un individu.

Bien sûr les exigences en ce qui concerne le confort ont évolué en distinguera quatre paramètres entrant en ligne de compte afin d'assurer un environnement confortable.



La température

C'est la condition la plus flagrante généralement un être humain ne sent aucune gêne dans un environnement dont la température se situe entre 18 et 23°, bien entendu ces conditions sont variables en fonction des individus suivants son âge, son activité et son état de santé.

Le corps humain est très sensible aux changements de température il lutte constamment pour maintenir sa température à 37°.

Comme la température de notre corps est souvent supérieure à la température qui nous entoure, nous cédons constamment de la chaleur.

Ces divers échanges ce font par conduction c'est-à-dire par contact direct, par convection (échange entre le corps et l'air ambiant), par rayonnement, par évaporation (notre corps évacue de l'eau par la transpiration).

La température des parois est importante, car elle agit sur notre corps directement par rayonnement, par exemple si la température de l'air ambiant est de 20° la température des murs ne seront qu'aux alentours de 15° ainsi la température réelle ressentie ne sera que de 18°.

Le taux d'humidité :

L'humidité relative de l'air s'exprime en pourcentage.

Un environnement trop humide accentuera la perception d'inconfort, les vêtements perdront de leur pouvoir d'isolation en hiver, et la transpiration sera plus abondante sous certaines conditions.

L'hygrométrie idéale est comprise entre 30 et 65 % mais elle est très variable selon les saisons et la situation géographique.

Exemple, pour une température d'air de 22° avec humidité relative comprise entre 40 et 65 % la majorité des personnes ne percevront aucune gêne à l'inverse à une température de 24° mais avec une humidité relative de 82 % la transpiration sera abondante.

Renouvellement d'air :

Le taux de renouvellement d'air est assuré généralement par une ventilation mécanique et devra être en rapport avec le nombre de personnes, le type local et de son volume.

Le corps humain dégage non seulement de la chaleur et de l'humidité, mais favorise aussi le développement de certains microbes et bactéries.

Une ventilation efficace devra maintenir une teneur en oxygène constante et sera en mesure de limiter la concentration en CO₂, ainsi que d'éliminer les mauvaises odeurs.

Pour une personne adulte, il faut compter 30 m³/h de renouvellement d'air minimum, ce chiffre peut être bien plus important en fonction de l'activité physique, et on constate que pour éliminer efficacement l'humidité, les mauvaises odeurs et garantir un bon renouvellement d'air ce chiffre est un minimum.

La vitesse de l'air :

La vitesse de l'air dans les conduits de climatisation, mais plus particulièrement au niveau des bouches de soufflage peut être à l'origine de bruit parfois difficilement supportable, n'oublions pas que cette vitesse d'air si celle-ci est trop importante sera gênante créant des mouvements d'air très perceptible au niveau de la peau. C'est à partir de 0,3 m/s de vitesse d'air qu'un individu percevra une gêne.

Approche de la psychrométrie et du diagramme

Définition

La psychrométrie désigne les caractéristiques physiques et thermodynamiques d'un mélange gaz-vapeur. L'air humide étant un mélange gaz-vapeur, l'étude de ses caractéristiques est appelée "Psychrométrie".

Un des premiers appareils permettant de mesurer deux grandeurs fondamentales de l'air humide est le Psychomètre. En effet, cet appareil, constitué de deux thermomètres, permet de mesurer :

la température sèche de l'air (appelée aussi "de bulbe sec" par analogie au bulbe du thermomètre) qui définit le "degré d'agitation moléculaire de l'air".

la température humide de l'air (appelée aussi "de bulbe humide") obtenue par la mesure, à l'aide d'un bout de tissu enveloppé sur l'élément de mesure (bulbe), imbiber d'eau et ventilé pour provoquer l'évaporation de cette eau. Cette température est par la nature même de l'échange thermodynamique eau/air (évaporation) inférieure à la température sèche de cet air.

Ces deux mesures permettent de définir de façon relativement précise les caractéristiques de l'air humide.

Une réglette, livrée avec l'appareil, donne la valeur de l'humidité relative de l'air.

De nos jours, les appareils de mesure numériques permettent de déterminer toutes les caractéristiques rapidement ;

Le diagramme

Le diagramme de l'air humide ou diagramme psychrométrique permet lui aussi de visualiser toutes les caractéristiques de l'air humide avec précision.

Principales caractéristiques:

- Température sèche
- Température humide
- Température de rosée
- Enthalpie
- Humidité absolue
- Humidité relative
- Volume massique

L'air que nous respirons est composé d'un certain nombre de gaz, azote, oxygène, hydrogène, etc, d'humidité, de poussières et de bactéries, c'est l'air humide pollué.

Sur le diagramme de l'air humide, on considérera que :

- L'air sec est un air pur ne contenant aucune poussière ou bactérie et totalement dépourvu d'humidité
- L'air humide est un air pur ne contenant aucune poussière ou bactérie, mais ayant une certaine teneur en humidité sous forme de vapeur d'eau.
- C'est un mélange d'air sec et de vapeur d'eau.
- L'air sec peut être considéré comme un gaz parfait. De même, l'air humide est un mélange idéal de gaz parfait.

Température sèche : (Axe horizontal bleu)

C'est la température mesurée par un thermomètre classique "bulbe sec" et s'exprime en degré centigrade, la lecture s'effectue par une droite isotherme flèche bleue.

Humidité absolue : (Axe vertical rouge)

C'est le poids de vapeur d'eau contenue dans 1 kg d'air sec et s'exprime en kilogramme d'eau par kilogramme d'air sec (kg d'eau/kg d'air sec). La lecture s'effectue sur l'échelle de l'humidité absolue par la ligne horizontale flèche rouge

Enthalpie: (ligne oblique verte foncée)

C'est la quantité de chaleur nécessaire pour éléver 1 kg d'air sec de 1°C s'exprime en kj/kg d'air sec, et se lit sur la ligne verte de l'enthalpie par une ligne oblique flèche verte foncée.

Humidité relative: (courbe noire + courbe noire hachurée)

S'exprime en pourcentage (%) par rapport à la courbe de saturation (100% HR , courbe noire en gras).

Volume spécifique: (ligne oblique orange)

C'est le volume occupé à la pression atmosphérique par 1 kg d'air humide, en m³ /kg d'air sec.

Température de rosée θ_{rA} : (flèche verte claire)

C'est la température à laquelle l'air humide se dépose sous forme de rosée sur les objets environnants. Suivre la flèche rouge jusqu'à couper la courbe de saturation, suivre la flèche verte claire puis lire sur l'échelle de température.(flèche noire) C'est la température indiquée par un thermomètre dont le bulbe est recouvert d'un coton ou d'un chiffon Mouillé.

Température humide θ_{hA} : (flèche noire)

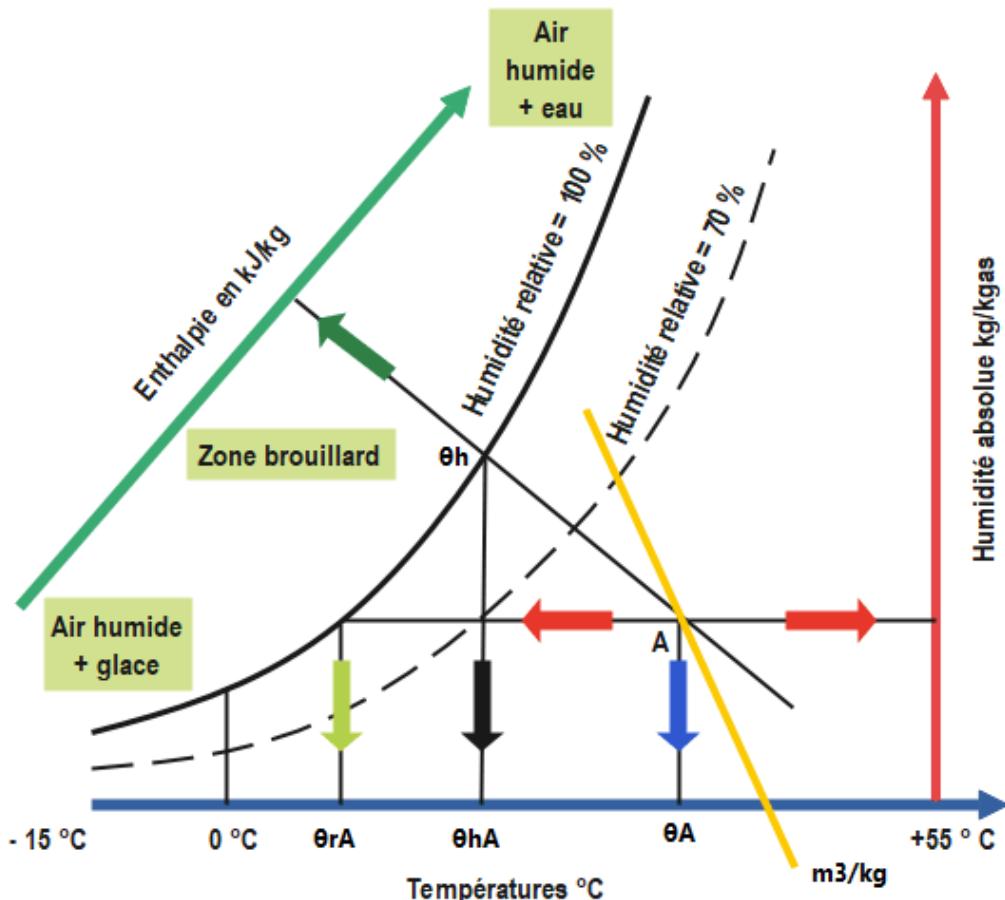
Température humide, ou température du thermomètre mouillé, c'est la température lue sur un thermomètre dont le bulbe est recouvert d'un coton humide, qu'on ventile pour faire évaporer l'eau.

Température sèche θ_A : (flèche bleue)

La température sèche correspond à la température donnée par un thermomètre placé dans un flux d'air sec. Elle se lit simplement en projetant le point A sur l'axe de température sèche (voir flèche bleue sur le diagramme).

Le point A, situé ici aléatoirement sur le graphique, correspond à une situation donnée de l'état de l'air reportée sur le diagramme Carrier. Pour pouvoir placer un point sur le graphique, il faut connaître au moins deux des valeurs du diagramme;

Diagramme : <https://www.youtube.com/watch?v=RfiJZxO-77c>



Humidité absolue et relative

L'air est un mélange composé d'azote (78,10 % vol), d'oxygène (20,93 % vol) et de traces d'autres gaz (argon,dioxyde de carbone,hydrogène,hélium,krypton, xénon) et il contient des molécules d'eau en sustentation sous forme de vapeur d'eau ou d'humidité.

La teneur en humidité influence fortement le bien-être des personnes, mais aussi joue un rôle dans la conservation des denrées donc c'est un paramètre important dans la conception des installations de conditionnement d'air et de froid. De l'air ne contenant aucune trace d'humidité est appelé "air sec", à l'inverse un air contenant 100 % d'humidité est appelé "air saturé".

Humidité absolue

L'humidité absolue d'une masse d'air représente la quantité en grammes de vapeur d'eau [g vapeur/kg air sec] présente dans un volume d'air sec donné (1m³) et sa valeur reste constante même si la température de l'air varie en restant supérieure à la température du point de rosée*.

La vapeur contenue dans une masse d'air est invisible, mais si on sature d'humidité de l'air sec au-delà d'une certaine limite on voit apparaître du brouillard et de la condensation, l'eau forme alors des gouttelettes en suspension dans l'air, on dit alors que l'air est saturé. *La température de rosée c'est la température où la vapeur d'eau contenue dans l'air commence à se condenser dans l'air.

Humidité relative

L'humidité relative(HR)s'exprime en pourcentage(%) et correspond au rapport, entre la quantité d'eau que contient l'air (humidité absolue) et la quantité maximale qu'il peut contenir pour une température donnée et ceci avant de se condenser. Les variations de la température influencent directement l'humidité relative, de sorte que l'humidité relative baisse quand la température s'élève et augmente lorsque la température baisse.

Comment mesurer l'hygrométrie ?

Psychromètre à deux thermomètres

Le psychromètre comporte deux thermomètres, que l'on place dans un courant d'air, un thermomètre est maintenu au sec, il indique la température sèche de l'air, l'autre est entouré d'une ouate humide la température qu'il indique est la température humide.

La différence de ces deux températures permet de connaître l'humidité relative de l'air considéré.

En savoir plus.

Hygromètre à cheveux

Le principe repose sur le fait que le taux d'humidité dans l'air provoque une variation de la longueur de cheveux qui est transmise par un mécanisme à un cadran à aiguille.(cheveux humains = élément sensible)

Hygromètre capacitif

L'élément sensible de cet hygromètre est un condensateur dont le diélectrique est constitué d'un polymère très hygroscopique de quelques micromètres d'épaisseur qui absorbe les molécules d'eau contenues dans l'air. Les informations de cette sonde sont convertis en signaux numérique, puis affichés sur un écran digital. Performance plutôt bonne (2% erreur).

Hygromètre résistif

Ici on utilise comme capteur des résistances au chlorure de lithium, ce matériau(hygroscopique)a pour propriété d'avoir une grande résistance lorsqu'il est sec et une faible résistance lorsqu'il est humide. Hygromètre moins fiable que l'hygromètre capacitif ($\pm 5\%$).

Chauffage et refroidissement de l'air

Chauffage de l'air

Batterie à eau chaude

Serpentin en cuivre recouvert d'ailettes en aluminium pour favoriser l'échange thermique, l'eau et l'air circulant à contre-courant.

L'énergie thermique transmise à l'eau est fournie par une chaudière ou une pompe à chaleur, l'eau circule dans un réseau de tuyauterie actionnée par une pompe de circulation.

La température d'entrée de l'eau de la batterie chaude est généralement de l'ordre de 50°C. L'énergie thermique nécessaire est modulée suivant la demande par vanne 3 (régulation débit ou température) ou 2 voies.

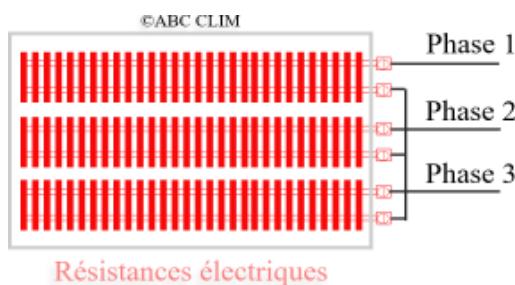
Résistances électriques

L'élément de chauffe est constitué d'un ensemble d'épingles muni d'ailettes pour dissiper la chaleur.

L'alimentation électrique est soit en monophasé pour les petites puissances, soit en triphasé pour les puissances supérieures à 3 kW.

Suivant la puissance des résistances, il sera nécessaire de répartir la puissance sur plusieurs étages ou de moduler la puissance via une vanne de courant (triac).

- Des organes de protection seront nécessaires afin de protéger les personnes et les biens :
- Thermostat incendie dans la gaine de soufflage
- Hypsothermes sur les épingle en contact direct
- Pressostat débit ventilation ainsi la batterie électrique ne fonctionne qu'en présence de circulation d'air.
- Pour les plus grosses puissances, l'arrêt du ventilateur de soufflage sera commandé par une temporisation (post ventilation).



Échangeur thermodynamique

C'est le condenseur d'une pompe à chaleur, qui transmet les calories directement à l'air.

La puissance d'une batterie de chauffage est déterminée par:

$$Q_1 = 0,34 \cdot D \cdot \Delta t$$

Avec :

Q_1 = puissance de chauffage en W ;

0,34 = chaleur spécifique en W/m³.K ;

D = débit d'air en m³/h ;

Δt = écart de température entre températures extérieures et intérieures en K.

Le chauffage se fait à humidité absolue ou teneur en vapeur d'eau constante.

Refroidissement de l'air

Refroidissement sensible (sans déshumidification) :

La température de surface de la batterie froide doit être supérieure à la température de rosée de l'air . Cette chaleur qui est soustraite est dite sensible, car la vapeur d'eau contenue dans l'air ne se condense pas (pas de changement d'état), l'humidité absolue reste constante tandis que l'humidité relative augmente.

Refroidissement latent (avec déshumidification):

La température de surface de la batterie froide doit être inférieure à la température de rosée de l'air. La vapeur se condense sur la surface de la batterie froide, l'humidité absolue diminue.

Batterie à eau froide :

La constitution et la régulation d'une batterie à eau froide sont identiques à celle d'une batterie à eau chaude, seules leurs dimensions diffèrent.

Un groupe de production d'eau glacée produit de l'eau généralement au départ du circuit à 6°C (régime 6°C à 12°C), mais pour des températures de fonctionnement plus basses ou si les températures hivernales sont négatives (arrêt installation) l'eau peut être mélangée avec un glycol, attention toutefois ce mélange modifie le coefficient d'échange suivant la concentration.

Batterie froide à détente directe

Elle est montée directement sur le circuit thermodynamique dont elle constitue l'évaporateur.

Calcul d'une batterie froide

Débit massique de l'air :

- $Q_m = Q_v \text{ air} / V_m$
- Q_m :Débit massique de l'air en Kg air sec
- $Q_v \text{ air}$:Débit volumique de l'air en m^3
- V_m :Volume massique de l'air au soufflage $m^3 / \text{Kg air sec}$

$$Q_t = h T_{ae} - h T_{sf}$$

- H_{Tae} : enthalpie de l'air avant la batterie froide ($Kj / \text{Kg air sec}$)
- h_{Tsf} : enthalpie de l'air après la batterie froide ($Kj / \text{Kg air sec}$)

Puissance totale de la batterie froide

$$P_t = Q_t \times Q_m$$

- P_t :Puissance en Kj/s ou KW
- Q_m :Débit massique d'air ($\text{Kg air sec} / s$)

Humidification de l'air en climatisation

L'humidité contenue dans l'air que nous respirons participe directement à notre bien-être, d'autant que nous passons le plus clair de notre temps dans des locaux fermés et de plus en plus étanches.

En demi-saison et en hiver, un taux d'humidité trop faible engendre des problèmes d'irritation, d'inconfort oculaire et parfois même d'infection des voies respiratoires. Tandis qu'une humidité trop importante est propice à la prolifération de micro-organismes donc on comprend bien la nécessité de bien gérer le taux d'humidité.

Mais bien entendu c'est dans les process industriels que la maîtrise du pourcentage d'humidité présente des enjeux importants. En effet une humidité trop basse engendre des phénomènes électrostatiques qui gênent le fonctionnement de certaines industries comme par exemple l'industrie du papier, les industries aéronautiques et du textile.

Notons aussi que les bibliothèques regroupent des ouvrages précieux et anciens qui doivent être conservés avec un taux d'humidité de l'ordre de 55 % et ceci en toute saison.

Afin de maîtriser le taux d'humidité présent dans l'air, voici quelques systèmes d'humidification.

Humidificateur à vapeur

De l'eau est transformée en vapeur par une résistance électrique ou deux électrodes plongées dans un récipient fermé et étanche. La vapeur est dirigée dans la veine d'air. Ce type d'humidificateur permet de bien maîtriser le pourcentage d'humidité présent dans l'air, comme l'eau est portée à ébullition aucune bactérie n'est présente.

Humidification par ruissellement

De l'eau est puisée dans un bac de rétention par une pompe de circulation, l'eau s'écoule par gravité sur une matière alvéolaire, l'air va se refroidir et son humidité va augmenter. Ce type d'humidificateur présente le désavantage de nécessiter un débit de déconcentration (purge) puisque les sels contenus dans l'eau s'accumulent périodiquement. Notons que l'eau stagnante dans le bac présente des risques de prolifération de bactéries.

Humidification par pulvérisation

Des buses sont placées sur une rampe, l'eau est pulvérisée en fines gouttelettes, une partie de ses gouttelettes vont s'évaporer en chargeant l'air d'humidité. Un sépare gouttelettes redirigera les gouttelettes non évaporées vers un bac. D'autres types d'appareils propulsent l'eau sous forme d'aérosols à l'aide d'air comprimé un peu comme un pistolet à peinture.

L'humidificateur à ultrason

Ce type d'humidificateur est plutôt destiné aux particuliers contenus de son principe de fonctionnement simple et de son rendement. Un diaphragme de métal est soumis à des ultrasons celui-ci va vibrer de façon très rapide en cassant les molécules d'eau. Un brouillard très fin s'échappera poussé par un ventilateur en chargeant l'atmosphère en humidité.

Humidification par injecteur sous pression

Ici c'est un ensemble de buses à haute pression (80 bars) qui diffuse un brouillard de molécules d'eau extrêmement fin (nébulisation) ce qui permet une humidification particulièrement rapide, cette eau étant au préalable traitée.

Déshumidification

L'air que nous respirons contient sous forme de vapeur en sustentation une certaine quantité d'eau, variable selon la température de l'air. Cette quantité d'eau s'exprime en pourcentage, c'est l'humidité relative (degré hygrométrique). Pour le confort des êtres humains les conditions optimales d'humidité relative dans l'air se situent entre 30 % et 60 %.

Mais certaines industries ont besoin de maintenir pour leur process de fabrication un pourcentage d'humidité relative spécifique, notamment les industries pharmaceutiques, chimiques, spatiales, agroalimentaires. Les centres d'archivage et les musées ont souvent aussi des contraintes concernant le taux d'humidité afin d'éviter le développement de micro-organismes et l'apparition de moisissures.

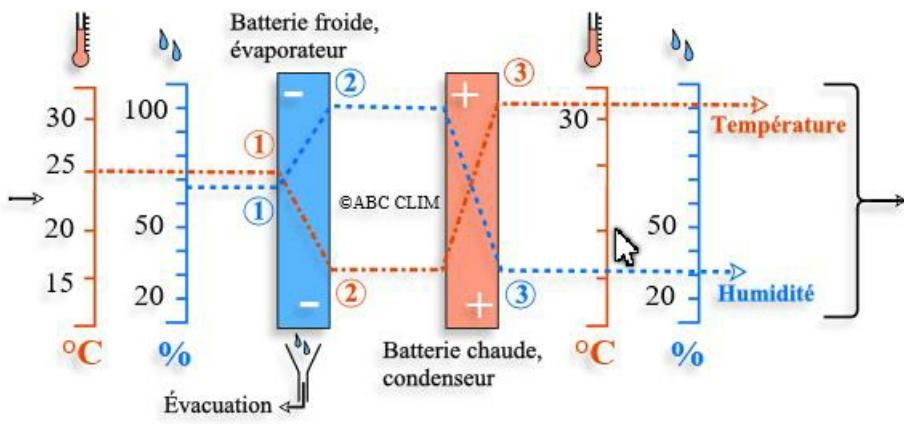
Déshumidification par abaissement de la température (point de rosée)

Ici on utilise un phénomène bien connu du frigoriste la condensation (transformation de la vapeur en liquide), en effet en diminuant la température de l'air en dessous de son point de rosée* on permet la transformation de la vapeur d'eau en liquide. On utilise un échangeur ou batterie froide, cette batterie froide peut-être à détente directe (échange air/fluide frigorigène) ou une batterie à eau glacée. Le fluide de refroidissement circule dans un échangeur alors que l'air qui passe au travers de la batterie est refroidi en dessous de son point de rosée perdant ainsi une partie de sa vapeur d'eau.

Déshumidifié entraîne une baisse importante de la température de l'air soufflé dans un local ce qui à terme deviendrait gênant non seulement pour les personnes mais pour le process lui-même, donc il est nécessaire de réchauffer cet air pour compenser ce refroidissement. Pour ce faire on utilise pour le rattrapage de la température des batteries électriques, batterie à eau chaude ou encore pour les déshumidificateurs de type portable le condenseur frigorifique lui-même ici on soufflera dans la pièce à une température neutre et constante de 20°C par exemple.

Dans des cas particuliers on peut être amené à avoir des températures de rosée inférieure à 5°C ce qui induit une température de surface évaporateur en dessous de zéro. Ces conditions de fonctionnement posent le problème de la présence de glace sur l'évaporateur ce qui limite l'échange et réduit les performances de la déshumidification.

Notons que pour une température ambiante inférieure à 15 °C, il est plus difficile d'extraire efficacement la vapeur d'eau.



- ① 1) L'air entre dans la batterie froide avec une température de l'ordre de 25° et une hygrométrie de 67 %.
- 2) La température de l'air descend au fur et à mesure en pénétrant dans la batterie, le point de rosée étant atteint l'eau se condense sur la surface de l'échangeur puis elle est évacuée.
- 2) Si l'on refroidit l'air à pression constante il se contracte et paradoxalement son humidité relative va augmenter.
- 3) Après s'être réchauffé par échange avec la batterie chaude, la température est de 35°C.
- 3) L'air étant chauffé à pression constante l'humidité relative baisse ici approximativement à 30 %

Autre méthodes en bref

La déshumidification par absorbant solide

Deux types de déshydratant sont utilisés notamment dans les échangeurs à roue : Le gel de silice fabriqué à partir d'une solution d'acide.

Les tamis moléculaires, c'est une surface microporeuse d'aluminosilicate de sodium qui possède un fort pouvoir déshydratant. La structure de l'échangeur constituant la roue est de forme alvéolaire de type nid d'abeille, celle-ci tourne en continue, et elle est divisée en deux parties, une partie destinée à déshumidifier l'air, la seconde pour restaurer les propriétés de l'agent adsorbant avec un flux d'air chaud.

La déshumidification par adsorbant de type liquide

Pour déshumidifier l'air ici on utilise les propriétés hygroscopiques d'un sel Chlorure de Lithium.

La philosophie du procédé est de pulvériser sur une surface d'échange adsorbante une solution eau/bromure ou chlorure de lithium, l'air circulant au travers de cette matière adsorbante perd une partie de sa vapeur d'eau. La solution est ensuite régénérée par une source chaude.

En outre ce sel a des propriétés bactéricides, ce qui rend ce procédé idéal en milieu hospitalier ou pharmaceutique.

Pressions, statique, dynamique, totale en aéraulique !

Pour déterminer un réseau aéraulique, pour sélectionner un ventilateur ou encore contrôler le fonctionnement d'une installation (vitesse, débit d'air), trois notions de pressions sont à connaître :

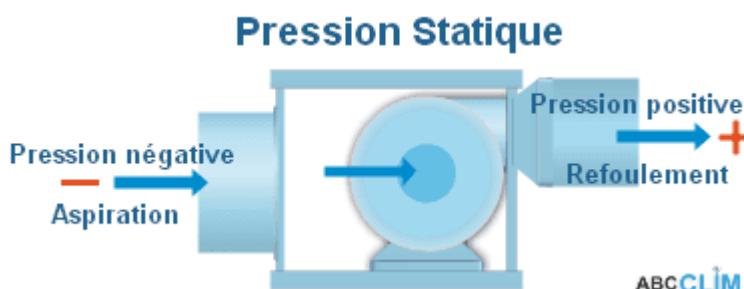
1. Pression statique
2. Pression dynamique
3. Pression totale

Ces pressions s'expriment en Pascals (Pa = unité de mesure SI) ou en millimètres de colonne d'eau (mm de CE). Rappel dynamique de fluides : L'air est un fluide gazeux et compressible qui n'a pas de forme propre et ayant tendance à occuper tout l'espace.

Pression statique (Ps):

C'est typiquement la pression d'un fluide à l'arrêt qui s'exerce dans toutes les directions, sur les parois d'une gaine. La valeur de cette pression peut être positive (surpression) ou négative (dépression). Par exemple la pression statique est négative sur l'aspiration et positive sur le refoulement d'un ventilateur.

Quand un ballon est gonflé à une pression 1 bar, c'est une pression statique, l'air sous pression appuie sur les parois du ballon en occupant tout l'espace



Pression dynamique (Pdy):

La pression dynamique est générée par le mouvement de l'air dans un conduit, c'est une pression positive qui permet de créer de la vitesse à l'air. Pour être encore plus précis c'est la surpression nécessaire pour accélérer une masse volumique d'air de l'état de repos jusqu'à une certaine vitesse.

On parle aussi d'énergie, de pression cinétique.

C'est la pression différentielle lue sur un appareil de mesure dont l'un des points de mesure est disposé dans l'axe de l'écoulement du fluide et l'autre disposé perpendiculairement à cet écoulement.

Pression totale (Pt):

C'est la somme des pressions statique et dynamique.

$$Pt = Ps + Pdy$$

La pression totale sert notamment à l'étude des réseaux aérauliques et au dimensionnement des installations de ventilation.

Elle représente aussi la pression que doit produire un ventilateur pour combattre les pertes de charge d'un réseau aéraulique.

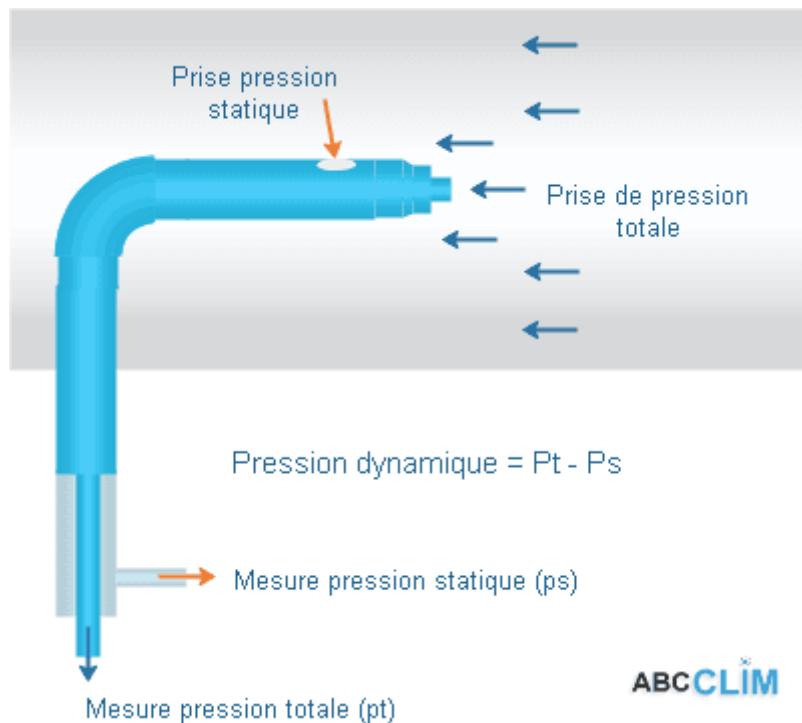
Mesure des pressions statique, totale, dynamique

L'outil privilégié de la mesure de pression se nomme le tube pitot du nom de son inventeur Henri Pitot(1695–1771). Cet ingénieur français chargé de mesurer l'écoulement de la Seine en 1732 invente cet instrument pour mesurer la vitesse d'un fluide, et bouscule en même temps quelques grandes théories de son siècle.

Constitution du tube pitot.

C'est un tube coudé à angle droit qui doit être positionné parallèlement à l'écoulement, qui possède un orifice frontal permettant de mesurer la pression totale et d'un orifice positionné perpendiculairement au fillet d'air qui lui mesure la pression statique.

Le tube de pitot est associé soit à un manomètre à colonne de liquide, soit à un manomètre digital.



ABCCLIM

Guide de la diffusion d'air

Introduire de l'air (chauffer ou climatiser) en mouvement dans une enceinte fermée occupée par des personnes n'est pas toujours très facile. La diffusion de l'air doit respecter certains passages obligés, car si cette diffusion est mal maîtrisée cela engendrera à coup sûr un inconfort et l'insatisfaction des personnes occupant cette enceinte.

Les critères principaux pour assurer un confort optimal sont :

- Un taux de brassage convenable
- Vitesse d'air maîtrisée
- Une bonne qualité de l'air

Taux de brassage

Le taux de brassage représente le nombre de volume d'air traité dans un local.

On introduit souvent une certaine quantité d'air neuf (air hygiénique) avec l'air repris de la pièce à traiter, l'air neuf venant de l'extérieur doit être mélangé de façon homogène avec l'air présent dans la pièce. Si l'air n'est pas suffisamment brassé, des couches (strates) d'air vont se former successivement à des températures différentes c'est la stratification. A contrario un taux de brassage trop important causera des mouvements d'air qui gênera les occupants.

Vitesse d'air maîtrisée

La vitesse du débit d'air au droit des bouches de soufflage à une grande importance au niveau du ressenti et du confort en général. Le confort thermique d'un être humain est une affaire d'équilibre, en effet de façon générale la chaleur produite par notre métabolisme doit être égale à la chaleur cédée à environnement. Si la vitesse de l'air est trop importante les échanges métabolisme/environnement sont déséquilibrés, et les occupants peuvent ressentir une sensation de froid plus ou moins intense.

La qualité de l'air

Comme nous passons le plus clair de notre temps à l'intérieur de bâtiments de plus en plus étanche, la concentration de contaminants divers dégrade la qualité de l'air que l'on respire.

Les effets d'une mauvaise qualité de l'air sur notre santé ne sont plus à démontrer, stress, malaise, maladies chroniques. L'introduction d'air neuf extérieur en quantité suffisante permet un recyclage de l'air intérieur, mais cet apport doit être accompagné d'une extraction de l'air vicié (monoxyde de carbone, contaminants chimiques, biologiques etc).

On peut aussi mentionner que la résurgence sonore des équipements peut être une source de gêne importante, on doit donc en tenir compte en sélectionnant les unités de traitement d'air (CTA, UTA).

Les méthodes de diffusion

La diffusion par mélange

C'est la méthode la plus communément employée. Ici on peut parler d'écoulement turbulent, car l'air est introduit à grande vitesse dans la pièce au moyen de bouche de soufflage. Le volume d'air déplacé est relativement important, les températures sont uniformes ainsi que la concentration de polluants. L'air est repris pour être traité (chauffé ou refroidi) généralement à l'opposé des zones de soufflage pour garantir un balayage de la pièce. L'air vicié est rejeté à l'extérieur du bâtiment.

Afin de répartir de façon homogène de l'air dans une pièce on utilise des diffuseurs. Les diffuseurs de type plafonnier sont souvent le plus utilisés car il donne de très bons résultats en chauffage comme en climatisation, il est notamment plus facile de les raccorder puisque les gaines de ventilation sont généralement situées en faux plafond. Ici le jet d'air se fait radialement, ce qui favorise plutôt le fonctionnement en mode froid. Ces diffuseurs existent en plusieurs modèles et types, il peut être de forme ronde ou carrée.

Les diffuseurs multicônes compte tenu de leur moyen de réglage (soufflage radial, soufflage vertical) sont les mieux adaptés au fonctionnement chauffage et climatisation.

La vitesse d'air sur ce type de diffuseurs est de 0,25 m/s, la notion de portée est aussi importante, une portée trop faible ne permettra pas un mélange de l'air dans la zone d'occupation tandis qu'une portée trop importante générera des courants d'air.

Les diffuseurs de type de tourbillonnaire ou vortex sont de plus en plus utilisés car ils permettent une homogénéisation de la température dans la zone à traiter tout en évitant les courants d'air intempestif.

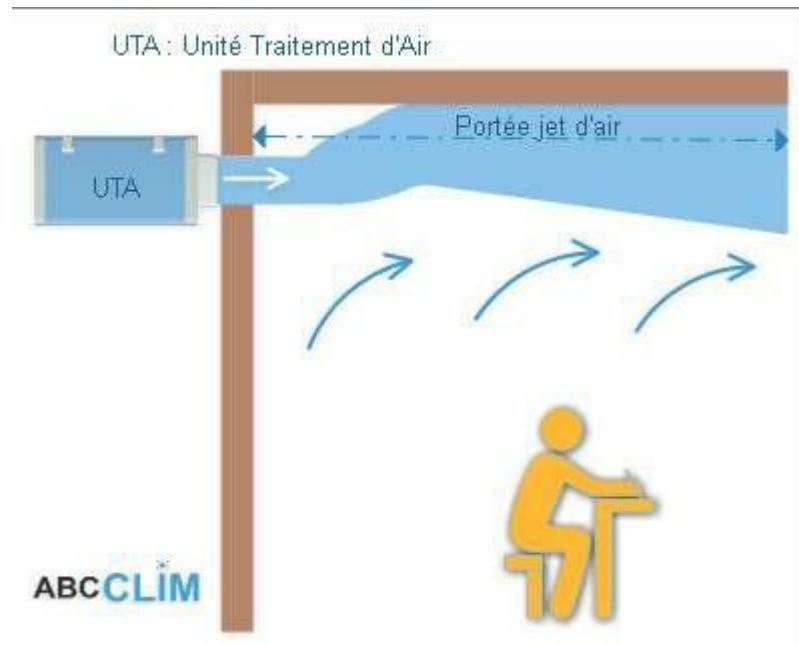
Quant à eux les diffuseurs de type mural permettent une diffusion de type conique ou plate. Les veines coniques s'obtiennent à partir d'ouvertures circulaires ou rectangulaires. Les veines plates s'obtiennent avec des ouvertures étroites et allongées. Ici la vitesse et la portée de l'air sont deux paramètres importants.

Effet Coanda c'est quoi ?

L'effet Coanda est aussi nommée veine adhérente. Lorsqu'un jet d'air est suffisamment puissant il va naturellement adhérer aux parois les plus proches, par exemple un plafond. Ce jet d'air va créer une dépression qui va induire le déplacement à basse vitesse de l'air dans la pièce. Donc l'effet Coanda permet un brassage de l'air présent dans la zone d'occupation ce qui favorise le confort des occupants.

Quelques règles à respecter pour obtenir l'effet Coanda :

- Une paroi lisse sans grosses aspérités
- Une vitesse d'air suffisante de l'ordre de 2m/s.
- L'absence d'obstacle sur le trajet du jet d'air.



La diffusion par déplacement

La diffusion (ventilation) par déplacement et aussi appelée diffusion d'air par stratification, même si ce type de ventilation date des années 1940 il ne fut vraiment exploité que assez récemment, vers 1980 en Europe.

L'air filtré est insufflé à faible vitesse (0,5 m/s maximum) en partie basse, pour être repris en partie haute en entraînant les polluants. Ce principe permet de maintenir de bonnes conditions de confort, tout en réduisant fortement les débits insufflés. Ici jusqu'à une hauteur de 2 m (hauteur d'homme) la qualité et le brassage de l'air seront parfait tandis que l'air pollué se maintiendra au-dessus de cette zone. On peut donc dire que ce type de diffusion crée deux zones distinctes, une tempérée peu polluée et une autre plus chaude moins hygiénique. En climatisation la diffusion par déplacement est indiquée quand on doit éviter trop de mouvements d'air, en mode chauffage ce mode de distribution de l'air est moins efficace.

En ventilation pure, la diffusion par déplacement est indiquée pour les ateliers mécaniques, textiles, les imprimeries, etc.

Diffuseurs et grille de soufflage

Les diffuseurs, bouches ou grilles de diffusion d'air permettent de répartir de façon homogène (en soufflage) la température dans une ou plusieurs pièces, en mode chauffage comme en mode climatisation. Et sont aussi utilisées comme amenée d'air ou grille de reprise.

Quand on parle de diffusion d'air 3 critères sont importants :

- Le confort thermique
- Le confort acoustique
- La discréetion et l'esthétique des diffuseurs

La diffusion d'air une histoire de veine

On distingue plusieurs types de veine d'air, qui correspondent à des d'ouvertures de diffusion différentes.

Veines plates

Les veines de diffusion dites plates s'obtiennent avec d'ouvertures rectangulaires, assez étroites et allongées. (Rapport Largeur / Hauteur > 10)

Veines coniques

Ici ce type de veine est obtenue à partir d'un diffuseur circulaire ou rectangulaire. (Rapport Largeur / Hauteur < 10)

Veines radiales

Multiples veines d'air formées par une des ouvertures de type annulaire (formant des anneaux).

Veines libres

On parle de veine libre quand les parois (murs) n'ont pas d'influence sur la diffusion d'air.

Veine adhérente ou effet coanda

Un flux d'air soufflé à une certaine vitesse et qui est maintenue en appui sur une surface (plafond) s'appelle une veine adhérente ou encore effet coanda.

Types de diffuseurs, grille, bouches

Critères principaux de sélection d'un diffuseur :

- Débit d'air en m³/h
- La vitesse de l'air en m/s
- Les pertes de charges en Pa
- Le niveau sonore en dB (A)
- Portée de la veine d'air en m (Taux de brassage)
- La différence de température en K (air ambiant/soufflage)

Grille de soufflage double déflexion

Diffuseurs généralement en aluminiums conçus pour être utilisés dans les installations de ventilation, chauffage et d'air conditionné. Leur montage peut être mural ou en faux plafond.

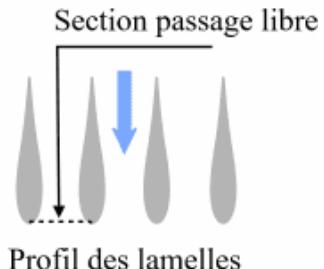
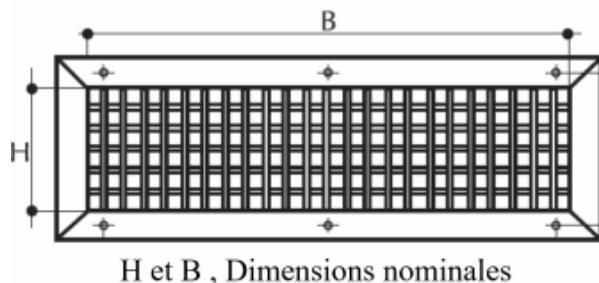
Les ailettes, étant individuellement orientables, permettent de régler la portée, la hauteur et la largeur du jet d'air.

Montés sur les murs, les diffuseurs permettent de travailler avec des vitesses d'insufflation comprises entre 2 et 3 m/s.

En montage en plafond ces grilles peuvent être choisies pour les locaux d'une hauteur supérieure à 3,5 m. La vitesse d'insufflation doit s'élever à au moins 2,5 m/s.

Des registres de réglage sont parfois utiles pour pouvoir équilibrer le réseau et bien répartir l'air sur chaque diffuseur ou grille.

Diffuseur double déflexion

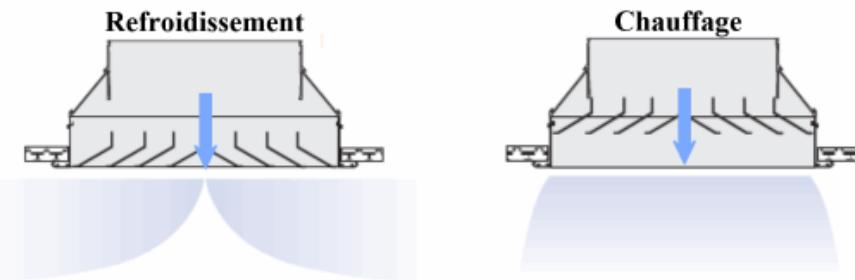


Diffuseurs multicônes

Diffuseur circulaire ou rectangulaire à jet horizontal ou vertical selon le réglage des cônes.

Montage en plafond pour le chauffage ou le rafraîchissement de tout type de locaux, hauteur d'installation conseillée inférieure à 5 m.

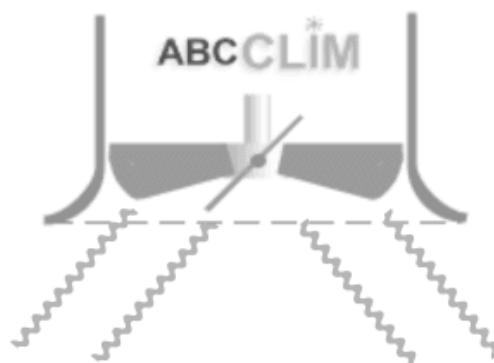
Diffuseur plafonnier multicônes



Diffuseurs à jet tourbillonnaire

Leur fonction essentielle est de pouvoir distribuer l'air dans le local avec des jets hélicoïdaux, sans turbulence, en réduisant efficacement l'écart de température entre le soufflage et l'ambiance. Le débit d'air arrive à basse vitesse sur le col du diffuseur (entre 0,9 et 3 m/s) et se divise ensuite en un nombre de jets qui épousent la forme des pâles déflectrices. Leurs spécificités permettent de les utiliser avec de faibles hauteurs d'installation (2,2 m). La vitesse d'air ambiant, admissible, est atteinte à une distance seulement égale à 3,5 fois le diamètre nominal du diffuseur.

Diffuseur à jet tourbillonnaire



Buse longue portée

Distribution d'air soufflé dans de grands halls, théâtres, salles de concerts, etc..

Conçue pour le montage mural ou sur des plafonds. Utilisable pour le refroidissement jusqu'à $Dt = -14$ K et pour le chauffage jusqu'à $Dt = +25$ K.

Plage de débit d'air : 40-10000 m³/h

Fonctionnement :

Des vitesses de sortie d'air élevées avec une faible puissance acoustique sont possibles grâce à la forme conique de cette buse. Il est ainsi possible d'atteindre de grandes portées de jet, aussi bien pour le chauffage que pour le refroidissement.

Dans le cas d'un encastrement mural, les buses et leurs supports pivotants peuvent être déplacés manuellement ou au moyen d'un moteur dans un angle compris entre 20 et 60 degrés.

Diffuseur buse longue portée



Gaines textiles

Contrairement à la diffusion traditionnelle par gaine en tôle galvanisée et diffuseurs, la gaine textile est très facile à mettre en place grâce au système de supportage par câble, rail et à la grande souplesse et légèreté de la matière. De plus, cette technique permet une homogénéité des températures grâce à une meilleure répartition du débit, l'air étant soufflé sur tout le parcours de la gaine évitant ainsi les courants d'air intempestifs et les risques de zones non traitées.

Les gaines textiles répondent avec précision aux contraintes en matière de volume traité, de hauteur, de mélange d'air, de souplesse de conception des réseaux et de coût. L'encrassement des gaines étant l'inconvénient majeur, surtout au niveau du cône de répartition qui permet d'homogénéiser le débit d'air et d'améliorer le gonflement de la gaine mais ceci est reste un défaut mineur car une bonne filtration permet d'éliminer en grande partie ce problème.

Des origines modestes au succès

Originaire des pays nordiques, les premières gaines textiles commencèrent rapidement à séduire certaines industries françaises. Ces dernières en apprécieront la simplicité technique qui n'en empêche pas l'efficacité. En effet, dix ans plus tôt, les gaines textiles étaient composées de tissus non ignifugés. Des « Pores » permettaient la diffusion de l'air.

Malheureusement, un élément restait non négligeable : le taux d'encrassement qui obligeait à un lavage régulier des gaines. Malgré tout, les industries françaises furent convaincues par cette nouvelle technique qui permettait une homogénéité efficace de la diffusion d'air.

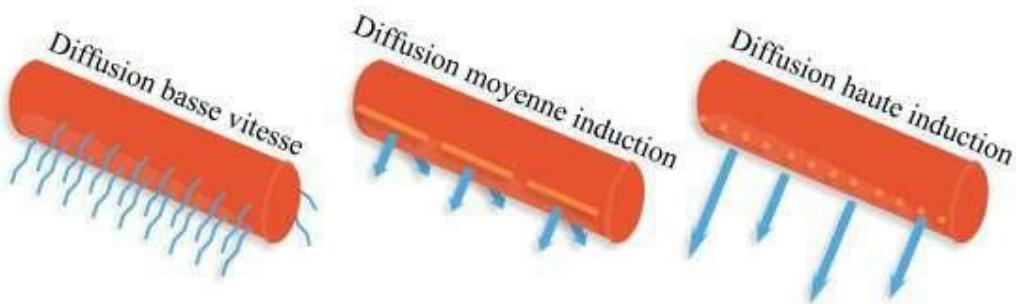
Le taux d'encrassement ne fut donc pas un frein et ce, grâce à sa facilité d'entretien.

Cependant, pour conquérir un public plus large, cet ancêtre de la gaine souple a dû s'adapter aux exigences d'autres secteurs en supprimant la contrainte du taux d'encrassement et en améliorant sa capacité de diffusion. On la rend ainsi modulable afin de s'adapter aux différents besoins.

Dans ce cadre, de simple bout de tissu, la gaine textile fut promue gaine textile diffusante.

Comment déterminer le type de diffusion le plus adaptée ?

Type de diffusion gaine textile



Depuis ses premiers pas, la gaine textile a bien évolué afin de s'adapter aux besoins et contraintes du plus grand nombre.

Ainsi, il existe quatre types de diffusion possible :

La diffusion totale ou partielle par porosité : son utilisation n'est destinée principalement qu'aux industries et à la climatisation. Son principe ? L'air est diffusé à basse vitesse à travers un tissu poreux. La diffusion peut être totale ou partielle en fonction de la surface poreuse utilisée. L'air se diffuse grâce au déplacement des flux d'air généré par leur densité. La hauteur de la pièce déterminera donc la surface de ce type de gaines textiles. Ainsi, l'utilisation du principe de diffusion par porosité est efficace pour des locaux inférieurs à 5 mètres. A cela se rajoute un autre avantage : un faible niveau sonore.

La diffusion par bandes diffusantes, également appelées à fentes se fait à vitesse élevée au travers de bandes de tissu positionnées le long de la gaine. Ainsi posées, elles constituent une fente linéaire. Son principe ? L'air diffusé à travers les fentes est appelé « air primaire ». Il va se mélanger ensuite à l'air du local (appelé, « air secondaire ») grâce à la constitution d'une veine d'air libre et plate qui va entraîner par *induction l'air primaire dans le local. Le mélange sera efficace que si la vitesse d'éjection d'air, la différence de température et la position de la fente sur la gaine sont prises en considération. Cette méthode de diffusion touche un public plus large et répond aux besoins des locaux industriels volumineux et de stockage.

La diffusion à très hautes inductions par micro-perforations. Le principe utilisé est également celui du mélange par induction, mais la puissance et l'efficacité sont augmentées grâce à la haute induction. Cette capacité est possible grâce à des micro-perforations qui génèrent un taux d'induction bien plus élevé. Cette technique permet l'impulsion de micro-jets d'air. Ainsi, le plan de perforations doit être précis car chaque micro-jet d'air primaire entraîne une certaine quantité d'air secondaire. Le nombre de perforations est donc calculé en fonction du débit et de la vitesse de l'air.

Diffusion mixte : c'est est un système, reprenant deux ou trois des types d'installation cités plus haut. Cela permet de répondre à des besoins particuliers et plus spécifiques.

*Induction : Résultat du mélange de l'air introduit et l'air de la pièce, caractérisée par la portée et la vitesse
Contraintes techniques !

La contrainte majeure c'est le type de démarrage des moteurs de ventilation, le démarrage direct n'est pas une bonne option. Un démarrage progressif par variateur de fréquence est indiqué pour permettre un gonflement de la gaine souple sans à-coup destructeur. Une autre méthode consiste à démarrer le moteur de soufflage directement mais en fermant complètement les volets d'air (air repris/air neuf) puis de les ouvrir progressivement, l'air est ainsi introduit dans la gaine de manière régulière et continue.

La filtration joue un grand rôle dans l'efficacité et la qualité de la diffusion de l'air. Celle-ci doit être étudiée en fonction de type de gaine utilisée et des spécificités du local à traiter.

Les gaines textiles de bonne qualité, ont une durée de vie de quinze ans voir plus, mais il faut les entretenir. Le lavage en machine industrielle est possible avec certains détergents (voir le fabricant avant tout lavage).

Les avantages de la diffusion par gaine textile

L'un des principaux avantages repérés – notamment dans les domaines du tertiaire et du public – c'est la qualité de l'air, présente dans les locaux bénéficiant d'une installation de ce genre.

La gaine textile est aujourd'hui reconnue dans les milieux professionnels comme étant beaucoup plus pratique, simple à installer, mais également plus économique, qu'une installation dite « traditionnelle ». En effet, l'installation classique (constituée principalement de grilles ou de diffuseurs en métal) semble moins bien réaliser son travail et est – bien évidemment – plus cher.

La gaine textile est très pratique, notamment grâce à la grande adaptabilité du tissu (souple et léger) dont la forme peut être modifiée ou qui peut être très facilement remplacé en cas d'usure ou de défaut (ce qui n'est pas le cas des installations classiques qui demandent une désinstallation complète et coûteuse).

De plus, d'un point de vue général, les tissus utilisés sont, au moins, difficilement inflammables, mais la plupart sont non inflammables voir incombustible, pour plus de sécurité. Une gaine textile dispose d'une résistance naturelle à la rupture et la déchirure.

Enfin, petit point esthétique, la gaine textile peut-être disponible en de nombreux coloris.

Quelques utilisations :

- Magasins et grands espaces
- Industrie agroalimentaire
- Salles blanches, Data center
- Industries pharmaceutiques et spatiales
- Les industries chimiques, textiles et électroniques
- Salles de sport, fitness, etc.

Généralités sur les échangeurs thermiques

En froid comme en climatisation les échangeurs de quelque nature qu'il soit font partie intégrante de nos installations. Citons les évaporateurs, les condenseurs, les tours de refroidissement, les systèmes de récupération d'énergie, etc. Tout d'abord il faut préciser que dans cet article quand je parle de transfert thermique ou d'énergie thermique, je ne parle pas de température, mais plutôt de flux d'énergie thermique.

Bien entendu, pour qu'il y ait transfert d'énergie entre deux éléments de même nature ou de nature différente, il faudra une différence de température, plus l'écart de température est important entre ces fluides (eau, air, etc) plus l'énergie transférée sera importante.

De manière spontanée l'énergie s'écoule toujours du corps chaud vers le corps froid, ainsi deux corps qui ont la même température n'échangent donc pas d'énergie.

Fonction, transfert énergie, calcul des échangeurs

La fonction principale d'un échangeur est de permettre un transfert d'énergie entre deux ou plusieurs fluides à des températures différentes et ceci dans les meilleures conditions possibles tout en réduisant les pertes, les fluides sont séparés par une surface de transfert généralement métallique.

Les processus physiques des échangeurs de chaleur sont connus :

- la conduction : transfert d'énergie dans un corps solide (paroi de l'échangeur) par agitation moléculaire
- la convection : transfert d'énergie dans un corps liquide ou gazeux par différence de température, dépend fortement du type de fluide utilisés.
- le rayonnement : échange d'énergie qui se fait sans contact dans le registre de l'infrarouge, exemple le rayonnement solaire.

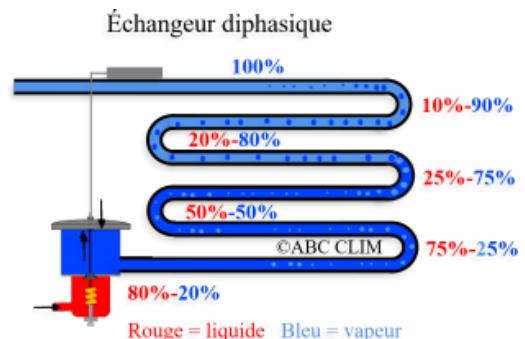
Les modes de circulation sont importants, car ils conditionnent l'efficacité du transfert, les trois modes de circulation des échangeurs sont :

- Circulation à contre-courant : c'est-à-dire deux fluides circulant parallèlement en sens opposés, entrants et sortants par des extrémités opposées
- Circulation courant croisée : circulation perpendiculaire entre deux fluides.
- Circulation co-courant : circulation parallèle et dans le même sens, les deux fluides sortent et entrent du même côté.

Transfert diphasique

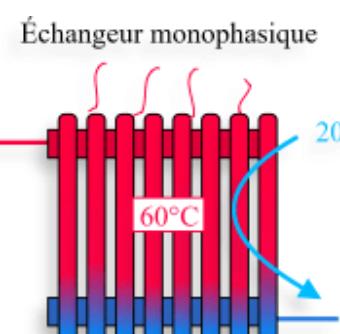
Les échanges diphasiques sont bien connus du frigoriste puisqu'il signifie que ces échanges se font par changement d'état.

La condensation (liquide, gaz) et l'évaporation (gaz, liquide) sont donc deux transferts d'énergie diphasique.



Transfert monophasique

Ici les transferts se font sans changement de phase, ces échanges se font que sous forme de chaleur sensible c'est-à-dire avec élévation ou abaissement de la température.



Critères de performance d'un échangeur

La surface d'échange doit être aussi importante que possible.

Les pertes de charge devront être réduites au maximum.

L'efficacité d'un échangeur passe par un transfert d'énergie optimale et la distribution des flux doit être uniforme.

Calcul des échangeurs

Le calcul des échangeurs se fait sur la base d'un calcul de bilan thermique qui doit prendre en compte les pertes de charge, les débits masse de chaque fluide, les températures d'entrée et de sortie des fluides, des coefficients d'échanges thermiques des 2 fluides, etc.

Deux méthodes de calcul existent :

Méthode DTLM (Différence de Température Logarithmique Moyenne), basée sur 4 températures qui doivent être connues.
Méthode NUT (Nombre d'unité de transfert), méthode qui s'appuie sur la notion d'efficacité.

Formule simple de calcul du flux de chaleur échangé :

$$P = K S \Delta T$$

K : est le coefficient de transmission thermique surfacique

S : la surface d'échange.

ΔT : représente l'écart de température moyen entre deux fluides.

Echangeur sur l'air

L'air intérieur d'un local que l'on rejette à l'extérieur (extraction), possède une quantité d'énergie pouvant être récupérée simplement par échange avec de l'air extérieur (air neuf) que l'on introduit à l'intérieur .Cet échange permet des économies d'énergies substantielles surtout dans le cas de volume d'air important en générale de 40 à 70 % de l'énergie contenue dans l'air de rejet. Pour permettre un échange de bonne qualité celui est toujours à contre courant , l'air extrait circulant à contre sens de l'air neuf.

Ici nous verrons trois types d'échangeurs :

1. L'échangeur à plaques
2. L'échangeur à eau glycolée
3. Le caloduc

L'échangeur à plaques :

Échangeur constitué de plaques superposées en aluminium ou de matériaux composites constituants deux veines d'air très fines séparant le flux d'air extrait et le flux d'air neuf. La circulation croisée de l'air ainsi qu'un taux de brassage important permet une récupération de l'ordre de 60% . On peut avoir en complément soit une batterie de préchauffage à eau ou par résistances pour l'hiver.

Il existe plusieurs configurations :

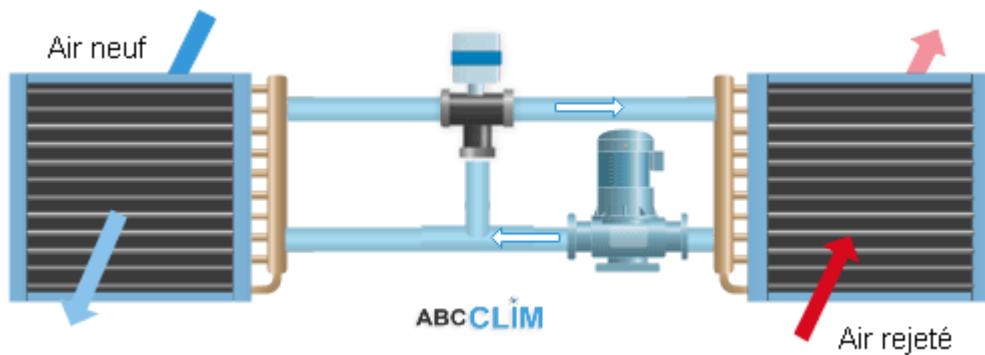
- à contre courant : les fluides sont disposés parallèlement l'un à l'autre et circulent dans une direction opposée.
- à courants croisés : les fluides sont positionnés perpendiculairement l'un à l'autre.

Avantages : bon rendement

Désavantages : sensible à l'encrassement ,rendement faible en été.

Échangeur à eau glycolée :

Deux batteries à ailettes l'une sur l'air extrait,l'autre sur l'air neuf sont raccordées par un circuit hydraulique le fluide caloporteur circule grâce une pompe permettant le transfert thermique , la régulation ce fait par le biais d'une vanne trois voies.



Avantages : les caissons d'air peuvent être distants

Désavantages : rendement faible 50% maximum

Caloduc :

Le caloduc est un tube contenant un fluide frigorifique choisi en fonction de la température de travail désirée fonctionnant en cycle fermé selon le principe d'évaporation et de condensation. L'air chaud cède sa chaleur et vaporise le liquide,la vapeur crée monte le long du tube et se condense en abandonnant sa chaleur en contact avec l'air froid ,le liquide retombe pour un nouveau cycle soit par gravité, soit par capillarité .

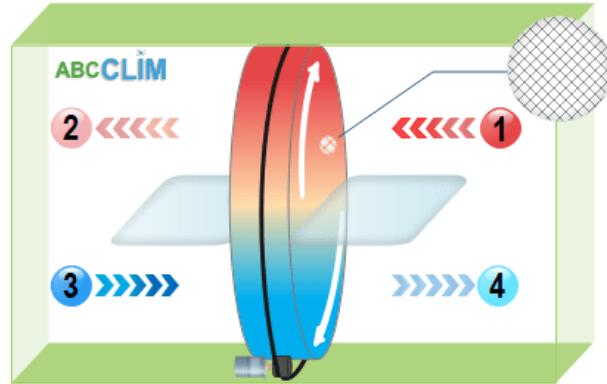
Avantages : très bon rendement 70% ,réversible par capillarité,pas de pièces mécaniques

Désavantages :les caissons d'air doivent être adjacents

Echangeur rotatif, roue thermique

L'échangeur rotatif, à roue ou roue thermique, est un échangeur de type air/air, le principe de fonctionnement de base est de récupérer la chaleur contenue dans l'air évacué des bâtiments pour réchauffer l'air froid extérieur (hiver) introduit pour le renouvellement d'air.

- 1 : Extraction air vicié
- 2 : Rejet vers l'extérieur
- 3 : Air neuf
- 4 : Air neuf introduit



Suivant sa conception, il récupère soit la chaleur sensible (celle que l'on peut sentir avec nos sens) contenu dans l'air, soit il absorbe la chaleur latente et la chaleur sensible. La roue est constituée de couches superposées de feuille d'aluminium ou d'inox, une lisse l'autre ondulée constituant des canaux triangulaires ou les flux d'air circulent à contre-courant permettant ainsi l'échange de chaleur.

L'épaisseur du matériau varie entre 0,05 mm et 0,15 mm, les vitesses d'écoulements des flux d'air sont comprises entre 1,5 et 4 m/s.

Si cet échangeur (masse de stockage) est recouvert d'un produit régénérable comme le gel de silicate ou le chlorure de lithium, il lui sera possible d'absorber aussi l'humidité (transfert d'humidité par sorption).

Cette roue de grand diamètre, tourne en permanence de façon très lente 20 t/mn. Tandis qu'une partie se charge en énergie l'autre cède l'énergie emmagasinée.

C'est soit un moteur asynchrone piloté par un variateur de fréquence ou un moteur de type à commutation électronique munie d'une courroie qui permet cette rotation. C'est la variation de la vitesse de la roue, qui assure la régulation du transfert de chaleur. L'étanchéité entre les flux d'air neuf et d'air extrait et sur le pourtour de la masse de stockage est garantie par des joints. L'échangeur est protégé par des filtres à haute efficacité car compte tenu de la finesse des canaux, cet échangeur est sensible à l'enrassement.

Lorsque les débits d'air neuf et recyclé ne sont pas identiques l'utilisation de bypass permet de régler avantageusement les pertes de charges et d'améliorer le rendement.

Types de fonctionnement, avantages :

Fonctionnement :

- À débit constant, les débits d'air sont constants chaque vitesse correspondant à un débit souhaité.
- À débit variable, le débit est modifié en fonction d'un signal 0-10 V issu de l'information d'une sonde CO₂ ou d'hygrométrie
- À pression constante, ici c'est la pression dans le réseau aéraulique qui est maintenue constante, idéal pour les systèmes de ventilation multi zone.

Avantages :

- Très bon rendement
- Inconvénients :
- Assez encombrant
- Entretien régulier pour éviter tout risque de colmatage de l'échangeur
- Secteurs d'utilisation :
 - Automobile
 - Agroalimentaire
 - Chimique
 - Grande surface
 - Pharmaceutique

Le split-system

Le split system (éléments séparés) est un bon moyen de climatiser ou de chauffer à un prix raisonnable une chambre, une salle de séjour, un bureau.

Son installation ne nécessite qu'une journée de travail en moyenne, l'esthétique générale de ce type d'appareil a été grandement améliorée ces dernières années, le niveau sonore des différents éléments le composant a été réduit de façon très perceptible.

L'unité intérieure devra être posé parfaitement de niveau et être positionnée de façon à diffuser l'air dans la pièce du mieux possible, plutôt dans la longueur de la pièce.

Le groupe extérieur peut être installé sur un balcon posé sur silent-bloc, sur support contre un mur, sur un toit avec un kit spécial etc.. mais il faudra prévoir un accès facile et un dégagement suffisant autour de l'appareil pour l'entretien et le dépannage. En outre rien ne devra gêner l'évacuation de l'air du ventilateur du condenseur.

La liaison frigorifique est en cuivre isolée de petit diamètre, cette liaison ne doit pas dépasser 20 à 30 mètres en règle générale, l'étanchéité du circuit doit être testée, celle-ci doit être parfaite.

La liaison électrique pour la partie alimentation est réalisée par câble normalisé de section appropriée à la puissance de l'ensemble. Cette liaison peut être connectée sur une prise murale, mais il est préférable d'avoir une ligne spécifiée avec disjoncteur quand cela est possible.

L'unité intérieure et extérieure sont reliées par un câble à plusieurs conducteurs (3 ou 4), cette connexion comprend l'alimentation du ventilateur de soufflage et de la carte électronique ainsi qu'une communication entre unités.

En fonctionnement été, l'humidité contenue dans l'air est piégée dans l'appareil intérieur il faut l'évacuer. Un tube en légère pente en PVC rigide ou en tube souple vendu en couronne permet d'évacuer vers l'extérieur cette eau de Condensation. Parfois quand une évacuation par gravité n'est pas possible on utilise une pompe de relevage soit intégrée dans une goulotte (monobloc) soit on utilise un capteur positionné à l'intérieur de l'appareil qui pilote la pompe posée dans un faux plafond par exemple (bi-bloc). Ces dispositifs nécessitent un entretien régulier.

Le tout est piloté par une télécommande à fil ou à infrarouge qui transmet les divers ordres à l'appareil
Elle permet de sélectionner différents modes de fonctionnement:

Cool: Mode froid uniquement

Heat: Mode chaud uniquement

Fan : Fonctionnement du ventilateur de l'unité intérieure avec plusieurs choix de vitesse de ventilation.

Dry : Mode déshumidification utile si la pièce pilotée est humide. Abaisse la température sélectionnée de 1 à 2°C.

Auto : Mode automatique, les vitesses du ventilateur et la température sont réglées automatiquement selon la température ambiante désirée.

Timer: Fonctionnement par plages horaires de votre appareil

1: Reprise air en partie haute

2: Façade appareil intérieur

3: Filtration

4: Soufflage

5: Volet de soufflage orientable

6: Reprise air en façade

7: Voyants fonctionnement et défauts

8: Récepteur infrarouge

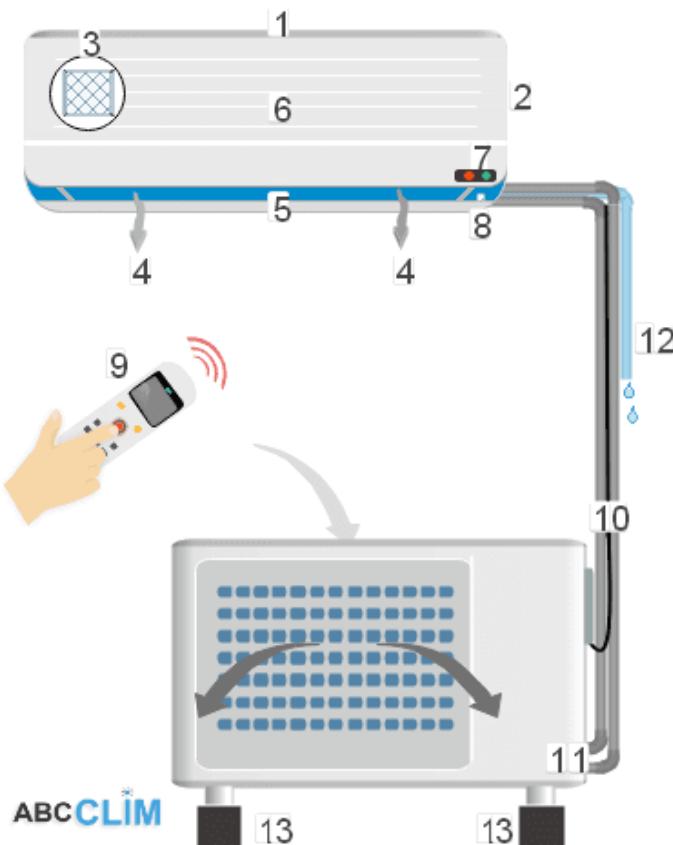
9: Télécommande infrarouge

10:Tuyautes et câbles de liaison

11: Raccordement groupe extérieur

12:Evacuation des condensats

13: Support



Le multisplit

Le multisplit est constitué d'un groupe compresseur extérieur alimentant deux à cinq éléments intérieurs, le tout fonctionnant soit en mode chaud soit en mode froid (réversible).

Un multisplit est constitué d'un compresseur issu de la technologie "inverter" qui fonctionne pour l'ensemble de la puissance des unités intérieures, chaque unité étant autonome, mais doivent fonctionnées sous le même mode froid ou chaud.

Un ensemble de platines électroniques permet de gérer le bon fonctionnement du compresseur et des unités, de plus le multisplit accepte de grandes longueurs de tuyauteries entre l'unité extérieure et les unités intérieures

Les avantages du multisplit sont :

- Un gain de place sur l'extérieur (un groupe plusieurs unités intérieures)
- Installation simple et rapide
- Consommation réduite, température homogène = Inverter
- Différents types d'appareils intérieurs, consoles, muraux, gainables, plafonniers, cassettes 1 voie ou 4 voies
- Le panachage des puissances, qui permet une meilleure adaptation aux locaux à climatiser.

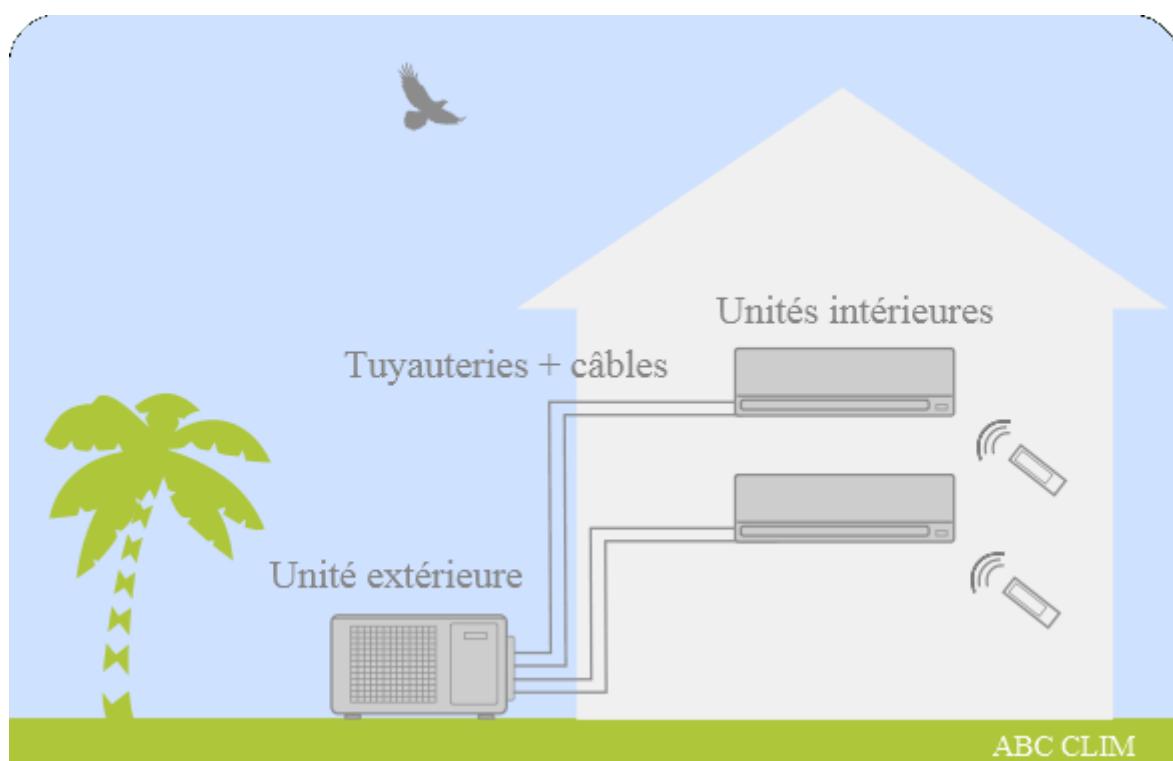
Exemple:

Pour une puissance totale de 7000 W on peut avoir:

- 2 unités: 2128W + 4472W
- 3 unités : 1917+1917+3166 ou 1900+1900+2800
- 4 unités : 1825+1825+1825+1825

Depuis quelque temps déjà on voit apparaître des mini VRV ou DRV conçu pour des installations de 4 à 9 pièces idéales pour les secteurs résidentiel ou commercial qui sont issus de la technologie à "Volume réfrigérant variable" qui accepte de grandes longueurs de liaisons pour s'adapter aux installations les plus exigeantes.

La gamme des appareils intérieurs est plus étendue que celle des multisplits la puissance des groupes extérieurs varie de 4 à 17 KW.



Système à volume variable de réfrigérant (VRV, DRV, VRF)

C'est un système à détente directe qui à partir d'une seule unité extérieure (groupe compresseur) alimente par des tubes frigorifiques de petite dimension plusieurs unités intérieures, utiliser en installation neuve ou en remplacement . Idéal pour les hôtels, bureaux sur plusieurs étages, salles de conférences , villa de grandes surfaces..... en règle générale des locaux ayant besoins de différents types d'appareils ,consoles , plafonniers ,gainables , muraux, cassettes , etc, de 16 a 64 unités de puissance différentes.

Chaque fabricant à développer sont système à débit variable le principe de fonctionnement est basé sur la technologie inverter ou digital scroll , ce qui permet a l'unité extérieure (le groupe compresseur) d'adapter le volume de réfrigérant donc sa puissance en fonction de la puissance dont l'installation a besoin ,d'où une grande souplesse d'utilisation avec une consommation réduite.

Les terminologies existantes sont VRV (Variable Réfrigérant Volume),DRV (Débit Réfrigérant Variable)VRF (Variable Réfrigérant Flow),DVM(Digital Variable Multi).

Les principales spécificités: (Selon les fabricants)

- Un COP élevé (coefficient de performance)
- Un fonctionnement avec des températures extérieures de -15 ° C
- Puissance frigorifique 5 à 90Kw
- Jusqu'à 64 unités intérieures sur un circuit
- Acceptant des longueurs de tube de 1000 mètres cumulés maximum
- Dénivelé entre unités intérieures et extérieures de 90 m
- Possibilité d'optimiser la régulation par zone en fonction de l'orientation des bâtiments
- Charge automatique de la quantité de réfrigérant
- Facilité d'installation grâce à des tubes de petites dimensions
- Câblage des unités simplifié sans polarité
- Modularité du système
- Une large gamme d'unités intérieures ,de tout type de puissances
- Des unités extérieures peu encombrantes
- Possibilité de chauffer et de refroidir simultanément (3 tubes)
- Large choix de commandes,simplifiées,programmable,centralisé ,infrarouge
- Gestion par ordinateur ou par internet...

Détails techniques

Mise en œuvre:

Les liaisons frigorifiques doivent être soudés en introduisant dans les tubes un gaz inerte généralement de l'azote ce qui évite que la calamine se forme à l'intérieur du tube ce qui pourrait gêner le fonctionnement des détendeurs électroniques des appareils intérieurs. Les tubes seront testés à une pression de 30 bars pendant plusieurs jours.

Compresseurs:

Pour les plus petites puissances, un seul compresseur à débit variable et pour les plus grosses 1 à 2 compresseurs à vitesse fixe avec 1 compresseur à vitesse variable(Daikin) ou digital scroll (Samsung,Fujitshu) ou seulement 2 compresseurs inverter(Hitachi).

Deux types de compresseur à débit variable est utilisé suivant les marques.

L'inverter qui en fonction de la demande varie sa vitesse ,du coup son volume aspiré et donc sa puissance et s'adapte au besoin des locaux à climatisé en permanence, d'où une souplesse importante et une consommation optimisée.

Le digital scroll (modulation)c'est ici le déplacement de la spirale supérieure d'un compresseur scroll par l'alimentation d'une électrovanne qui interdit pendant un certain laps de temps la compression ce qui lui permet d'avoir des paliers de puissance de 7 à 100 %.

Régulation:

La régulation des VRV,DRV est du type PID , une platine électronique utilise les informations des transducteurs de pressions et des différentes sondes afin de maintenir une température d'évaporation suffisante au bon fonctionnement tout en répondant à la charge thermique en contrôlant la vitesse ou la modulation du (des) compresseur à débit variable et le fonctionnement des compresseurs à commande Marche/Arrêt.

Exemple de fonctionnement unité de 10 ch, au démarrage seul le compresseur à débit variable fonctionne, mais quand la demande dépasse la puissance de ce compresseur, un autre compresseur est mis en route, mais celui là à débit fixe puis la demande diminuant le compresseur à débit variable commence à moduler pour s'adapter à la puissance à fournir si la charge diminue suffisamment le compresseur fixe est stoppé puis celui à débit variable adaptera sa puissance.

Appareils intérieurs:

Constitué d'un ventilateur distribuant l'air, d'un échangeur, d'un détendeur électronique qui répartit de façon optimisée le fluide, d'une platine électronique qui interprète les différentes informations données par des sondes et qui permet le dialogue avec l'ensemble du système.

Retour d'huile:

Les vrv à compresseur inverter sont munis de séparateur d'huile, mais lorsque la vitesse du compresseur diminue, le piège à huile est moins efficace donc l'électronique par cycles de 8 heures environ enclenche un cycle récupération de l'huile.

Pour les VRV à compresseur digital scroll qui fonctionne à intervalles modulés la vitesse du gaz est suffisamment constante pour permettre un retour d'huile correct.

Boîtiers de sélection (BS):

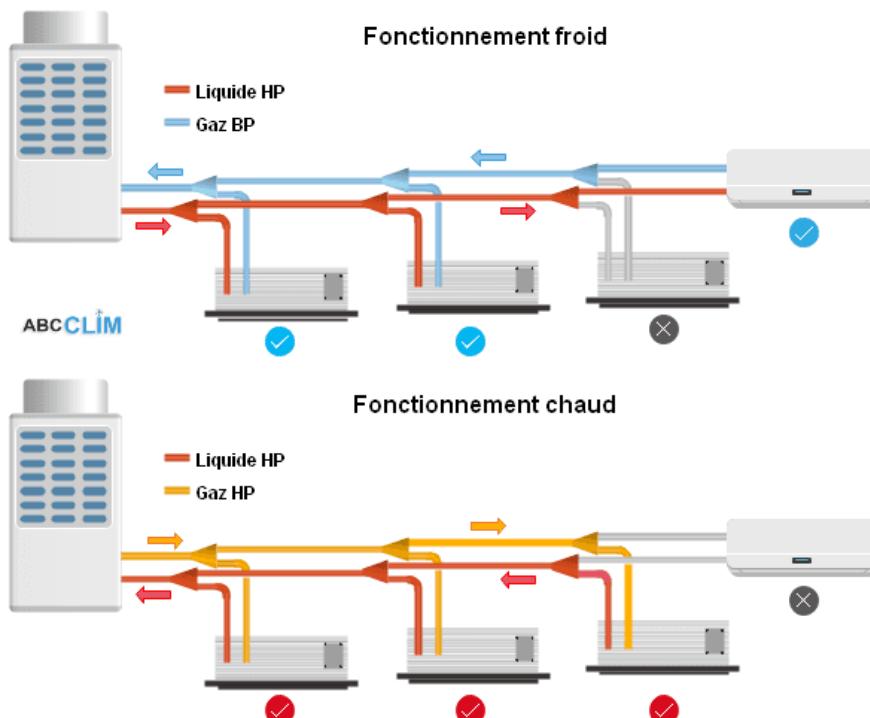
Uniquement pour certains modèles à récupération d'énergie. Muni d'un jeu d'électrovannes commandées par une platine électronique interne et qui orientent le fluide selon la demande soit vers le groupe de condensation, soit vers les appareils ayant des besoins thermiques différents.

En plus:

Quelques fabricants proposent des solutions VRV à condensation par eau, des échangeurs à plaques captent l'énergie contenue dans l'eau d'une nappe phréatique par exemple pour la restituer sous forme de chauffage en hiver et inversement cède de l'énergie en mode climatisation.

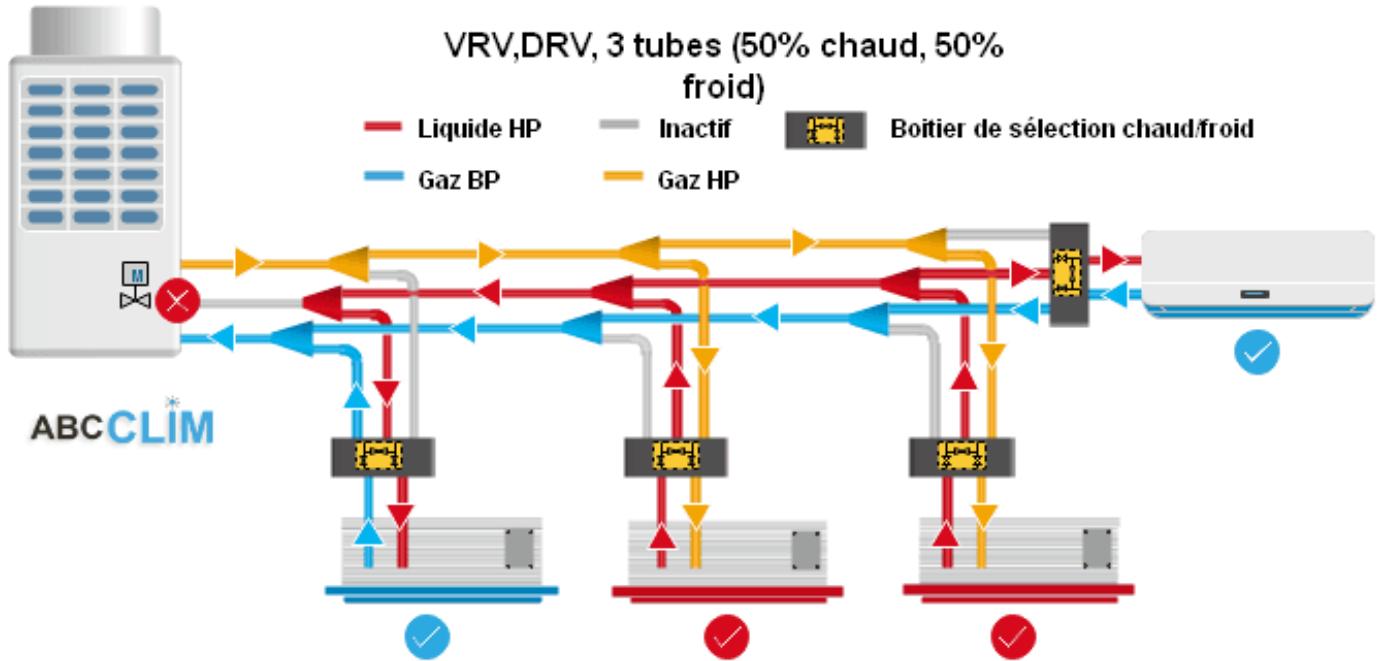
D'autres ont développé des technologies pour remplacer les systèmes à volume variable au R22 par des VRV au R410A sans changer les liaisons frigorifiques et en gardant les connexions électriques.

Vrv 2 tubes



Vrv 3 tubes

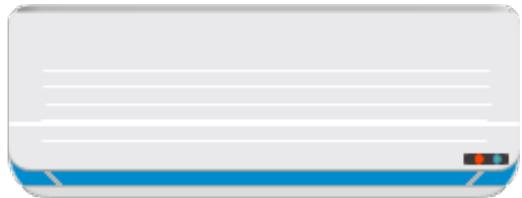
La solution "VRV 3 tubes" est également appelée "à récupération d'énergie", les unités intérieures sont totalement indépendantes dans le choix de leur mode de fonctionnement. La sélection du mode de fonctionnement s'effectue par le biais d'un boîtier, les 3 tubes venant de l'unité extérieure (liquide, gaz HP, gaz BP) ainsi que les tubes de l'unité intérieure y sont raccordés, ce boîtier est composé d'électrovannes permettant l'inversion chaud/froid. Ce type de VRV permet un transfert d'énergie entre les différents appareils, le troisième tube est utilisé pour transférer le fluide frigorigène entre les unités intérieures dont le mode de fonctionnement diffère.



Types d'appareils intérieurs (Vrv, split, multi)

Voici les types d'appareils intérieurs les plus installés, il ont en général les mêmes fonctionnement et options.

Le mural , c'est le type le plus commun . C'est le plus simple à installer de manière générale.



Le plafonnier apparent, généralement installer sous plafond .

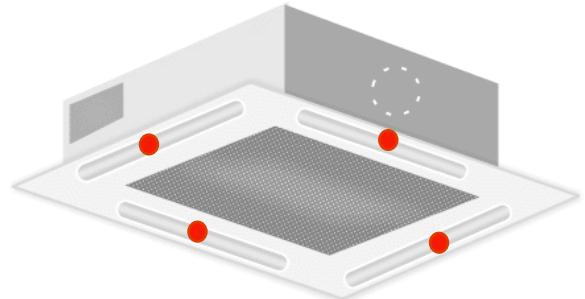


Le gainable, montage en plafond avec réseau de gaine, souple ou rigide.



La cassette intégrée en plafond. Existe en 2, 4, 6 et même 8 voies.

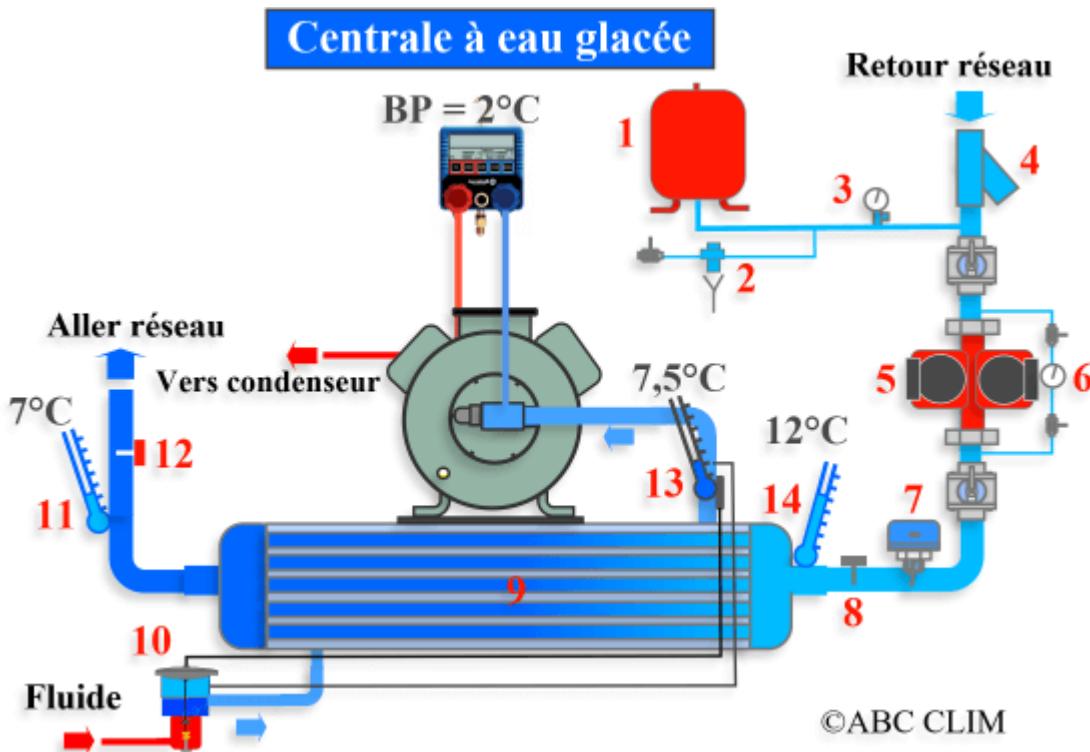
Ici une cassette 4 voies (de soufflage). ●



Centrale à eau glacée

Les groupes d'eau glacée sont encore très largement utilisés en climatisation de confort ou pour les process industriels. Le réseau de distribution d'eau glacée est constitué d'un ensemble de tuyauteries généralement en acier noir isolé thermiquement (coquilles de polystyrène ou laine de roche avec protection PVC ou alu) ou encore en PVC haute densité. L'eau est un très bon vecteur de transfert d'énergie, dans les centrales d'eau glacée, l'eau est utilisée soit pure, soit mélangée avec du glycol.

Le régime de fonctionnement d'une production d'eau glacée de confort est de 7°C-12°C, en ce qui concerne les process industriels cela dépend du cahier des charges.



Groupe eau glacée, vue coté évaporateur

1. Le vase d'expansion : compense les variations de volume d'eau (dilatation, contraction) causées par les fluctuations de température.
2. Le disconnecteur : dispositif antipollution, sécurise le circuit d'eau potable (remplissage) contre les retours d'eau. Si la pression du réseau d'eau glacée devient trop important alors le disconnecteur rejette le surplus de pression à l'égout.
3. Soupape de sécurité : généralement tarée à 3 ou 4 bars, elle ne doit pas fuir. En mode chauffage une soupape qui fuit en montée en température peut être le signe que le flexcon ne fait plus son office.
4. Le filtre à tamis : assure la protection de l'échangeur contre les corps étrangers, la finesse du maillage du tamis (inox) détermine son efficacité. Organe démontable pour faciliter le nettoyage, prévoir des vannes amont et aval.
5. Circulateurs : ils permettent de véhiculer l'eau réfrigérée vers les émetteurs CTA, UTA, ventilo-convecteur. Leurs performances sont répertoriées sous forme de courbes caractéristiques débits, pressions.
6. Manomètre : mesure la différence de pression entrée, sortie circulateur (HMT), permet de vérifier le bon fonctionnement du (des) circulateur.
7. Contrôleur de débit : protège l'évaporateur contre les débits nul ou insuffisant (voir article).
8. Sonde de régulation: permet le contrôle de la température de consigne de l'eau glacée
9. Évaporateur à eau : échangeur thermique, le fluide frigorigène absorbe en s'évaporant(changement d'état) la chaleur provenant du circuit d'eau et le refroidit.
10. Détendeur à égalisation externe
11. Température sortie d'eau, c'est l'aller du réseau
12. Sonde antigel : protège l'évaporateur contre le gel
13. Température au niveau du bulbe détendeur utile pour mesurer la surchauffe évaporateur
14. Température entrée d'eau à l'évaporateur, c'est le retour du réseau

Contrôles et pannes

Filtres à eau : (de 20 µm à 500µm)

Nettoyer le tamis une fois par an minimum (attention au joint) ou encore si la pression différentielle amont, aval mesurée par les manomètres est supérieure à 0,4 Bars.

Pompe de circulation :

Attention au sens de rotation (flèche sur le corps de la pompe), en cas de bruit anormal attention à la cavitation ou présence d'air dans le circuit .

En cas de pompe double un clapet existe dans le corps de la pompe qui bascule quand une des pompes fonctionne, celui-ci peut ce bloquer.

Purgeur d'air :

Doit laisser uniquement l'air s'échappé, si trace d'eau sur le purgeur, remplacement conseillé.

Flexcon :

D'usine les vases d'expansion sont prégonflés de 0,5 bar à 2,5 bars, la bonne pression de gonflage d'un flexcon est déterminée par la hauteur statique de l'installation exprimée en bar sachant que 10 mètres de hauteur est égale à un bar.

En climatisation, le remplissage de l'installation doit se faire à une pression proche de celle du tarage de la soupape de sécurité (à température ambiante l'eau est la plus chaude) pour qu'une fois arrivée à la température de service la pression soit légèrement supérieure à la pression de gonflage du vase d'expansion.

Conseil pratique si on donne un coup sec avec un objet sur la partie haute et la partie basse du flexcon le bruit doit être différent car une partie contiendra de l'air et l'autre de l'eau ce qui permet de dire que la membrane n'est pas percée.

Les flexcons sont gonflés à l'azote (gaz neutre) mais on peut dans l'urgence utiliser une pompe à vélo, l'inconvénient c'est que l'air contient de l'humidité.

Soupape de sécurité :

Généralement tarée a 3 ou 4 bars, elle ne doit pas fuir. (En mode chauffage une soupape qui fuit en montée en température peut être le signe que le flexcon ne fait plus son office).

Échangeur (évaporateur) :

Pression minimale conseillée 1 Bar.

Toujours laisser la pompe de circulation en route en cas de récupération du fluide frigorigène (surtout échangeur à plaque) sous peine de geler l'échangeur. Le fluide s'écoule à travers le détendeur aspiré par la pompe de récupération, et il se détend en produisant du froid.

Flow switch :

Doit être tester une fois par an.

Contrôle de débit

Il est très important que l'unité fonctionne avec le débit d'eau correct. Un faible débit d'eau pourrait endommager sérieusement l'échangeur à eau. Si l'unité fonctionne avec un débit trop important l'échange sera médiocre. Le meilleur moyen de déterminer le débit de fonctionnement, c'est de mesurer la différence de température entre l'entrée et la sortie d'eau.

Pour le débit d'eau nominal et minimal, la différence entre l'entrée et la sortie d'eau doit être de 5°C. En régime froid pour une température d'entrée de 12°C, une température de sortie de 7°C pour une température extérieure de 35°C. Plus la température extérieure montera plus la différence de température entrée/sortie (delta t°) diminuera.

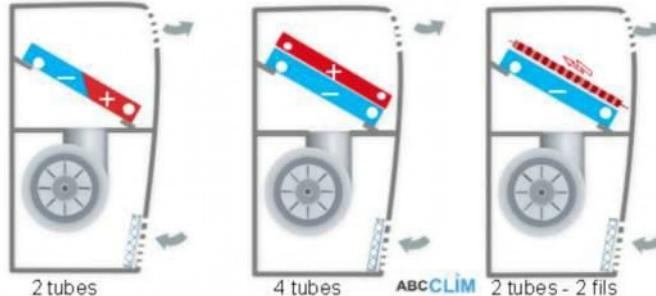
- Différence entre l'entrée et la sortie d'eau en dessous de 3°C trop de débit. Réduire la vitesse de la pompe de circulation. Régler ou installer une vanne équilibrage
- Différence entre l'entrée et la sortie d'eau en dessus de 7°C pas assez de débit.
- Augmenter le débit de la pompe circulation (ou éventuellement dans le cas de pompes doubles mettre les 2 pompes en service).
- Contrôler le filtre à tamis.

Le ventilo-convector

Le ventilo-convector est un appareil qui permet de traiter l'air d'un local, aussi bien en chauffage qu'en climatisation .L'air repris dans la pièce est filtré puis il traverse un ou deux échangeurs avant d'être pulsé par un ventilateur dans la pièce.

Le ventilo-convector suivant le modèle peut être placé au sol, fixé au mur, au plafond ou encore intégré dans un plafond (plafonnier non carrossé) avec un réseau de gaine.

Principaux composants :



Les différents types:

2 tubes :

Ici le ventilo-convector ne possède qu'une seule batterie qui est alimentée en été et en hiver, soit par une pompe à chaleur soit en été par une centrale à eau glacée et en hiver par une chaudière gaz ou fuel par exemple.

Cette configuration présente le désavantage de ne fonctionner correctement que dans les bâtiments ayant la même charge thermique (exposition, apports internes) et pose des problèmes de confort surtout en mi-saison .

2 tubes 2 fils:

Les ventilo-convecteurs "2 tubes 2 fils" , possède un seul échangeur alimenté en eau glacée pour l'été et pour assurer le chauffage une résistance électrique (le ventilateur pulsant l'air du local au travers de la résistance)

Ici on peut chauffer des locaux ou refroidir d'autres en même temps suivant la demande, mais attention à la consommation électrique des résistances.

4 tubes:

Ce type de configuration est bien adapté pour des locaux de nature, d'exposition, de charge différentes. Deux batteries distinctes sont incluses dans l'appareil délivrant soit du chaud soit du froid, en fonction de la saison et de la demande du local.

C'est certainement la configuration la plus viable au niveau confort, mais l'installation est plus lourde techniquement , deux réseaux de tuyauteries distinctes, pompes ..etc.

Régulation:

Arrêt sur ventilation: C'est la régulation la plus simple , arrivée à température le thermostat coupe le ventilateur, simple mais très perfectible au niveau confort .

Régulation par vanne 2 ou 3 voies :

Une sonde de température est soit insérée dans la reprise d'air soit intégrée dans l'ambiance. En fonction de l'écart entre la consigne et la température ambiante, la régulation autorise l'ouverture d'une vanne 2 ou 3 voies, qui module le débit d'eau chaude (hiver) ou d'eau glacée (été). Il s'agit généralement d'un régulateur à action progressive et il peut commander plusieurs vannes d'un même local.

1) La vanne 2 voies ouvrira plus ou moins alimentant la batterie en fonction de la demande, ce type de vanne est employée dans les installations où les pompes travaillent à vitesse variable, assurant ainsi une pression constante dans le réseau, quand plusieurs vannes ferment le débit chute, les pompes adapteront leurs débits automatiquement.

2) La vanne 3 voies est un organe qui permet de répartir le fluide dans le ventilo-convector son action permet une progressivité et une justesse du réglage appréciable. Ce type de vanne permet d'assurer un débit constant vers la production de chaud ou de froid.

Débit d'eau chaude (hiver) ou d'eau glacée (été). Il s'agit généralement d'un régulateur à action progressive et il peut commander plusieurs vannes d'un même local.

- 1) La vanne 2 voies ouvrira plus ou moins alimentant la batterie en fonction de la demande, ce type de vanne est employée dans les installations où les pompes travaillent à vitesse variable, assurant ainsi une pression constante dans le réseau, quand plusieurs vannes ferment le débit chute, les pompes adapteront leurs débits.
- 2) La vanne 3 voies est un organe qui permet de répartir le fluide dans le ventilo-convecteur son action permet une progressivité et une justesse du réglage appréciable. Ce type de vanne permet d'assurer un débit constant vers la production de chaud ou de froid.

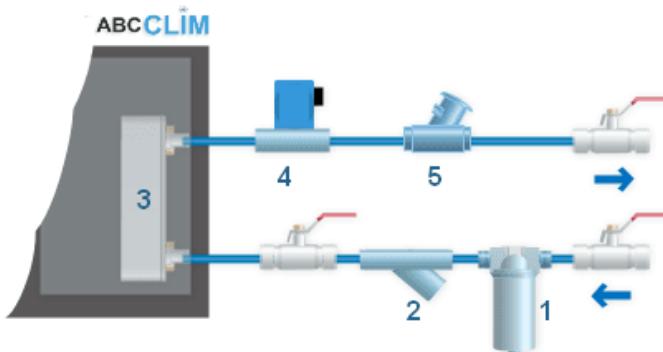
Pac sur boucle

Ce système constitue une solution idéale pour les grands ensembles de bureaux, hôtel, galeries commerciales, dont les facteurs climatiques varient dans la journée.

Ce système décentralisé de climatisation fonctionne à partir d'une boucle d'eau en circuit fermé où circule une eau maintenue à une température comprise entre 18° et 40 degrés (en correspondance avec la plage de fonctionnement des PAC)..

Les pompes à chaleur vont réchauffer la boucle d'eau lorsqu'elles fonctionnent en refroidissement ou refroidir cette même boucle en mode de chauffage et dès qu'une des deux limites (18 °, 40 °) sera atteinte cette eau sera soit chauffée (chaudière, résistance, pac) ou refroidi (aéroréfrigérant, tour de refroidissement).

C'est en demi-saison que le fonctionnement de cette boucle est énergétiquement intéressant quand simultanément des locaux marchent en chauffage et en climatisation permettant un transfert d'énergie entre eux en minimisant le fonctionnement de la chaudière ou de la tour de refroidissement.



1: Pot à boue : Permet la récupération de boues présentes dans l'installation, les boucles d'eau étant souvent misent à l'air pour des interventions, des particules sont mélangées avec l'eau et forment des boues.

2: Filtre à tamis: Protège le circuit notamment l'échangeur contre tous corps étrangers et particules.

3: Echangeur eau/fluide frigorifique : Cet élément est soit à plaque soudée soit tubulaire il permet l'échange d'énergie en l'eau et le gaz.

4: Flow switch: Contrôleur de débit, sécurité manque de débit d'eau (généralement à palette).

Sur les pac à boucle d'eau (montage usine) , cet élément peut être remplacé par un pressostat différentiel d'eau qui mesure la différence de pression en amont et en aval de l'échangeur.

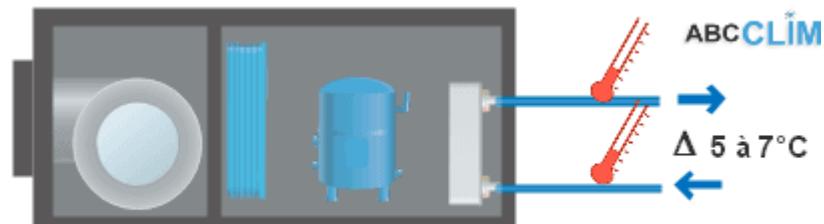
5: Vanne équilibrage: La vanne d'équilibrage permet de régler avec précision le débit alimentant la PAC.

La méthode la plus simple pour déterminer le bon débit sur une PAC sur boucle d'eau est de mesurer la différence de température entrée/sortie de l'échangeur.

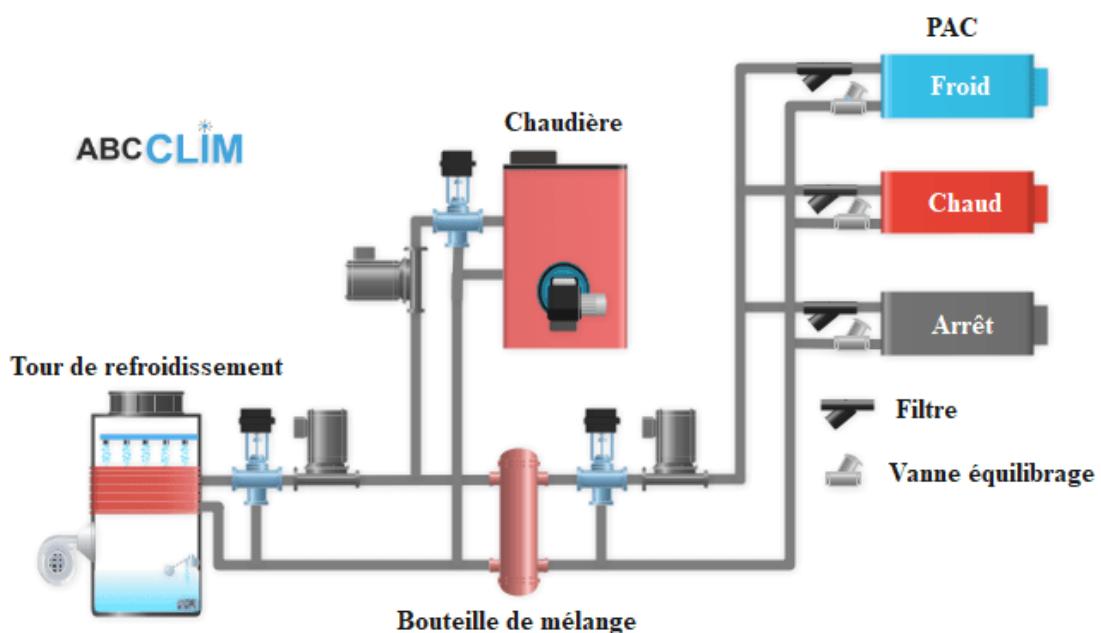
Celle-ci doit être comprise entre 5 et 7 degrés centigrade.

- En dessous de 5°C, trop de débit.
- Au-dessus de 7 ° C , pas assez de débit.

Dépannage d'une PAC sur boucle : <https://youtu.be/XyPeEBC4JQo>



Température de la boucle: limite mini 14°C, limite maxi 40 °C



Centrale de traitement d'air

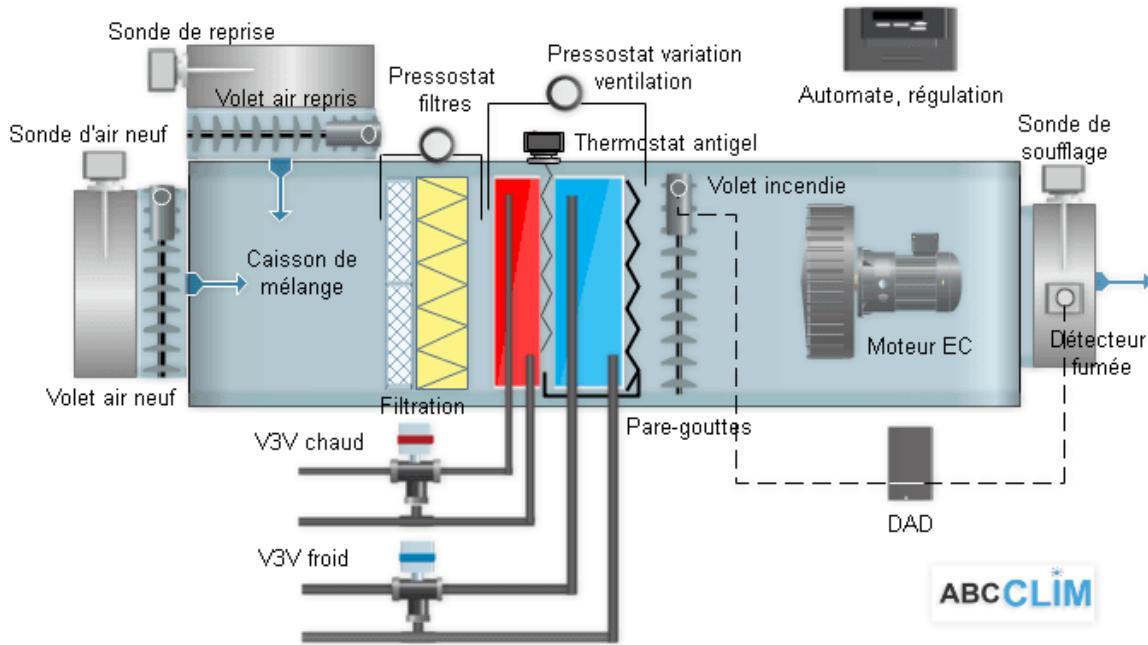
Une centrale de traitement d'air est un élément technique dédié au chauffage, au rafraîchissement, à l'humidification ou à la déshumidification des locaux tertiaires ou industriels, c'est un système tout air à débit constant ou variable.

Une CTA est soit de type monobloc, soit elle est constituée de modules additionnés les uns aux autres, suivant la configuration, modules ventilation, module batteries froides et chaudes, module filtres, etc..

Il existe deux types de centrales de traitement d'air :

- La CTA simple flux, elle est soit tout air neuf, soit tout air repris ou encore en mélange des deux flux
- La CTA double flux, elle permet toutes les combinaisons possibles entre la reprise d'air, l'air neuf, l'air rejeté, l'air traité suivant la configuration.

Détails d'une centrale de traitement d'air, simple flux



Rôle des divers éléments:

Volet d'air neuf : Ce volet motorisé règle en fonction de la régulation le débit d'air neuf, il aussi une fonction antigel.

Volet de reprise : Il régule l'admission de l'air repris dans le local à traiter, fonctionne en parallèle avec le volet d'air neuf.

Boîte de mélange : Permet le mélange de l'air neuf et de l'air de repris. Les volets d'air de reprise et d'air neuf sont synchronisés à partir d'un jeu de tringlerie ou de moteurs.

Filtration: La filtration protège la CTA contre la poussière et les diverses particules nuisibles au fonctionnement et au confort des personnes. Il peut y avoir plusieurs niveaux de filtration de moyenne à haute efficacité.

Batterie chaude : Serpentin en cuivre ou l'eau chaude circule munie d'ailettes en aluminium afin de favoriser l'échange avec l'air, l'eau et l'air circulent à contre-courant.

Batterie froide : La batterie froide peut être à détente directe (fluide frigorifique) ou à eau glacée (configuration identique à la batterie eau chaude).

Humidificateur : L'humidification s'effectue par ruissellement d'eau sur un matelas de fils d'acier galvanisé ou par injection de vapeur (non représenté).

Pare gouttelettes : Évite l'entrainement de goutte d'eau

Volet incendie : Limite la propagation des fumés par compartimentage

DAD : DéTECTEUR AutONOME DÉCLENCHEUR, protection incendie, commande le volet incendie

Bloc ventilateur : Le ventilateur peut être à action ou à réaction

CTA à volume d'air variable (1 seule gaine):

La centrale de traitement d'air fonctionne à débit variable, à température et à pression constante.

Chaque pièce à traiter possède un clapet de réglage, un servomoteur pilote chaque clapet via une sonde, la position du volet détermine le débit nécessaire afin d'atteindre le point de consigne.

La pression au soufflage est maintenue linéaire par un pressostat qui mesure la pression dans le réseau de gaines et un régulateur qui agit sur un variateur de vitesse pilotant le moteur du ventilateur de soufflage, car en fonction des ouvertures et fermetures des volets motorisés la pression fluctue.

NB: L'emplacement du capteur de pression du pressostat est primordial, car une mauvaise interprétation de la pression posera des problèmes de débits ou de pompage du ventilateur, à installer dans une partie droite en dehors de toute perturbation.

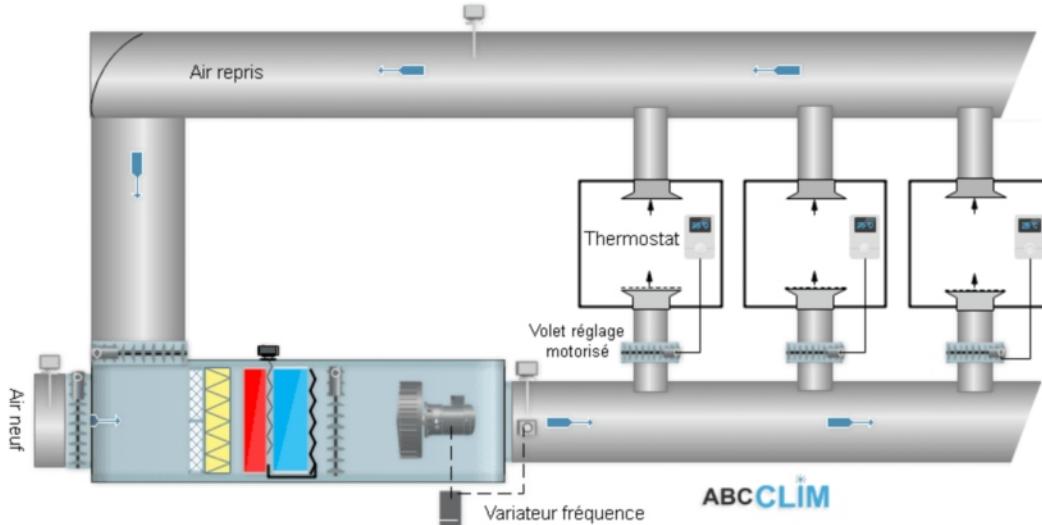
La température est maintenue constante par une sonde qui mesure la température de soufflage, la transmettra à une régulation qui agira sur les vannes trois voies de la batterie froide et de la batterie chaude.

La reprise suivant les besoins est réglée soit en tout air repris, soit en minimum d'air neuf, soit en free-cooling (récupération d'énergie).

Enfin pour améliorer le confort, on peut faire fonctionner le ventilateur d'extraction de l'air vicié en duo avec le moteur de soufflage de la CTA.

Le défaut de ce système c'est qu'il ne peut fonctionner soit en froid, soit en chaud et qu'il est réservé aux locaux ayant la même orientation et les mêmes charges thermiques.

CTA débit variable



CTA Double gaine:

Cette CTA est constituée de 2 gaines indépendantes qui incorporent chacune sa batterie, donc une gaine d'air chaud et une gaine d'air froid, chaque gaine est raccordée à des modules de mélange soufflant dans chaque local. L'air chaud et l'air froid sont mélangés à travers ce module ou boîte de mélange par un clapet modulant afin de souffler l'air à la bonne température.

L'avantage de ce système étant de chauffer ou de refroidir indépendamment les locaux.

Free-cooling

Les Roof top et les CTA fonctionnent en marche normale en air repris avec un minimum d'air neuf (ex: 80% air repris, 20% air neuf moduler en fonction de la température extérieure), ce réglage est géré par l'utilisateur via un automate ou par une sonde de qualité d'air en fonction du taux d'occupation ou encore par deux sondes hygrométriques par différence d'enthalpie entre l'air intérieur et extérieur.

Le free cooling (refroidissement gratuit) consiste à utiliser directement l'air extérieur pour refroidir un local ou introduire de l'air extérieur si celui-ci est d'une température plus basse que l'air repris (intérieur) et que la régulation est en demande de froid.

L'admission de cet air plus frais se fait par l'intermédiaire d'un volet ou registre motorisé commandé par une régulation. Ce système peut remplacer complètement la puissance frigorifique distribuée par les compresseurs ou les vannes trois voies lorsque la température de l'air extérieur le permet et ceci jusqu'à ce que la demande de froid devienne trop importante et à ce moment la régulation déclenchera le ou les compresseurs (roof top etc) ou ouvrira les vannes trois voies (pour les Cta.)

Le Free Cooling est intéressant énergétiquement pour les locaux avec de fortes charges internes, Data center, magasin avec beaucoup d'éclairage ou à forte occupation, casino de jeux, enfin des locaux ayant des besoins en rafraîchissement une grande partie de l'année.

Fonctionnement d'une CTA : <https://youtu.be/a9dYMMdWuII>

CTA débit constant

On utilise les CTA à débit constant généralement pour :

- L'apport d'air neuf dans un bâtiment .
- Compensation d'air d'une hotte dans les cuisines d'un restaurant.
- Mise en surpression d'un local (laboratoire, etc..);

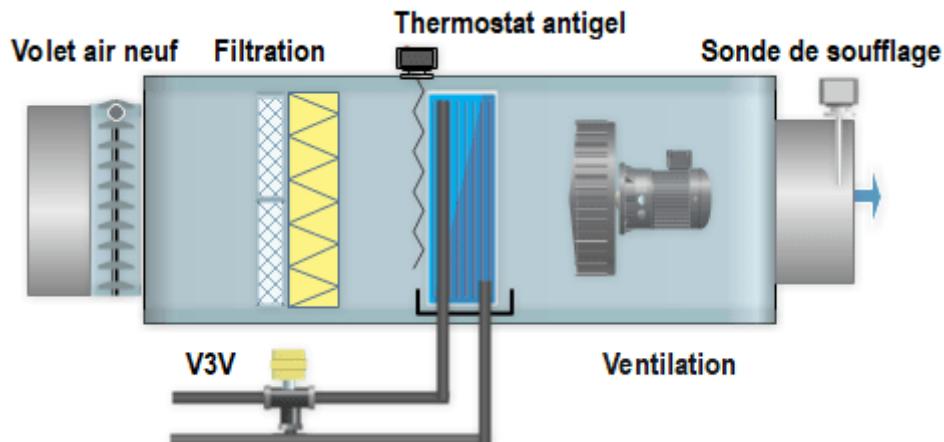
Peut être de type monogaine unizone, multizone ou double gaine multizone .

Régulation en bref des CTA débit constant

Régulation de la température de soufflage par action sur vanne mixte. Une sonde mesure la température de soufflage qui suivant le réglage du régulateur PID régule l'ouverture ou la fermeture d'une vanne trois voies. Cette vanne mixte délivrant de l'eau froide en été et de l'eau chaude en hiver...via une PAC air /eau par exemple.

L'inversion été/hiver de la vanne trois voies est commandée soit par change-over sur la tuyauterie d'eau ou par un simple interrupteur.

Le thermostat antigel protège la batterie du gel en cas de température extérieure basse par fermeture du volet d'air neuf, ouverture à 100% de la vanne (chaud), puis arrêt du ventilateur par fin de course volet d'air



Le rooftop

Le roof top est d'un appareil de climatisation monobloc implanté en toiture du local à climatiser qui ne convient qu'au traitement de locaux de grandes surfaces, supermarchés, entrepôts, sans cloisonnement et d'une seule pièce, il présente l'avantage d'avoir tous les équipements nécessaires au fonctionnement et ceci dans une seule enveloppe ne nécessitant qu'un raccordement électrique et aéraulique.

En outre, étant monoblocs ils sont donc rapides et faciles à installer , il suffit de le poser sur un châssis métallique appelé « costière » qui a été préalablement fixé sur le chevêtre du toit, l'étanchéité se réalise autour de la costière.

Le réseau des gaines aérauliques (qui diffuseront et reprendront ensuite l'air dans le centre commercial) se raccorde au roof top par des gaines rigides ou souples(textiles)

Le Roof Top possède également la fonction "free-cooling" ,c'est à dire, que lorsque les conditions de température et d'humidité le permettent, il utilise l'air frais extérieur pour satisfaire la demande de rafraîchissement du local, permettant ainsi des économies d'énergie. Pour cela, le roof top agit sur le volet d'air neuf en fonction de la différence d'enthalpie entre l'air intérieur et l'air extérieur qu'il mesure en permanence.

Composition:

- Circuit frigorifique complet + protection du circuit
- Ventilateur de soufflage (moto ventilateur) comprenant un ensemble turbine et courroie.
- Coffret électrique complet, sectionneur, télécommande ,régulation par automate programmable.
- Ensemble de filtrations , sur l'air repris et l'air neuf avait détection encrassement filtre.
- Volet de mélange, air neuf/ air repris permettant d'assurer un renouvellement d'air optimal.
- De résistances électriques d'appoint géré par l'automate, utilisé en appoint.

Il en existe de plusieurs types les plus fréquents sont :

- Froid seul - air / air
- Froid seul - air / air + résistances électriques
- Froid seul - air / air + batterie eau chaude
- Froid seul - air / air + générateur(chaudière gaz)
- Pompe à chaleur (réversible) - air / air + résistances électriques ou chaudière gaz
- Pompe à chaleur (réversible) - air / air + batterie eau chaude

Régulation des roof top

Programmation horaire

Une horloge en temps réel permet une programmation horaire différente par jours de 00h00 à 24h00 et du lundi au dimanche.

Plusieurs plages horaires peuvent être programmées en fonction de l'occupation. Les heures de démarriages peuvent être anticipées si la température en hiver descend en dessous d'un certain seuil.

Gestion de la température

Le régulateur est programmé pour ajuster et maintenir la température ambiante la plus proche du point de consigne et avec un fonctionnement le plus économique possible.

La température ambiante est mesurée par une sonde soit de reprise soit par une sonde directement placée dans le local.

Le point de consigne chaud est défini par la température à laquelle on autorise le mode chaud et le point de consigne froid limite de température où l'on autorise le fonctionnement froid.

EX: point de consigne chaud 20°C-point de consigne froid 24°C

La zone morte se situe entre ces 2 limites.

Une fonction hors gel (réglable) est aussi disponible.

Certains régulateurs intègrent la notion de consigne dynamique (en mode froid), la consigne de température ambiante est calculée en fonction de la température extérieure afin d'optimiser la consommation énergétique. Cette fonction agit comme un décalage proportionnel de la consigne.

Exemple:

La consigne froid est de 24.0°C et le point de consigne dynamique à 5°C donc la consigne froid va suivre l'évolution de la température extérieure en gardant une différence de 5°C.

Dans certaines applications particulières, on peut réguler la température de soufflage uniquement, sans prendre en compte la température d'ambiance.

Fonctionnement du(des)compresseur(s)

La régulation gère le ou les compresseur(s) en fonction de la demande et démarre le nombre de(s)compresseur(s) nécessaire pour atteindre la consigne.

Afin de protéger les compresseurs d'une utilisation anormale, deux limites sont programmées.

- Un temps minimum d'arrêt des compresseurs.
- Un temps minimum entre deux démarrages.

Des compteurs permettent de connaître le temps de fonctionnement de chaque compresseur.

Gestion du ventilateur soufflage

Le ventilateur (ou les) de soufflage peut être soit à démarrage direct soit à démarrage progressif (utilisation de gaine textile).

Dans la zone morte, la ventilation peut être laissée en marche, mais pour réduire la consommation énergétique elle peut être, soit arrêter, soit en mise en vitesse réduite en cas d'utilisation de variateur de vitesse.

Régulation du(des)ventilo-condenseur(s)

Afin d'optimiser les performances et de protéger les compresseurs, la haute pression est maintenue aussi stable que possible.

Une régulation de type proportionnel intégral(PI)commande les étages de ventilateur ou la variation de vitesse selon le type d'unité.

La gestion des ventilateurs peut être ajustée selon la programmation horaire en mode chaud et en mode froid afin de réduire le niveau sonore par exemple en régulation nocturne.

Fonctionnement du dégivrage

Pour éviter la formation de glace sur l'évaporateur (échangeur extérieur) en mode chaud, et de réduire les performances, la régulation gère le dégivrage par inversion de cycle.

Généralement le dégivrage est géré en mesurant la différence de température entre la batterie extérieure et l'air extérieur.

Procédure de dégivrage:

1. Arrêt du compresseur du circuit concerné
2. Inversion de la V4V
3. Démarrage du compresseur du circuit en dégivrage
4. Démarrage des ventilateurs du condenseur quand la HP = 50.0°C, arrêt HP = 40.0°C
5. Arrêt du compresseur du circuit concerné si fin dégivrage OK
6. Mise en ventilation forcée pour sécher le condenseur
7. Redémarrage en mode chaud

Gestion du registre d'air neuf

Assure une introduction minimum d'air neuf dans le local pour le confort des personnes ainsi que le fonctionnement du « free cooling » et du «free heating».

Le free cooling ou le free heating sont activés en fonction de la température extérieure et sur une demande de la température d'ambiance, le registre s'ouvre suivant une loi proportionnelle sur la température de soufflage.

Généralement un taux d'apport minimum d'air neuf est réglable par une consigne.

Défauts

Deux catégories de défauts sont généralement possibles, les défauts mineurs qui m'interrompent pas le fonctionnement, mais avertissent seulement d'un dysfonctionnement (ex: filtres sales),et les défauts majeurs qui stoppent tous fonctionnement afin de préserver le matériel.

Les défauts sont enregistrés dans un historique.

Les options

Gestion de l'humidité relative

En option, certains constructeurs proposent la possibilité de gérer l'humidité relative. La régulation est programmée pour maintenir une humidité relative conforme à la consigne.

L'humidité relative est maintenue entre deux limites, la limite basse correspondant au point d'humidification et la limite haute correspondant au point de déshumidification

Sonde de qualité d'air CO₂

La régulation optimise la qualité de l'air au moyen d'une sonde de CO₂ en actionnant le volet d'air neuf.

Le contrôle de qualité d'air peut être activé selon la programmation horaire.

Possibilité de contrôler à distance via une connexion Internet via l'insertion d'une carte en option, selon le standard RS485. La connexion à un superviseur avec de standards autres que RS485 (communiquant en BACnet, LON, Konnex) est aussi possible.

Technologie des poutres climatiques !

On sait la température, la vitesse d'air ont une grande influence sur le bien-être des personnes. Il faudra donc s'approcher le plus possible des conditions idéales pour satisfaire au confort des personnes résidant dans un milieu clos. Plus l'atmosphère d'une pièce est thermiquement neutre plus il sera ressenti comme confortable.

Les poutres climatiques raisonnablement dimensionnées permettent une bonne maîtrise de ces conditions idéales et permettent de chauffer ou refroidir une ambiance efficacement.

Elles sont utilisées dans les bureaux, les ERP, les hôpitaux, et ne nécessitent que peu d'entretien, pas de filtre, pas de système d'évacuation de condensats, pas de ventilateur. Les poutres climatiques existent dans une multitude de modèles, de configurations et de puissances.

On distingue deux types de poutre:

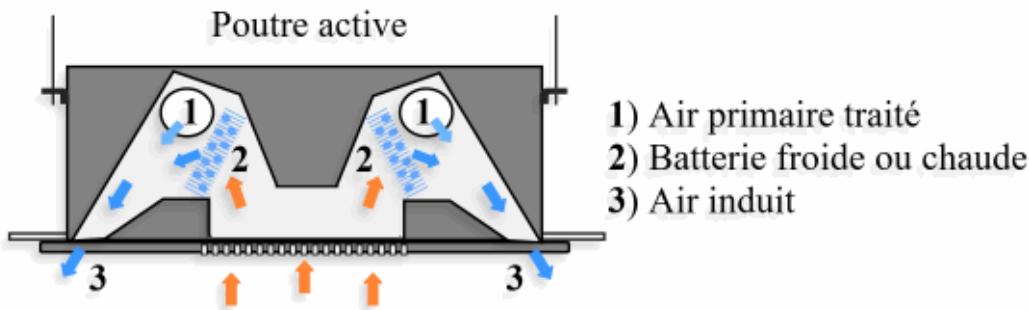
- La poutre active ou poutre à induction qui fonctionne avec un apport d'air neuf traité, filtré.
- La poutre passive qui utilise la convection naturelle et n'est utilisable qu'en mode froid (poutre froide).

Poutres climatiques actives

Principe général de fonctionnement

L'air neuf ou air primaire est injecté dans un plenum à une vitesse suffisante (pression de 50 à 100 Pa) pour créer une dépression permettant d'aspirer l'air de la pièce. Ce phénomène d'induction est identique à celui employé dans les pistolets à peinture c'est le principe de Venturi (physicien italien Giovanni Battista Venturi).

Puis l'air venant de la pièce traverse une batterie chaude ou batterie froide, l'air primaire et l'air repris donnent un air mélangé qui est soufflé à faible vitesse dans la pièce à traiter. Bien entendu la vitesse doit être suffisante pour permettre un bon brassage de l'air et une température homogène.



Technologie d'une poutre climatique active

L'ensemble constitue un élément compact en tôle d'acier recouvert généralement de peinture époxy avec système de fixation.

Le plenum constitue une chambre de compression qui permet de répartir uniformément l'air primaire pour créer une dépression suffisante nécessaire au bon fonctionnement. Le volume d'air primaire peut être régulé via une sonde CO₂ commandant des volets motorisés alimentés en 24 V avec une tension de commande de 0 à 10 V.

Une batterie à eau en cuivre muni d'ailettes en aluminium (chaude ou froide) permet le transfert d'énergie de l'eau vers l'air mélangé. Cette batterie à eau peut être régulée suivant la demande par une vanne deux ou trois voies, grâce à une sonde située dans la pièce. Notons que la température minimale d'eau froide admissible se situe aux alentours de 1,5°C sous le point de rosée afin d'éviter toute condensation, la température d'eau chaude ne doit pas excéder les 60°C.

La vitesse de l'eau doit être comprise entre 0,2 à 0,3 m/s, une trop grande vitesse posera des problèmes de nuisances sonores.

Température minimale eau et hygrométrie (exemple).

Température ambiante 24°C	Humidité relative 70 %	Point de rosée 18°C	T° d'eau minimale admissible 16,5°C
------------------------------	---------------------------	------------------------	--

Quelques modèles de poutres actives :

- Batterie 4 tubes, batterie chaude et batterie froide.
- Batterie 2 tubes.
- Batterie 2 tubes, 2 fils (batterie électrique).

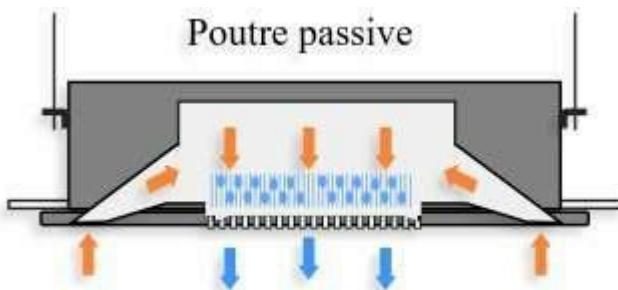
Poutres climatiques passives

Les poutres climatiques dites passives sont utilisées seulement en mode froid, car le transfert thermique s'effectue par un phénomène bien connu la convection naturelle. En effet la densité de l'air se trouve modifiée en fonction de sa

température, naturellement l'air chaud a tendance à monter et l'air froid à descendre. Et c'est cet écart de densité qui permet un mouvement d'air à très basse vitesse à travers la batterie froide. Comme dans les poutres climatiques actives la température minimale admissible dans la batterie froide doit être supérieure de $0,5^{\circ}\text{C}$ du point de rosée, toujours pour éviter tout problème de condensation. En outre la batterie est conçue spécialement pour la convection naturelle, de telle manière à réduire le plus possible les pertes de charges notamment en espaçant les ailettes.

Ce type de poutres climatiques est plutôt réservé aux locaux à faible hauteur sous plafond, bien entendu la mise en régime du local sera plus longue compte tenu du mode de transfert.

La seule difficulté de ce type de poutre concerne la pose, celle-ci doit être conforme aux données du constructeur afin de garantir une convection naturelle optimale.



Température minimale eau admissible et hygrométrie (exemple).

Température ambiante	Humidité relative	Point de rosée	T° d'eau minimale admissible
24°C	70 %	18°C	$18,5^{\circ}\text{C}$

Régulation des poutres climatiques

Les régulations les plus évoluées sont de type proportionnel intégral (PI), qui gère l'ouverture des volets en fonction du taux de CO₂ présent dans l'air et régule le débit d'eau par action sur les vannes deux ou trois voies via une sonde de température d'ambiance.

Autres caractéristiques :

- Entrée contact de feuillure afin d'éviter l'entrée d'air chaud extérieur (condensation).
- Entrée pour sonde de condensation, sonde montée sur le tuyau d'arrivée d'eau froide.
- Entrée pour dialoguer avec une GTC
- Zone morte, régime inoccupation, etc .

Salles blanches

Les salles blanches sont des enceintes soumises à des normes très exigeantes. Conçues pour limiter les contaminations pouvant nuire au bon fonctionnement, comme à la sécurité des utilisateurs et des produits fabriqués. Les salles blanches sont de conception différente en fonction du secteur d'activité concerné, pour apporter une solution adéquate à chaque problématique.

Qu'est-ce qu'une salle blanche ?

Une salle blanche est un lieu clôt au sein duquel l'atmosphère est contrôlé, température, hygrométrie, ainsi que le nombre de contaminants. Ces contaminants présentent diverses nuisances, en fonction des différents secteurs d'activité concernés (biologique, particulaire, chimique, radioactif). Caractérisée par son niveau d'empoussièvement, une salle blanche possède un facteur hygrothermique stable. Composée d'une enveloppe lisse en surface, l'enceinte d'une salle blanche évite par ce biais toute rétention de particules.

Salles blanches, norme en vigueur

Depuis 1999 les salles blanches sont encadrées par la norme ISO 14 644, composée de 9 parties. Fixant les seuils relatifs au niveau d'empoussièvement, cette norme est adaptée à tous secteurs d'activité confondus et s'applique au niveau mondial. Cependant, lors de risques de contaminations microbiologiques, les laboratoires sont soumis à une seconde classification, apte à contrôler de manière plus efficace la quantité d'agent pathogène présent dans l'air.

Fonctionnement et typologie des salles blanches

Il existe deux grands types de salles blanches. La première catégorie, principalement utilisée dans l'industrie électronique et pharmaceutique, a pour objectif d'éviter une contamination par divers polluants tels que bactéries ou encore poussières. Ce type de salle propre fonctionne en surpression comparativement à la pression atmosphérique. La seconde catégorie de salle blanche agit quant à elle, par dépression. Visant à empêcher des polluants, comme par exemple des spores, bactéries et virus, de sortir vers l'extérieur. Les entrées et sorties d'air de ce type de salle blanche, passent par un filtre absolu. Les opérateurs travaillant au sein de cette salle propre, sont munis d'équipements permettant une protection optimale contre toutes contaminations, telle que combinaison, scaphandre complet, masque etc.

Différents domaines d'application

L'utilisation d'une salle blanche est nécessaire à tous secteurs d'activité, concevant des produits pouvant être altérés par des aérosols de très petite taille. Afin de ne pas nuire au bon fonctionnement de ces objets, et mettre en danger les êtres humains par la contamination d'aliments ou de médicaments.

Quantité de domaines d'application sont concernés par les salles blanches, notamment : les industries agroalimentaires et spatiales, les établissements de santé, ainsi que les filières automobiles et microélectroniques. Ses différents secteurs d'activité sont accompagnés de normes qui leur sont propres et spécificités, déterminant les dispositifs à mettre en place au sein des salles blanches.

Les centrales de traitements d'air :

Les salles blanches disposent de CTA centrale de traitement de l'air, ces dispositifs permettent d'extraire et de renouveler l'air vicié. Munies de système de filtration ultra-performant, permettant une élimination des contaminants transportés par les équipements et personnels grâce au procédé de dilution. Selon les secteurs d'activité concernés, le système de traitement de l'air des salles blanches est à choisir en fonction des différents besoins, par exemple niveau d'humidification, de déshumidification, de maîtrise de la température ou de la filtration souhaitée.

Les centrales de traitement de l'air sont composées en outre de batteries chaudes et froides permettant de contrôler la température et l'hygrométrie d'une salle blanche.

Organe important d'une CTA présent au sein d'une salle blanche, le ventilateur bien souvent centrifuge, assure la fonction débit/pression de l'air soufflé. Compte tenu des pertes de charges souvent importantes dans ce type d'installation les pressions disponibles sont souvent élevées.

Le rapport entre le débit d'air soufflé et le volume de la salle propre s'appelle le taux de brassage, il est supérieur aux taux généralement utilisés en climatisation dit de confort. Il permet de réduire la concentration des contaminants

Salle blanche, différents filtres utilisés

Les CTA présentes dans les salles blanches sont munis de filtres plus ou moins performants et placés dans un ordre bien précis. Les molécules de gros diamètre sont filtrées de prime abord. Les plus petites sont quant à elles, filtrées tout au long du processus mais particulièrement en fin de chaîne par un filtre de plus en plus précis.

Les filtres de catégories G (classes G1 à G4) : sont d'efficacités moyennes et retiennent les particules les plus grosses.

Les filtres de catégorie F (classes F5 à F9) : sont des filtres permettant d'arrêter des particules assez fines et servent aussi de protection pour les filtres absolus.

Les filtres dits absolus, de catégorie HEPA (classes H10 à H14) sont à hautes performances.

Utilisé pour stopper les contaminations moléculaires au sein des salles blanches, les filtres à charbons actifs ont la capacité de filtrer des virus de recherche ou encore de l'oxyde d'azote et certaines odeurs.

Climatisation Data center

Un data Center ou salle serveur concentre des données dans des baies de stockage muni de serveurs informatiques. Ces dernières années content tenu de l'évolution des capacités de stockage sans cesse grandissante des disques durs de nouvelles générations et de leurs densités la quantité de chaleur à évacuée devient très importante de l'ordre de 2 kW par mètre carré de baies.

Pour garantir les performances et le fonctionnement pérenne de ces installations il est nécessaire de climatiser et d'évacuer cette chaleur. Il y a quelques années au début des datacenter on pouvait seulement climatiser la salle en utilisant en complément quand cela était possible un système de free cooling, mais de nos jours cela devient plus compliqué.

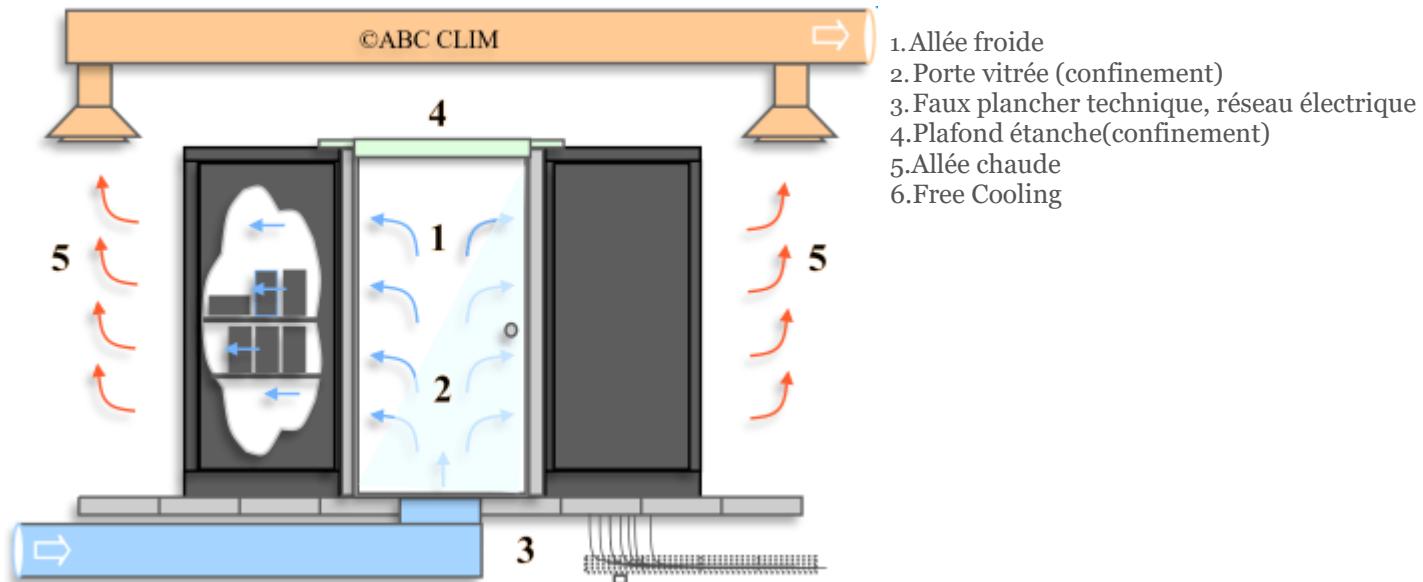
En effet la haute disponibilité, la densité des baies informatiques et la capacité de stockage des disques durs sont nettement plus importantes aujourd'hui, il ne faut donc climatiser aux plus près ces divers éléments en évitant les zones chaudes. La consommation énergétique des systèmes de climatisation devient un vrai problème à résoudre, il faut donc faire la chasse à toute surconsommation, d'autant que chaque salle serveur à ses propres contraintes de température et d'humidité relative.

Organisation et architecture de la climatisation à air

L'ancienne approche qui consistait à climatiser dans son entiereté la salle informatique où se trouver les différentes baies informatiques devient de plus en plus inadapté et moins efficace aux nouvelles configurations et architectures des salles serveurs. En effet ce type de traitement de l'air ne permet pas la distribution de l'air climatisé aux endroits les plus névralgiques c'est-à-dire au cœur des baies, là où se trouvent les points chauds.

Conception en allée chaude et allée froide.

Pour réduire au minimum la chaleur au cœur des serveurs il faut que la trajectoire de l'air climatisé soit la plus courte et la plus précise possible. L'organisation en allée chaude et en allée froide permet de séparer les flux d'air, bien entendu plus cette séparation est étanche plus la climatisation sera efficace.



Cette architecture demande une organisation particulière des serveurs et représente la norme concernant la climatisation de Data Center.

L'air froid venant du système de climatisation est pulsé à travers des gaines installées sous le faux plancher, cet air est soufflé sur les faces avant des serveurs c'est l'allée froide, de petits ventilateurs (ou pas) intégrés dans les serveurs permettent de véhiculer cet air froid à travers le serveur puis l'air chaud est rejeté à l'arrière des serveurs c'est l'allée chaude. Cet air chaud sortant des serveurs sera aspiré en partie haute par des grilles de reprise.

Pour améliorer encore les performances de l'organisation en allée chaude en allée froide on optera pour le confinement des allées froides c'est-à-dire en séparant de manière étanche l'allée froide du reste du bâtiment.

Le plafond et les espaces entre les baies seront systématiquement fermés, constituant ainsi un espace clos. La température sera plus homogène, le taux de brassage de l'air sera moins important, le temps de fonctionnement de la climatisation se réduira de manière conséquente.

Quand la différence de température entre la salle climatisée et la température de l'air extérieur devient importante (15°C) il est intéressant d'exploiter ce potentiel d'énergie gratuite pour refroidir les baies informatiques. Ce type de fonctionnement permet de réduire le temps de fonctionnement des compresseurs ainsi que la consommation énergétique. L'air extérieur doit bien entendu être filtré de manière parfaite pour assurer une bonne qualité de l'air avant d'être introduit dans le système d'air conditionné, en outre suivant les régions le taux d'humidité peut devenir un problème. En effet de fines particules de vapeur d'eau en sustentation peuvent créer des problèmes de diélectrique (charges électriques susceptibles de se déplacer) c'est donc un paramètre important à prendre en compte.

Un système de déshumidification devra être installé ce qui une source supplémentaire de consommation d'énergie.

Exemple de fonctionnement :

Le mélange d'air intérieur et extérieur se fait au moyen de volets commandés mécaniquement par des moteurs eux-mêmes pilotés par une régulation.

- Si la température extérieure est inférieure à 18°C, l'air neuf extérieur et l'air repris dans la salle seront mélangés proportionnellement en fonction de la température de soufflage demandée.
- Si la température de l'air extérieur est comprise entre 18 et 20 degrés le volet de mélange sera ouvert à 100 % sur l'air extérieur.
- Si la température de l'air extérieur excède 25° le free Cooling ne sera plus opérationnel.

Il existe un certain nombre de solutions de free cooling (air) nous citerons :

- Le free cooling à air direct : introduction directement de l'air extérieur après filtration complète.
- Le free cooling à air indirect : utilisation de l'air extérieur mais avec un échangeur air /air qui sépare les deux flux d'air. Solution pertinente surtout si l'air extérieur est souvent très humide ou pollué.
- Free chilling ou free cooling indirect air/eau : Ici on utilise un échangeur de chaleur air/eau glycolée. Utile pour les data center ou de faibles tolérances d'humidité sont impératives. Cet échangeur est soit intégré directement dans la veine d'air de la climatisation soit il est raccordé en dérivation sur circuit d'une centrale eau glacée.

L'utilisation de l'air comme médium pour refroidir les composants électroniques tout comme l'utilisation d'échangeurs à eau glycolée intégré directement dans les serveurs sont largement utilisés.

Traitement de l'air des datacenters de l'avenir

Depuis quelque temps de solutions de nouvelles générations apparaissent certaines déjà en exploitation comme les plaques froides intégrées directement sur les composants électroniques. Ces plaques froides sont constituées d'un échangeur en aluminium ou circulent un liquide refroidi, l'inconvénient étant d'adapter ces éléments directement sur les composants. Encore plus étrange certaines études en cours actuellement utilisent un bain d'huile non conducteur dans lequel des équipements informatiques sont en immersion, cette huile étend en mouvement constamment. Cette solution existe déjà pour le refroidissement des transformateurs électriques.

Le free -cooling

Le "free-cooling" consiste à refroidir un bâtiment par ventilation en utilisant l'énergie gratuite de l'air extérieur lorsque celui-ci présente une température inférieure à la température intérieure.

En mi-saison, de l'air frais extérieur peut alimenter, en journée, les zones à rafraîchir sans nécessiter l'enclenchement des groupes frigorifiques ou de climatisation.

En été, le free-cooling nocturne consiste à rafraîchir les bâtiments la nuit grâce à de l'air extérieur. On parle de "décharge nocturne" du bâtiment puisqu'il évacue toute la chaleur excédentaire accumulée en journée.

L'efficacité frigorifique de l'air extérieur est meilleure qu'en journée puisque l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur est plus grand (en été, dans notre pays, la température nocturne minimale est inférieure de plus de 8°C à la température maximum diurne)

Le Free Cooling est intéressant énergétiquement pour les locaux avec de fortes charges internes, Data center, magasin avec beaucoup d'éclairage ou à forte occupation, casino de jeux, enfin des locaux ayant des besoins en rafraîchissement une grande partie de l'année.

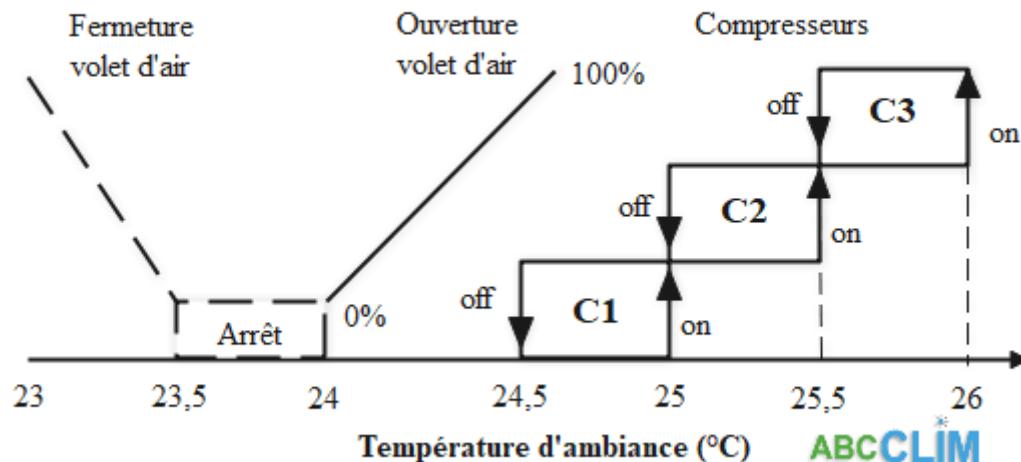
Les Roof top et les CTA fonctionnent en marche normale en air repris avec un minimum d'air neuf (ex: 80% air repris, 20% air neuf, moduler en fonction de la température extérieure), ce réglage est géré par l'utilisateur via un automate ou par une sonde de qualité d'air en fonction du taux d'occupation ou encore par deux sondes hygrométriques par différence d'enthalpie entre l'air intérieur et extérieur.

Exemple de conditions pour l'autorisation du Free Cooling :

1. Température extérieure inférieure de 5 à 10 °C par rapport à la température intérieure.
2. Régulation en demande de froid.

Voici un type de régulation free cooling:

Le volet d'air neuf ici commencera à ouvrir à partir de 24°C en ambiance (si température extérieure est inférieure de 8 à 10 °C), à 24,5 °C le premier compresseur sera mis en route, à 25°C le deuxième et ainsi de suite.



La filtration

On le comprendra la filtration est importante pour le bien-être des personnes assainissant l'air que l'on respire, mais les divers filtres empêchent aussi que les échangeurs se salissent rapidement ce qui serait néfaste au bon fonctionnement de l'appareil.

4 actions qui permettent aux filtres de bien remplir leurs rôles.

Effet Tamisage

Les particules d'un diamètre supérieur à la distance entre deux fibres ne peuvent pas passer.

Effet d'inertie

Les particules lourdes ont une force d'inertie trop grande pour pouvoir accompagner le courant d'air quand celui-ci s'incurve autour d'une fibre.

Effet d'interception

Les particules légères accompagnant le courant d'air sont interceptées si leur centre passe à une faible distance de la fibre.

Effet de diffusion

Les particules dont le diamètre est inférieur à 1 µm ont un mouvement vibratoire dû au mouvement brownien des molécules de l'air et se fixent sur les fibres.

Plusieurs niveaux de filtration existent du moins performant au plus performant.

Les plus simples sont les filtres en média, fibre de verre ou polyester soit sur cadre métal, soit en cadre carton jetable , ou encore en cadre métal rechargeable, pour le premier niveau de filtration avec des pouvoirs de filtration variables suivent les utilisations (voir tableau), le deuxième niveau de filtration est souvent constitué de filtres à poches qui ont une surface de filtration pouvant aller jusqu'à 20 fois leurs surfaces frontales.

Des filtres charbon sont aussi utilisés pour les hôpitaux , aéroports en complément des filtres en média là où des impératifs de pureté de l'air sont obligatoire.

Des filtres dits absolu (HEPA) existent pour des applications du type laboratoire , salle d'opération ici il s'agit d'arrêter les particules microscopiques, ils possèdent une surface de filtration très importante.

Équivalence filtration suivant normes EN ou ISO (à titre indicatif) :

Sauf filtres HEPA

EN 779-2012	ISO 16-890	ISO 16-890	ISO 16-890	ISO 16-890
	ISO Grossier	ISO ePM10	ISO ePM2,5	ISO ePM1
G2	50-60%			
G3	50-70%			
G4	60-80%			
M5		50-70%		
M6		60-80%		
F7		80-90%	65-75%	50-65%
F8		90-100%	75-95%	65-90%
F9		90-100%	85-95%	80-90%

La norme ISO 16890 (filtration)

La nouvelle norme ISO 16890 (norme internationale) pour les filtres à air concernant les installations de ventilation et de climatisation est entrée en vigueur fin 2016, celle-ci a coexisté jusqu'à mi 2018 avec les anciennes normes applicables localement. Depuis 2018 les normes EN779 pour l'Europe et ASHRAE pour les USA sont supprimées définitivement seule reste la norme ISO 16890.

Il s'agit ici d'un changement important voir radicale dans la façon de tester les filtres en laboratoire et de les catégoriser, notons que pour une industrie parfois très réticente aux changements le deal était de taille.

Les filtres à air sont utilisés dans de nombreux domaines tels que les applications de chauffage en plus de la ventilation et le conditionnement des bâtiments. Le filtre à air aide à protéger la santé des personnes en s'assurant d'une bonne qualité de l'air intérieur et d'une faible concentration de particules en suspension (il protège aussi les batteries contre l'enrassement).

Une méthode universelle bien définie de sélection et de catégorisation permettra aux experts dans le domaine de sélectionner le filtre qui est nécessaire pour son efficacité par rapport aux particules et spécifiquement sa capacité à les éliminer.

Pourquoi harmoniser les protocoles d'essai et de classification ?

La norme ISO 16890 permet de mieux déterminer l'efficacité des filtres à air contre les particules en suspension de différentes tailles. Elle représente surtout un protocole unifié beaucoup plus raisonnable et accepté par l'ensemble de la profession pour mesurer les performances d'un filtre.

Grâce à cette nouvelle norme, l'efficacité de la filtration sera déterminée plus précisément, en fonction des différentes classes de particules nommées PM1, PM2,5 et PM10. PM1 représentant les particules ultrafines dont la taille est inférieure à 1 micron, considérées comme les plus dangereuses pour l'être humain, PM10 étant les particules les plus grossières.

Première exigence de cette norme, un filtre doit avoir une efficacité minimum de 50 % suivant la taille de particule captée. En clair cela veut dire que si un filtre capte plus de 50 % de particules de tailles PM2,5, il sera alors classé ISO ePM2,5.

Deuxième idée la classification de la filtration s'articule en 4 groupes :

Classification	Particules
ePM1	Particules fines(gaz échappement),virus
ePM2,5	Champignons, spores, bactéries
ePM10	Pollen
EPM10 grossier	Cheveux

Vous avez dit ISO ?

L'Organisation ISO est une entité internationale non gouvernementale, composée de 161 organismes de normalisation de divers pays. Cette organisation réunit des spécialistes qui forment un comité technique chargé d'établir des règles internationales dans divers domaines. Afin de soutenir le développement et de trouver des solutions aux problèmes mondiaux, l'ISO collabore avec des entreprises publiques et internationales.

La norme ISO dans le détail !

Une étude prudente effectuée au cours des dernières années sur les particules en suspension a permis de souligner que ces particules sont susceptibles de constituer un danger pour la santé des hommes en favorisant des maladies respiratoires et cardiovasculaires.

L'ISO 16890 est une réglementation de test en laboratoire et de classification de filtres complexe, elle donne une définition simplifiée de PM10, PM2,5 et PM1. Ici nous verrons que la partie visible de l'iceberg.

Il est possible de catégoriser ces particules selon leurs plages granulométriques de la manière suivante : PM10, PM2,5 et PM1x.

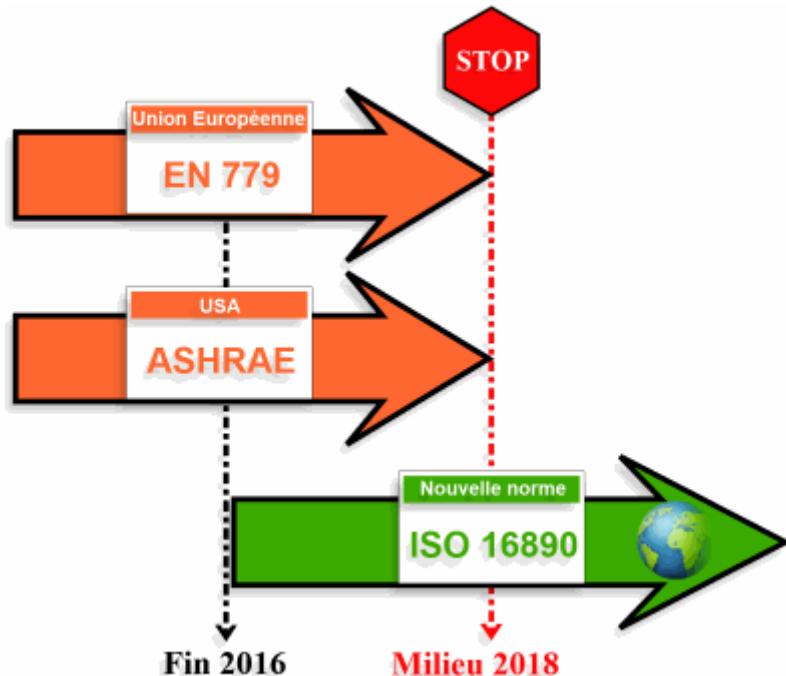
La norme ISO 16890 évalue donc les performances d'un filtre en fonction de sa capacité à éliminer certaines particules en suspension. Ainsi, les composants d'un filtre seront classés selon la procédure de la définition de l'ISO 16890-2, la capacité d'un filtre pour se débarrasser des particules en suspension sera évaluée en termes de taille de particules dont il est capable de retenir.

L'efficacité typique du filtre sera déterminée sur la base de la moyenne entre la performance initiale et l'efficacité conditionnée pour chaque série de dimensions de média. L'efficacité moyenne est utilisée pour déterminer les performances de ePMx en pondérant tout de même ces valeurs de manière standardisée et normalisée.

L'ISO 16890-3 quant à elle précise l'équipement utilisé pour les essais ainsi que les méthodes utilisées pour mesurer l'efficacité gravimétrique (capacité d'un filtre à éliminer une poussière) et la résistance à l'écoulement de l'air d'un filtre à air.

L'ISO 16890-4 déterminera les exigences concernant le dispositif d'essai (banc d'essai) ainsi que le mode opératoire utilisé.

Donc pour résumer cette nouvelle norme met fin aux diverses normes locales parfois très commerciales optant pour des méthodes d'essai contestables qui ne permettent pas de déterminer l'efficacité d'un filtre et qui fournissent des résultats qui sont différents de la réalité.



Pompe de relevage

Dans certains cas quand l'évacuation par gravité des climatiseurs n'est pas possible soit que la pente nécessaire pour évacuer l'eau de condensation n'est pas suffisante ou qu'aucun point de vidange n'est disponible on utilisera une pompe à condensat.

Ils en existent de plusieurs types, mais deux modèles sont les plus utilisés:

Un modèle en deux parties composées, d'un bloc de détection avec flotteur raccordé sur le bac de l'appareil intérieur et d'un bloc pompe auto amorçante à piston employée plus particulièrement sur les splits system et autre multisplit. Technologie utilisant un piston qui oscille à 50 cycles par seconde, les débits vont de 8 l/h à 15 l/h avec des hauteurs de refoulement de six mètres maximum.

Un autre modèle est de type monobloc centrifuge comprenant un réservoir, un flotteur, la pompe, constituant ainsi un ensemble complet.

Leurs capacités de rejet peuvent aller jusqu'à 500 l/h pour des hauteurs de refoulement de 20 mètres.

Toutes ces pompes évacuent l'eau par un tuyau de petit diamètre acceptant des longueurs assez importantes.

La plupart de ses pompes possèdent un contact de sécurité intégré libre de potentiel permettant d'arrêter le climatiseur en cas de débordement ou de dysfonctionnement de la pompe.

Ils existent aussi des pompes péristaltiques* idéales pour les eaux dites chargées qui fonctionnent par compression d'un galet tournant sur un tuyau de petit diamètre qui de ce fait rendent la pompe non passante, lors de l'arrêt de la pompe aucun retour de condensats n'est possible.

Les galets de la pompe font office de clapet antiretour.

La pompe peut être montée au-dessus du bac à condensat, car elle autoamorçante jusqu'à 3 mètres. Elle est capable de pomper 6,25 litres/heure avec une hauteur de refoulement de 12 mètres et peut fonctionner en continu ou par détection au moyen d'un capteur à flotteur ou par une sonde.

*On appelle péristaltisme des mouvements permettant la progression d'un fluide à l'intérieur d'un organe creux.

Certains fabricants distribuent des pompes sans entretien qui ne possèdent pas de filtre d'aspiration, car leurs moyens de détection de niveau d'eau ne sont plus mécaniques, c'est une cellule infrarouge qui détecte le niveau dans le capteur. D'autres proposent des pompes "intelligentes" à débits variables, avec auto diagnostic, sans tube d'évent, avec démarrage contrôlé pour réduire le niveau sonore.

Quelques conseils pratiques:

Sur les CTA ou les appareils avec une forte dépression dans le bac à condensat, un siphon en sortie avant la pompe à condensat est fortement recommandé, afin d'éviter que le flotteur reste continuellement en partie haute et que la pompe fonctionne en permanence.

Si pour une raison ou une autre vous êtes amené à déporter un capteur de pompe muni de flotteur à aimant, ne pas le posé sur une partie métallique. Le flotteur risque de rester en position basse et la pompe ne fonctionnera pas.

Toutes les pompes possèdent des filtres d'aspirations, qui faute d'être nettoyés régulièrement, gare aux fuites d'eau, c'est l'inconvénient de ce type de matériel.

Attention toutefois aux hauteurs de rejet des pompes, les pertes de charges comme les coudes peuvent réduire drastiquement les hauteurs théoriques .



Nettoyage du capteur d'une pompe de relevage

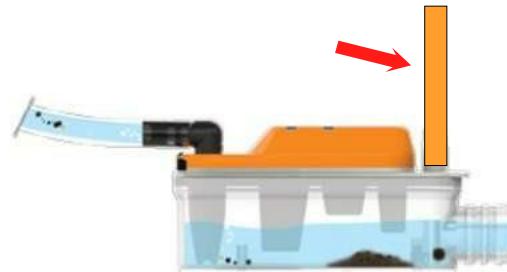


Le nettoyage des capteurs pour les pompes de type SI 30 et les réservoirs des pompes plus puissantes doivent être nettoyés avant la saison d'été.

En hiver l'eau s'évapore et laisse place à des dépôts qui une fois mélanger avec l'eau de condensation lors des premiers jours d'été cause des dysfonctionnements (flotteur bloqué, pompe qui n'aspire plus).



Le tube d'évent des pompes avec capteur doivent être mis en place. Sinon fuite assurée ! Ce tube a pour d'éviter une dépression dans le bac quand la pompe aspire l'eau.



Ventilateurs et turbines

Un ventilateur est composé d'un moteur électrique entraînant une turbine ou une hélice.

L'énergie cinétique fournie par le moteur électrique à la turbine ou à l'hélice permet le déplacement de l'air directement dans une pièce ou à travers une gaine.

Trois catégories de ventilateur existent :

- Les ventilateurs basse pression. ($1500 \text{ Pa} < p$)
- Les ventilateurs moyenne pression. ($p > 1500 \text{ Pa}$)
- Les ventilateurs haute pression. ($p > 10 \text{ kPa}$)

C'est l'élévation de la pression qui permet l'écoulement de l'air, et pour cela en climatisation et en froid on utilise soit des hélices, soit des turbines centrifuges à action ou à réaction ou encore tangentielle.

Ventilateurs hélicoïdaux

Les ventilateurs hélicoïdaux ou axiaux sont les plus communs, un moteur entraîne une hélice de deux à sept pales, ces ventilateurs ont un rendement (65 %) et une pression disponible assez faible (moins de 100 Pa). Ils sont généralement utilisés par les applications où les pertes de charges sont très faibles, comme sur les condenseurs et les évaporateurs de chambre froide, les aérothermes, les condenseurs de splitsystem et de multisplit ou encore d'extracteur monté directement sur un mur.

L'air est aspiré et soufflé axialement, les profils des pales sont très variés. Certains ventilateurs hélicoïdaux possèdent des pales mobiles et orientables, selon leurs positionnements on modifie le débit du ventilateur. Depuis quelques années de nouveaux profils issus de la recherche aéronautique ont permis des progrès importants, et certains de ces ventilateurs hélicoïdaux atteignent des performances et des pressions disponibles jusqu'alors impossible à atteindre.

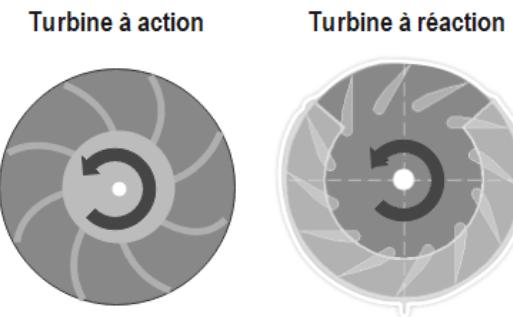
Ventilateurs à turbines centrifuges

L'air est aspiré parallèlement à l'axe de la turbine (axe du moteur) puis est rejeté perpendiculairement. En froid et climatisation deux types de turbines existent, les turbines à action* (rendement de 60 à 75%) leurs aubes sont positionnées vers l'avant et les turbines à réaction** (rendement 75 à 85%) qui ont leurs aubes recourbées vers l'arrière. Ces deux types de turbine existent en simple ouïe et double ouïe (deux ouïes accolées).

Les turbines à action sont utilisées en basse et moyenne pression, leur entraînement est réalisé soit par courroies, soit par entraînement direct, matériel très employé sur les Roof top, les centrales de traitement d'air (CTA), les extracteurs etc. Les turbines réaction quant à elles permettent des pressions plus importantes ce qui les rendent idéales sur les réseaux à fortes pertes de charges. Les turbines à réaction sont entraînées directement par un moteur qui est généralement piloté par un variateur de fréquence afin de réguler sa vitesse et son débit en fonction de l'installation.

*Pression statique/Pression totale $< 0,5$ = turbine à action

**Pression statique/Pression totale $> 0,5$ = turbine à réaction



Les ventilateurs à turbines tangentiels.

Ce sont typiquement les turbines installées dans les unités intérieures des appareils comme les splitsystems et les multisplits, leurs encombrements faibles permettent néanmoins un débit relativement important mais avec peu de pression disponible.

En fait c'est la longueur et le diamètre de la turbine qui détermine le débit nominal et utile de ce type de ventilateur. Le passage de l'air à travers de la turbine se fait à angle droit par rapport à son axe, en entrée et en sortie.

Bruit et HVAC

Les installations de climatisation, de chauffage et de ventilation, génèrent un certain nombre de résurgences sonores. Les causes de ces bruits sont diverses, écoulement de l'air dans les gaines, vibrations des équipements, turbulences diverses, vieillissement du matériel.

Faire appel à un acousticien est toujours une bonne idée afin de mieux cerner les problèmes et bien entendu trouver les solutions.

Cet article fait un peu le tour des moyens de lutte contre les bruits parasites observés dans les installations.

Le bruit c'est quoi ?

Contrairement à ce que l'on peut penser, le bruit ne regroupe pas tous les sons pouvant être entendues par l'oreille humaine, mais concerne également tous ceux qui ne sont pas ou moins perceptibles par notre ouïe. L'humain a, par exemple, du mal à percevoir les fréquences graves.

Afin de prendre en compte ces différences et la subtilité de l'oreille, on peut mesurer le bruit avec, ce qu'on appelle, un sonomètre (appareil capable de se transformer en oreille artificielle). Le décibel est une donnée physique qui permet de mesurer la puissance d'un bruit. Les bruits perçus par une personne sont dits "aériens" puisqu'ils arrivent à l'oreille par voie aérienne.

Les solutions aérauliques, les silencieux

Le silencieux ou piège à son est un dispositif acoustique pouvant être installé sur toute sortie ou arrivée d'air et permet d'étouffer et de diminuer le bruit.

Il existe plusieurs types de silencieux, on utilise principalement dans les climatisations et ventilations les silencieux par absorption des ondes sonores. Ils sont bien adaptés pour étouffer les bruits de moyennes à hautes fréquences ainsi que les bruits à large bande.

Parmi les exemples de silencieux par absorption, on trouve :

Les baffles acoustiques

Ces équipements alternent les passages d'air et les couches d'isolant acoustique. L'air circule ainsi entre les passages et les matériaux absorbants (principalement de la laine minérale de haute intensité) appelés les baffles. Plus les baffles seront épaisses et longues, plus les ondes sonores seront absorbées, et plus les pertes de charges seront importantes.

Les pièges à son cylindriques

Ici les matériaux absorbants font le tour du piège à son et sont recouverts et protégé par une tôle perforée. Ils sont aussi performants que les baffles, cependant, ils entraînent moins de pertes de charge. Ils sont régulièrement utilisés dans les circuits de ventilation, dans le but de gérer le bruit dans les gaines de refoulements et d'aspirations des ventilateurs.

Pour les ventilateurs de types axiaux, ces pièges à son présentent un risque d'une importante perte de charge.

Les silencieux cylindriques de types actifs

Ces derniers provoquent la réflexion des ondes sonores via des changements de géométrie. Cela permet d'annuler l'onde initiale et donc, le bruit. Ils sont efficaces pour réduire le bruit de toutes les fréquences, mais également pour atténuer les basses fréquences.

Ils possèdent au centre en général un atténuateur ou bulbe (absorbant acoustique).

Autres solutions anti-bruit

Les écrans phoniques

Un mur anti-bruit est tout simplement un obstacle installé "devant" la source d'émission du bruit, pour atténuer ce dernier. Il existe de nombreux types d'écrans anti-bruits mais on retrouve principalement des équipements en tôles galvanisées doublés avec de la laine minérale absorbante. À noter que, les murs en matériaux réfléchissants (verre), doivent être inclinés afin de ne pas renvoyer le bruit vers les habitations. Lors de leur installation, il faudra également prendre en compte sa position par rapport au vent et, lors du choix des matériaux, il faudra réfléchir aux effets des intempéries et des variations de températures.

Capotage et local technique

Le but est d'entourer la source du bruit et de ne laisser aucune ouverture. En général, plus le capot est lourd et dense, plus l'absorption est efficace (attention à la stabilité de l'installation). Plusieurs données très techniques devront être également prises en compte (la fréquence critique et d'amplification des basses fréquences). Ces données peuvent diminuer l'efficacité même du capotage. Celui-ci devra également être très étanche pour absorber le bruit et être protégé des perturbations extérieures.

Pour protéger l'extérieur du bruit, le local technique dont les murs sont recouverts de produit absorbant les ondes sonores reste l'alternative la plus efficace. Cependant, ils sont plus imposants et plus onéreux. L'installation est également plus complexe puisqu'il faut prendre en compte l'environnement extérieur ainsi que l'étanchéité du local (vous devrez également penser aux éléments similaires à la mise sous capot, comme l'impact du poids).

Légionellose et climatisation

L'histoire de la légionellose :

C'est en 1976 qu'a l'occasion du 58e congrès de "l'American légion" que 4500 participants furent atteints d'une maladie respiratoire très aiguë (d'où le nom "maladie du légionnaire"). Une trentaine de patients en moururent quelque temps après, plusieurs dizaines d'autres légionnaires furent atteints plus ou moins gravement. Une longue enquête permit d'identifier la bactérie responsable, nommée "Legionella bacille Gram négatif" comprenant 39 espèces.

La maladie :

La transmission à l'homme se fait par voie aérienne, (douche, vapeur). Après plusieurs jours d'incubation, un syndrome infectieux se déclare avec de la fièvre, des frissons, une toux, des douleurs thoraciques, des troubles digestifs, diarrhées, céphalées, tachycardie. Souvent l'aspect des symptômes de la légionellose ressemble à une pneumonie, car elle s'attaque au système respiratoire mais un examen approfondi permet de définir la maladie et de mettre en place le traitement. Ce traitement repose sur une famille d'antibiotique les macrolides, cette prise de médicaments est de l'ordre d'une vingtaine de jours. Comme souvent les facteurs qui peuvent favoriser la maladie dépendent de l'état général du patient citons...

- l'âge
- Diverses maladies chroniques
- Le tabac
- L'alcool
- bactéries légionellose

L'habitat :

Naturellement cette bactérie évolue dans de multiples milieux, rivières, lacs, mais les sources de contaminations sont les installations de distributions de l'eau chaude sanitaire, les systèmes de climatisation, les tours de refroidissement, les bassins de détente, la balnéothérapie, le thermalisme, les fontaines décoratives.

Mais il faut des conditions très particulières pour que cette bactérie devienne dangereuse pour l'homme.

- Température optimale pour la prolifération 25 à 40°C
- Présence d'oxygène.
- Éléments nutritifs, biofilm, calcaire.

La prévention :

Dans les sources de contamination souvent incriminées, il est à noter que c'est dans l'eau chaude sanitaire et la climatisation que les épidémies sont le plus fréquemment constatées.

Pour l'eau chaude sanitaire, le remède contre la "légionelle" est un choc thermique par à une exposition à plus de 70 degrés pendant quelques minutes ce qui détruit entièrement la bactérie.

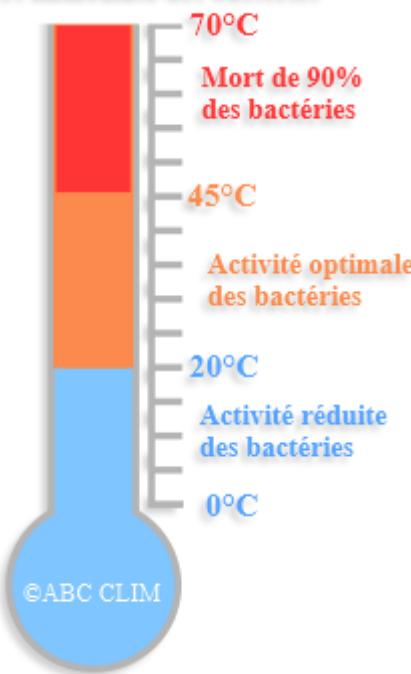
En ce qui concerne la climatisation, il n'y a que dans les installations de moyennes et de grandes puissances qui possèdent des bacs à condensat, des batteries, des filtres susceptibles compte tenu de leurs dimensions d'accueillir la bactérie. Les moyens ici de combattre la légionellose passent par un suivi des installations, changement régulier des filtres, propretés des bacs à condensats (dépôts), vérifications des pentes des écoulements (eau en stagnation), nettoyage des batteries de traitement d'air avec des produits chlorés et bactéricides.

Concernant les tours de refroidissement (ouvertes) en dehors d'un nettoyage régulier et sérieux, un traitement préventif doit être mis en place afin de maintenir une concentration acceptable de la bactérie, et dans les cas critiques un traitement curatif sur une courte période.

Différents traitements existent.

- Chlore ou eau de javel
- Choc thermique
- Traitement au dioxyde de chlore
- Bactéricides
- Biodispersants
- Etc

Mort immédiate des bactéries



Ce type de traitement nécessite l'intervention d'un spécialiste du traitement de l'eau qui sera en mesure de guider l'exploitant sur les diverses actions à menées.

Traitement de l'air et Covid

Avertissement :

« Etant donné l'évolution des connaissances actuelles sur le COVID, nous déclinons toute responsabilité pour tout dommage direct, indirect, ainsi que tout autre dommage qui résulterait de l'utilisation des informations présentées dans cet article. »

Le monde entier a été pris de court par la rapidité de propagation de l'épidémie de Covid-19. En effet, il s'agit d'un virus extrêmement transmissible puisqu'il circule d'une personne infectée à une autre simplement par voie aérienne, à travers les gouttelettes émises quand quelqu'un tousse ou éternue. De plus, des études (sous réserve) tendraient à prouver que certains systèmes de climatisation et de traitement d'air pourraient contribuer à répandre plus facilement le virus dans les espaces clos. Beaucoup de questions ce posent aux entreprises du secteur sans véritables réponses scientifiquement prouvées, ce fichu coronavirus va nous obliger à être inventif. D'autant qu'il va falloir répondre aux questions légitimes de nos clients et les rassurer. Voyons dans ce petit article quelques pistes, risques et solutions ?

Climatisation et Covid-19, une étude chinoise intrigante

Le 24 janvier dernier, un cas de contamination au coronavirus dans un restaurant de Canton, en Chine, a particulièrement intrigué les chercheurs. Suite au diagnostic d'une femme de 63 ans déclarée atteinte du Covid-19, on recherche tous les sujets contacts de la malade, notamment les clients qui avaient déjeuné en même temps qu'elle et sa famille dans la même salle de restaurant. 9 cas seront constatés parmi eux.

L'enquête épidémiologique cherche à déterminer le processus de transmission du virus dans la salle du restaurant. Or, les chercheurs constatent que la propagation du virus ne peut s'expliquer uniquement par la projection de gouttelettes, ces sécrétions respiratoires émises par une personne infectée. Selon eux, le mode de transmission le plus probable dans ce cas d'étude est la climatisation : les gouttelettes sécrétées par la malade ont circulées propulsées par le souffle de la climatisation. Précisons, cela a son importance que les personnes contaminées se trouvaient directement dans la vaine d'air, d'autres clients présent mais éloignés du flux d'air n'étant pas contaminés.

Donc sans être vraiment sûr, qu'un système de climatisation ou de ventilation soit vecteur de propagation du virus du SARS-CoV-2, il est nécessaire de prendre quelques précautions préventives.

Une filtration spécifique

Notons qu'en l'état des connaissances actuelles du virus, aucun professionnel ne peut s'engager sur l'efficacité d'un filtre spécifiquement sur le COVID -19.

Rappelons qu'un système de ventilation en dépression de type VMC simple flux ne présente aucun risque. En effet, ce mode d'aération se contente d'extraire l'air d'une pièce. Il n'y a donc aucun danger qu'il recycle un air contaminé dans le local.

Par contre, un système de ventilation avec reprise de l'air directement dans une pièce ou par mélange air neuf/air repris comme les CTA, Roof top, CTA double flux, il existe un risque mineur mais un risque tout de même. Notamment en fonction de l'endroit où est repris l'air ambiant. Certains virus, et celui du SARS-CoV-2 en ferait partie, sont capables de se répandre dans l'air en « s'accrochant » aux particules fines que celui-ci transporte. On peut aussi raisonnablement penser que pour les installations avec des réseaux de gaines complexes, la propagation du virus vers les bouches de soufflages soit difficile voire impossibles.

Mais quand c'est possible on doit filtrer l'air de telle manière à ce que les particules de moins de 2 microns soient capturées, interdisant le passage du virus (effet de tamis). Attention toutefois à l'étanchéité entre filtres, entre filtres et l'enveloppe, les fuites parasites sont à proscrire.

Les filtres à air des systèmes de climatisation sont classés en quatre catégories selon la norme ISO 16890 . Ce classement détermine leur capacité à filtrer les particules plus ou moins fines présentes dans l'atmosphère. Pour éviter autant que faire se peut le risque de diffusion d'un virus par la climatisation, il faut choisir des filtres de type haute ou très haute efficacité comme les filtres ePM1,EPA (Efficient Particles Air Filter) ou encore HEPA (Highly Efficient Particles Air Filter).

Bien évidemment il faudra que les personnels qui procéderont aux changements de ces filtres soient protégés, masque, gants, combinaison jetable.

Un renouvellement d'air plus sûre

Les systèmes de ventilation avec caisson de mélange (air neuf/air repris) peuvent poser problème. Conçus pour réutiliser une partie de l'air extrait d'un local pour le mélanger avec de l'air neuf et l'insuffler à nouveau dans la pièce, ils ont l'avantage d'assainir l'air (air neuf) mais peuvent aussi réinfecter cette pièce par le virus qui s'y trouverait présent. Pendant l'épidémie, il est donc plus prudent d'éviter de faire recirculer l'air de la pièce pour fonctionner avec un pourcentage d'air neuf plus important voir tout air neuf. Cela posera des soucis au niveau du rendement, en chauffage comme en climatisation, mais cela reste une solution quand même.

Par exemple dans les centrales de traitement d'air, mieux vaut arrêter les échangeurs à roue ou les systèmes en by-pass.

Quand la ventilation se fait par une unité intérieure de climatisation (split, multi), l'air circule forcément en circuit fermé. Alors, il est recommandé de réduire le débit d'air : plus il est fort, plus il peut transporter, sur une plus grande distance, les gouttelettes aérosols sécrétées par une personne infectée. Ici pas de solutions miracles.

Une nouvelle arme: la lampe UVC germicide ?

L'utilisation de lampe à rayonnement UV-C, comme dans les installations de salle d'opération ou laboratoire, serait une solution pour limiter la transmission du Covid-19. En effet, on sait que ce virus est très sensible à la lumière UVC, capable de détruire certains organismes vivants comme bactéries, virus et champignons. Cette lampe germicide recréée artificiellement de la lumière ultraviolette qui neutralise le virus exposé à son rayonnement, en fonction de la distance et du temps d'exposition.

Il existe une lampe UVC de type « bâton » que l'on peut placer à l'intérieur d'un système de climatisation et de ventilation. Correctement installée, elle aura la capacité de décontaminer l'air expulsé dans la pièce. Cette solution sera parfois difficile voire impossible à mettre en œuvre.

A ce stade aucune étude ne permet d'être certain que cela fonctionne spécifiquement pour le SARS-CoV-2.

Pour conclure

Dans l'hypothèse de risques accrus d'une contamination au Covid-19, qui serait causée par la climatisation et le traitement de l'air, nous avons vu que certaines solutions existent, pas parfaites je le concède.

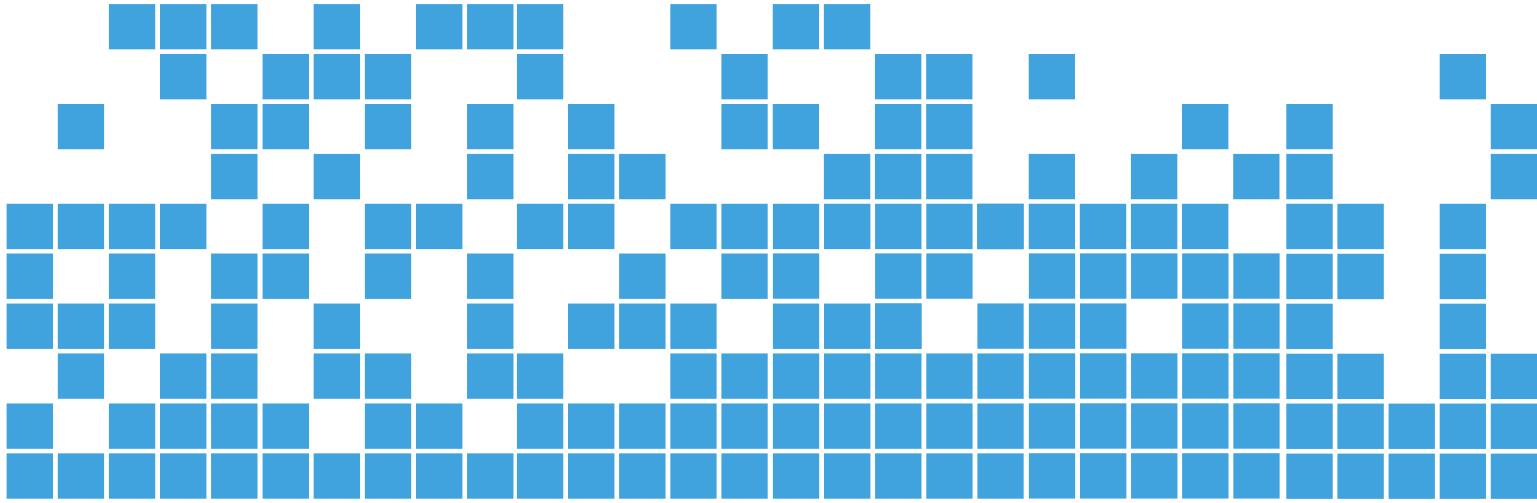
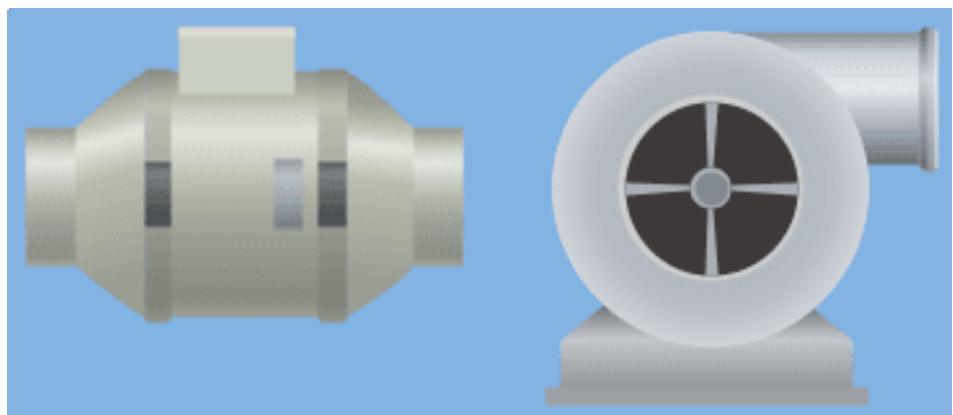
Le coût de ces aménagements sera aussi un sujet compliqué d'où l'intérêt d'avoir des arguments face aux questions des clients.

Rappelons l'importance de continuer à utiliser les systèmes de renouvellement d'air, introduction d'air extérieur, VMC simple flux pendant l'épidémie. De la même manière que l'on aère nos logements, cela évite surtout au virus de stagner dans un lieu confiné et contribue à le chasser vers l'extérieur.

Une notice éditée par Uniclima, l'Afpac et le SNEFCCA précise les bonnes pratiques :

<http://genieclimatique.fr/Actualites/Reglementation/Fiche/7724930/Existe-t-il-des-filtres-efficaces-contre-le-COVID-19-%253F-Les-reponses-aux-questions-que-vous-vous-posez#.XsTmU2gzZEa>
ou
https://cdn.snefcca.com/uploads/attachment/FAQ_Covid19_Climatisation__SNEFCCA_Uniclima_AFPAC_2020.pdf

Ventilation, désemfumage



Pourquoi ventiler une habitation ?

Les contraintes du milieu urbain, pollution, tabac, pollens et la recherche d'une étanchéité croissante des bâtiments pour réduire la consommation énergétique ont conduit souvent à une mauvaise ventilation développant des allergies et des risques d'asthme (le nombre des patients asthmatiques a doublé en 15 ans), les systèmes ventilation(ventilation mécanique contrôlée=vmc) doit être présents pour garantir une bonne qualité de l'air dans les bâtiments et bien sûr il doivent être bien entretenus.

Autrefois, la ventilation des maisons se faisait naturellement par des infiltrations d'air non contrôlées dues le plus souvent au manque d'étanchéité des portes, des fenêtres et des châssis, mais de nos jours, pour des raisons d'économie d'énergie les constructions sont devenues plus hermétiques. En effet, si l'air intérieur ne peut sortir, l'air extérieur ne pourra entrer. Ainsi, l'air intérieur se charge naturellement tout au long de la journée de composés organiques et de micro-organismes, moisissures, bactéries, amibes, produits nocifs, fibres en tout genre, notons aussi qu'en respirant, nous rejetons de l'eau sous forme de vapeurs imperceptibles à l'œil nu, en respirant une famille de quatre personnes produit près de 4 litres d'eau.

Contrairement aux idées reçues l'air extérieur est moins pollué que l'air à l'intérieur de nos constructions. Entre inconfort et risques sanitaires, les questions de ventilation et d'isolation sont à prendre sérieusement en considération.

Le temps passé à l'intérieur des locaux climatisés et étanches, en particulier les bureaux s'est accru ces dernières années et les occupants sont en droit d'attendre une qualité de l'air au moins égale à celle de l'air extérieur. Alors pour éviter tous ces désagréments, la solution de la ventilation mécanique contrôlée appelle communément VMC, se présente comme obligatoire.

Mais le problème est également que la plupart des systèmes de ventilation sont propices à la diffusion de maladies respiratoires. Il a été mis en évidence ces dernières années un certain nombre de pathologies (infectieuses ou allergiques) liées à ces bâtiments et une diversité de symptômes regroupés sous le terme de "syndrome des bâtiments malsains", donc les VMC nécessitent tout de même un contrôle et un entretien régulier. La conception, l'installation et la mise en œuvre doivent être conformes à la réglementation et aux DTU.

Par ailleurs, pour assurer un air ambiant qualitatif et permanent au sein de vos locaux et vos maisons, il est recommandé de ventiler ponctuellement dans la journée (en ouvrant en grand les fenêtres). L'aération régulière des intérieurs empêche les bactéries stagnantes de se développer dans l'air ambiant, et ainsi assaini et ralentit la dégradation de la qualité de l'air. À la fois problème, quand elle est mal exploitée, et solution, la ventilation est nécessaire à la santé .

La ventilation, tout comme le chauffage et la climatisation, qui utilisés à bon escient, permettent d'économiser de l'énergie, d'avoir un environnement confortable et de conserver une qualité d'air propice au bien-être de tous

Quelle VMC choisir ?

Lorsqu'il s'agit de construire un habitat ou des locaux professionnels, d'équiper ou de changer son système de ventilation, il est nécessaire d'en choisir un qui soit en adéquation avec votre type d'habitat, et également, qu'il soit dans les directives actuelles de normes sanitaires obligatoires. A l'origine, il existait ce que l'on appelle la « ventilation naturelle », un système qui consistait à réaliser une circulation passive de l'air, plus précisément, de façon aléatoire. Par la suite, survinrent les ventilations mécaniques ou VMC, qui disposent quant à elles, de systèmes motorisés autonomes d'évacuation et de récupération d'air. Adaptés en fonction de l'habitat ou des locaux en question ainsi qu'aux besoins et moyens de chacun, il existe différents types de système ventilation.

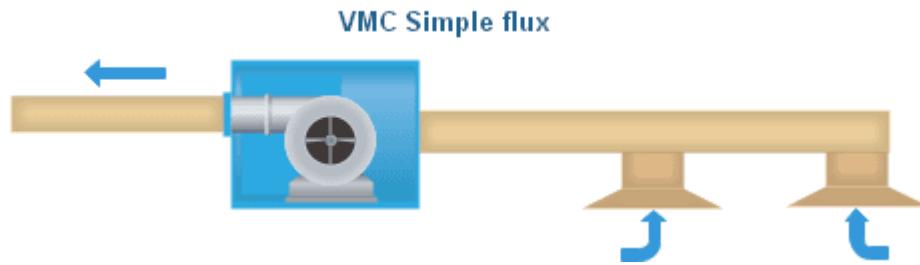
VMC Simple Flux

Depuis 1982, c'est un système couramment répandu dans la plupart des habitations de type classique et aux environnements peu pollués, ce système de ventilation se charge de réaliser des entrées d'air dans les pièces principales et également disposent de bouches d'extraction dans les pièces à tendances humides. Etant peu onéreux et diminuant les pertes d'énergies, ce système est disponible en deux modèles différents.

Le premier se nomme « VMC Simple Flux auto-réglable ». Constant et facile à l'utilisation, ce système est adapté aux travaux de rénovation, mais possède le désavantage de ne pas filtrer l'air qu'il fait entrer et d'effectuer de forte dépense énergétique.

Le second quant à lui s'appelle « VMC Simple Flux hygroréglable » est se voit être un système tout à fait indépendant. En effet, il se régle de façon autonome en fonction de la quantité d'humidité présente à l'intérieur, ce

qui amène à une ventilation à la fois indépendante et économique. Facile à employer et installer, ce système est capable de réguler le débit d'air entrant mais en revanche, n'est pas en mesure de le filtrer.

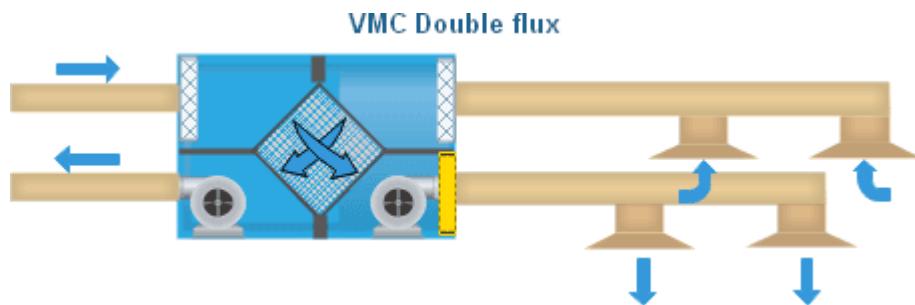


VMC Double flux

La « VMC Double Flux » est composée de deux réseaux distincts, ce système de ventilation est capable de limiter les pertes en chauffage et d'optimiser le confort thermique général. Son action permet de récupérer l'air chaud intérieur pour réchauffer celui qui vient de l'extérieur. L'air « neuf » est ensuite diffusé par le biais d'un autre réseau de gaines, différent de celui de la récupération. A l'inverse de la « VMC Simple Flux », la « VMC Double Flux » filtre l'air entrant et possède un débit d'insufflation permanent et autonome.

Elle est idéale pour réaliser des économies d'énergies grâce à la présence de moteurs à basses consommations. L'inconvénient réside dans le coût d'achat, la complexité de son installation et l'obligation d'entretien régulier de ses filtres.

Par temps très froid une batterie électrique permet de chauffer l'air entrant pour obtenir une température neutre de soufflage généralement 20°C .



Guide ventilation, extraction des bâtiments !

Nous passons une grande partie de notre temps dans des espaces clos et ceux – ci sont de plus en plus étanches. L'utilité d'une extraction mécanique dans les bâtiments modernes est une nécessité dû à la présence et à l'activité humaine ou animale, aux équipements divers, à l'humidité (moisissures), aux odeurs (tabac, produit ménager) désagréables qui engendrent un inconfort et un développement microbien responsable d'allergies, qu'une ventilation naturelle ne peut combattre efficacement.

Pour traiter correctement un local, il est important d'avoir un renouvellement d'air qui compense le volume d'air extrait, ce volume doit être calculé en adéquation avec le type même du local. Il est bien évident que l'on n'extraira pas la même quantité d'air pour des locaux de surface et de nature différentes.

Exprimé en nombre de renouvellement d'air par heure (nr/h) à titre indicatif :



1. WC de 8 à 12
2. capteur de hotte *
3. cuisine de 6 à 10
4. salle de bain 10 à 15
5. bureau de 6 à 10
6. salle de réunion de 4 à 8
7. atelier très variable de 10 à 30
8. garage de 5 à 8

$$* \text{ Débit} = 3600 \times S \times V$$

S = largeur de la hotte x hauteur entre le plan de cuisson et la hotte

V = vitesse de captation 0,15 à 0,20

Ci – dessous une formule simple de calcul de débit pour une extraction d'air :

$$\text{Débit (m}^3/\text{h}) = \text{volume} \times \text{nr/h}$$

Débit = Volume du local (long x larg x haut) x Nombre de Renouvellement par Heure

Quels sont les types de bâtiments concernés par l'installation d'une ventilation ?

En réalité, tous les bâtiments sont concernés par la problématique de ventilation. Qu'il s'agisse d'un logement privé, d'un établissement scolaire, de bureaux, de locaux industriels ou sportifs, tous doivent avoir recours à un système de ventilation afin de renouveler l'air vicié.

Cependant, s'ils doivent tous être équipés, chaque type de bâtiment doit adapter son système de ventilation aux contraintes de son utilisation. En effet, un bâtiment industriel n'aura pas les mêmes besoins et le même volume d'air à traiter qu'un logement privé.

Ainsi, tous les bâtiments accueillant des personnes ou dont l'activité est susceptible de polluer l'air doivent être équipés d'un système de ventilation efficace et conforme à la réglementation.

La ventilation des bâtiments d'habitation

Pour le logement, le but est le maintien d'un niveau de CO₂, de polluants et de gaz toxiques acceptable pour la santé des occupants. Il est donc de rigueur de considérer que dans des conditions normales d'occupation le débit de renouvellement de l'air doit être compris entre 15 et 25 m³ par heure et par occupant.

Selon la réglementation en vigueur, les logements neufs doivent posséder des entrées d'air dans les pièces principales et doivent être propices à une bonne circulation de l'air.

Le système d'évacuation de l'air doit s'y effectuer par balayage des pièces principales vers les dégagements et des dégagements vers les pièces de services où seront installées les sorties d'air.

Concernant les logements déjà existants et anciens, il faudra prévoir des aérations par ouverture de fenêtres dans les pièces principales ainsi qu'une ventilation haute dans les pièces de service ne bénéficiant pas d'une ouverture vers l'extérieur. Il est également envisageable de revoir tout le système de ventilation et de l'adapter à l'image d'un logement neuf.

La ventilation des bâtiments non destinés à l'habitation.

Pour des locaux hors habitation les systèmes de ventilation sont de types mécaniques.

Quo qu'il en soit, l'appréciation de la ventilation adaptée se fera en tenant compte de la présence humaine seule ou de la présence d'humains et de polluants. Il faudra alors dans ce dernier cas déterminer la nature et la quantité des polluants pour adapter la ventilation de manière optimale.

Les différents modèles de VMC

On distingue différentes solutions de ventilation :

Les VMC autoréglages qui sont les VMC classiques composées de plusieurs entrées et de plusieurs bouches d'extraction. Cette solution de ventilation est facile à mettre en œuvre et permet un réglage manuel des débits d'air entrants.

Les VMC hygroréglables qui elles se caractérisent par la régulation de l'extraction en fonction du taux humidité de l'air à extraire. Ainsi, le débit d'extraction et d'insufflation sera plus élevé lorsque vous prenez une douche par exemple et il réduira à mesure que l'air deviendra plus sec. Il s'agit là du type de VMC faisant actuellement référence.

Il existe deux types de VMC hygroréglables l'une étant hygroréglable pour l'entrée et la sortie de l'air et l'autre uniquement pour la sortie.

Les VMC Gaz qui consistent à évacuer l'air vicié par les mêmes conduits que les produits de combustion d'une chaudière ou d'un chauffe-eau à gaz.

Les VMC double flux qui au lieu de récupérer l'air apporté par les fenêtres et autres ouvertures ne le reçoit pas un conduit général pour ensuite le répartir dans les pièces principales. L'air vicié est quant à lui récupéré dans un autre conduit qui passe par un échangeur de chaleur pour réchauffer l'air entrant (air extérieur) sans possibilité de mélange.

L'enjeu d'une bonne ventilation sur la santé

Parmi les pollutions présentes dans les locaux, on en distingue de deux sortes :

La pollution visible qui se compose :

- Des émanations provenant des préparations en cuisine avec la réalisation des repas et l'utilisation d'appareils utilisant le gaz et rejetant du CO₂
- Des fumées de tabac
- De la respiration et de la sudation humaine
- Des pièces d'eau avec la douche, le bain mais également le séchage du linge qui engendre une grande concentration de vapeur d'eau.
-

La pollution invisible qui elle est due :

- Aux acariens, pollens, poussières et autres sensibilisants
- Aux produits d'entretien
- Aux émanations chimiques issues des bois de constructions de nos meubles.

En conséquence, une réglementation a été établie visant à offrir une qualité d'air optimum à chacun en proposant un barème permettant de juger du taux de concentration en CO₂ causé par les habitants, les animaux et les appareils utilisant du gaz domestique.

L'enjeu d'une bonne ventilation est primordial pour la santé publique. En effet, l'Observatoire Permanent de la Qualité de l'Air Intérieur a pu constater que :

- Moins de 16 % des logements ont un taux de CO₂ acceptable
 - Les acariens sont présents dans 93 % de ceux-ci
 - La concentration de formaldéhyde est 5 à 50 fois plus élevée en intérieur que dans l'air extérieur
- Ces conditions ont des conséquences néfastes sur la santé des personnes comme l'apparition de rhumes et rhinites permanentes, de gênes oculaires et olfactives, d'irruptions des voies respiratoires et des muqueuses, de généralisation des allergies ou encore de cancers du nasopharynx.

Directives Ecodesign c'est quoi ?

Les directives Ecodesign réglementent l'efficacité énergétique et environnementale des appareils de

- L'étiquetage énergétique : apporter des informations sur les performances énergétiques des produits avec l'obligation d'affichage d'indications de consommation énergétique.
- L'écoconception : mesures obligatoires à mettre en place afin de réduire l'impact des produits qui consomment de l'énergie sur l'environnement. L'ensemble du cycle de vie est concerné. La directive explicite les règles d'écoconception de chaque famille d'appareils.

Types d'extracteurs suivant application :

Concernant les moteurs des extracteurs et ventilateurs basse consommation, trois types de motorisations sont conformes à la réglementation :

1. Moteurs EC (commutation électronique)
2. Moteurs + variateurs
3. Moteurs multi-vitesses (3 vitesses minimum)

Conseils.....

Il est évident que les débits seront à optimiser, car suivant l'endroit d'installation du moteur d'extraction et de la longueur des conduits, les pertes de charge influenceront le calcul du débit nominal.

Attention à l'emplacement des extracteurs et de leurs puissances qui peuvent être nuisibles au niveau sonore.

L'éco-conception des équipements de ventilation !

L'énergie sera l'enjeu majeur des décennies à venir, surtout lorsque l'on sait que d'ici 2030 les besoins énergétiques augmenteront de 40 %.

Donc éco-concevoir nos équipements de chauffage et de ventilation, sera de nature à permettre une amélioration de l'efficacité énergétique de nos installations.

Il faut savoir par exemple que la consommation énergétique des ventilateurs (VMC, climatisation) tout types confondus représente en Europe 410 TWh (TéraWatt heure) par an. Ce qui représente un fort potentiel d'économies en perspective. D'ailleurs la directive relative à l'écoconception des moteurs et des ventilateurs vise une réduction de la consommation énergétique de 34 TWh par an.

Cet objectif sera possible grâce à la généralisation des moteurs basse consommation, des systèmes de ventilations Double Flux et de l'utilisation d'échangeurs performants, à plaques à contre courant ou rotatifs.

Quant à la directive étiquetage énergétique, elle est dédiée au marché résidentiel et permet de guider le consommateur dans le choix de son équipement, grâce à l'affichage des classes énergétique.

VMC Double Flux, comment ça marche ?

La VMC Double Flux est un système qui permet d'extraire l'air pollué d'une maison tout en le renouvelant par de l'air neuf extérieur. L'air venant de l'extérieur étant préchauffé par la chaleur de l'air extrait du bâtiment en croisant les flux d'air. L'air entrant (air neuf) est d'abord filtré, il peut-être aussi préchauffé par résistances électriques en cas de température extérieure très froide et traverse un échangeur de chaleur avant d'être pulsé à l'intérieur de l'habitation. L'utilisation d'une régulation électronique et d'une sonde CO₂ peut améliorer l'efficacité en régulant la vitesse de ventilation en fonction du taux de CO₂ (émanations toxiques) dans l'air.

VMC double flux

Une ventilation mécanique simple flux (VMC) est efficace pour ventiler une maison, mais cet air chaud (en hiver) que l'on rejette à l'extérieur est remplacé par un air extérieur froid (à travers les diverses ouvertures) qui devra être chauffé à son tour ce qui représente une perte énergétique alors qu'une VMC double flux tant à réduire ce genre de problème.

Ce qu'il faut savoir :

L'activité humaine et animale génère de l'humidité (1l d'eau par personne et par jour), les douches, les bains, le séchage du linge, la cuisson des aliments etc..

Cette humidité ce répand dans le logement sous forme de vapeur toute cette humidité favorise le développement des moisissures qui peuvent avoir un impact négatif sur la santé, l'air intérieur étant aussi pollué par les produits d'entretien, microbes, acariens, etc. Le taux idéal d'humidité pour assurer un confort correct est de 40 à 60% et ventiler permet d'éliminer les divers polluants et l'humidité, il est donc nécessaire de renouveler régulièrement l'air des pièces d'une habitation.

La VMC double flux grâce à son taux de brassage permet d'homogénéisé la température d'une habitation et d'éviter la stratification (l'air chaud monte et l'air froid stagne au niveau du sol).

L'efficacité énergétique d'une VMC double flux repose tout d'abord sur bonne réalisation, le réseau d'air doit être étanche, les longueurs et les diamètres des conduits de distribution d'air doivent être adaptés, les réseaux seront isolés pour limiter les déperditions notamment si ceux-ci traversent des zones non chauffées.

La VMC double flux quand cela est possible, doit être installée dans une pièce tempérée, car la vmc double flux perdra en efficacité si elle est installée par exemple à l'extérieur.

VMC double flux, économique ? oui mais !!

Économique, la VMC double flux est une réponse pertinente aux débits d'air minimum conseillé par la nouvelle réglementation thermique (RT 2012), plutôt destinée aux bâtiments basses consommations, car son efficacité énergétique nécessite un bâti très étanche, donc en rénovation il faudra faire attention aux entrées parasites d'air qui réduiront de façon très importante le rendement du système, il faudra obturer toutes les amenées d'air et les bouches d'extraction existantes, et bien entendu contrôler l'étanchéité des menuiseries et des gaines électriques.

Notons que ces entrées d'air parasites peuvent représentées des déperditions importantes jusqu'à 20% ce qui rend dans ce cas, ce type de vmc inutile au point de vue énergétique.

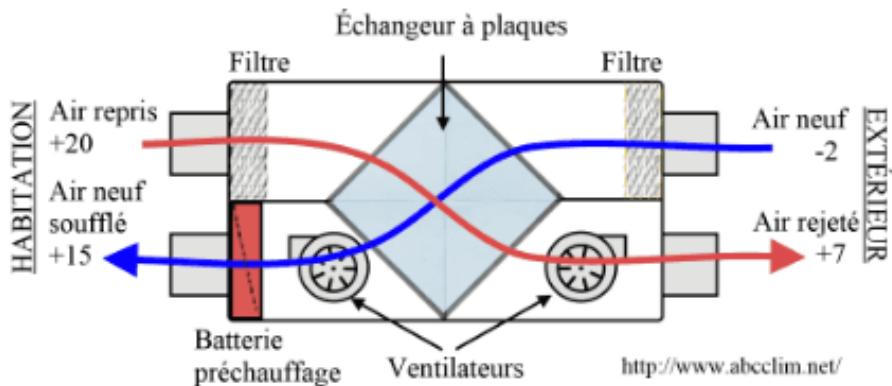
VMC double flux thermodynamique:

Ici l'on combine une VMC double flux et une pompe à chaleur , au lieu de capter les calories directement dans l'air extérieur, une pompe chaleur va capter l'énergie contenue dans l'air extrait et restituera cette énergie à l'air neuf .Ce qui permet d'avoir des coefficients de performance intéressants et des performances stables. La VMC double flux thermodynamique offre l'avantage de pouvoir, ventiler, chauffer ou climatiser une habitation (PAC réversible),mais ce système est réservé aux constructions passives ou basse consommation.

Les différents échangeurs:

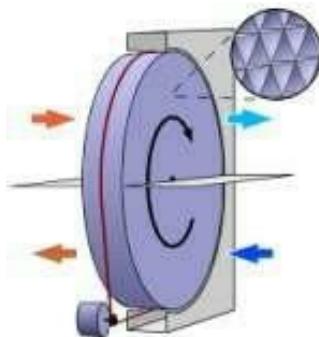
Echangeur à plaque : (efficacité moyenne)

Dispositif répandu plutôt pour le résidentiel constitué de plaques soudées entre elles en aluminium ou en matériaux composites constituant un réseau en forme de nid d'abeille ou les flux d'air entrants et sortants se croisent.



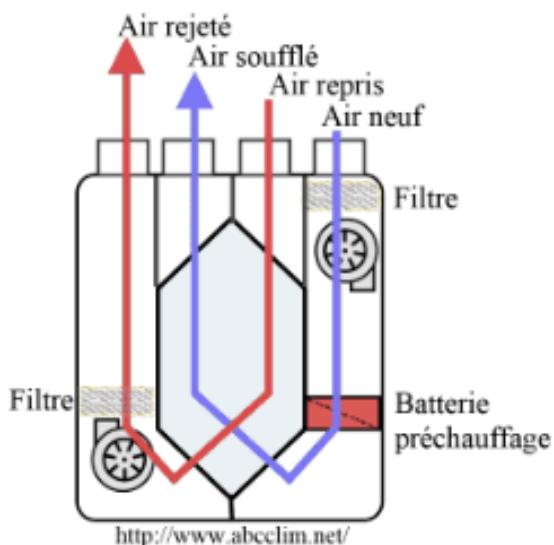
Echangeur à roue : (haute efficacité)

C'est un accumulateur (industriel) de type cylindrique constitué de plaques formant de petits canaux. Cette roue tourne par cycle, en rotation très lente pour permettre une accumulation de l'énergie de façon optimale, les veines d'air entrantes et sortantes traversent cette roue à contre-courant.



Echangeur à contre courant : (très haute efficacité)

Sur ce type d'échangeur la surface d'échange est plus importante, les flux d'air sont croisés à contre-courant.



Aéraulique et conception des gaines

Les réseaux de distribution d'air en chauffage, en climatisation sont réalisés en tôle galvanisée le plus souvent, en PVC, en maçonnerie, en panneau de laine de verre rigide recouvert d'une feuille d'aluminium. Les conduits en tôle galvanisée peuvent être isolée thermiquement à l'intérieur comme à l'extérieur. Les gaines rectangulaires sont obtenues par pliage, les rondes par sertissage et sont assemblées sur le chantier par rivetage ou par vis autoforeuses.

Les gaines en panneau de laine de verre sont fabriquées aussi par pliage avec des outils (couteaux) appropriés puis assemblées par agrafage et collées avec des bandes aluminium autocollantes.

Tous ces conduits sont constitués de longueurs droites, de coudes, de piquages, de réductions, de changement de direction. Pour raccorder les diffuseurs d'air, les gaines peuvent être flexibles isolés ou directement avec une gaine rigide.

Pertes de charges

Pour que le déplacement de l'air s'effectue dans de bonnes conditions, il faut réduire les pertes de charge c'est-à-dire les pertes de pression dues à la résistance que rencontre l'air en mouvement.

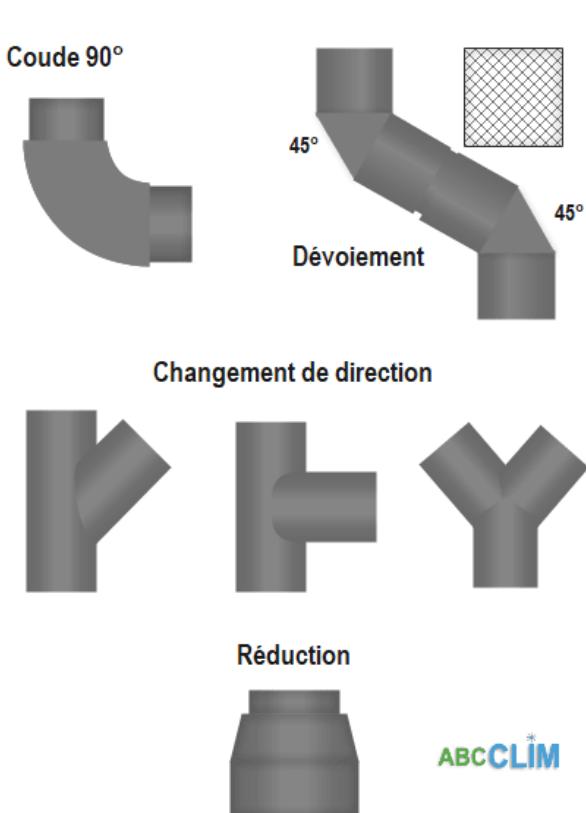
Ces pertes de charges sont de deux types :

1. le frottement sur les parois des longueurs droites
2. les pertes de charge singulières

Pertes par frottement sur parois des longueurs droites

Celles-ci sont dues aux frottements le long des paroies de la gaine, ces pertes de charges sont proportionnelles à la longueurs des conduits. Ces pertes de charges étant proportionnelles au carré de la vitesse d'écoulement de l'air on comprend bien la nécessité de bien calculer les réseaux aérauliques. On se sert généralement pour les calculs d'abaque qui donne les pertes de charges à par unité de longueur et par diamètre.

Ces pertes de charge ne sont pas négligeables et doivent être calculées pour déterminer la section de la gaine pour un débit et une vitesse donnée et aussi afin d'éviter les surprises, bruit, débit nominal non respecté..etc.



Pertes de charges singulières

Ce sont typiquement les pertes de charges qui sont dues aux diverses singularités sur le parcours, coude, changement de direction, réduction, échangeur, batterie, filtre, volet réglage, etc.

Conception des éléments des conduits d'air

La conception du réseau doit être calculée et réalisée de façon à permettre un compromis entre la vitesse, le débit requis, l'équilibrage du réseau, le dimensionnement des éléments du réseau et le niveau sonore.

En règles générales il faut favoriser un écoulement de l'air avec un minimum de turbulences. Pour réduire les pertes de charge dans les endroits posant problème coude non accompagné, té à 90° on peut mettre en place des aubes directrices ou déflecteurs qui guideront l'air et amoindriront les effets néfastes du frottement des particules d'air.

Quelques règles à respectées afin d'avoir un réseau le plus aéraulique possible... les coudes doivent être accompagnés c'est-à-dire respectant une courbure évitant les perturbations, les réductions sont de formes coniques surtout pas d'angles vifs, les changements de direction (té) seront faits par piquage à 45°.

Pour permettre un équilibrage plus facile il est judicieux de mettre en place des registres ou volets qui permettront d'ajuster les débits désirés.

Le désenfumage principe et réglementation

Quand un incendie survient dans un bâtiment, la fumée dégagée commencera par se cantonner en partie haute puis assez rapidement elle redescendra jusqu'au sol et occupera finalement tout le volume.

La principale cause de mortalité dans les incendies c'est l'asphyxie et l'intoxication contrairement à ce que l'on pourrait penser.

La chaleur et la fumée empêchent les occupants de se diriger vers les issues de secours en toute sécurité, certaines personnes peuvent être désorientées ou prises de panique et l'intervention des pompiers sera d'autant plus difficile.

La mission du désenfumage (mécanique ou naturel) est d'extraire les fumées et la chaleur dès le début du sinistre afin de permettre l'évacuation des occupants et que le feu ne s'étende pas d'avantage.

Le désenfumage remplit les fonctions suivantes :

- Garantir une visibilité suffisante afin de faciliter l'évacuation des occupants
- Maintenir une teneur en oxygène minimum
- Diminuer au maximum la teneur en gaz毒ique
- Évacuer la chaleur
- Faciliter l'accès au secours
- Limiter la propagation de l'incendie.

Réglementation dans les ERP

En France la réglementation dans les ERP est définie par l'arrêté du 25 juin 1980 modifié par notamment l'arrêté du 22 mars 2004 (Règlement de Sécurité dans les ERP, Code du Travail, Code de la Construction).

Les dispositions légales sont indiquées dans « Le règlement de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les ERP » à savoir :

Articles DF 1 à 10 qui sont les dispositions générales applicables au désenfumage des ERP , concernent le désenfumage des escaliers, des circulations horizontales, et des locaux..

Instruction technique n° 246 : qui fixe les règles de conception pour tous les établissements quelques soient leur classement.

En outre les ERP sont classés en type suivant la nature de leur exploitation et en catégories suivant leur effectif.

Quelques exemples de type d'établissement:

- M : magasins de vente, centres commerciaux
- N : restaurants et débits de boisson
- O : hôtels et pensions de famille
- P : salles de danse et salles de jeux
- R : établissements d'enseignement, colonies de vacances

Les catégories:

- 1ère catégorie : au dessus de 1500 personnes
- 2e catégorie : de 701 à 1500 personnes
- 3e catégorie : de 301 à 700 personnes
- 4e catégorie : de 300 personnes
- 5e catégorie : effectif variable suivant le type d'établissement

Désenfumage des ERP , quelques règles de base:

Désenfumage naturel ou mécanique des locaux, obligatoire dans les cas suivants :

- locaux de plus de 100 m² en sous-sol
- locaux de plus de 300 m²
- locaux de plus de 100 m² sans ouvertures sur l'extérieur (ouvrants)
- volume unique sur trois niveaux avec superficie totale des planchers > 300 m²

Désenfumage naturel ou mécanique des circulations obligatoire dans les cas suivants:

- circulation de longueur totale > 30 m.
- circulation desservie par des escaliers mis en surpression.
- circulation desservant des locaux réservés au sommeil.
- circulation située en sous-sol.

Cantonnement:

Volume compris entre le plafond et le plancher, d'un seul volume ou délimité par des écrans de cantonnement.

Ecran de cantonnement :

Séparation verticale empêchant la libre circulation latérale des fumées

Retombée égale à 25% si hauteur sous plafond ≤ 8 m. et 2 m si hauteur sous plafond > 8 m

Vérification des installations de désenfumage :

La périodicité de cette vérification est annuelle, elle concerne le contrôle des commandes de désenfumage, des volets, des clapets et des exutoires. De plus les débits, les pressions, et le fonctionnement du moteur de désenfumage devront être contrôlés ainsi que l'arrêt de la ventilation confort, de la climatisation et du chauffage.

Désenfumage, les organes essentiels!

Le désenfumage utilise des techniques qui lui sont propres, les organes utilisés sont souvent spécifiques.

Voici regroupé sur cette page l'essentiel des organes que l'on retrouve dans une installation de désenfumage.

Les ventilateurs:

Les deux grandes familles de ventilateur que l'on rencontre en désenfumage sont :

- les ventilateurs axiaux (hélicoïdes) ou centrifuges, un moteur entraîne une hélice à plusieurs pales (entraînement direct) ce type de ventilateur permet des débits importants, mais avec des pressions relativement faible. L'air aspiré est rejeté parallèlement à l'axe de rotation du ventilateur.
- Les ventilateurs centrifuges : un moteur entraîne soit directement soit avec une transmission par courroies une turbine à action ou à réaction. Sur ce type de ventilateur l'air change de direction l'air est aspiré parallèlement à l'axe de rotation puis il est rejeté perpendiculairement.

Le choix du type de ventilateur est défini par sa courbe débit/pression, le débit étant calculé en fonction du volume à désenfumer et la pression correspond aux pertes de charges du réseau.

Les volets coupe-feu:

Constitués d'un cadre en tôle galvanisée et de matériau réfractaire à rupture thermique.

Les volets de désenfumage sont fermés en position normale et s'ouvrent en position de sécurité. Le déclenchement électrique de ces volets peut-être à émissions de courant ou à rupture de courant, la tension peut-être soit 24 V soit 48 V (courant continu).

Les contacts de positionnement début et fin de course sont obligatoires en ERP, ceux-ci permettent de connaître la position exacte du volet.

Les clapets coupe-feu :

Les clapets de désenfumage assurent la fonction de compartimentage, les clapets coupe-feu sont installés sur les conduits aérauliques de climatisation de ventilation, de chauffage, ils sont donc en position ouverte en fonctionnement normal et doivent se fermer en cas d'incendie afin de garder le degré de résistance au feu des parois que les conduits traversent. Le compartimentage permet de diviser un bâtiment en volumes réduits dans l'objectif de maintenir le feu dans la zone où il a pris naissance

Composition:

Constitués d'un cadre en tôle galvanisée et de matériau réfractaire à rupture thermique.

Déclenchement par fusible taré à 70° , ce fusible après avoir fondu libère le mécanisme et ferme le clapet.

Déclenchement électromagnétique, une bobine à émissions de courant ou à rupture de courant retient la lame du clapet en position ouverte, en cas de sinistre un ordre électrique de 24 ou de 48 V (VDC) est émis ou supprimé et le clapet se ferme.

Des contacts de signalisation complètent le mécanisme.

Coffrets de relayage:

Les coffrets de relayage commandent le fonctionnement des ventilateurs de désenfumage, ces coffrets existent en version désenfumage seule ou en version désenfumage + ventilation confort (avec commande et protection thermique). L'alimentation des commandes de désenfumage et de réarmement sont alimentés sous 24 ou 48VDC, à émission ou rupture de courant.

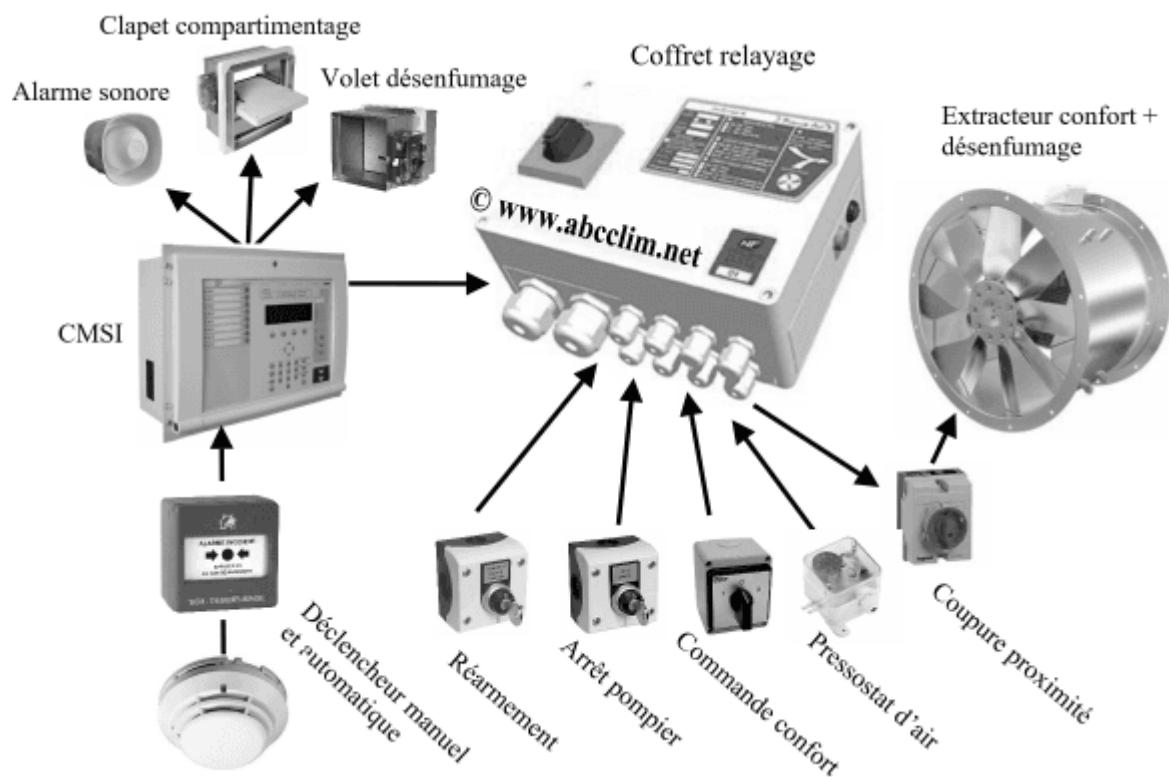
Plusieurs versions existent :

- 1 vitesse monophasé 230 V.
- 1 vitesse triphasé 400 V.
- 2 vitesses bobinages indépendants Tri 400 V.
- 2 vitesses à couplage Dahlander Tri 400 V

Principales fonctions :

- Mise en sécurité et arrêt pompier
- Réarmement (position attente)
- Affichage en façade des défauts éventuels
- Contrôleur de débit par pressostat
- Interrupteur de proximité
- Contrôle d'isolement
- Contrôle de présence tension
- Contrôle d'inversion de phase
- Réinitialisation des défauts

Infrastructure d'un désenfumage



- CMSI: Centrale de mise en sécurité incendie
- Réarmement: Réarmement du moteur de désenfumage, mise en position d'attente.
- Arrêt pompier :Réservée aux pompiers pour forcer l'arrêt de désenfumage.
- Coupure de proximité :Installés à proximité d'un moteur afin de pouvoir couper de l'alimentation, durant les interventions de maintenance préventive ou d'inspection.
- Commande confort: Mise en service du moteur en mode confort (hors désenfumage).
- Déclencheur : Organe manuel ou automatique de mise en service du désenfumage.
- Pressostat d'air: Retour d'information de marche du moteur, détecte la présence de débit.
- Alarme sonore: Message d'alerte ou sirène

Désenfumage naturel et mécanique

Le désenfumage est possible de façon naturelle ou mécanique :

- soit par apport d'air neuf en partie basse et évacuation des fumées en partie haute.
- soit par différence des pressions entre le local à protéger et le local où le feu est actif .
- soit en combinant les deux méthodes .

Désenfumage naturel :

Le désenfumage par balayage naturel est possible soit grâce à des amenées d'air neuf et des évacuations de fumées communiquant directement avec l'extérieur, soit au moyen de conduits en matériaux incombustibles.

Les évacuations de fumée sont réalisées :

- soit par des ouvrants en façade (*DENFC)
- soit par des exutoires (*DENFC)
- soit par des bouches raccordées à un réseau
- Les amenées d'air sont réalisées :
- soit par des ouvrants en façade.
- soit par les portes des locaux à désenfumer donnant sur l'extérieur ou sur des locaux largement aérés .
- soit par des bouches

Le dispositif de déclenchement manuel ou automatique doit permettre l'ouverture des bouches et des exutoires et doit mettre à l'arrêt la ventilation mécanique et la climatisation.

Le Désenfumage mécanique:

Le désenfumage par balayage mécanique est assuré par une ou des extractions mécaniques pour extraire les fumées et pour compenser cet air extrait des amenées d'air naturelles ou mécaniques sont disposées de sorte à assurer un balayage du local à désenfumer.

Le tout peut être complété par une mise en surpression d'espace à protéger des fumées comme les couloirs de circulation et les escaliers et les locaux *PMR.

La surpression doit être comprise entre 20 et 80 Pa, avec une vitesse d'air minimum de 0,5 m/s

Évacuations des fumées :

L'ensemble du réseau est constitué de gaine non inflammable coupe-feu 2 heures, reliant extracteur et bouches d'évacuation de fumées.

Débit réglementaire en extraction 12 fois le volume du canton ou du local.

Amenées d'air neuf :

Elles peuvent être de deux types soit naturelles, soit mécaniques.

Naturelles : ouvrants en façade par exemple

Mécanique: gaines coupe-feu ,vitesse de soufflage aux bouches 5m/s

Débit réglementaire air neuf de 0,6 fois le débit extrait.

Dispositif de déclenchement :

Le dispositif de déclenchement par commandes manuelles ou automatiques doit permettre suivant le scénario d'ouvrir les volets du canton concerné, de mettre en service le ventilateur d'extraction, de fermer les clapets des ventilations du type VMC et d'arrêter le climatisation.

Types de balayage:

- naturel / naturel
- mécanique / naturel
- naturel / mécanique
- mécanique / mécanique

*DENFC= Dispositif d'évacuation naturelle de fumées et de chaleurs,

*PMR= Personne à mobilité réduite

Sources: France Air, Portail sécurité

Quelques règles pratiques

Débit ventilateurs:

Prévoir de majorer de 20%, le calcul du débit de désemfumage pour les débits de fuite des gaines.

Insufflation mécanique air neuf :

Quand une insufflation mécanique est nécessaire , la vitesse au grille doivent être :

$Q < 5\text{m/s}$ au niveau de la grille

Calcul du débit air neuf

Débit = $0,6 \times Q$ extraction

Calcul du débit horaire d'extraction en désenfumage mécanique

Minimum: 12 fois le volume du canton.

Doit être limité à : $3 \text{ m}^3/\text{s}$ pour 100m^2 .

Jamais inférieur à: $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ par local (sauf locaux refuge).

Implantation des bouches

En tout point d'un canton ne doit pas être séparé d'une évacuation de fumée par une distance horizontale supérieure à 4 fois la hauteur de référence, cette distance ne pouvant excéder 30m.

Rayon couvert par une bouche = $4H$ (hauteur moyenne sous plafond)

Toute la surface du local doit être couverte.

Désenfumage escalier

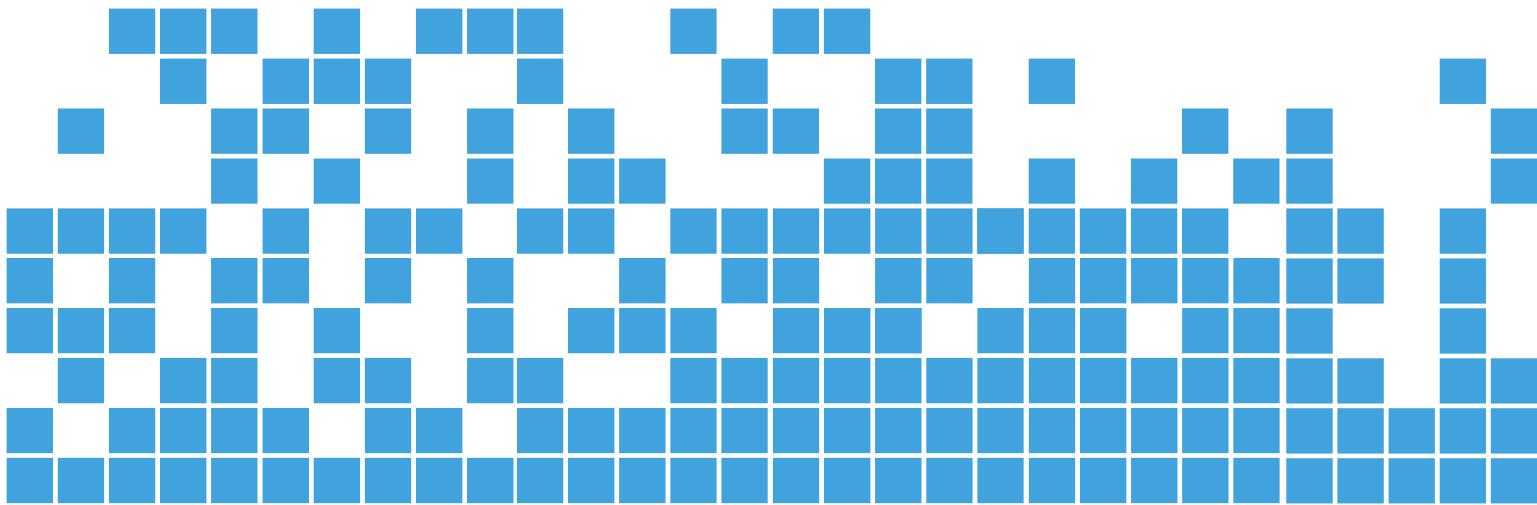
Naturel section exutoire et amenée d'air de 1m^2 surface libre (mini) fixe quel que soit l'escalier.

Mise en surpression 20 à 80 Pa porte fermée.

Définitions utiles :

- DENFC : dispositifs d'évacuation naturelle de fumée et de chaleur
- Exutoire de fumées : dispositif d'évacuation de fumée et de chaleur généralement disposé en toiture
- Ecran de cantonnement : séparation verticale située en sous-face de la toiture ou du plancher haut de manière à empêcher la circulation latérale des fumées et gaz de combustion
- Canton de désenfumage : volume libre compris entre le plafond et le plancher, délimité par les écrans de cantonnement
- Clapet : dispositif d'obturation situé dans un conduit, juste au niveau de la paroi et du même degré de protection au feu que celle-ci, ouvert en position d'attente et fermé en cas de détection incendie.
- Volet : dispositif d'obturation commandable à distance placé au droit d'une bouche de désenfumage desservie par un conduit aéraulique
- Ouvrant de désenfumage : dispositif d'évacuation des fumées et de la chaleur en façade

Hydraulique



Notion élémentaires d'hydraulique

Loi fondamentale de la statique des fluides

La statique des fluides (ou hydrostatique) est l'étude des fluides au repos contrairement à la dynamique des fluides qui s'intéresse à l'étude des fluides en mouvement.

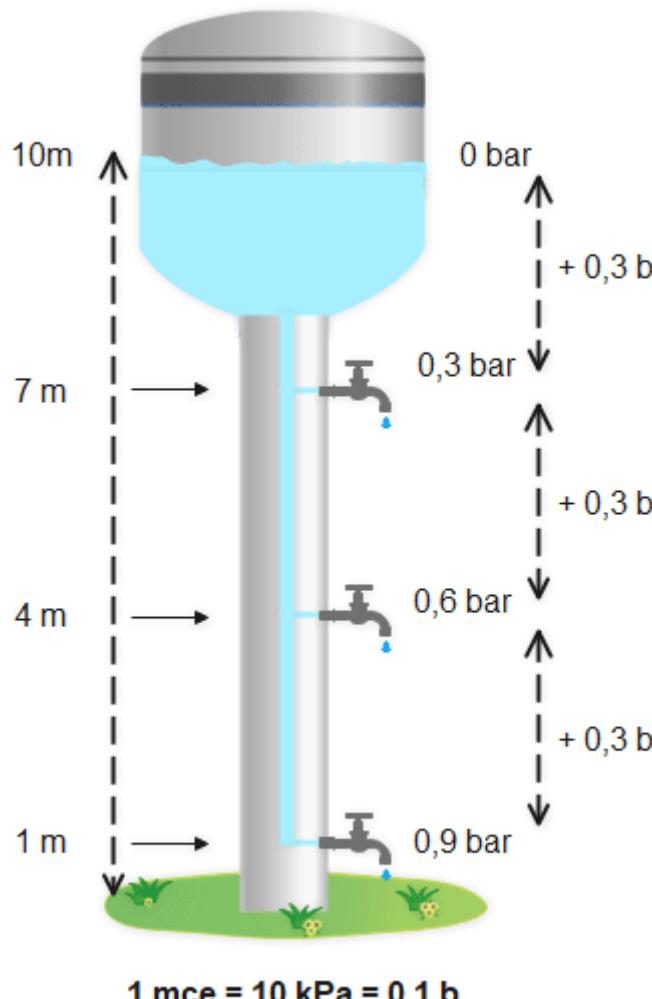
Quand aucune pression autre que la pression atmosphérique est appliquée à un réseau hydraulique alors :

1. La pression en tous points du réseau est exclusivement due à la pression de la pesanteur. Donc pour un point donné sa pression est égale à la hauteur du liquide situé au-dessus de ce point.
2. La pression est identique pour tous les points du réseau situés au même niveau de hauteur.
3. Toute modification de pression appliquée au réseau est transmise à tous les autres points

Unités de pression

Pour exprimer la pression, différentes unités sont utilisées:

- Le pascal (Pa), qui est l'unité de mesure du système international (unité SI), et son multiple, l'hectoPascal: $1 \text{ hPa} = 10^2 \text{ Pa}$.
- Le bar (bar) : $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$, et son sous-multiple, le millibar: $1 \text{ mbar} = 1 \text{ hPa}$.
- L'atmosphère (atm): $1 \text{ atm} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 1013 \text{ hPa} = 1,013 \text{ bar}$.



A 10 m la pression statique est de 0 bar, à 7 m la pression au robinet sera de 0,3 b soit 0,1 b par mètre .

A 4 mètres la pression sera encore accentuée de 0,3b et ainsi de suite.

Notons aussi plus la pression statique sera élevée plus le débit sera important.

Notions écoulements et pertes de charges

L'hydraulique est une branche de la physique qui permet d'étudier les fluides (mécanique des fluides), les liquides en mouvement.

En froid et climatisation nous avons affaire en particulier à l'eau (ou eau +glycol) qui est un fluide dont les particules (molécules) peuvent se déplacer librement les unes par rapport aux autres et qui ne possède pas de forme particulière. Ce fluide est notoirement incompressible, déformable, sa viscosité (capacité à s'écouler) ne se modifie qu'en fonction de la température.

Régimes d'écoulement, notions simples.

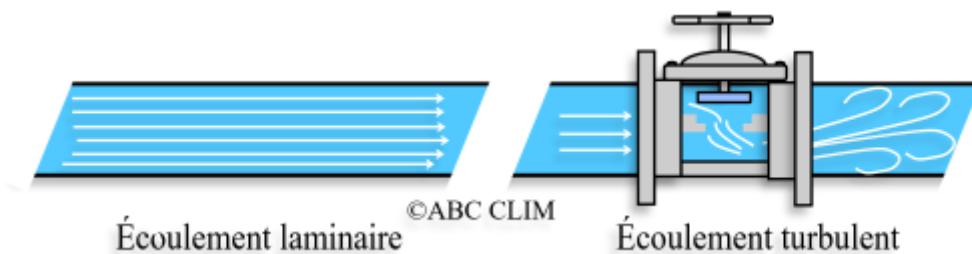
Afin de mieux comprendre ce qu'est un régime d'écoulement, même si celui-ci peut être calculé (nombres de Reynolds), arrêtons-nous à une petite expérience simple.

Cette expérience consiste à injecter un colorant dans une tuyauterie dont on contrôle le débit afin d'identifier les divers comportements du fluide.

À très faible vitesse les frottements sur les parois de la tuyauterie sont réduits, on s'aperçoit alors que la trajectoire du colorant est rectiligne, perpendiculaire à l'axe du tuyau, c'est le régime laminaire.

À une vitesse beaucoup plus importante, les frottements du liquide sur les parois et les accessoires engendrent des perturbations, des turbulences qui entravent le déplacement des particules de fluide, ce déplacement devient aléatoire, ondulé et très instable, c'est le régime turbulent.

Entre les deux il existe un régime (critique) où le régime d'écoulement peut-être successivement laminaire ou turbulent.



Nombre de REYNOLDS :

Il permet de définir le type d'écoulement du fluide avec une formule mathématique.

Relation :

$$Re = \frac{w \times D}{v}$$

Unité :

Sans

Re :	Nb de Reynolds
w :	Vitesse du fluide en [m/s]
D :	Diamètre intérieur en [m]
v :	Viscosité cinématique en [m²/s]

Définition du régime d'écoulement :

Si $Re < 2000$: Le régime est laminaire

Si $Re > 2000$: Le régime est turbulent.

Pertes de charges

Les pertes de charges sont en fait la totalité des pertes de pression (pascals, bars) due aux divers frottements que le fluide rencontre tout le long de son parcours dans un circuit hydraulique.

Le diamètre de la tuyauterie, la vitesse et la viscosité du fluide sont des éléments à prendre en compte.

Les pertes de charges sont un élément important pour le dimensionnement des conduites et pour déterminer les caractéristiques des pompes de circulations.

Les pertes de charges linéaires

Ce sont les pertes de charges dues aux frottements contre les parois des tubes et sont fonction du régime d'écoulement.

Les pertes de charges singulières

Ce sont les pertes de charges causées par tous les accessoires (vannes, échangeurs etc.), les changements de direction, les réductions, coudes, jonctions, piquages etc.

Quelques définitions utiles :

- Le débit, exprime un volume dans un temps donné, en L/s, L/mn, M³/H
- La vitesse, c'est une distance parcourue en un temps donné en mètre par seconde (m/s)
- La section de la tuyauterie en centimètre carré (cm²)
- Une pression statique est une pression qui se mesure sans écoulement, c'est la conséquence d'un dénivelé (château d'eau, voir image).
- Une pression dynamique est une pression qui représente la vitesse d'écoulement d'un fluide. La pression totale c'est la somme des deux.

Hauteur manométrique (HMT)

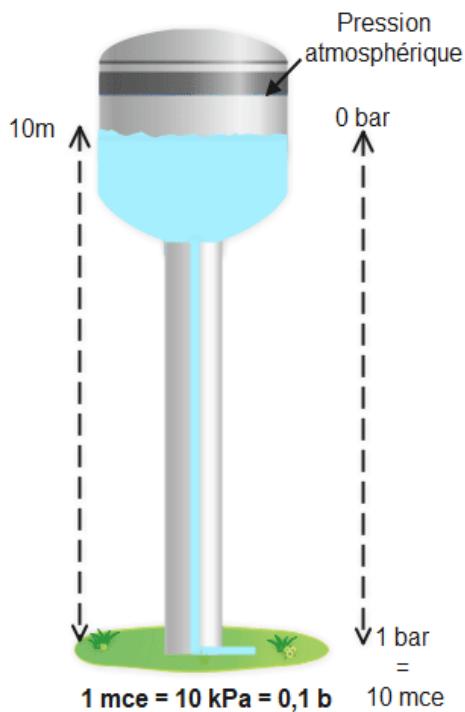
Dans une installation de climatisation de chauffage pour permettre la circulation de l'eau en tout point de l'installation il faut une force ou plus exactement une différence de pression pour pouvoir transporter le fluide au point le plus élevé de l'installation. Cette différence de pression est égale aux pertes de charges du réseau c'est la hauteur manométrique totale.

La HMT s'exprime en pascals, bars, en mètre de colonne d'eau :

1 kg de pression = 1 bar = 10 m de colonne d'eau (m.c.e.)

Cette énergie motrice est fournie par une pompe ou un circulateur (Pompes et circulateurs)

Dans un circuit fermé la hauteur manométrique c'est la différence de pression que la pompe ou le circulateur fournit entre son point d'aspiration et celui de refoulement.



Pertes de charges hydrauliques

L'eau pour circuler dans les systèmes de climatisation ou de chauffage doit être soumise à une différence de pression, cette pression sera donnée soit par la différence de poids et de volume entre deux colonnes (thermosiphon) soit par une pompe de circulation qui fournit l'énergie nécessaire au déplacement de l'eau en combattant les pertes de charge du réseau lui-même et des différents composants, vannes, coudes, tés....

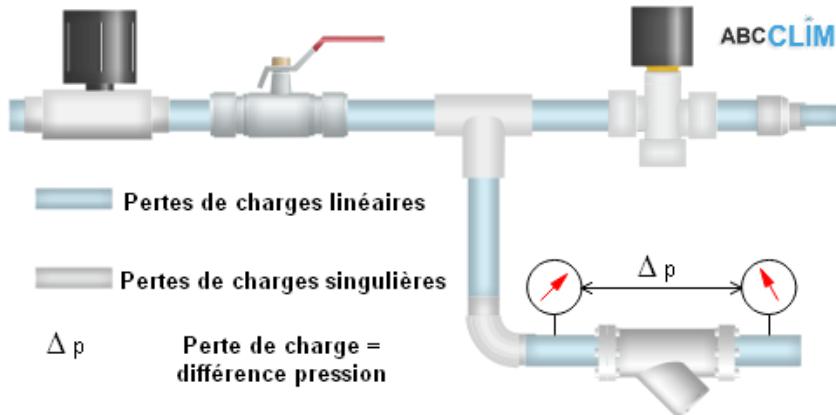
La différence de pression entre l'aspiration et le refoulement de la pompe définit sa hauteur manométrique qui s'exprime en mm CE.

Notion de perte de charge en hydraulique

Quand l'eau circule dans une installation, les molécules d'eau frottent sur les parois de la tuyauterie et celle-ci peuvent être plus ou moins lisses, les coudes, les changements de direction, les réductions, les divers accessoires s'ajoutent aux frottements de la tuyauterie générant une perte de pression ou perte de charge.

$$\text{Perte de pression} = \text{Perte de charge}$$

Il existe deux grandes catégories de perte de charge qui s'expriment en pascals ou en mm de colonne d'eau



Perte de charge linéaire

C'est la perte de charge de la tuyauterie, qui est proportionnelle :

- 1: À la longueur et la section de la tuyauterie, puis le parcours et long et plus la section est petite pour un même débit plus grand sont les pertes de charge.
- 2: Au carré de la vitesse du fluide en mouvement.
- 3: Aux pertes de charge dues à la rugosité du tube utilisé, les imperfections du tube perturbent l'écoulement du fluide.
- 4: Viscosité du fluide en mouvement en fonction de la pression et de la température.

Perte de charge singulière

Ce sont les pertes de charge des accessoires, vanne 2-3-4 voies, té, coudes, batterie chaude ou froide, réduction, changement de direction enfin tous les obstacles. Ces pertes de charges sont déterminées par les constructeurs de façon empirique et sont fonction de la vitesse, elles sont proportionnelles au carré de la vitesse du fluide en mouvement..

À savoir:

Afin de faciliter les calculs, on a introduit la notion de longueur équivalente de tuyauterie, les pertes de charge linéaires et singulières sont converties en longueur équivalente de tuyauterie.

Pour mesurer la perte de charge d'un organe, il suffit de placer en amont et en aval de celui-ci une prise de pression, la différence de pression donnera sa perte de charge .

Vanne de réglage et d'arrêt en climatisation

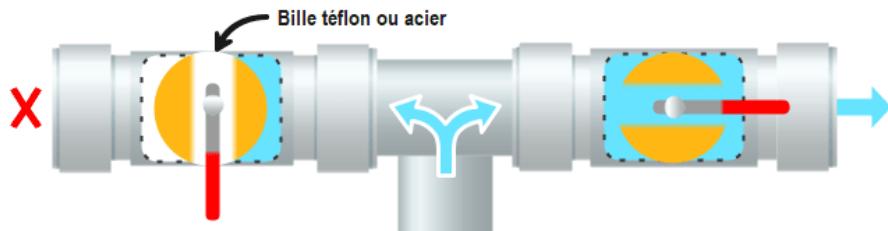
Les vannes sont des éléments incontournables en chauffage et climatisation, elles sont employées comme vannes de réglage ou d'arrêt.

L'organe de réglage ou de fermeture est englobé dans un corps constitué de laiton, de bronze, d'acier ou encore d'inox.

Vanne à bille ou sphérique

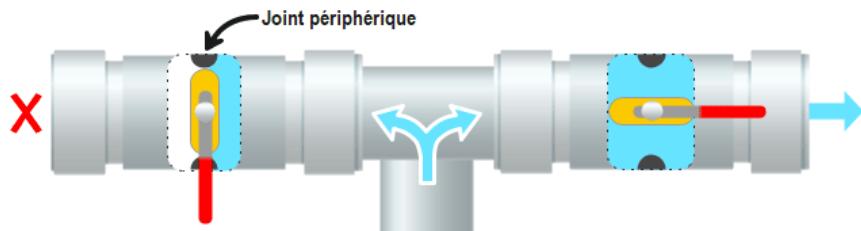
C'est typiquement la vanne de barrage qui permet d'isoler un circuit ou un appareil, c'est la vanne quart de tour à passage direct par excellence. Elle est très employée en chauffage et climatisation comme vanne d'arrêt, elle ne peut donc pas être employée comme vanne de réglage.

Ce type de vanne en position ouverte présente l'avantage de n'offrir que très peu de pertes de charge. Elle est constituée d'une sphère présentant un orifice au centre le tout étant logé dans le corps de la vanne, la sphère peut être constituée de téflon ou d'acier et le corps de la vanne est généralement lui en téflon, l'usinage étend très précis il permet une très bonne étanchéité.



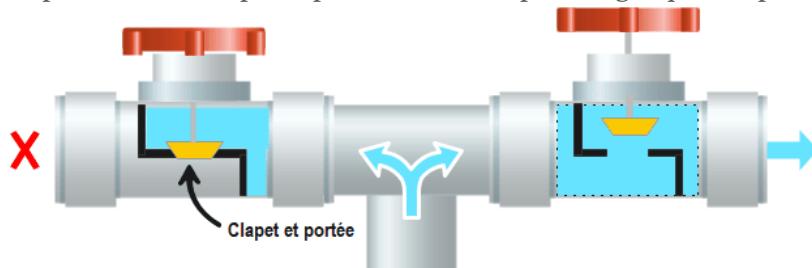
Vanne papillon

Comme toutes les vannes passage directes elles ne doivent pas être utilisées comme organe de réglage de débit. Ce type de vanne est constitué d'un disque nommé papillon qui autorise le passage du fluide quand celui-ci est positionné dans le sens de l'écoulement, quand celui-ci est positionné perpendiculairement il stoppe l'écoulement du fluide. Un joint périphérique en matière caoutchoutée assure l'étanchéité en position de fermeture.



Vanne à siège

Elle est surtout destinée à permettre le réglage débit avec notamment une bonne précision. Il existe un certain nombre de variantes de vanne à clapet, le clapet peut-être conique, à surface plate, à pointeau. Quelques soient leurs technologies les vannes à siège offrent moins de résistance que les vannes à passage direct, elles sont donc idéalement employées comme organes de réglage. La grandeur de la course d'ouverture et de fermeture du clapet permet une bonne précision de réglage, en position fermée l'étanchéité peut être altérée par la présence d'un corps étranger qu'il est parfois difficile de supprimer.



Vanne à opercule

Deux sièges parallèles sont positionnés de chaque côté d'un opercule en métal qui est actionné par une tige filetée à volant, son déplacement se fait de façon perpendiculaire au déplacement du fluide. En position complètement ouverte l'opercule va se loger dans le corps supérieur de la vanne, dégageant complètement l'écoulement du fluide. Comme c'est une vanne à passage direct elle ne devrait pas être utilisée comme vanne de réglage. En position intermédiaire elle offre une résistance importante et peut causer des vibrations susceptibles de l'endommager.

Bouteille de découplage hydraulique

Sources textes et images <http://www.caleffi.com/france/fr>

La bouteille de séparation ou de découplage hydraulique est un organe qui permet de rendre hydrauliquement indépendant deux circuits, le circuit primaire et le circuit secondaire d'une installation de chauffage ou de climatisation par exemple. Le circuit primaire étend le circuit de la production (générateur) d'énergie c'est-à-dire une chaudière ou une pompe à chaleur, quant à lui le circuit secondaire est composé des émetteurs, ventilo convecteurs, radiateurs, chauffage au sol. Cette séparation ou découplage n'est pas physique, pourtant le primaire possède sa propre pompe et le secondaire possède une ou plusieurs pompes suivant l'installation.

Quels sont les avantages des bouteilles de découplage :

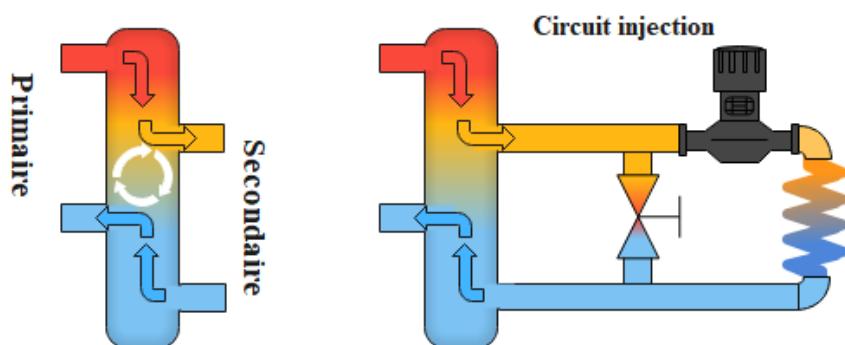
- Etablie un point neutre hydrauliquement.
- Assure un débit constant au primaire.
- Permet une bonne maîtrise du débit et des pressions au secondaire notamment quand plusieurs circuits fonctionnent indépendamment l'un de l'autre.
- Donne la possibilité d'avoir au secondaire des circuits à des températures différentes.
- Permet d'évacuer l'air, purgeur d'air (en point haut).
- Décantation et élimination des boues (en partie basse).
- Bouteille casse pression et bouteille de mélange

On comprend bien des différences trop importantes de débit et de pression entre le primaire et le secondaire sont de nature à créer des perturbations gênant le fonctionnement d'une installation. En hydraulique comme dans un certain nombre de domaines tout est une affaire d'équilibre.

Nous verrons ici deux cas de figure avec deux terminologies différentes souvent employées.

Quand le débit au niveau du primaire est supérieur (de l'ordre de 15%) au débit du secondaire les températures de départ sont équivalentes dans les deux circuits, ici on dira qu'elle fonctionne en bouteille casse pression .

Température de départ secondaire = température de départ primaire



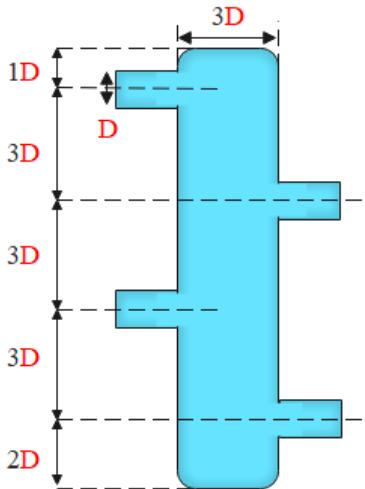
On parle de bouteille de mélange lorsque le débit primaire est inférieur au débit du secondaire, ici la température de départ du secondaire sera inférieure à celle du primaire puisqu'il y a mélange. Si on veut un mélange de ce type au secondaire, la solution consiste à faire un circuit en injection avec une vanne de réglage ou une vanne 3 voies.

Température de départ secondaire < température de départ primaire

Raccordements, dimensionnement

La bouteille est placée de manière verticale avec les raccordements aller en haut de la bouteille et les raccordements retour en bas de la bouteille, afin de garantir une convection interne optimale. Les divers piquages aller et retour sont généralement décalés afin d'éviter toutes interférences et moins de risques de double circulation, notamment si une chicane ou un brise-jet n'équipe pas la bouteille.

Des vannes d'isolement doivent être installées sur chaque piquage ainsi que des thermomètres. Le haut de la bouteille sera équipé d'une vanne d'arrêt qui permettra d'isoler un purgeur automatique ou une purge manuelle. Comme la bouteille servira en même temps de pot de décantation il faudra l'équiper d'une vanne de purge en partie basse facilement accessible. Une bouteille de découplage peut-être d'une dimension assez importante et il est préférable de l'isoler thermiquement afin d'éviter les déperditions inutiles. Les fabricants livrent généralement les séparateurs avec des coques isolantes.



Le dimensionnement d'une bouteille de découplage s'effectue selon la règle des 3D, qui stipule :

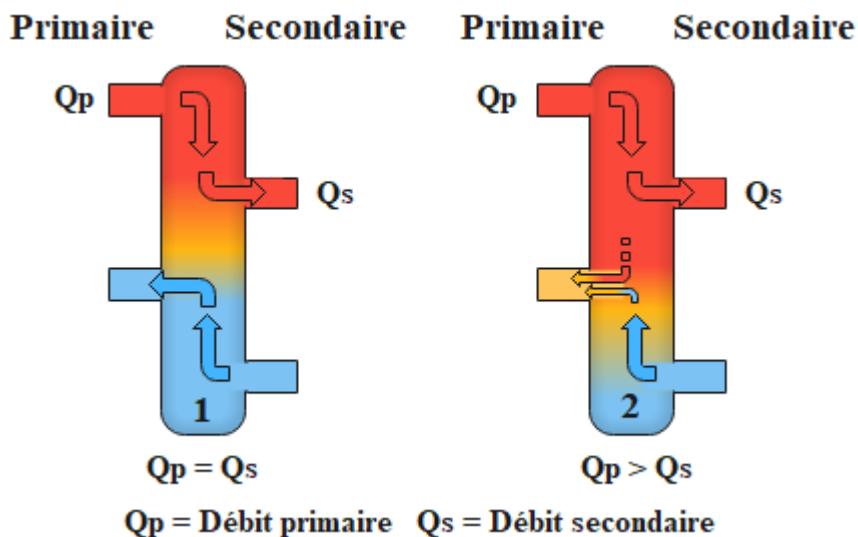
1. La hauteur de la bouteille est déterminée selon un écartement de trois diamètres entre les diverses canalisations.
2. Le diamètre de la bouteille doit être égal ou supérieur à trois fois le diamètre de la tuyauterie principale.
3. Un décalage de trois diamètres entre l'arrivée d'eau de la production et la canalisation de départ du secondaire
4. Une distance d'un diamètre entre la canalisation la plus haute et le sommet de bouteille.
5. Une distance de deux diamètres entre la canalisation la plus basse et le bas de la bouteille.
6. Une distance de six diamètres entre les raccords de départ et ceux du retour du secondaire.

Cette règle des 3D permet d'établir une vitesse de circulation dans la bouteille aux environs de 0,1 m/s, tandis que la vitesse au secondaire devra être de l'ordre d'environ 1 m/s.

Séparation et température de retour au générateur

Cas 1 : lorsque l'on désire une température de retour en dessous de 55°C. C'est le cas avec une chaudière basse température avec plancher chauffant par exemple.

Cas 2 : lorsque l'on désire une température de retour au dessus de 55°C. C'est le cas d'une chaudière classique et des radiateurs.



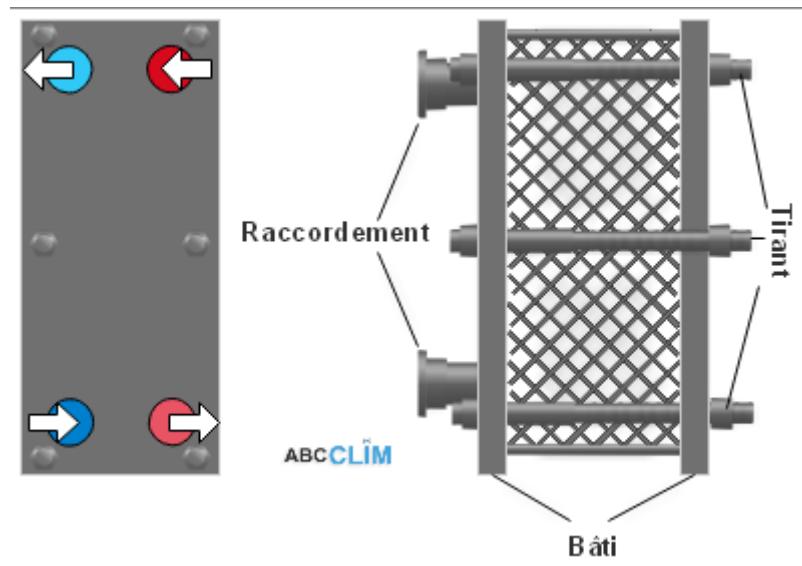
Problème de la bouteille de découplage en froid

En fonctionnement froid (réseau d'eau glacé) compte tenu de la température même de la boucle les phénomènes de convection sont moins importants, la densité de l'eau étant différente ce qui génère des mélanges intempestifs qui réduisent la puissance délivrée sur les émetteurs.

Il existe une autre solution de découplage, le bipasse simple.

Échangeur à plaques, technologie et fonctions

La fonction principale d'un échangeur à plaques est de permettre de transférer l'énergie thermique d'un fluide vers un autre alors que ceux-ci sont à des gradients de températures différents. Ce type d'échangeur de chaleur grâce à sa grande surface d'échange possède une grande efficacité énergétique tout en ayant une taille réduite. Par contre il est particulièrement sensible à l'enrassement et les pertes de charges internes sont parfois importantes.



Les deux types d'échanges thermiques des échangeurs à plaques.

Échange monophasique

C'est typiquement un échange flux de chaleur entre deux fluides (gaz ou liquide) sans changement d'état. Il s'effectue donc sous forme de chaleur sensible, c'est-à-dire uniquement par réduction ou élévation de température (ex : radiateur).

Échange diphasique

Le transfert de chaleur diphasique s'effectue lui aussi entre-deux fluides mais avec changement d'état (chaleur latente). L'exemple le plus commun c'est le condenseur et l'évaporateur des systèmes frigorifiques.

Structure d'un échangeur à plaques.

Les échangeurs à plaques sont composés de plusieurs plaques. Elles sont conçues en aluminium, en acier inoxydable ou en matériaux synthétiques. Les plaques sont généralement de formes nervurées ou cannelés (chevrons). Elles sont assemblées par soudage, brasure ou elles peuvent être également comprimées les unes aux autres dans un bâti avec des joints.

Les plaques sont en général assez fines (entre 0,1mm et 0,8mm) et très peu espacées (entre 5 et 10mm).

Entre chaque plaque, des canaux permettent la circulation parallèle de deux fluides, l'un chaud qui est refroidi et l'autre froid qui est réchauffé.

Ainsi, dans un échangeur à plaques un fluide circule dans les conduits pairs, pendant que l'autre circule dans les conduits impairs. Le transfert d'énergie calorifique se fait sur toute la surface des plaques (zone de transfert thermique).

La fabrication en chevron ou canaux des plaques permet de créer une zone de turbulence à l'intérieur de l'échangeur, ce qui facilite les échanges thermiques et améliore la conductivité.

Différents types d'échangeurs à plaques permettent une adaptation à chaque utilisation.

Il existe des échangeurs à plaques brasées :

Ils sont compacts et efficaces grâce à leur construction. Les plaques de transfert de chaleur en inox sont les plus communes mais on peut également en trouver en alliage à base de nickel pour une utilisation avec des fluides plus corrosifs. Une permutation des fluides est possible sans endommager l'échangeur. Les échangeurs à plaques inox brasées résistent à la pression jusqu'à une trentaine de bars, quant à ceux au nickel, ils peuvent résister jusqu'à une dizaine de bars. Pour des applications à très fortes pressions il faudra opter pour une construction spéciale étudiée et adaptée.

Enfin, Il existe des échangeurs à plaques à joints démontables :

C'est l'assemblage le plus complexe. Les échangeurs à plaques doivent pouvoir être démontés afin d'en assurer le nettoyage pour garantir une utilisation pérenne. Il est également possible d'ajouter ultérieurement des plaques supplémentaires pour augmenter la puissance de l'échangeur et ainsi adapter sa puissance à l'installation.

Le paquet composé de plaques de transfert et de joints est entouré d'un bâti composé de tirants.

Lors de l'utilisation d'eau de mer, les échangeurs à plaques sont aussi disponibles avec des plaques de transfert en titane résistant aux attaques du sel.

Comment fonctionne un échangeur à plaques ?

Dans un échangeur de chaleur, les courants entre les fluides primaires et secondaires peuvent être parallèles, opposés ou croisés. Les deux fluides convergent dans des canaux séparés l'un pair et le second impair, à proximité afin que l'un réchauffe ou refroidisse l'autre.

Ils peuvent maintenir la température du fluide au niveau souhaité et de façon stable et durable.

Les technologies d'échangeurs sont généralement les mêmes, ils fonctionnent selon des principes physiques connus, on distingue :

- La conduction : les échanges se font à travers les parois métalliques en général
- La convection : les échanges se font entre les fluides et les parois
- Le rayonnement : les échanges se font entre les fluides et les parois en infrarouge. Il est utilisé uniquement pour un fonctionnement à forte température.

Il existe également trois modes d'écoulement différents suivant les applications :

1. Une circulation à co-courants ou anti-méthodique : l'écoulement est parallèle, les fluides convergent vers la même direction. L'entrée des deux fluides se situe du même côté de l'échangeur.
2. Une circulation à contre-courants ou méthodique : l'écoulement est parallèle, mais les fluides traversent les canaux dans des directions inverses. Il s'agit de la meilleure configuration pour optimiser les performances d'un échangeur à plaques.
3. Une circulation à courants croisés : l'écoulement est alors perpendiculaire entre les deux fluides.

Nettoyage des échangeurs à plaques

Les carbonates de calcium contenus dans l'eau se déposent dans les parties les plus chaudes des installations (départ ECS, chaudière, condenseur, échangeur circuit refroidissement, tour aéroréfrigérante).

1) Nettoyage chimique (nettoyage sans démontage)

On utilise de l'acide sulfurique concentré à 10 %, que l'on laisse agir pendant une heure au minimum. Puis il faudra rincer l'échangeur abondamment.

2) Nettoyage mécanique (avec démontage des plaques)

Desserrez les boulons qui maintiennent les plaques, enlever les tirants et le bâti. Démonter les plaques unes à unes en repérant leurs positions. Nettoyer à la brosse ou sous pression ou changer avec précaution chaque plaque avant remontage de l'ensemble.

Le contrôleur de débit à palette ou flow switch

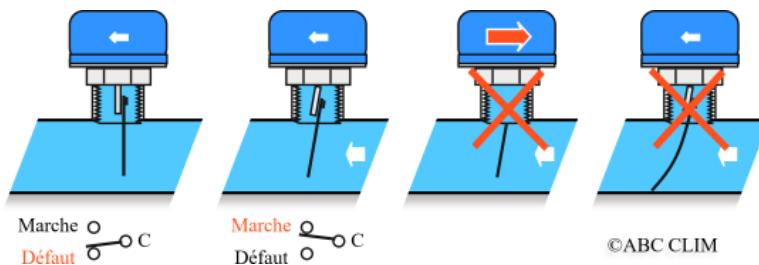
Le contrôleur de débit appelé aussi fluostat ou encore flow switch (terme anglais), il permet de contrôler la présence d'un débit minimum dans les installations de refroidisseur de liquide, de pompes à chaleur sur boucle, de pompes à chaleur ea/eau etc.

ici nous parlerons du contrôleur de débit à palette qui est l'organe de surveillance de débit le plus utilisé en climatisation et chauffage compte tenu de sa simplicité de fabrication et de montage.

Fonctionnement du contrôleur de débit

Celui-ci raccordé directement sur la tuyauterie sur un raccord soudé ou sur un té, une palette mobile est plongée dans le flux d'eau, celle-ci agit directement sur un contact inverseur libre de potentiel si un débit minimum est établi dans la tuyauterie. Le point d'enclenchement du contact est réglable en fonction des spécificités de l'installation, ce contact permet le fonctionnement ou l'arrêt de l'installation.

Le contrôleur de débit est équipé de plusieurs lamelles permettant son utilisation dans un grand nombre de diamètres de tuyauterie.



Installation

Pour permettre un fonctionnement correct du contrôleur de débit il faut l'installer dans le sens de l'écoulement de l'eau en conformité avec la flèche présente sur le boîtier de l'appareil. Généralement le boîtier doit être monté horizontalement mais certains fabricants permettent un montage vertical bien lire la notice de montage avant toute installation.

Afin d'éviter toute perturbation dans le fonctionnement c'est-à-dire des enclenchements et des coupures intempestives du flow switch, le montage doit être effectué sur une portion droite de la tuyauterie, sans coude ni vanne.

Il faudra porter une attention toute particulière au montage de la palette sur le contrôleur de débit celle-ci ne doit pas être trop longue et toucher le fond la tuyauterie ou encore trop courte.

Réglage

Le contrôleur de débit est normalement réglé d'usine le fabricant fournit un tableau de réglage avec la dimension des tuyauteries, les débits maximum et minimum théorique, ce réglage peut être affiné sur le chantier.

Avant tout réglage il faut avoir contrôlé que le débit un nominal en régime établi est correct et il faut connaître le débit minimum permettant le fonctionnement de l'installation. La meilleure méthode est bien entendue de disposer d'un ordinateur raccordable sur une vanne d'équilibrage, il suffit alors de fermer une vanne pour atteindre le débit minimum acceptable est de faire couper via le flow switch l'installation.

Une autre méthode un peu plus empirique est de fermer progressivement une vanne sur le parcours et de surveiller la différence de température entre l'entrée et la sortie de l'échangeur, qui est généralement sur un refroidisseur de liquide de 5°C et sur une pompe à chaleur sur boucle entre 5°C et 7°C. Si cette différence de température augmente c'est qu'il y a manifestement un manque de débit il faudra donc ajuster le réglage de la coupure du contrôleur de débit.

Technologie des pompes et circulateurs

Les pompes de circulation ou les circulateurs installés dans les circuits de climatisation ou de chauffage permettent de véhiculer vers les émetteurs (radiateur, chauffage au sol, ventilo-convector) le débit et l'énergie nécessaire pour compenser les déperditions d'un bâtiment.

Pompe à rotor noyé :

Ce sont des pompes (circulateur ou accélérateur) utilisées essentiellement dans le résidentiel ou le petit tertiaire. De technologie simple et robuste avec un coût réduit, sans entretien, elles ont néanmoins le désavantage d'avoir un rendement plutôt faible.

Ici le rotor est refroidi par le fluide, le stator est séparé du rotor noyé par une chemise d'entrefer dont l'étanchéité est assurée par un joint torique.

La pompe peut être utilisée à vitesse fixe ou avec régulation de la vitesse par sélecteur. pompe-rotor-noyé

Les pompes à rotor sec :

Ici le moteur et le corps de pompe sont séparés, l'étanchéité est assurée au niveau de l'axe soit par:

Un presse-étoupe : l'étanchéité est réalisée par une matière synthétique (étoupe), compressée entre l'axe et le corps de la pompe, afin de lubrifier le système l'étanchéité ne doit pas être parfaite.

Garniture mécanique : l'étanchéité est réalisée par un ensemble comprenant une bague de friction et un joint tournant, l'usinage étant très précis, ce dispositif est parfaitement étanche. Le refroidissement des moteurs des pompes est assuré par un ventilateur installé en bout d'arbre pompe-rotor-sec

Sélection d'une pompe:

Pour sélectionner une pompe, il faut :

- Connaitre le débit nécessaire
- Connaitre les pertes de charge (hauteur manométrique totale) dans le circuit.
- Il faudra choisir une pompe dont la courbe caractéristique (courbe constructeur) soit la plus proche du point de fonctionnement théorique.

1) Calcul du débit d'une pompe :

Le débit d'une pompe est déterminé en fonction de la puissance à distribuer et du régime d'eau.

Le débit est calculé suivant la formule :

$$Q = P / (1,16 \times \Delta T)$$

Débit --> Q en m³/h

Puissance--> P en Kw

ΔT --> écart de température entre l'aller et le retour ΔT en °C

2) Hauteur manométrique:

La hauteur manométrique d'une pompe en circuit fermé est égale à la perte de charge totale du réseau et s'exprime en m de colonne d'eau (mCE).

Pour les petites installations on compte 20 mmCE/ml et pour les grosses installations, on utilisera des abaques qui cumuleront les diverses pertes de charge (section, longueur, organes divers).

En pratique la hauteur manométrique correspond à l'écart de pression entre l'aspiration et le refoulement de la pompe.

Montage des circulateurs:

En plaçant 2 pompes en série, la HMT sera égale à la somme des HM des deux pompes.

En les plaçant en parallèle, le débit sera égale à la somme des débits des deux pompes.

Les pompes montées en série sont traversées par le même débit de liquide Q_v . A un débit donné, la hauteur manométrique totale de ce couplage H_{mts} est la somme des hauteurs manométriques totales H_{mt_1} et H_{mt_2} des deux pompes fonctionnant séparément à ce même débit:

$$H_{mt} = H_{mt_1} + H_{mt_2}$$

Le couplage en série permet d'augmenter fortement la hauteur manométrique totale: il convient donc bien pour un réseau présentant des pertes de charge importantes.

Les pompes montées en parallèle montrent la même hauteur manométrique totale H_{mt} . On calcule la caractéristique de la hauteur manométrique totale du montage en additionnant les débits des deux pompes pour une même hauteur manométrique totale.

$$Q_v = Q_{v1} + Q_{v2}$$

En réalité ceci n'est pas tout à fait juste. Les deux pompes n'étant jamais totalement équivalentes, la somme des débits des pompes utilisées séparément pour une H_{mt} fixée est inférieure au débit total Q_v obtenu par couplage à cette même H_{mt} . Une des pompes a toujours tendance à "freiner" le liquide au refoulement de l'autre pompe; cette tendance peut aller jusqu'à entraîner la rotation de la pompe en sens contraire. Les pompes sont souvent équipées d'un clapet anti-retour sur la canalisation de refoulement pour éviter le retour de liquide au refoulement d'une des pompes.

Le couplage en parallèle permet d'augmenter le débit dans le réseau et il convient bien pour un réseau présentant des pertes de charge assez faibles.

Les pompes sont parfois montées en parallèle (by-pass) avec une seule des deux fonctionnant. En cas de panne ou pour une action de maintenance le montage permet alors de continuer à fonctionner en démarrant la deuxième pompe.

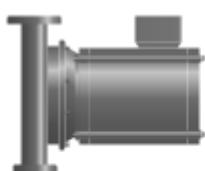
La cavitation:

La cavitation est un phénomène qui est dû à une vaporisation partielle du liquide à l'aspiration de la pompe. Si la vitesse du fluide est trop importante, la pression diminue et si celle-ci atteint la pression de vapeur saturante du fluide, des bulles se forment.

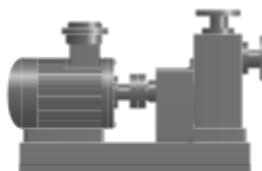
Ce qui cause du bruit, des vibrations, des détériorations mécaniques, ainsi qu'une diminution du débit et du rendement de la pompe.

En cas de risque de cavitation, il existe plusieurs approches pratiques pour l'éviter :

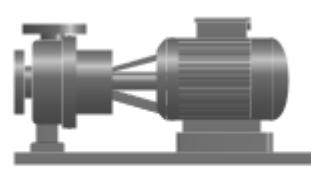
- Réduire l'aspiration de la pompe et augmenter la pression d'aspiration.
- Réduire la perte de charge dans la tuyauterie d'aspiration.
- Réduire le débit de la pompe.
- Augmenter la hauteur d'aspiration.
- Si le phénomène persiste, choisissez une autre pompe.



Circulateur



Pompe à presse étoupe



Pompe à garniture mécanique

Pompe à débit variable

Dans un contexte règlementaire toujours plus exigeant en matière d'économie d'énergie, de rendement énergétique, et de protection de l'environnement, l'utilisation de pompe et de circulateur à débit variable ce justifie pleinement.

D'autant que les pompes sont de gros consommateurs d'énergie dans un bâtiment. Le fonctionnement des pompes en continu et à plein régime dans une installation de chauffage ou de climatisation n'est nécessaire que 6 à 7 % du temps, tandis que 44 % du temps on utilise que 25 % des besoins maximums ce qui laisse une énorme place aux économies.

On voit donc ici toute l'importance que revêt la variation de débit et de vitesse des pompes de circulations.

Fonctionnement des pompes à débit variable

Les pompes sont des organes qui permettent de créer une différence de pression pour faire circuler l'eau dans un circuit hydraulique.

Le débit et la pression d'une pompe permettent de déterminer une courbe de fonctionnement en rapport avec les pertes de charges du réseau.

La réduction ou l'augmentation de débit par variation de vitesse permet d'adapter le débit de la pompe aux pertes de charges réelles de l'installation en permanence. Les performances de l'électronique et des moteurs de ces pompes sont assez importantes, suffisamment pour obtenir des rendements, jamais atteints avec des pompes à débit constant. Et qui dit meilleur rendement dit économies d'énergie.

La technologie employée pour faire varier la vitesse de ce type de pompe fait appel à une nouvelle approche la commutation électronique (moteur EC), conformes à la directive européenne d'écoconstruction (ErP = Energy Related Products).

Ici on utilise un moteur à courant continu à partir d'une source de courant alternatif pour faire varier la vitesse, donc le débit, délivré par la pompe. Comme tout moteur deux composants principaux le compose :

- Le stator (partie fixe)
- Le rotor (partie tournante)

Un champ magnétique commandé électroniquement est généré par le stator. Les bobinages du stator sont alternativement alimentés provoquant l'entrainement du rotor de façon séquentielle et synchrone. Le champ magnétique ainsi créé entraînera le rotor (aimant permanent) plus ou moins vite en fonction de la demande.

Mode de régulation des pompes à débit variable

Les capteurs permettant le réglage des différents modes sont soit déportés en un point du réseau soit intégrés dans la pompe elle-même.

Trois modes de régulation sont généralement proposés :

- Pression différentiel constante.
- Pression proportionnelle au débit.
- Pression différentielle en fonction de la température.

Le mode pression différentiel constante.

Ici en fonction des ouvertures et des fermetures des vannes 2 voies régulant les émetteurs, la pompe ou le circulateur conservera la pression différentielle constante par abaissement ou augmentation de la vitesse de rotation. Mode préconisé quand les pertes de charges du réseau sont faibles par rapport aux émetteurs (radiateurs).

Le mode pression proportionnelle au débit.

Dans ce mode on paramètre une hauteur manométrique, est l'électronique de la pompe adaptera la pression différentielle proportionnellement au débit. Mode préconisé quand les pertes de charges du réseau sont importantes par rapport aux émetteurs (chauffage au sol).

Le mode pression différentielle en fonction de la température.

La valeur de consigne de la pression différentielle est augmentée ou réduite de manière linéaire en fonction de la température aller ou retour mesurée sur le réseau. Adapté pour le chauffage par chaudière conventionnelle.

Certaines pompes possèdent d'autres modes de réglage comme le mode auto-adaptatif, qui permet de régler automatiquement le point de consigne optimal en fonction du réseau.

Autres fonctions suivant la technologie, fabricant :

- Bus de communication, pompe communicante
- Affichage en façade du débit réel
- Commande par 0-10 Volt externe
- Pour résumer les avantages des pompes à débit variables :
- Moins de bruit dans les tuyauteries
- Usures mécaniques limitée
- Économies d'énergie, rendement optimum
- Limitation des courants de démarrage

Principal inconvénient :

- Le prix

La cavitation c'est quoi ?

La cavitation est phénomène physique qui engendre non seulement des bruits et des vibrations qui abîment les roulements, les arbres d'entraînement mais surtout cela peut provoquer à la longue une usure prématuée de la pompe voir une casse mécanique. Ce phénomène est dû à la vaporisation partielle de l'eau dans le corps de la pompe, sous certaines conditions.

Nous le savons l'eau à la pression atmosphérique bout à 100°C, par contre à 1800m d'altitude la pression étant plus faible si celle-ci est chauffée elle ne boulera qu'à 80°C. Cette relation entre la pression et la température est bien connue des frigoristes, et au cœur même d'un circulateur ou d'une pompe elle s'applique aussi.

Une pompe aspire de l'eau à une certaine température et à une certaine pression pour la rejetée à une pression plus élevée toujours à la même température. Mais pour aspirer ce liquide la pompe crée une dépression, si cette baisse de pression descend au-dessous de la pression de vapeur saturante l'eau (relation pression/température), ce liquide se met en ébullition, il se transforme en fine bulle de gaz.

Par la force centrifuge la pression augmente localement et ces bulles explosent littéralement créant des impacts(ondes de choc) sur la mécanique ici est là, qui peuvent détruire la pompe. Les roues,turbines ou volutes vont aussi s'user prématuérément, ce qui à terme va altérer les performances de la pompe.

Imaginons que l'eau à l'entrée de la pompe est à 0 bar à 60°C, si jamais la pression au cœur de turbine descend à 0,2 bar et bien l'eau étant toujours à 60°C va se vaporiser.

Donc on peut dire que l'eau aura tendance à se vaporiser d'autant plus facilement que la température de l'eau est élevée et que la pression est faible.

Les premiers symptômes, le bruit et les vibrations doivent alerter le technicien sur un fonctionnement erratique de l'organe.

Quelles sont les causes de la cavitation.

Une sélection erronée de la pompe, la sélection (NPSH) par apport au réseau est un facteur qui peut entraîner ce phénomène. La difficulté étant d'adapter la puissance de la pompe aux pertes de charges du réseau celles-ci étant toujours assez mal connues.

Vitesse de la pompe trop importante, pour combattre les pertes de charges on a parfois le réflexe d'augmenter la vitesse, donc la pression de la pompe .Si cette pression est exagérée, celle-ci peut créer localement des dépressions causant une vaporisation du liquide.

Vanne en partie fermée ou filtre à tamis partiellement bouché, la pression dans la pompe pourrait être plus basse que la pression atmosphérique, et elle risque de caviter.

Présence d'air dans le réseau hydraulique de façon importante, ce mélange d'air et d'eau accentue le dégazage dans le corps de la pompe, des microbulles s'agglomèrent et implosent.

NPSH (Net Positive Suction Head)

NPSH est caractérisée par la pression à l'aspiration du liquide corrigée en fonction de la hauteur et de la température. Le NPSH requis est exprimé en mètre de colonne d'eau (mCE), indique la pression minimum qui doit être présente à l'entrée de la pompe pour assurer un fonctionnement correct. Elle est fournie par une courbe croissante en fonction du débit.

Le NPSH indique la pression minimale requise afin de fonctionner sans cavitation .

Il est important de comprendre que pour empêcher les effets indésirables de la cavitation c'est de respecter cette loi : **NPSH disponible (réseau) doit être supérieur à la NPSH requis (constructeur) + une marge de sécurité de 0,5 à 1 (mCE)** .

Comment empêcher la cavitation ?

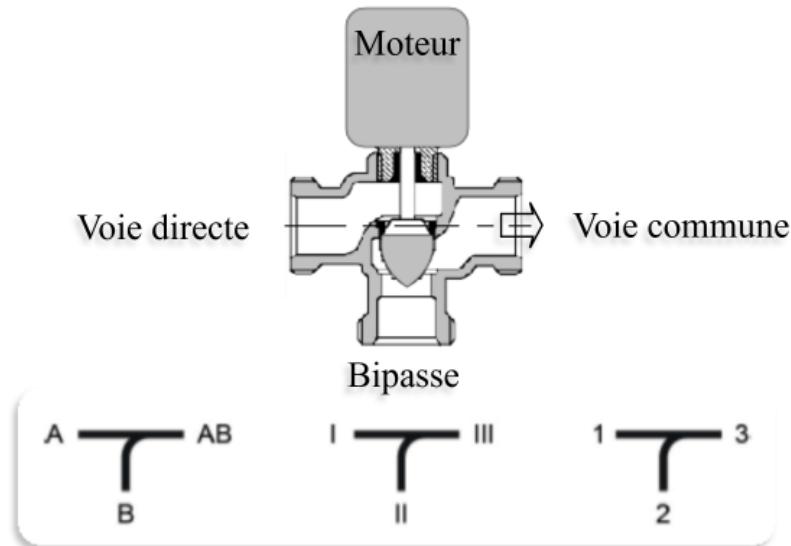
- Augmentation de la pression statique à l'aspiration.
- Diminution de la température du fluide (tension de vapeur, relation pression/température) .
- Changer la pompe qui respecte NPSH disponible (réseau) > NPSH requis (constructeur) .

Montage des vannes 2 et 3 voies

Les vannes 2 ou 3 voies motorisées sont un bon moyen d'assurer la régulation des batteries dans les centrales de traitement d'air, les ventilo-convector, les aérothermes leurs actions permettent soit une action tout ou rien, soit une action proportionnelle avec une justesse de réglage appréciable.

Constituée d'un corps en laiton ou en bronze surmonté d'un servomoteur qui pilote l'ouverture ou la fermeture de la vanne en actionnant une tige avec un obturateur.

A ou I = Voie directe
B ou II = Voie du bipasse
AB ou III = Voie commune



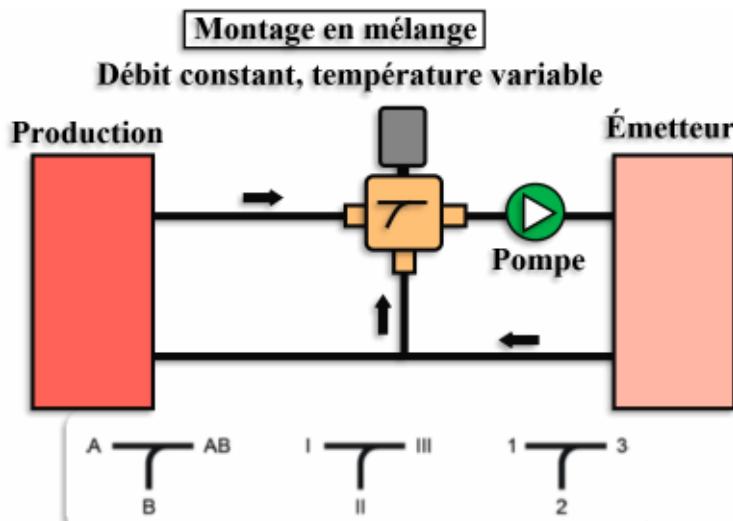
Montage des vannes 3 voies

Les vannes 3 voies motorisées s'utilisent dans les installations où l'on désire réguler la température ou le débit sur un émetteur (radiateur ou batterie froide).

Raccordement vanne en mélange

Le montage en mélange est typiquement le montage utilisé sur un circuit de chauffage par radiateurs ou par plancher chauffant, les émetteurs dans ce type de montage sont toujours alimentés en débit constant mais avec une température d'eau variable.

Si la vanne 3 voies est complètement ouverte (by-pass fermé), l'eau circule dans la batterie. En position intermédiaire, il y a mélange entre l'eau du départ et l'eau du retour ce qui permet de faire varier la température de l'eau. Ici dans ce montage le point de mélange est interne à la vanne.

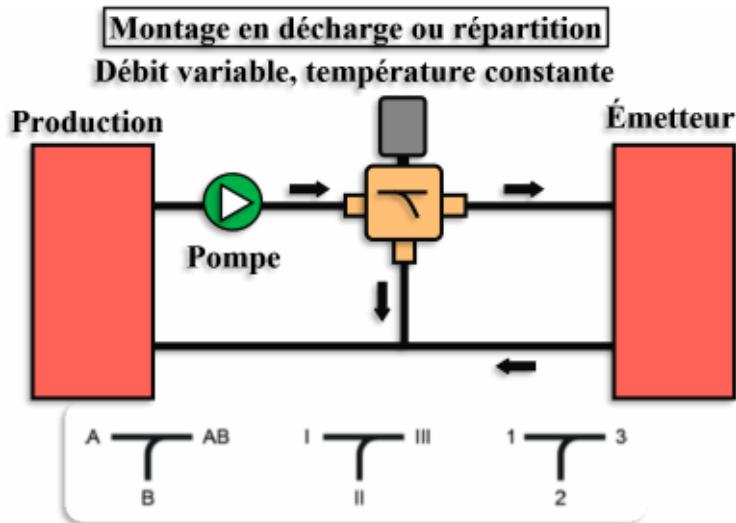


Raccordement vanne en décharge ou répartition

Le montage en décharge ou en répartition est plutôt utilisé en climatisation, il permet de faire varier sur les émetteurs le débit par contre la température reste constante.

Si la vanne 3 voies est complètement ouverte (by-pass fermé), l'eau circule dans la batterie. En position intermédiaire, ici c'est le débit qui est partagé est proportionnelle au degré d'ouverture de la vanne.

Il s'agit d'une régulation de débit.



La vanne 2 voies

La vanne 2 voies libéra plus ou moins de fluide dans la batterie en fonction de la demande bien entendu ce type de vanne est employée dans les installations ou les pompes travaillent à vitesse variable, assurant ainsi une pression constante dans le réseau ,quand plusieurs vannes ferment le débit chute,les pompes adapteront leurs débits automatiquement.

Type de servomoteur

Les moteurs qui commandent les vannes trois voies peuvent être de trois types différents:

Le plus simple est le servomoteur 2 points celui-ci n'autorise que l'ouverture à 100 % et la fermeture de la vanne à 100 %.

Quant à lui le moteur 3 points permet l'ouverture, la fermeture et l'arrêt à une position intermédiaire de la vanne.

Bien entendu le fonctionnement le plus évolué, qui donne le plus de satisfaction au point de vue du réglage et confort c'est l'alimentation par signal proportionnel de 0 à 10 V.

Le moteur est alimenté sous une tension de 24 V alternatif tandis que le signal d'ouverture et de fermeture est délivré sous forme d'une tension continue de 0 à 10 V.

Pour une tension de 0 V nous aurons une fermeture totale de la vanne tandis que pour 10 volts nous aurons une ouverture totale de la vanne.

Logiquement si le moteur de la vanne est alimenté en 3 V continu et bien celle-ci sera ouverte à 30 %.

La caractéristique d'usine Ouverture = (Tension) est une courbe exponentielle que l'on peut transformer en linéaire.

Pour faire la différence entre une coupure d'alimentation électrique du servo moteur on utilise du 2-10V, 2V fermeture 100% et 0V = défaut alimentation

Montage en mélange, en répartition des vannes 3 voies !

<https://vimeo.com/584785541/66760d62a8>

Caractéristiques vannes 2 et 3 voies

En climatisation on utilise fréquemment des vannes 2,3,4 voies afin de réguler les débits des CTA, des ventilo-convecteurs, des UTA ,le dimensionnement d'une vanne tient compte de plusieurs paramètres,coefficient kv,perte de charge de la vanne... etc.

Pour chaque type de vanne, les fabricants donnent un diagramme pour suivre l'évolution du débit en fonction de la perte de charge dans la vanne, ce type de diagramme permet de déterminer le diamètre nominal (DN) d'une vanne connaissant le débit et la pression différentielle.

La plupart des renseignements utiles pour une bonne sélection sont donnés par les constructeurs et il est intéressant de connaître les définitions des caractéristiques des vannes.

Caractéristiques des vannes:

- DN: diamètre nominal de la vanne, DN 16,DN 25 ..etc
- PN: pression maximum de résistance de la bride de raccordement de la vanne ,exemple PN 40
- H 100: course totale de la vanne(100% ouverte)
- Kv: ce coefficient indique le débit en m³/h pour une perte charge égale à 1 bar et une température d'eau d'environ 4°C.
- Kvs: c'est la valeur du KV,vanne 100% ouverte, valeur indiquée sur les catalogues.
- Kvo: c'est le débit de fuite vanne fermée,r eprésentant généralement le débit de fuite, donnée en % de KvS.Pour une vanne neuve,le Kvs doit être inférieur à 0,05 % du Kv.
- Pmax: pression maximale admissible par le corps de la vanne suivant une température donnée.
- Δpmax : différence de pression maximale admissible pour laquelle la vanne fermée restera étanche.
- Δpv100max : différence de pression maximale vanne complètement ouverte (100%), dépassée cette pression poserait des problèmes de bruit ou d'usure prématuée.
- T°limite de fonctionnement : limite de température du médium ou la vanne ne fonctionnera plus de normalement.

Autorité de la vanne:

La qualité première d'une vanne est de réguler un débit ou une puissance thermique de façon progressive cette précision de réglage s'appelle l'autorité de la vanne nommée AV et représente le rapport entre la perte de charge de la vanne grande ouverte (H = 100%) et la perte de charge de la batterie(échangeur).

Généralement l'autorité d'une vanne doit être comprise entre 0,5 et 0,7 ,en dessous de 0,5 la précision sera faible avec risque de pompage de la vanne,au dessus 0,7 les pertes de charge seront importantes avec usure du matériel .

Calcul de l'autorité:

$$aV = \Delta pV / (\Delta pV + \Delta p \text{ batterie})$$

Exemple:

Une vanne 3 voies est branchée sur une batterie à eau glacée dont la perte de charge est de 10 mCE pour un débit de 2,8m³/h ,pour ce débit la Δp de la vanne est de 15 mCE (10mCE=1bar).

Son autorité sera donc : aV = 15/(15+10) = 0,6

$$aV = \frac{\Delta Pv}{\Delta Pv + \Delta Pr}$$

Equilibrage hydraulique

L'équilibrage hydraulique consiste à répartir le plus judicieusement possible les débits d'eau et les pressions dans un réseau hydraulique. Il s'agit généralement de réseaux de chauffage, ou de climatisation. Les utilisateurs de chauffage et de climatisation s'attendent à ce que leurs installations soient performantes et économiques. Les fabricants et les installateurs sont mis devant l'obligation de proposer des produits performants et des installations équilibrées sur un plan hydraulique, dans le but de garantir les débits requis de façon égale vers toutes les pièces.

Dans une installation non équilibrée logiquement c'est le tronçon le plus proche de la production ou le moins résistant (perte de charge) qui reçoit le plus grand volume d'eau, et c'est bien entendu le tronçon le plus éloigné qui en reçoit le moins. La répartition inégale de l'eau entraîne soit une température ambiante insuffisante soit trop élevée, dans les deux cas le confort thermique n'est pas au rendez-vous.

Mais ce n'est pas tout, un débit trop élevé dans certaines parties du réseau engendre des turbulences et des bruits désagréables de circulation d'eau dans les tuyauteries et le coût énergétique de ces installations sont parfois élevés, notons qu'une température ambiante élevée crée un surcout en énergie de 10 à 15 %. Compte tenu de la multitude des problèmes engendrés par le déséquilibrage hydraulique, la seule solution vous vous en doutez c'est de procéder à une répartition équitable des débits de chaque tronçon et de tous les terminaux.

Plusieurs méthodes d'équilibrage existent citons :

- Les méthodes basées sur le calcul des débits, les réglages des différents organes d'équilibrage sont donnés par calcul théorique.
- Les méthodes basées sur la mesure des débits type Régis, ici il faudra plusieurs campagnes de mesure pour déterminer les réglages de chaque élément.
- Les méthodes utilisant la mesure de température aller et retour de chaque tronçon, méthode assez gourmande en temps, dans cette méthode les débits sont considérés en équilibre quand tous les circuits ont la même température de retour.

Arrêtons-nous sur la méthode dite Régis (TA)

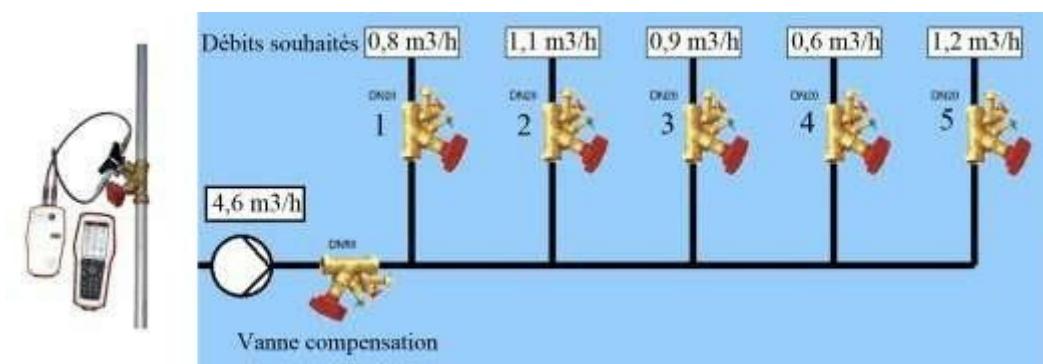
Le réglage des débits est réalisé grâce à des vannes d'équilibrage équipées de prises de pression

Avant toute mesure il faut vérifier que :

- La pompe fonctionne à pleine vitesse si celle-ci est variable.
- La vanne de compensation doit être entièrement ouverte.
- Les vannes d'équilibrages du réseau sont ouvertes à moitié.
- Repérer et nommer chaque vanne du réseau.

Pour chaque vanne d'équilibrage:

1. Sélectionner méthode Régis sur l'ordinateur (CBI)
2. Connecter le CBI, renseigner le débit, le type de vanne, le diamètre et sa position de réglage.
3. Faire une mesure
4. Fermer la vanne, faire une mesure vanne fermée.
5. Ouvrir à nouveau la vanne selon le précédent réglage
6. Mesurer la vanne suivante
7. À la fin de la campagne de mesure, le CBI donnera le réglage nominal de chaque vanne d'équilibrage (suivant repérage) ayant enregistré toutes les mesures effectuées. Effectuer une mesure de contrôle de débit de chaque vanne.



Contrôle débit sur vanne TA à l'aide d'un TA scope : <https://youtu.be/poBtmWqJlpk>

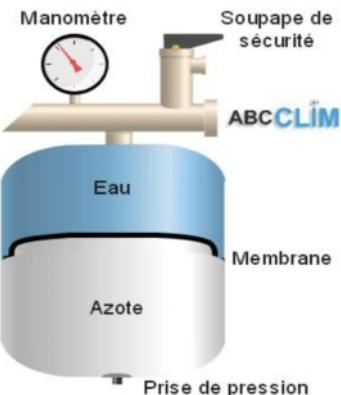
Vase expansion, flexcon

Un vase d'expansion (flexcon) a pour rôle de compenser ou d'absorber les fluctuations de volume de l'eau suite aux variations de température dans un réseau de chauffage ou de climatisation.

En chauffage l'eau se dilate en montant en température, de 10°C à 80°C, 1 m³ d'eau se dilate de près de 4%, en climatisation c'est le contraire elle se rétracte à mesure que la température descend.

Le vase d'expansion permet aussi de maintenir une pression suffisante pour un bon fonctionnement dans une installation hydraulique.

Constitution d'un vase d'expansion à membrane.



Rappel concernant la loi de Mariotte

A température constante et pour un même nombre de molécules lorsque la pression d'un gaz diminue son volume augmente. L'inverse est aussi vrai lorsque le volume diminue la pression augmente .

Prenons l'exemple d'une seringue remplie d'air dont on bouché le bout, si je diminue son volume en poussant le piston les molécules d'air seront compressées les unes contre les autres et pousseront plus fort sur les parois et sur le piston, la pression est donc plus forte. Si maintenant je diminue la pression en relâchant le piston j'observe que le volume d'air augmente et pousse le piston.

Le montage du vase d'expansion s'effectue sur le retour de l'installation sans vanne, si celle-ci existe il faudra que la manette soit démontée afin d'éviter d'isoler par mégarde le vase de l'installation.

Au montage, à la livraison, le vase d'expansion est vide d'eau. La pression initiale de l'azote pousse la membrane contre la paroi du flexcon.

Le vase d'expansion est partiellement rempli d'eau, l'eau comprime l'azote, la pression monte. La température de l'eau est à la température ambiante. La pression de l'azote est égale à la pression de service de l'installation.

En mode chauffage la température de l'eau monte, la pression augmente, l'eau se dilate et remplit une grande partie du flexcon. La pression n'atteint pas la pression de tarage de la soupape ou pression finale, car le vase d'expansion est correctement dimensionné.

Toujours en mode chauffage, l'eau ce dilate est remplie une grande partie du vase d'expansion. La pression devient supérieure à celle de tarage de la soupape de sécurité. La soupape ouvre et évacue l'excédent de pression. La contenance du flexcon est mal calculée.

Une pression de remplissage correcte est primordiale pour le bon fonctionnement d'une installation hydraulique. Une pression d'eau trop importante serait de nature à faire ouvrir la soupape de sécurité quand l'eau a atteint sa température maximale. Une pression trop faible ne remplirait pas suffisamment le flexcon celui-ci deviendrait inutile, des appareils ne seraient pas alimentés en eau, le réseau serait en dépression générant des entrées d'air dans l'installation.

D'usine les vases d'expansion sont prégonflés de 0,5 bar à 2,5 bars, la bonne pression de gonflage d'un flexcon est déterminée par la hauteur statique à l'installation au-dessus du vase d'expansion. Cette pression est exprimée en bar sachant que 10 m est égal à un bar. Ainsi, si l'appareil de chauffage le plus haut se situe à une hauteur de 10 mètres du flexcon, la pression de gonflage sera égale à: $10/10 = 1 \text{ bar}$

La pression de remplissage en chauffage doit être légèrement supérieure à la pression de gonflage du vase d'expansion afin que celui-ci ne soit pas vide, généralement de 0,3 à 0,5 bar. Notons que la réglementation sur les vases demande de rajouter au volume de dilatation un volume de réserve de 0,5%.

En climatisation, le remplissage de l'installation doit se faire à une pression proche de celle du tarage de la soupape de sécurité pour qu'une fois arrivée à la température de service la pression soit légèrement supérieure à la pression de gonflage du vase d'expansion.

Pour gonfler un flexcon l'utilisation d'azote sec est conseillé, l'utilisation d'air comprimé causerait à terme des problèmes de corrosion, car l'air contient de l'humidité.

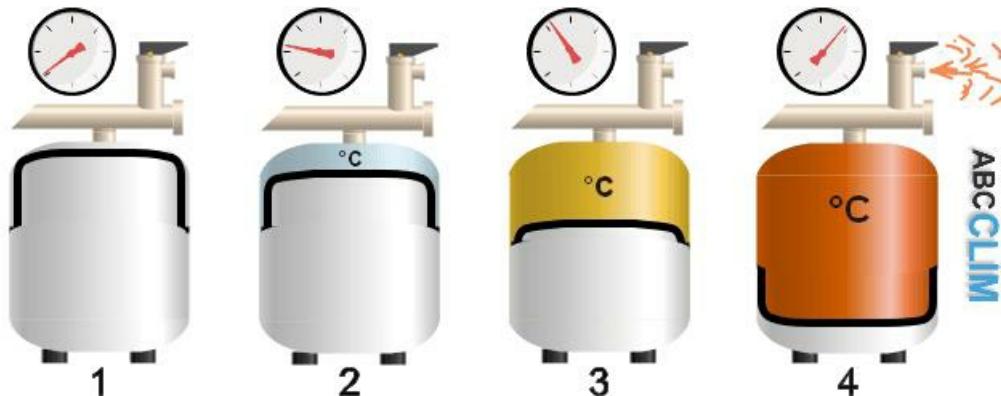
Estimation de la contenance d'un flexcon

Ci-dessous quelques explications sur la méthode de calcul dite classique:

- On calcule tout d'abord le coefficient d'expansion à la température moyenne de l'installation
- Puis c'est le tour au calcul de l'effet utile du vase, qui correspond au rapport entre la capacité brute et la capacité nette du vase.
- On utilise pour le calcul la pression finale qui est égale à la pression de tarage de la soupape de sécurité et la pression de gonflage, c'est la pression de gonflage initiale d'azote, sans charge et à température ambiante.
- Enfin, lors du calcul du volume brut on applique une réserve de sécurité de 25% .

Pression de gonflage du vase :

Correspond à la pression mesurée sur la valve de gonflage d'azote, en l'absence d'eau et à température ambiante. Cette pression doit correspondre à la pression résultant de la hauteur statique, arrondie au 0,5 bar supérieur. Ceci permet d'éviter que de l'eau ne soit refoulée dans le vase Flexcon lorsque l'installation est froide.



- 1) Au montage, à la livraison, le vase d'expansion est vide d'eau. La pression initiale de l'azote pousse la membrane contre la paroi du flexcon.
- 2) Le vase d'expansion est partiellement rempli d'eau, l'eau comprime l'azote, la pression monte. La température de l'eau est à la température ambiante. La pression de l'azote est égale à la pression de service de l'installation.
- 3) En mode chauffage la température de l'eau monte, la pression augmente, l'eau se dilate et remplit une grande partie du flexcon. La pression n'atteint pas la pression de tarage de la soupape ou pression finale, car le vase d'expansion est correctement dimensionné.
- 4) Toujours en mode chauffage, l'eau ce dilate est remplie une grande partie du vase d'expansion. La pression devient supérieure à celle de tarage de la soupape de sécurité. La soupape ouvre et évacue l'excédent de pression. La contenance du flexcon est mal calculée.

Lien vers ma playlist sur le flexcon, 6 vidéos :
<https://youtube.com/playlist?list=PLDg6LS5oLzmQh47FtRobOXFoqA5F1MohJ>

A retenir :

Capacité brute du vase :

Correspond à la capacité totale du vase Flexcon.

Capacité utile (ou nette) du vase:

Correspond à la quantité maximale d'eau pouvant être recueillie du côté raccord d'eau de la membrane.

Hauteur statique:

Correspond à la hauteur de l'installation, entre le point de raccordement du vase Flexcon et le point le plus élevé l'installation, mesurée en mètres de colonne d'eau (1 mètre CE = 0,1 bar).

Problèmes d'air dans les installations hydraulique !

De nos jours, la plupart des circuits de chauffage et de climatisation sont des systèmes en circuits fermés. L'oxygène peut néanmoins entrer dans les circuits par l'intermédiaire de différents matériaux intégrés aux installations comme les flexibles, ou encore les raccords, qui sont étanches à l'eau mais pas imperméable à l'oxygène. L'air peut être aussi introduit quand un circuit hydraulique est en dépression (manque d'eau), il peut également provenir de l'eau de remplissage de l'installation, qui contient une faible quantité d'air dissous.

En plus de l'air, d'autres gaz tels que l'hydrogène ou le méthane peuvent être présents dans les installations et les détériorer. La formation de ces gaz peut être provoquée par réaction au contact de divers matériaux.

Les différentes formes de l'air

Les gaz dans l'eau peuvent se présenter sous forme dissoute ou sous forme de bulles libres. S'il y a une surabondance en gaz (air, azote, hydrogène) dans l'eau, les gaz dissous se libèrent sous forme de bulles.

Bulles d'air dans l'eau de circulation :

Sous l'influence de la pression et de la température, les poches d'air peuvent en partie se dissoudre dans l'eau, ce qui entraîne une saturation en gaz excessive de l'eau. La diminution de solubilité qui en découle provoque la libération des bulles qui seront véhiculés dans toute l'installation. La vitesse d'écoulement de l'eau dans les tuyaux rendra difficile leurs séparations.

Remplissage et poche d'air :

Lors du remplissage de l'installation, l'eau pousse l'air vers le haut (l'air étant logiquement plus léger). Donc, cet air va s'accumuler dans les zones supérieures de l'installation puis sera mélangé avec l'eau lors de la mise en service des pompes de circulation.

Gaz dissous :

Les molécules de gaz s'imbriquent dans les molécules d'eau, seules les différences de pression et de température d'une installation permettent leur libération sous forme de bulles des gaz appelées gaz dissous.

Microbulles :

NOMBREUSES ET TRÈS PETITES, ELLES SONT PRESQUE INVISIBLES À L'OEIL NU. CES MICROBULLES SONT TRANSPORTÉES PAR L'ÉCOULEMENT MAIS S'ACCUMULENT ÉGALEMENT AU CONTACT DE CORPS ÉTRANGERS PRÉSENTS DANS L'EAU AFIN DE FORMER DES BULLES PLUS GRANDES. LORSQU'ELLES ADHÈRENT À CERTAINES SURFACES, LA SÉPARATION SERA ENCORE PLUS DIFFICILE. LA PRÉSENCE DE MICROBULLES A POUR CONSÉQUENCE DE RENDRE L'EAU DE COULEUR BLANCHATRE VOOIR LAITEUSE.

Les conséquences de la présence d'air

La présence d'air peut provoquer un ensemble de désagréments voir de dysfonctionnements, du bruit, un mauvais rendement de l'installation, une exploitation coûteuse, une circulation perturbée, de la corrosion, des fuites, des défauts d'équilibrages du réseau.

Bruit, égale problème

L'air ou tout gaz engendre du bruit dans l'installation et plus particulièrement au passage des vannes, au niveau des tuyauteries et des terminaux comme les radiateurs ou les ventilo-convection. Qui n'a jamais entendu le bruit caractéristique du radiateur qui "glougloute".

Une puissance de chauffe réduite et une circulation erratique.

La présence d'air est nuisible au transfert de chaleur. Cela peut provoquer le dysfonctionnement par exemple des radiateurs aux étages supérieurs d'un bâtiment lorsque la quantité d'air est importante, entraînant partiellement l'arrêt de la circulation. Mais cela cause aussi une réduction d'échange par l'action isolante des bulles d'air sur les surfaces de chauffe.

Les bulles d'air nuisent à la circulation. L'air et l'eau ne font pas bon ménage. Ainsi, la capacité thermique du caloporteur se réduit et l'instabilité de l'écoulement entraînera des pertes de charges ainsi qu'un manque d'irrigation aux endroits thermiquement ou hydrauliquement sensibles.

La corrosion et l'érosion

La corrosion détériore petit à petit la matière constituant un réseau hydraulique. Ceci peut provoquer à la fois les dépôts de rouille (magnétite) et l'érosion par action de molécules corrosives et abrasives. Les bulles d'air multiplient le risque d'érosion. Ainsi, certains organes peuvent être détériorés, générateurs de chaleur, les pompes à cause de la cavitation et les vannes de réglage (usure prématuée).

Les solutions pour éliminer l'air

Afin de remédier aux problèmes d'air, plusieurs options s'offrent aux techniciens.

Les purgeurs d'air

C'est l'organe le plus commun pour évacuer l'air dans les installations de climatisation et de chauffage. D'une façon automatique, les purgeurs évacuent les gaz accumulés vers l'extérieur. Pour ce faire, l'eau doit pouvoir stagner au risque de voir les gaz entraînés par l'écoulement de l'eau. C'est la raison pour laquelle les purgeurs installés directement sur des conduites ne purgent que très rarement lorsque les pompes de circulations fonctionnent. En présence d'air le flotteur muni d'un pointeau se trouve en partie basse du purgeur ce permet d'évacuer l'air, quand la pression de l'eau est suffisante le flotteur est en partie haute et le pointeau ferme le purgeur. Ils permettent aussi d'aérer le circuit hydraulique pour faciliter la vidange de l'installation.

Les séparateurs d'air

Les séparateurs d'air classiques consistent par action centrifuge (perturbations) à ralentir d'une manière drastique la vitesse d'écoulement de l'eau. Les bulles d'air présentes sont alors séparées de l'eau, et elles seront évacuées à l'extérieur, de préférence au moyen d'un purgeur automatique.

Les séparateurs de microbulles

Ils peuvent être conçus de manière très compacte. Ils sont adaptés au dégazage en fonctionnement. Différents principes de fonctionnement peuvent être associés, tels que la présence de corps étrangers destinés à former des bulles plus grandes, le ralentissement de la vitesse d'écoulement ou bien les dispositifs de guidage servant à soutenir les forces ascensionnelles pour permettre la séparation par action centrifuge.

Le cas du vase d'expansion ou flexcon

Le vase d'expansion a pour rôle d'absorber, de compenser la dilatation de l'eau et de maintenir la pression constante en tout point du réseau. Faites très attention au choix du modèle de votre vase. Notez bien que la pression de gonflage du vase doit s'adapter à chaque installation de climatisation ou de chauffage, hauteur manométrique, température moyenne. Pour l'installation, il est recommandé que le vase soit doté d'une vessie d'excellente qualité telle que la vessie en caoutchouc de butyle, qui permet une résistance optimale à la pression.

Pourquoi et comment désembouer un circuit hydraulique

L'embouage, c'est quoi ?

Ce phénomène invisible est un problème bien réel qui concerne aussi bien les circuits de chauffage ou de climatisation. Il s'agit de la formation, au fil du temps, d'impuretés qui se logent dans les circuits hydrauliques. La cause la plus répandue est la corrosion. En effet, l'eau qui est chargée en oxygène va - en circulant dans les circuits - entraîner l'oxydation des tuyauteries. Les oxydes métalliques vont former un dépôt dans les canalisations qui générera le fonctionnement de l'installation. La formation de calcaire est aussi à prendre en compte car cela diminue drastiquement le transfert de chaleur (échangeur) et réduit le diamètre des tuyauteries et à terme cela cause des remplacements prématuress de composant.

Concernant les planchers chauffants, même si ceux-ci sont constitués de matière synthétique ce qui évite la corrosion, la basse température en circulation de l'eau favorise le développement de certaines bactéries qui forment des boues.

Notons aussi que l'utilisation d'antigel dans les installations de chauffage et de climatisation peut poser problème. En effet la dégradation progressive d'un antigel provoque une chute de pH conduisant à la formation d'acide. Cette dégradation entraîne parfois la formation de dépôts solides qui obstruent les tuyaux.

Embouage et qualité de l'eau

Mais d'autres causes peuvent être responsables de ce phénomène. Pour qu'un système de chauffage ou de climatisation soit performant, la qualité de l'eau qui y circule doit être optimale.

La qualité de l'eau peut être dégradée à cause de certains matériaux, utilisés pour l'installation, qui ne sont pas compatibles, par exemple une mauvaise interaction entre différents métaux de l'installation. Cela peut provenir aussi de la typologie de l'installation et de la température de fonctionnement qui ne sont pas en adéquation.

Les mesures de PH de l'eau doivent être respectées et surveillées en fonction des métaux mis en contact. Une eau trop acide peut être un signe alarmant à ne surtout pas négliger.

Le désembouage est donc la technique qui consiste à nettoyer les circuits de votre chauffage ou de votre climatisation encrassée, depuis de nombreuses années, par l'accumulation d'un dépôt de saletés. Cela concerne toutes les chaudières, qu'elles soient au fioul, à gaz, à bûches, à granulés ou mixtes. C'est un problème aussi pour les pompes à chaleur air-eau, les pompes à chaleur géothermiques, ou avec un système solaire combinant la production d'eau chaude (chauffe eau thermodynamique) et de chauffage pour l'habitation.

Comment savoir qu'un désembouage est utile ?

Certains symptômes peuvent vous alarmer facilement. D'autres peuvent être plus discrets et passer inaperçus. C'est en constatant certains dysfonctionnements qu'un professionnel peut poser le diagnostic d'un embouage.

Il peut s'agir de bruits venant de la tuyauterie. Si la production de chaleur se met en sécurité. Quand un manque de débit dans l'installation est constaté.

Quand les filtres sur le réseau (Ex : filtre entrée pompe à chaleur) se bouchent trop rapidement.

Si certains des terminaux du circuit, radiateur, plancher chauffant, ventilo-convector ne fonctionnent plus correctement.

Pourquoi procéder à un désembouage ?

Lorsque la qualité de l'eau est très dégradée, le rendement global de votre installation devient beaucoup moins efficace, les pertes de charges augmentent car l'eau circule plus difficilement dans les tuyauteries. Ce qui engendre une usure prématuress de certains éléments comme les pompes et circulateurs. Cette perte d'efficacité sera compensée par un temps plus long de fonctionnement de votre production de chaleur (chaudière, pompe à chaleur). Bien évidemment, ce dysfonctionnement engendre une surconsommation d'énergie de près de 10 à 15 % qui se répercute sur votre facture énergétique. L'embouage cause certains dysfonctionnements sur les vannes de régulation, vannes 2 voies et voies, en réduisant aussi leur durée de vie.

Comment prévenir tout risque d'embouage ?

Il est conseillé d'effectuer un prétraitement chimique avant la première mise en service de l'installation ou un rinçage de l'installation au cours des 6 mois qui suivent son installation.

Puis, afin d'éviter l'embouage de vos circuits de chauffage et de climatisation, il est préférable de protéger vos installations en procédant à un désebouage tous les 5 à 10 ans.

Il existe 2 techniques :

La première technique est l'utilisation d'une pompe muni d'un réservoir, l'eau et un produit nettoyant sont introduit sous pression dans le réseau, la pompe permet de faire circuler (plusieurs minutes ou plusieurs heures) ce mélange afin de décoller les boues. Puis un rinçage du circuit sera effectué.

La seconde consiste à utiliser un produit (le désebouant) que l'on laisse agir pendant au moins 24 à 48h. Passé ce délai, on évacue lors d'un rinçage à l'eau claire les boues.

Après nettoyage l'utilisation de produits inhibiteurs permet une protection durable de l'installation contre la corrosion.

Fonctionnement d'une boucle de Tickelman

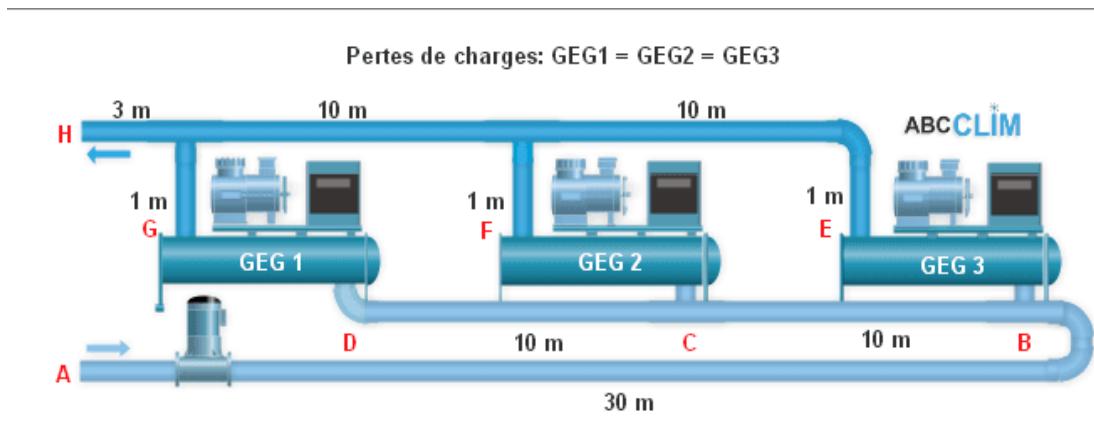
La boucle de Tickelman du nom de son inventeur *Albert Tichelman (1861-1926) ingénieur Allemand est un principe de raccordement hydraulique qui permet à un réseau de s'autoéquilibrer naturellement.

Le passage de l'eau dans des tubes ou tout autre composant (vanne, échangeur) engendre des frottements plus ou moins importants, cette résistance au passage de l'eau constitue les pertes de charges. Sachant cela, on comprend mieux la nécessité d'équilibrer les débits dans une installation hydraulique.

L'équilibrage d'un réseau hydraulique de chauffage ou de climatisation consiste à répartir le débit de la pompe en fonction des puissances de chaque émetteur ou récepteur.

Pour cela soit on utilise des vannes de réglage, par exemple pour alimenter des radiateurs ou soit on doit réaliser l'installation de sorte à ce que les pertes de charges soient identiques en tout point du réseau ce qui est bien difficile voire impossible. Par contre si on doit raccorder plusieurs émetteurs (chaudière, pompe à chaleur) entre eux la solution proposée par Albert Tichelman est non seulement viable techniquement mais aussi assez peu onéreuse.

Pour qu'un débit d'eau se répartisse équitablement entre des émetteurs ou des récepteurs il faut tout d'abord que ceux-ci aient la même résistance hydraulique ou perte de charge, et que leurs raccordements soient identiques géométriquement.



Dans le dessin ci-dessus nous avons 3 groupes d'eau glacée, les pertes de charges des échangeurs sont identiques. On constate que la longueur cumulée des tronçons des tubes aller et retour sont aussi identiques :

NB : Les diamètres des tuyauteries sont aussi identiques

Groupe d'eau glacée 1 : tronçon A-B = 30m + tronçon E-H = 24m soit au total 54m

Groupe d'eau glacée 2 : tronçon A-C = 40m + tronçon F-H = 14m soit au total 54m

Groupe d'eau glacée 3 : tronçon A-D = 50m + tronçon F-H = 4m soit au total 54m

Toute la difficulté est donc d'avoir des pertes de charges parfaitement identiques, ce qui n'est pas toujours facile. Dans certains cas l'utilisation de vannes d'équilibrage est nécessaire même sur un raccordement de type Tickelman, car les pertes de charges calculées donc théoriques peuvent être assez différentes de la réalité.

La boucle de Tichelman n'est pas recommandée dans une installation de type cascade, avec arrêt de la circulation (vanne arrêt pilotée). Si on arrête la circulation dans un émetteur, il y aura forcément un déséquilibre hydraulique entre les autres émetteurs encore en service.

*l'Association des ingénieurs allemands décerne chaque année le prix Albert Tichelman.

Mélange eau /glycol

L'eau utilisée dans les systèmes de climatisation, de chauffage ou d'installation solaire, etc, c'est fluide caloporteur idéal car elle permet d'assurer un transfert thermique plutôt bon grâce notamment à une faible viscosité et à une inertie importante. Mais elle à le défaut de geler à des températures négatives ce qui limite notoirement son utilisation. Donc afin de pouvoir utiliser les propriétés de l'eau à des températures largement négatives,l'adjonction de glycol (antigel) est couramment utilisé dans les systèmes de chauffage, de conditionnement d'air et de refroidissement industriels.

Les glycols sont des liquides hygroscopiques, incolores,et facilement soluble dans l'eau.

Deux types d'antigel sont utilisés dans nos métiers, l'éthylène glycol et le monopropylène glycol:

1. Ethylène glycol (PEG) : composé chimique organique de la famille des glycols Diols (formule brute C₂H₆O₂)
 2. Monopropylène glycol (PG) : méthyl glycol,de la famille des diols de formule chimique CH₃-CHOH-CH₂OH
- Deux types de conditionnements existent concentré ou diluer(prêt à l'emploi).

Quels problèmes accompagnent l'utilisation de mélanges eau/glycol

Quand on modifie la composition de n'importe quel fluide immanquablement on modifiera sa capacité thermique, sa viscosité, sa densité. Donc ces changements auront une incidence sur les performances globales de l'installation mais aussi sur l'entretien de l'installation, et le coût d'exploitation.Notons qu'une installation hydraulique fonctionnera d'autant mieux si celle -ci a été calculée et réalisée en tenant compte du mélange eau/glycol.

Densité, viscosité, dilatation, chaleur massique !

Modification de densité :

L'eau à une densité de 1, sa densité sera plus élevée avec l'ajout de glycol ce qui reduira de fait le débit et augmentera les besoins en énergie pour augmenter ou diminuer la température du mélange.

Viscosité altérée:

La viscosité d'un mélange eau/glycol est plus grande par rapport à de l'eau pure, cela affectera la vitesse d'écoulement du fluide.Un effet d'adhérence sur les paroies vont faire augmenter les pertes de charges. Notons que plus la température du mélange diminue plus sa viscosité augmente.

Coefficient de dilatation :

Le coefficient de dilation du glycol va modifier de manière assez perceptible les variations de volume dans un circuit hydraulique, et ceci à toute les températures.

Chaleur massique réduite :

Un bon fluide caloporteur a une chaleur massique élevée, l'eau pure par exemple a une chaleur massique de 4,217 kJ/kg/°C à 0°C.A la même température si on mélange 30% de glycol à cette eau la chaleur massique du fluide obtenu sera plus faible (environ 3,7 kJ/kg/°C) et sa faculté à transporter de l'énergie sera plus faible. Pour une certaine quantité d'énergie à véhiculer il faudra donc un débit plus important avec un fluide eau/glycol.

Contrôle de la concentration !

Pour contrôler la concentration d'une solution eau/glycol on utilise un réfractomètre, cet appareil permet de déterminer les proportions d'un mélange en mesurant son indice de réfraction.En effet la lumière ne se déplace pas à la même manière suivant les substances qu'elle traversent, ce qui permet d'en déterminer la nature et les proportions. Il suffit de déposer quelques gouttes de la substance à contrôler sur le prisme incliné de l'appareil (exposé à la lumière) puis de regarder l'échelle dans l'appareil, pour déterminer la proportion d'antigel.

Durée de vie d'un mélange eau/glycol

Bien évidemment il est difficile de donner une durée de vie d'une substance quelque quelle soit, mais on sait qu'au gré des interventions la proportion de glycol diminue dans les installations, les appoints étant souvent fait avec de l'eau uniquement.

Le glycol est un fluide qui se dégradera naturellement avec le temps notamment quand il est utilisé dans des conditions sévères (températures, contaminants).Cette dégradation va créer des dérivés du glycol, l'acide glycolique et acétique, qui sont des facteurs de corrosion.

Il n'est donc pas inutile de surveiller par des analyses l'état du réseau hydraulique, annuellement idéalement.

Notions de PN et de DN

Les tuyauteries en chauffage et climatisation permettent de transporter de l'énergie sous forme de vapeur, d'eau chaude ou d'eau froide. Le fluide (eau pure ou glycolée) est véhiculé via une pompe de circulation, d'un générateur (chaudière, pompe à chaleur, refroidisseur de liquide) vers des émetteurs (ventilo-convector, CTA, plancher chauffant).

Une tuyauterie est composée d'un ensemble de tubes, de dérivations et de coudes mais aussi d'un certain nombre d'accessoires, vannes, clapets, d'organes de régulation, etc. !

En fonction du type de fluide, de la pression utile, de la section des tuyaux, l'exécution et l'exploitation des réseaux sont soumis à des contraintes réglementaires plus particulièrement à la Directive Européenne « Équipements Sous Pression » (DESP).

D'autres secteurs d'activités où intervient la tuyauterie de type industrielle, agroalimentaire, nucléaire, pétrochimique, process.

Matériaux utilisés en chauffage et climatisation

- PVC-C, HTA
- PEHD
- Inox
- Cuivre

Les tubes en acier sont les plus utilisés en chauffage et climatisation et peuvent être :

- en acier inoxydable,
- en acier électrozingué,
- en acier noir (TAN) .

Les matériaux utilisés dans les réseaux hydrauliques ne sont pas de même nature, et n'ont donc pas les mêmes propriétés physiques. Dilatation, résistance à la pression, type de supportage, pertes de charges sont autant de contraintes à évaluer avant de faire un choix.

Notions de Dimension Nominale (DN)

Afin de pouvoir assembler les divers composants entre eux, on a élaboré un système de code numérique appelé DN pour Dimension Nominale.

On utilise couramment de façon impropre le terme de Diamètre Nominale pour le DN, en soit cela ne change rien à son utilisation. Car tous les éléments ayant le même DN pourront être en toute logique raccordés ensemble.

Suivant la norme EN ISO 6708, le diamètre nominal d'un tube quel que soit sa nature correspond toujours à son diamètre intérieur en millimètres. Quant au diamètre extérieur il varie en fonction du matériau qui le compose. Un tube PVC-C pour le même DN n'aura pas le même diamètre extérieur qu'un tube en acier noir.

Équivalence entre diverses appellations usuelle, ancienne, et nouvelle !

Dimension nominale DN	Appellation en Pouces	Appellations en mm	Ø extérieur / épaisseur (acier)
10	3/8"	12-17	17.2 / 2.0
15	1/2"	15-21	21.3 / 2.3
20	3/4"	20-27	26.9 / 2.3
25	1"	26-34	33.7 / 2.9
32	1"1/4	33-42	42.4 / 2.9
40	1"1/2	40-49	48.3 / 2.9
50	2"	50-60	60.3 / 3.2
60	2"1/4	60-70	70.0 / 3.2
65	2"1/2	66-76	76.1 / 3.2
88	3	80-90	8.9 / 3.20
100	3"3/4	100-108	108.0 / 3.6
100	4"	102-114	114.3 / 4.0

Dimension nominale DN

PN ou Pression Nominale !

C'est une valeur numérique (norme NF E 29-005 , Norme internationale ISO 7268), qui permet de spécifier la limite de la pression hydraulique supportée par les tuyaux et les autres éléments du circuit. Le DN permet aussi de caractériser les éléments d'assemblage comme les brides, épaisseur de la bride, nombre de trous, afin de supporter cette pression. Le PN est une valeur de référence en Bar donnée à 20 °C et qui donne la pression maximale admissible à cette température.

À savoir : La pression maximale admissible dans une tuyauterie diminue alors que la température augmente.

Ex : Pour un tube en acier PN 20 (à 20°C - 20 bar) à 50°C la pression max admissible sera de 19,3 Bar alors qu'à 200°C elle ne sera que de 14 Bar.

Plus le diamètre d'un tube est petit, plus il résiste à la pression. A l'inverse plus son diamètre est grand moins il résiste à la pression, l'épaisseur du tube augmentera donc en fonction de son diamètre.

Assemblage des tuyaux en acier et accessoires

La soudure des tubes acier par métal d'apport par brassage autogène ou au TIG représentent les raccordements permanents. Par opposition les raccordements au moyen de brides sont par nature des raccordements non permanents car démontables.

Attardons-nous sur les raccordements à brides, deux pièces de métal usinées libres ou non sont maintenues serrées l'une contre l'autre par des boulons, l'étanchéité entre les deux brides est assurée par un joint plat compressible. Avant le montage d'un joint, veiller à ce que les portées de joint soient parfaitement propres. Le serrage en quinconce des boulons est préconisé afin d'obtenir une compression uniforme du joint.

Types de joint pour les brides :

- Joint PTFE pour toute application alimentaire
- Fibres organiques pour usage général (chauffage, climatisation)
- Joint graphite pour la vapeur, fluides caloporteurs
- Caoutchouc

Quelques mots sur l'isolation des réseaux hydrauliques (TAN)

Afin de limiter les pertes d'énergie et d'éviter les phénomènes de condensation on calorifuge (isole) les tuyauteries et les accessoires des installations de chauffage et de climatisation.

Mise en place de l'isolation dans l'ordre de mise en œuvre.

Isolation des réseaux de chauffage

- Traitement anti-corrosion (peinture anti-rouille)
- Isolant
- Protection mécanique

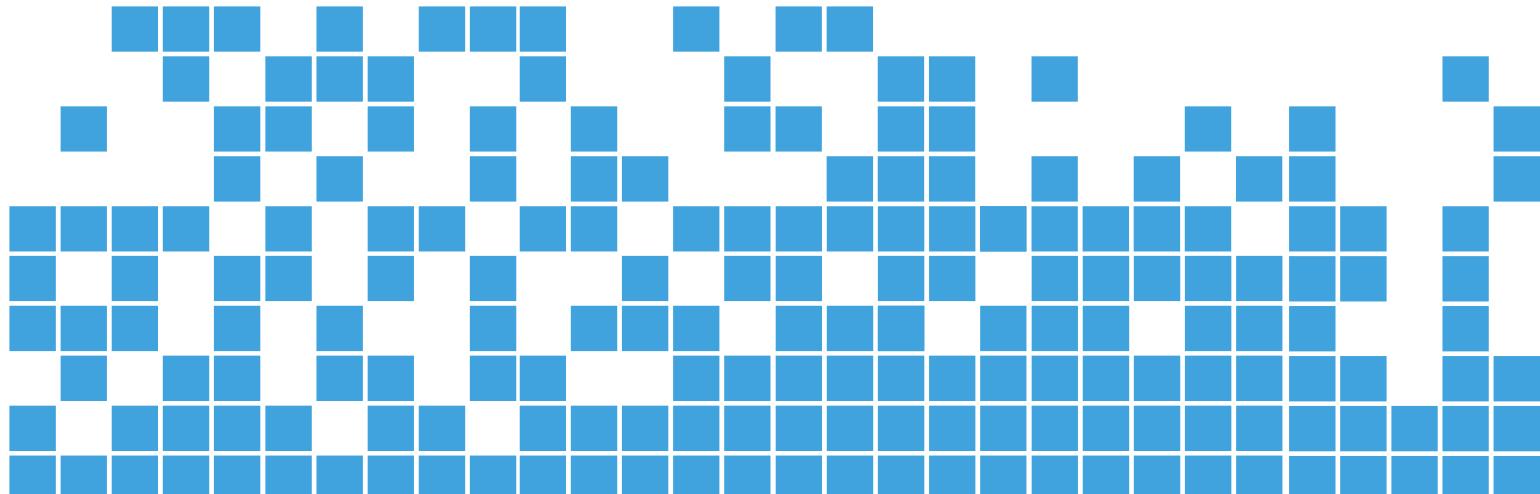
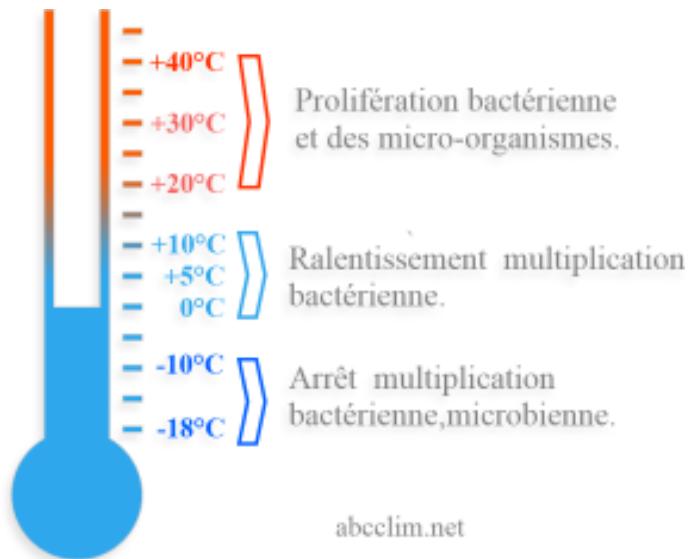
Isolation des réseaux de climatisation

- Traitement anti-corrosion (peinture anti-rouille)
- Isolant
- Pare-vapeur
- Protection mécanique

Quelques types d'isolant

Laines minérales, mousses de polyuréthane, polystyrène extrudé, mousse élastomère flexible, polystyrène expansé, mousse polyéthylène, mousse phénolique.

Froid et réfrigération



La chaîne du froid

La plupart du temps, nous ne nous rendons pas compte que les aliments qui se trouvent dans notre frigo suivent un parcours très sécurisé afin de nous éviter toute intoxication alimentaire. Nous nous en doutons évidemment mais, nous n'en connaissons pas tous les détails. Le processus de refroidissement permet de maintenir les qualités hygiéniques, nutritionnelles et organoleptiques (qualités perçues par nos sens) des produits en partant du producteur jusqu'au consommateur.

Ainsi, grâce aux respect de la chaîne du froid, les produits restent sains tout au long de ce cheminement en stoppant ou ralentissant la prolifération des micro-organismes et les métabolismes biochimiques dangereux pour la santé. Tous les acteurs de la filière doivent garantir le maintien des températures optimales celle-ci doivent être strictement respectées du début à la fin de la chaîne de froid.

Tout d'abord, un peu d'histoire.

Ce sont la forte croissance démographique et l'exode rural des années 1850 qui entraînèrent la nécessité de la mise en place de la chaîne de froid avec la disparition des filières courtes. Cette urbanisation entraîna un changement des modes de vie et des besoins des consommateurs avec l'apparition bien plus tard, entre autres, des supermarchés.

Un ingénieur français, Charles Tellier, fut en quelque sorte le premier technicien frigoriste. A la fin des années 1850, il créa la première machine frigorifique à circulation de gaz ammoniac liquéfié. En 1869, à Auteuil, la première usine frigorifique au monde pour la conservation de la viande et des denrées alimentaires par le froid artificiel vit le jour. Dans les années 1870, son nouveau défi fut de traverser l'Atlantique. Il installa donc trois machines à compression d'éther méthylique sur un vieux voilier alors transformé en bateau à vapeur. Tellier en isola la cale et le nomma Le frigorifique. Son arrivée en Argentine, 105 jours plus tard avec trente tonnes de viande en bon état constitua la première expérience de la chaîne de froid.

Quelles sont les règles de la chaîne du froid ?

Les choses ont bien changé depuis l'invention de Charles Tellier avec l'évolution industrielle et la mise en place de normes nationales et européennes. Ces règles de conservation à la fois scientifiques et juridiques sont strictes et doivent être respectées à la lettre sur toute la durée de vie du produit.

Parce qu'il existe trois catégories de produits : les produits frais traditionnels (PFT), les produits frais industriels (PFI) et les surgelés, la gestion de la chaîne de froid est donc différente. En effet, les premiers se conservent peu de temps et entre 2 et 15°C (entre 2 et 4 pour les poissons et 6 et 15 pour les fruits et légumes). De plus, il est quasi impossible de les stocker à cause de la durée de leur mûrissement rendant ainsi, la gestion de la chaîne du froid plus courte et plus compliquée. Concernant les PFI, grâce à leurs origines industrielles, il est plus facile de contrôler et de maîtriser leur stockage. Idem pour les surgelés qui ont, par contre, une contrainte de température plus importante. En effet, ils doivent être maintenus entre -18 et -25°C. Cela engendre donc des contraintes de délai ainsi que la mise en place d'infrastructures et d'un système logistique adaptés afin de répondre à ces exigences.

Notons aussi que le taux d'humidité participe à la bonne tenue des aliments, par exemple la température de conservation de la viande varie de 0°C à 4°C avec hygrométrie comprise entre 75 et 85 % ou encore les fruits (0°C à +15°C) ont besoin d'une hygrométrie comprise entre 80% 90 %, les légumes (0°C à + 10°C) doivent avoir une teneur en humidité relative comprise de 70 à 90 %.

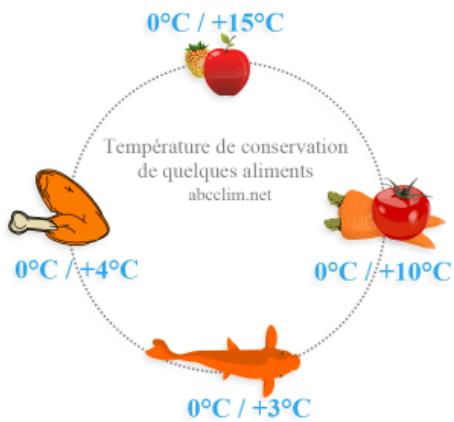
Les acteurs de la chaîne du froid.

Les règles de la chaîne de froid s'applique à tous les acteurs en allant de la fabrication à la consommation du produit. En dehors du producteur et du commerce de proximité, deux des facteurs les plus importants sont le transport et le stockage. En effet, une certaine logistique doit être mise en place afin qu'il n'y ait pas d'interruption dans la chaîne de froid. D'autant plus, que comme précisé plus haut, chaque produit subit des contraintes et des règles spécifiques de conservation au risque d'entraîner une contamination du produit. Un autre acteur est également indispensable : le technicien frigoriste. Son rôle ? Il participe à la conception, à l'installation et à l'entretien curatif et préventif de tous les systèmes réfrigérés, c'est le spécialiste du froid. Le consommateur, quant à lui, est le dernier maillon de cette chaîne.

Les risques d'interruption de la chaîne du froid.

Si les températures et les conditions de conservation de chaque produit ne sont pas respectées, cela entraîne une réduction de la vie du produit et l'apparition inévitable de bactéries. Le produit devient impropre à la consommation. Ces bactéries peuvent entraîner diverses infections, des intoxications alimentaires et dans certains cas la mort si les victimes ont déjà un système immunitaire très affaibli. La listériose, une de ces infections graves, est due à la bactérie Listeria monocytogenes. Elle entraîne une septicémie ou une infection du système nerveux central. Cependant, en France, la maladie reste rare mais mortelle dans 20 à 30 % des cas.

Techniques de conservation par le froid



Les techniques de conservation par abaissement de la température des produits et des aliments permettent de prolonger leurs durées de vie, et suivant les températures l'activité cellulaire et la prolifération des micro-organismes sont soit ralenties, soit stoppées.

Le froid permet de conserver des aliments suivant les températures de quelques jours à plusieurs mois, tout en gardant leurs propriétés gustatives et nutritives. Néanmoins, soustraire de la chaleur est un procédé gourmand en énergie, le froid industriel représente pour la France près de 7 % de la consommation totale d'énergie électrique.

La réfrigération :

En maintenant des aliments à une température proche ou supérieure à 0°C ont réduit considérablement l'évolution microbienne et les métabolismes biochimiques.

La conservation des denrées et aliments périssables dans une enceinte où la température et l'hygrométrie sont constantes est alors possible à court et moyen terme. Les aliments mis en conservation doivent être sains, par exemple pour les fruits et légumes la réfrigération doit être faite le plus rapidement possible après la collecte.

La congélation :

Ce procédé permet de maintenir une température de -18° au cœur des aliments, les produits congelés peuvent être de la viande, des volailles, du poisson, des coquillages, du pain, du fromage et des plats cuisinés.

Bien entendu, ils ne doivent pas avoir été congelés et décongelés au préalable.

Une congélation rapide est une garantie de qualité, ce procédé provoque une cristallisation de l'eau contenue dans les aliments, si la congélation est trop lente les cristaux sont plutôt gros, ce qui après décongélation altère en grande partie la qualité du produit.

Les températures des enceintes de congélations doivent être comprises entre -18°C et -25°C.

Surgélation

La surgélation ou la congélation rapide consiste à exposer des produits à un froid intense de -30 à -40°C pendant un temps déterminé, cette pratique permet de garder la structure cellulaire originelle des produits et de bloquer l'activité microbienne. Ici contrairement à une congélation simple la proportion d'eau non congelée contenue dans le produit est très faible, les produits surgelés sont ensuite conservés à -18°C.

Conservation de quelques denrées

Viande

La température de conservation de la viande varie de 0° à 4° avec une hygrométrie comprise entre 75 et 85 %, une viande trop humide sera poisseuse tandis qu'une viande trop sèche perdra de son poids.

Elle se conserve de plusieurs jours à quatre semaines au-delà il faudra congeler la viande, cette congélation doit être la plus rapide possible.

Poisson

La qualité de la viande de poisson se dégrade dès sa capture, celle-ci se conserve sur un lit de glace 1°C. Le poisson se conserve aux alentours d'une semaine entre 0 et 3°C, au-delà il doit être mis en surgélation à -25°C. En ce qui concerne les coquillages vivants leur conservation se situe entre 6 et 15°C, une fois cuits ils peuvent être congelés.

Fruits

La conservation des fruits en chambre froide permet un entreposage prolongé, allant de trois à quatre mois. Les fruits une fois cueillis continuaient d'absorber de l'oxygène et à dégager de l'anhydride carbonique, donc les chambres froides doivent être en mesure de contrôler non seulement la température, mais la teneur anhydride carbonique. La température de conservation et les fruits se situent de moins 0°C à +15°C avec une hygrométrie comprise entre 80% 90 %.

En ce qui concerne la conservation des produits congelés, la température se situe entre -20°C à 25°C.

Les légumes

la température de conservation des légumes varie 0°C à + 10°C avec une teneur en humidité relative de 70 à 90 %. La plupart des légumes peuvent être congelés, mais par exemple les pommes de terre, les artichauts, les aubergines, la laitue ne sont pas des aliments à congeler tels quels, ils doivent avoir été cuisinés au préalable.

Le réfrigérateur

Le réfrigérateur appareil électroménager indispensable, ce bon vieux frigo a plus de 100 ans, en effet c'est en 1876 que l'allemand Carl von Linde inventa le réfrigérateur sous la forme que le connaissons aujourd'hui. La plupart des foyers en possèdent au moins un à la maison, si ce n'est plus. Il permet de conserver les aliments frais. Voici tout ce que vous devez savoir à son sujet !

Histoire du réfrigérateur et de la conservation des aliments

Au fil des siècles, les techniques de conservation des aliments se sont perfectionnées. Dans l'Antiquité, on conservait les produits en les séchant ou en les congelant (dans les régions froides). Les Romains, eux, pratiquaient ce que l'on appelle le « boucanage », une technique de fumage nécessitant la production d'un boucan. Par la suite, les êtres humains ont utilisé la salaison pour conserver les aliments. C'est ainsi que les Romains conservaient les poissons, les légumes et les olives. Il a fallu attendre le XVIII^e siècle pour découvrir de nouvelles méthodes de conservation, avec Nicolas Appert, en 1790. On le considère comme l'inventeur de la boîte de conserve, puisqu'il est à l'origine de la découverte de la technique consistant à chauffer les aliments avant de les placer dans un récipient hermétique en verre. Il s'agit de l'appertisation. Cette méthode permet de détruire les bactéries et les microbes. Et entre-temps, Louis Pasteur a inventé la pasteurisation, en 1865. En 1913, les premiers réfrigérateurs entrent dans les foyers. Viennent ensuite la surgélation en 1923 et la congélation en 1960, avec un congélateur domestique. En 1970, l'industrie développe la conservation sous-vide des aliments, peu après l'UHT (Ultra Haute Température) dans les années 1960. Depuis, la conservation des aliments est devenue très facile et accessible.

Description simplifiée du fonctionnement du réfrigérateur

Le processus de réfrigération dans un réfrigérateur est basé sur deux principes thermodynamiques.

- 1) Lorsque, l'on comprime la vapeur d'un fluide on augmente sa température et sa pression. Cette vapeur chaude va transmettre à son environnement cette chaleur et pouvoir ensuite passer à l'état liquide, c'est la condensation.
 - 2) Quand un liquide s'évapore il retire de la chaleur à son environnement. C'est le processus d'évaporation, la température du liquide qui change d'état reste constante, tandis que la température des aliments diminue.
- Pour obtenir ces transformations d'état on utilise des fluides réfrigérants, qui ont des propriétés, des températures et des pressions de fonctionnement différentes.

Le compresseur aspire les vapeurs froides basse pression provenant de l'évaporateur, les comprime à haute pression et haute température, c'est somme toute une pompe qui permet l'écoulement du fluide dans le circuit.

Le condenseur situé à l'arrière du réfrigérateur permet la transformation de la vapeur haute température (haute pression) venant du compresseur en liquide sous-refroidi par échange avec l'air, le condenseur rejette de ce fait de la chaleur.

Le détendeur, orifice de petit diamètre qui abaisse brusquement la pression et vaporise partiellement le fluide.

L'évaporateur permet au fluide de passer de l'état liquide à l'état vapeur en retirant de la chaleur aux aliments.

Le ventilateur lui permet de répartir uniformément l'air froid dans les compartiments

Signification des étoiles

En matière de réfrigérateur, le nombre d'étoiles désigne le type d'isolation de la partie dédiée à la congélation des aliments. Une étoile permet de conserver les surgelés entre deux à trois jours, à une température inférieure à -6 °C. Deux étoiles permettent de conserver les denrées surgelées à une température inférieure à -12 °C durant quatre semaines. Un réfrigérateur trois étoiles va permettre une conservation d'une durée maximale d'un an pour les aliments. Il propose une température inférieure à -18 °C. Enfin, un réfrigérateur quatre étoiles offre un pouvoir de congélation optimal, de 4,5 kilos par 24 heures. La conservation des produits est permise jusqu'à leur date de consommation optimale.

Les différents types de réfrigérateurs

On distingue plusieurs types de réfrigérateurs, qui se caractérisent donc par leur taille et leur agencement.

Le réfrigérateur Table top

Le réfrigérateur « Table top » est de petite taille. Ses faibles dimensions lui permettent d'intégrer un plan de travail d'une hauteur de 85 centimètres. Il en existe cependant plusieurs modèles, allant de 50 à 60 centimètres et comptant aux plus quatre compartiments différents.

On trouve aussi des réfrigérateurs bars, aussi appelés « Réfrigérateurs cubes ». Ils n'excèdent pas la hauteur de 60 centimètres et stockent de faibles quantités de denrées fraîches, comme des boissons.

Le réfrigérateur une porte tout utile

L'ensemble du volume de ce type de réfrigérateur se destine au froid positif. Il permet ainsi de consommer moins d'électricité, notamment si le foyer utilise déjà un congélateur. Il ne permet pas de stocker de surgelés.

Le réfrigérateur une porte quatre étoiles

Cet autre type de réfrigérateur une porte contient un compartiment quatre étoiles intégré, permettent d'y placer quelques surgelés. On l'utilise souvent pour une configuration dite « side by side », qui consiste alors à placer un réfrigérateur et un congélateur similaires côté à côté.

Le réfrigérateur deux portes

Comme son nom l'indique, ce réfrigérateur contient deux parties. L'une est destinée à la conservation des aliments frais, et l'autre à la conservation des aliments surgelés. Souvent comparé au réfrigérateur une porte, celui-ci possède un congélateur plus grand et mieux isolé. La partie congélateur se trouve toujours au-dessus.

Le réfrigérateur combiné

Le réfrigérateur combiné présente une partie congélateur en dessous, ce qui rend les produits frais plus faciles d'accès. Le congélateur contient des tiroirs qui facilitent grandement le rangement des denrées. La plupart des réfrigérateurs combinés possèdent un moteur unique permettant de faire fonctionner les deux parties. Lorsqu'il en possède deux, le réfrigérateur permet de gérer les deux niveaux de manière indépendante. C'est un avantage lorsqu'on part en vacances, par exemple.

Le réfrigérateur Américain

Très populaire, le réfrigérateur Américain se caractérise par sa taille imposante. Il contient deux parties. Le plus souvent, la partie congélateur est à gauche et la partie réfrigérateur est droite. En fonction des modèles, ces réfrigérateurs proposent un distributeur de glaçons et/d'eau fraîche. Certains possèdent même un « home-bar ».

La classe énergétique

La classe énergétique d'un réfrigérateur est indiquée sur une étiquette énergie. Elle est définie par une lettre et une couleur. Les lettres sont (de la meilleure à la moins bonne) : A +++, A ++, A + ; A ; B, C, D, E et F. Aujourd'hui, la majorité des réfrigérateurs présente une classe énergétique A ++ ou A +++.

On mesure la classe énergétique d'un réfrigérateur en fonction de sa consommation d'énergie. Mais aussi par rapport aux technologies mises en œuvre et aux matériaux utilisés pour sa fabrication. L'intérêt de cette donnée est de pouvoir calculer la consommation en énergie de l'appareil, et de mesurer son coût de fonctionnement annuel.

La classe climatique

La classe climatique de chaque appareil est définie par une association de lettres, ou par une simple lettre. Il s'agit d'une information essentielle lors de l'achat de votre réfrigérateur. Elle correspond notamment à une fourchette de températures ambiantes minimales et maximales pour laquelle le bon fonctionnement de l'appareil est garanti. La classe climatique permet aussi d'exprimer la qualité d'isolation de l'appareil, et donc de son niveau de performances. Il faut donc comparer les classes climatiques avant la classe énergétique de l'appareil !

La classe climatique est définie ainsi : température ambiante (en degrés Celsius), symbole, classe climatique :

- + 10 °C à + 32 °C, SN, Tempérée élargie
- + 16 °C à + 32 °C, N, Tempérée
- + 16 °C à + 38 °C, N-ST, entre Tempérée et Subtropicale
- + 18 °C à + 43 °C, T, Tropicale
- + 10 °C à + 43 °C, SN-T, Tropicale élargie
- + 18 °C à + 38 °C, ST, Subtropicale
- + 10 °C à + 38 °C, SN-ST, Subtropicale élargie
- + 16 °C à + 43 °C NT.

Quel volume pour quelle utilisation

Pour une personne, il faut opter pour un appareil doté d'un volume réfrigérateur de 100 à 150 litres, et d'un volume congélateur de 40 litres. Deux ou trois personnes utiliseront un volume réfrigérateur de 150 à 250 litres, et un volume congélateur de 50 à 60 litres. Trois ou quatre personnes auront besoin de 200 à 300 litres de volume réfrigérateur, et de 60 à 70 litres de volume congélateur. Enfin, pour quatre personnes et plus, il faut opter pour un volume réfrigérateur de plus de 250 litres, et un volume congélateur de plus de 70 litres. Attention, les volumes sont souvent indiqués en capacité nette utile par les fabricants.

Entretenir son réfrigérateur

Dans l'idéal, il convient de nettoyer le réfrigérateur au moins une fois par semaine. On peut pour cela utiliser du vinaigre blanc mélangé à de l'eau, ou utiliser des produits appropriés. Cela permet de préserver la qualité des produits placés dans le réfrigérateur, mais aussi d'optimiser la durée de vie de l'appareil. Pour la partie congélation, il est également nécessaire d'ôter la glace qui peut s'accumuler au fil du temps, de manière régulière. N'hésitez pas à retirer les emballages en carton des produits avant de placer vos aliments au réfrigérateur. Une meilleure conservation est alors possible. Les restes, les viandes et autres produits devront être protégés avec du papier en aluminium ou à l'aide de film alimentaire.

Types de chambres froides

Chambre froide en dur

On parle de chambre froide en dure quand l'ossature est constituée de maçonnerie traditionnelle c'est-à-dire de parpaings, de briques, ou tout simplement de béton armé.

Comme produire du froid coûte de l'argent, il faudra veiller à ce que l'efficacité de l'isolant soit la meilleure possible afin de limiter son épaisseur et les déperditions.

On admet généralement que le flux thermique de la paroi par mètre carré soit égal à 8W(8W/m²) pour une chambre froide positive à 6 W (6W/m²)pour une chambre froide négative.

Exemple:

- Température à atteindre :-30°
- Température extérieure : 20°
- Maçonnerie : parpaings
- Isolation : polyuréthane

Pour obtenir un flux thermique de la paroi (parpaings+polyuréthane) de 6W/m² , il faudra une épaisseur d'eau minimum 20 cm d'isolant.

Les parois verticales :

L'isolation est généralement constituée de polystyrène expansé pour les chambres froides positives et en styrofoam pour les chambres froides négatives plus rarement de Liège compte tenu de son prix.

Tout d'abord sur la maçonnerie est appliquée une émulsion bitumeuse qui constitue le par-vapeur, l'isolation est soit collée soit cheviller.

Pour les chambres froides positives l'isolation est posée en une seule couche(ex:10cm) voir deux couches croisées(ex:5cm+5cm), pour les chambres froides négatives contenues de l'épaisseur généralement importante deux couches d'isolant croiser sont obligatoires, les joints sont enduits de flinkote, un grillage est fixé directement sur l'isolant afin de permettre à la pose d'un enduit-ciment.

Le plafond:

Compte tenu de sa légèreté le polystyrène expansé est bien adapté à l'isolation du plafond, la mise en œuvre est identique aux parois verticales, la seule précaution à prendre et que si le plafond est effectué en deux couches croisées il faudra bien prendre garde à maintenir solidement la deuxième couche en place soit par des chevilles suffisamment longues pour traverser les deux couches soit en multipliant les agrafes

Le sol :

L'utilisation de plaque de styrofoam est bien adaptée à cette utilisation compte tenu de sa densité, car le sol devra supporter une chape armée plus éventuellement un carrelage ainsi que le poids de chariot.

En ce qui concerne les chambres froides, le sol peut être non isolé, mais pour les chambres négatives c'est bien entendu obligatoire.

Chambre froide modulaire

Elle répond parfaitement aux exigences de la conservation en ambiances positives (0°C à +6°C) et négatives (-18°C à -22°C) des produits périssables et sensibles, dans les domaines de la restauration, des commerces de produits frais, de la grande distribution, des collectivités, et des industries pharmaceutiques et chimiques.

Les panneaux sandwich isolants sont constitués de deux parements tôle d'acier zinguée laquée,et de mousse rigide de polyuréthane injectée. L'épaisseur des panneaux est variable en fonction des températures de conservation.

Ces panneaux sont résistants à l'humidité, aux moisissures et aux bactéries, et sont adaptés pour être installés en cloison et en plafond.

La surface sur laquelle les panneaux de sol sont installés doit être de niveau, lisse et plane. Les panneaux sont assemblés grâce à des crochets excentriques incorporels dans les panneaux. Une clé hexagonale permet de verrouiller les panneaux entre-eux par un mouvement quart de tour. Cet assemblage est étanche notamment grâce à des joints de mousse et mastic silicone.



Chambre froide négative

Nous allons étudier ici les éléments composant le circuit frigorifique d'une chambre froide négative car ceux-ci sont un tout petit peu particuliers.

Si nous commençons par la ligne liquide après le déshydrateur et le voyant nous avons ici un l'échangeur liquide/vapeur (4), qui permet une meilleure alimentation en liquide du détendeur en sous refroidissant le liquide grâce au vapeur froide venant l'évaporateur.

L'électrovanne liquide (5), évitera la migration du liquide à l'arrêt de l'installation.

Mais surtout elle permettra le fonctionnement en pump down, c'est-à-dire que le régulateur (15) coupera l'alimentation de l'électrovanne quand la température de consigne sera atteinte, l'évaporateur se videra de fluide, la basse pression (BP) chutera, puis le compresseur s'arrêtera quand la BP atteindra le point de consigne du pressostat de régulation (toujours au-dessus de la pression atmosphérique).

Le détendeur (6) a égalisation externe de type MOP permet de protéger le compresseur contre toute surcharge en limitant la pression d'aspiration surtout après un dégivrage.

En effet après un dégivrage la pression et la température dans l'évaporateur remonte dangereusement, les compresseurs basse pression utilisés dans ce type de chambre froide ne sont pas conçus pour fonctionner à des pressions élevées.

Donc le détendeur MOP pour éviter une surintensité au compresseur n'ouvrira que si la pression dans l'évaporateur est égale au réglage du point MOP, par exemple -20°.

L'écoulement (7) d'une chambre froide négative doit être réalisé en tube cuivre isolé et doit être équipé d'une résistance d'écoulement afin de permettre à l'eau de s'évacuer sans gelée durant le parcours.

Le givre qui s'accumule petit à petit sur les évaporateurs doit être éliminé car il agit un petit peu comme un isolant en réduisant l'échange air/fluide. La manière la plus simple de supprimer le givre sur l'évaporateur est d'alimenter des résistances électriques (8) afin d'élever la température (environ + 6 °C) pour faire fondre le givre et la glace.

Cycle de dégivrage :

- Détection par sonde ou dégivrage cyclique
- Arrêt du groupe compresseur et des ventilateurs évaporateur
- Mise en service des résistances
- Détection de la fin de dégivrage (sonde fin dégivrage)
- Temporisation avant remise en route pour permettre l'égouttage de l'évaporateur
- Mise en service du groupe compresseur, sans la ventilation évaporateur, ce qui permet aux dernières gouttes d'eau de se prendre en glace pour éviter de les projeter sur le sol de la chambre froide.
- Mise en route des ventilateurs de l'évaporateur.

Une bouteille anti coups de liquide est placée juste avant le compresseur sur la ligne d'aspiration afin de permettre l'évaporation plus complète des dernières gouttes de liquide qui pourrait être présente.

Elle protège efficacement le compresseur contre les coups de liquide accidentels.

Notons que la tuyauterie d'aspiration doit être parfaitement isolée, idéalement en mousse à conductivité thermique faible de 19 mm d'épaisseur.

La pression de condensation est régulée par un variateur pressostatique (13), celui-ci permet notamment en mi saison et en hiver avoir une pression de condensation conforme au bon fonctionnement de l'installation.

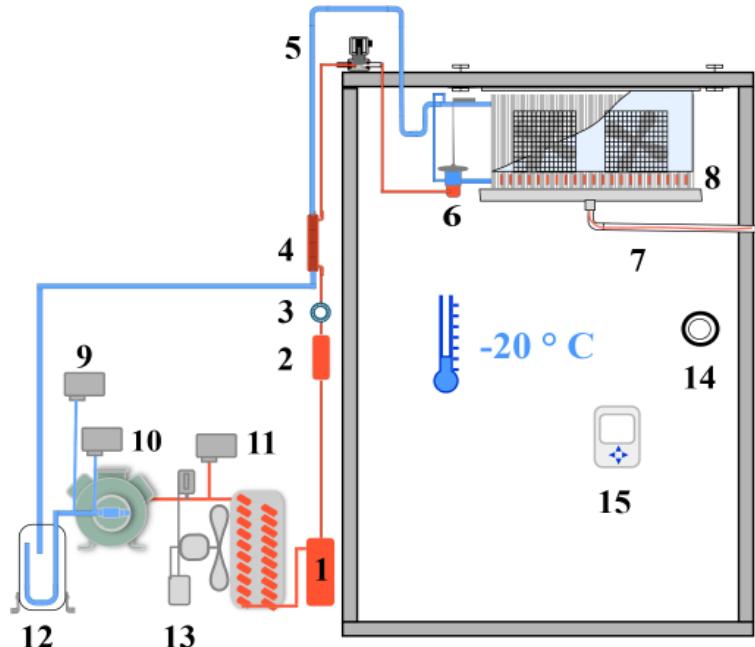
Un clapet de décompression ou d'équilibrage (14) est indispensable dans les chambres négative car celle-ci subissent des variations importantes de pression car le volume massique de l'air décroît avec la température.

Légende :

Le volume massique de l'air décroît avec sa température. Lors de la mise en régime d'une enceinte réfrigérée, il en découle une importante variation de pression.

Légende :

- 1 : bouteille de départ liquide
- 2 : déshydrateur
- 3 : voyant liquide
- 4 : échangeur de chaleur
- 5 : vanne électromagnétique
- 6 : détendeur MOP
- 7 : évacuation + cordon chauffant
- 8 : résistances de dégivrage
- 9 : pressostat BP régulation
- 10 : pressostat BP sécurité
- 11 : pressostat HP sécurité
- 12 : bouteille anti-coup de liquide
- 13 : variateur vitesse
- 14 : clapet de décompression
- 15 : thermostat



Chambre froide, deux postes deux températures

Ici nous avons à faire une chambre froide composée d'un compresseur à un étage qui alimente deux chambres froides conservant des aliments à deux températures différentes.

Chaque évaporateur est alimenté via un détendeur à égalisation externe (5) en fluide frigorifique par une vanne électromagnétique (4).

Rappelons que le détendeur à égalisation externe permet de combattre les pertes de charges de l'évaporateur mais ne les supprime pas.

Chaque VEM est commandée par un régulateur distinct, arrivé à température le régulateur coupe la vanne électromagnétique, l'évaporateur ce vide et il n'y a plus production de froid.

Le compresseur continu de fonctionner pour alimenter le deuxième évaporateur, si celui-ci arrive à température, la deuxième vanne se coupe, le compresseur tir au vide et le pressostat de régulation (8) arrêtent le compresseur, c'est la régulation en Pump down.

En sortie d'évaporateur juste après l'égalisation du détendeur on installe un piège à huile surtout si le compresseur est positionné au-dessus de la chambre froide.

Celui-ci va piéger petit à petit l'huile, celle-ci une fois suffisamment accumulée réduira le passage du gaz et augmentera sa vitesse, et l'huile sera automatiquement aspirée par la vitesse du fluide et retournera au compresseur.

La température d'évaporation se situe aux alentours de -10 ce qui correspond à la température d'évaporation de la chambre froide la plus basse.

Une vanne de régulation d'évaporation (6) est installée sur la ligne d'aspiration de la chambre froide à la température la plus haute, celle-ci permet de maintenir une pression minimale acceptable dans l'évaporateur sur lequel il est raccordé. Vous remarquerez que sur la ligne d'aspiration de la chambre froide réglée à 0° un clapet (7) est installé, celui-ci évite à l'arrêt du compresseur une migration du fluide frigorigène ce qui à terme provoquerait un coup de liquide au démarrage du compresseur.

En 9 vous pouvez voir une vanne de régulation de capacités qui n'est pas mise en place dans tous les cas.

Cette vanne permet de réguler la puissance du compresseur quand celui-ci n'est pas doté d'un autre système de régulation (élimination tête de clapets, régulation vitesse compresseur).

Ce système permet d'adapter la puissance du compresseur à la puissance de l'installation, quand par exemple un évaporateur est arrivé à température, le compresseur étant surpuissant par apport à l'installation.

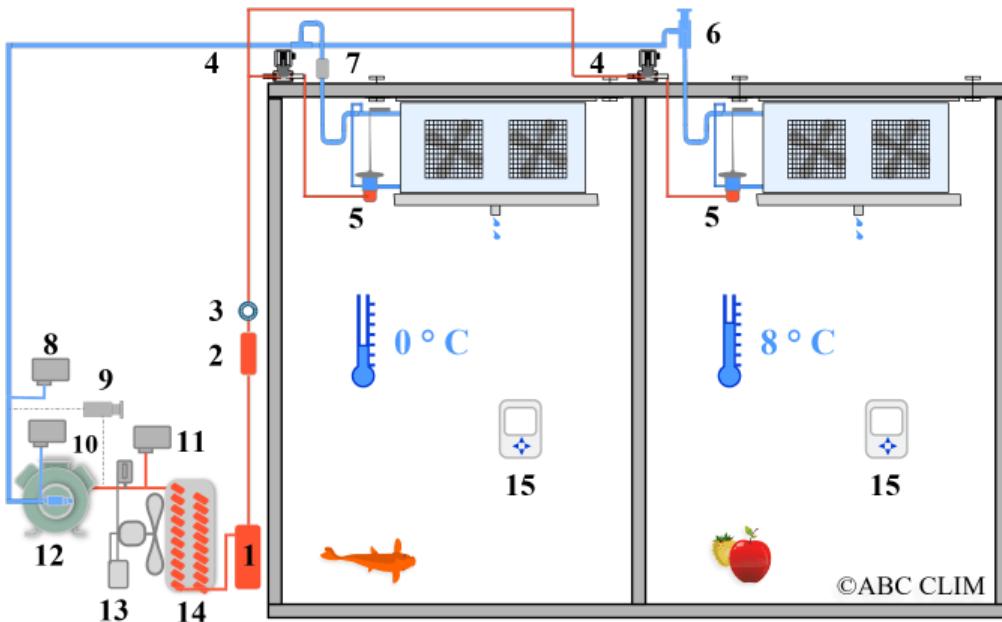
L'installation d'un variateur de vitesse de type pressostatique (13) est toujours une bonne idée, il permettra de réguler la pression de condensation par action sur la vitesse du moteur de ventilation du condenseur. C'est particulièrement intéressant en demi-saison et en période hivernale.

Quant au régulateur ou automate (15) il permet de gérer l'ensemble du fonctionnement de la chambre froide. :

- Fonctionnement du ou des ventilateurs de l'évaporateur
- Température d'ambiance
- Température de dégivrage
- Température de fin de dégivrage
- Cycle de dégivrage
- Enclenchement et coupure de la vanne liquide
- Report des défauts

Légende :

- 1 : bouteille de départ liquide**
- 2 : déshydrateur**
- 3 : voyant liquide**
- 4 : vanne électromagnétique**
- 5 : détendeur à égalisation externe**
- 6 : KVE, vanne de régulation d'évaporation**
- 7 : clapets anti-retour**
- 8 : pressostat BP de régulation**
- 9 : KVP, vanne de régulation de puissance (option)**
- 10 : pressostat BP sécurité**
- 11 : pressostat HP sécurité**
- 12 : compresseur**
- 13 : régulation pressostatique de condensation**
- 14 : condenseur**
- 15 : automate, régulation**



Chambre froide +, fonctionnement, température et pression !

➡ <https://vimeo.com/584779047/69bd531bob>

Bilan chambre froide positive

Le bilan frigorifique d'une chambre froide permet de quantifier la somme des apports de chaleur qu'il faudra combattre pour maintenir une enceinte réfrigérée et ce qu'elle contient à température.

Il est évident que ce bilan doit être établi avec une précision, car celui-ci a un impact direct sur le coût d'installation et d'exploitation de la chambre froide.

Cette quantité de chaleur à extraire est définie par :

1. Qp: les apports des parois.
2. Qm: les apports générés par les marchandises introduites.
3. Qcr: les apports produits par la chaleur de respiration des fruits et légumes.
4. Qr: les apports par renouvellement d'air.
5. Qp: les apports dégagés par le personnel.
6. Qe: les apports de l'éclairage.
7. Qme: les apports du ou des moteurs de ventilateurs de l'évaporateur.
8. Qdivers: les apports non calculables ou spécifiques.

Bilan frigorifique simple chambre froide positive de 0° à 10°C

Pour effectuer ce calcul, on utilise comme base une formule bien connue: **K x S x ΔT**

$$Qp = K \times S \times \Delta T_x \quad 86,4 \times 0,000277$$

Qp: quantité de chaleur perdue par chaque paroi en 24 heures

K: coefficient de transmission thermique des parois en W/m².K.

S: surface de l'ensemble des parois extérieures sol,murs,plafonds en m².

ΔT: différence de température entre l'extérieur et l'intérieur de la chambre froide.

86,4: 24 hrs x 3600 =86 400 Secondes 86 400/1000=86,4

0,000277: facteur de conversion kJ en kW

Notons que la température extérieure étant définie comme la température où la chambre froide est installée cette température peut être variable, en règle générale on prend la température la plus défavorable, le calcul s'établit généralement avec une température extérieure minimum de 25° et au maximum de 35°.

Qm: Apports pas introduction de marchandises.

$$Qm = C \times M \times \Delta T_x \quad 0,000277$$

Qm: chaleur totale à retirer des marchandises introduites

C : chaleur spécifique des denrées en kJ/kg.°C

M : quantité en kg de denrées introduites en 24 heures

ΔT : différence de température entre les denrées au moment de leur introduction et la température de conservation.

0,000277: facteur de conversion kJ en kW

Qcr :Apports par la chaleur de respiration de fruits et légumes.

Les fruits et légumes sont des organismes vivants, ils dégagent une certaine quantité d'énergie qui est plus ou moins grande suivant la température. Quand la température est comprise entre 0 et 7° ce phénomène est presque négligeable, sauf si la quantité mise en chambre froide est très importante.

$$Qcr = M \times 1,4 / 1 000$$

Qcr: quantité de chaleur émise en 24 heures en kWh

M: quantité en kg de fruits ou légumes contenus dans la chambre froide

1,4: valeur moyenne en Wh/kg/24 heures

Qr : Apports par les renouvellements d'air.

$$Qr = V_{air} \times Qm_3 \times 0,000277$$

Qr: quantité de chaleur par renouvellement d'air en 24 heures en KwQe)

V_{air} : volume d'air introduit en 24 heures suivant volume de la chambre froide en m³/h

Qm₃ : quantité de chaleur d'un m³ suivant

Qp: Quantité de chaleur journalière dégagée par le personnel

$$Qp = Q \times T \times Nbr / 1000$$

Qp: chaleur dégagée par le personnel en kWh

Q: chaleur dégagée par une personne en W

T: temps de présence dans la chambre froide exprimé en heure et pour une journée de travail

Nbr: nombre de personnes

Intensité du travail fourni :

Dur=372w Moyen=250w Faible=200w

Qe: Apports de chaleur émise par l'éclairage

Par convention (donnée fabriquant) on estime la puissance de l'éclairage en fonction de la surface de la chambre froide suivant la formule 10 W/m².

$$Qe = 10 \times T \times S / 1000$$

Qe: chaleur dégagée par l'éclairage en kWh

10: puissance développée par mètre carré

S: surface de la chambre froide

Qme: Apports de chaleur émis par la ventilation évaporateur.

On estime la puissance dégagée par les moteurs empiriquement suivant la formule 30 W/m² de surface chambre froide.

$$Qme = 30 \times S \times 24 \text{ h} / 1000$$

Qme : quantité de chaleur émise par la ventilation évaporateur en 24 heures exprimées en kWh

30 : puissance développée par m² de surface chambre froide

Qdivers: Apports divers

C'est l'ensemble des apports de chaleur parfois difficilement comptabilisable ou spécifique à une utilisation particulière.

Bilan frigorifique total:

C'est la somme de toutes les aperditions:

$$Q = Qp + Qm + Qcr + Qr + Qp + Qe + Qme + Qdivers$$

Cette quantité de chaleur estimée est établie pour une période de 24 heures.

Etant donné que le compresseur ne fonctionnera pas 24 heures sur 24 on évalue sa durée de fonctionnement entre 16 et 20 heures par jour.

Donc la chaleur à évacuée sera : Qt = Q/16

Q: puissance estimée pour 24 heures

16: heures de fonctionnement

On peut majorer ce résultat de 5% afin de tenir compte des apports non calculés.

Meuble frigorifique

Si l'on mettait bout à bout tous les meubles et vitrines réfrigérés à température positive existant dans les supermarchés et autres surfaces de vente cela couvrirait la distance de Toulouse à Paris, sachant cela on comprend mieux l'importance de ce type d'équipement en froid industriel et commercial.

Les meubles et les vitrines frigorifique permettent l'exposition de produits alimentaires frais ou déjà congelés destinés à la vente tout en respectant la réglementation et la chaîne du froid. Ils sont aussi utilisés pour la conservation des denrées alimentaires dans la restauration (self-service) et cuisines professionnelles.

Les deux grands types de meubles réfrigérés sont :

1. Meubles à température positive, conservation de produits frais (0 à 7 °C)
2. Meubles à température négative, conservation de produits déjà congelés (-18 à -22 °C).

Les trois façons de transférer l'énergie

- Froid statique, c'est typiquement le refroidissement par convection naturelle
- Froid ventilé, le froid est réparti par brassage de l'air
- Froid par contact, refroidissement par conduction, exemple lit de glace pour la conservation des poissons

Structure et technologies des meubles frigorifiques.

Les meubles réfrigérés ou meuble frigorifique de vente (MFV) même s'ils sont utilisés en premier lieu pour présenter aux consommateurs de manière attrayante les produits, ils doivent être conçus de manière à permettre une conservation optimale des produits. C'est dans cette optique que les fabricants conçoivent leurs meubles avec l'assistance de programmes informatiques qui permettent d'étudier et de simuler les comportements complexes de ces systèmes frigorifiques.

Quelle que soit la température de conservation des meubles et vitrines réfrigérées ceux-ci sont constitués d'une structure en panneaux sandwich en inox, acier inoxydable ou composite dans lequel on injecte une mousse isolante, cette structure représente le volume utile de stockage.

Certains meubles peuvent être utilisés pour plusieurs applications de températures différentes, positives ou négatives simplement en modifiant quelques paramètres sur l'organe de régulation. La production frigorifique est assurée par un groupe compresseur soit logé parfois monter sur glissières (à l'intérieur du meuble) soit déporté (groupe extérieur ou central de froid).

Qu'ils soient horizontaux (bac, gondole) ou verticaux (vitrine murale), ces meubles disposent d'aménagements, clayettes, étagères, rayonnage, système d'éclairage et rideaux de nuit.

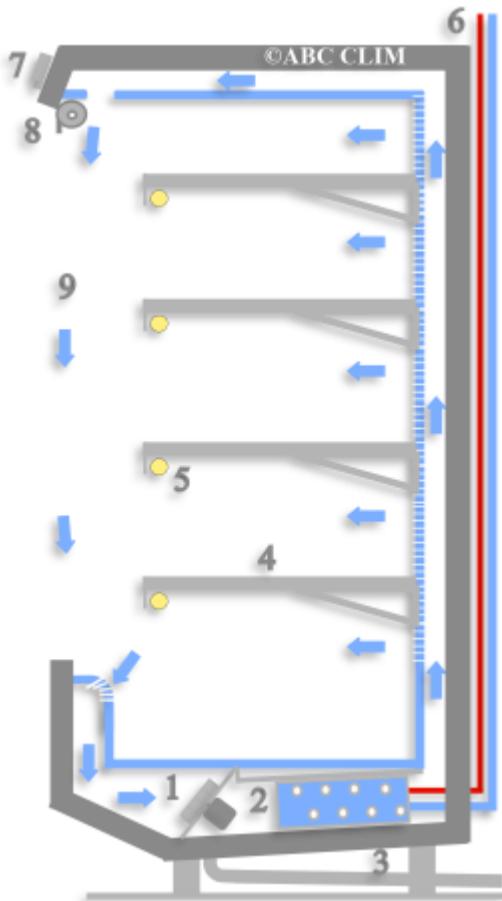
Les meubles et vitrines réfrigérées sont encore très largement de type ouvert ce qui représente un handicap tant pour la conservation des aliments que pour les économies d'énergie. Pour pallier à ses désavantages les fabricants ont trouvé une solution en froid ventilé, la mise en place d'un rideau d'air, celui-ci constitue une barrière virtuelle protégeant le volume intérieur du meuble contre l'air extérieur. L'efficacité de cette barrière reste assez fragile car elle est particulièrement sensible aux perturbations comme les mouvements d'air, mauvais rangements des produits.

Un deuxième élément défavorable ces matériels frigorifiques de type ouvert est le givrage des évaporateurs. L'air ambiant contient une certaine quantité d'humidité ainsi que les produits eux-mêmes, inévitablement cette humidité va se déposer sous forme de givre au contact de l'évaporateur. On le sait le givre est un isolant qui réduit les performances des évaporateurs en réduisant leurs surfaces d'échange.

Sur ce genre de matériel le dégivrage est souvent de type électrique, généralement cyclique ou adaptable basé sur la surveillance du rendement de l'évaporateur.

Notons que certaines enseignes de la grande distribution optent pour le choix de fermer leurs vitrines (porte vitrée) même si cela représente pour eux une solution presque anti-commerciale. Les consommateurs que nous sommes sont assez peu habitués à devoir ouvrir en grande surface un meuble frigorifique.

Légende:(vitrine murale positive)



- 1 Ventilateur évaporateur
- 2 Evaporateur
- 3 Evacuation condensation
- 4 Etagère
- 5 Eclairage
- 6 Tuyauterie fluide vers compresseur
- 7 Régulation
- 8 Rideau de nuit
- 9 Rideau d'air

Principe de régulation

La régulation est constituée par un dispositif numérique permettant la gestion des ventilateurs, du ou des compresseurs, du dégivrage, des alarmes. Certains de ces régulateurs peuvent être raccordés en maître esclave surtout pour gérer de façon optimisée le dégivrage cyclique de plusieurs meubles, ils peuvent aussi être connectables sur une gestion technique (GTC, GTB).

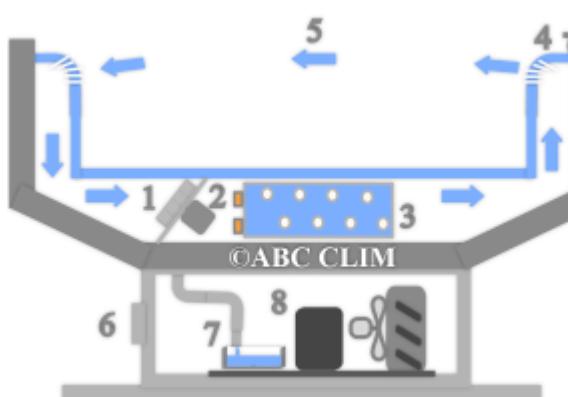
La température est enregistrée par une ou deux sondes de température que l'on place dans le courant d'air en amont et en aval de l'évaporateur. Ces températures sont comparées avec la température de consigne et la régulation agira en conséquence sur plusieurs éléments, ventilateurs évaporateur, compresseurs.

La température de l'évaporateur est mesurée par une sonde, qui est utilisée pour la marche et la fin de dégivrage.

Autres fonctions

- Dégivrage cyclique ou adaptable
- Dégivrage marche ou arrêt suivant programmation interne ou entrée extérieure
- Dégivrage naturel, électrique ou gaz chauds
- Gestion maître / esclave, dégivrage de plusieurs meubles
- Gestion ventilation évaporateur
- Gestion du ou des compresseurs
- Décalage sondes
- Commande de l'éclairage

Meuble horizontal de type bac, température positive ou négative.



Légende :

- 1 Ventilateur évaporateur
- 2 Résistance dégivrage
- 3 Evaporateur
- 4 Rideau de nuit
- 5 Rideau d'air
- 6 Régulation
- 7 Evacuation condensat + bac réévaporation
- 8 Groupe frigorifique

Centrale frigorifique : comment ça marche ?

Une centrale frigorifique est une installation regroupant sur un châssis unique plusieurs compresseurs reliés à un même collecteur d'aspiration et à un même collecteur de refoulement.

Ce montage est utilisé depuis longtemps, notamment dans le cadre d'une installation à postes multiples à température positive ou négative (chambre froide, vitrine réfrigérée, etc.).

Ce système a plusieurs avantages :

Adaptation de la consommation d'énergie à la demande réelle : on peut varier la puissance du système simplement par exemple par la mise en marche ou à l'arrêt d'un ou de plusieurs compresseurs.

Fiabilité : un incident sur un compresseur n'arrête pas la production de froid.

Possibilité de prévoir un surplus de puissance, pour des raisons de sécurité ou pour une augmentation ultérieure de la puissance installée (notamment en cas de grosses chaleurs ou d'une extension de l'installation).

Centrale frigorifique une histoire de collecteur !

Les compresseurs sont reliés à un collecteur d'aspiration et un collecteur de refoulement commun.

Le collecteur d'aspiration et le collecteur de refoulement

Il existe deux méthodes de raccordement concernant le collecteur d'aspiration : le piquage en dessous (collecteur au-dessus du compresseur) et le piquage au-dessus (collecteur en dessous de compresseur).

Le collecteur de refoulement relie les compresseurs et le condenseur. Il est généralement piqué en dessous des compresseurs, mais peut également être piqué au-dessus. Dans ce cas, le refoulement doit se faire vers le haut pour éviter que le liquide s'écoule par gravité vers les compresseurs lors de l'arrêt, risquant de provoquer un coup de liquide au démarrage.

Égalisation de pression et maintien du niveau d'huile

Dans une centrale frigorifique, les carters des compresseurs sont reliés par un système de tuyauterie permettant l'égalisation des pressions. En effet, ils doivent tous être à la même pression, qu'ils soient en marche ou à l'arrêt. De la même manière, une tuyauterie piquée dans les carters permettant de créer un système de vase communicant, un système de flotteur ou l'égalisation de la pression dans les carters (selon le type d'installation), garantit le maintien des niveaux d'huile dans le système.

La gestion de l'huile dans la centrale frigorifique

À quoi sert l'huile ?

Dans une centrale frigorifique, l'huile agit sur 3 aspects :

- La lubrification des pièces mobiles.
- L'évacuation de la chaleur créée par le frottement des pièces mobiles.
- L'étanchéité statique et dynamique.

Problèmes rencontrés

La gestion de l'huile dans une centrale frigorifique peut être complexe. Elle est dans certains cas entraînée dans le circuit frigorifique : lors des phases de démarrage du compresseur, par la segmentation des compresseurs à piston, ou par miscibilité avec le fluide frigorigène. Cela peut provoquer des entraînements d'huile et des effets néfastes :

- Défaillance mécanique (mauvaise lubrification).
- Baisse de performance des échangeurs (huile sur les parois de l'évaporateur).
- Pièges à huile qui peuvent provoquer des coups de liquide.
- Dégâts sur les compresseurs à piston (clapet..etc).

Séparateur d'huile et système de retour d'huile

Afin que l'huile puisse réintégrer les carters des compresseurs, il est nécessaire d'ajouter un séparateur d'huile dans le montage d'une centrale frigorifique. Celui-ci est raccordé au collecteur de refoulement et il existe plusieurs systèmes de séparation :

- Coalescence (les fluides sont dispersés afin que ceux de même nature se réunissent).
- Centrifugation (utilisation de la force centrifuge pour séparer les fluides de densité différente).
- Réduction de vitesse (les molécules plus légères sont dispersées).
- Changement de direction brutale.

À noter qu'un clapet est placé à la sortie du séparateur pour empêcher la migration des fluides du condenseur jusqu'au séparateur.

Une fois séparée, l'huile réintègre les carters grâce au système de retour d'huile, qui doit être adapté aux particularités d'une centrale. Voici plusieurs systèmes de gestion de l'huile :

Retour d'huile à aspiration : un séparateur commun pour tous les compresseurs et retour d'huile effectué dans le collecteur d'aspiration..

Retour d'huile centralisé : pour les grosses installations ou lorsque la distance entre le condenseur et les évaporateurs est élevée.

Un séparateur pour chaque compresseur : en effet, lorsqu'une centrale comporte plus de trois compresseurs et qu'un seul est en marche, la variation de débit du liquide frigorigène peut diminuer l'efficacité du séparateur d'huile.

Retour d'huile haute pression : système sans flotteur qui stocke l'huile sous haute pression et la redistribue aux carters via un système électronique.

La centrale frigorifique en pratique

Régulation des compresseurs

En fonction de l'alimentation en fluide des évaporateurs (via des électrovannes) la basse pression va monter ou descendre, un capteur BP (pressostat, transducteur) mesurera ces fluctuations. En fonction des réglages et paramétrages les compresseurs seront mis en service ou hors service pour maintenir une pression BP conforme à l'utilisation.

Afin d'adapter la puissance délivrée par les compresseurs à celle nécessaire trois solutions sont envisageables.

1. Arrêt en étage des compresseurs
2. Modulation de puissance par délestage des cylindres des compresseurs
3. Variation de vitesse compresseur (technologie inverter)

Prévoir à minima un système de démarrage en cascade des compresseurs et un système anti-court cycle interdisant le démarrage d'un compresseur qui n'a pas été à l'arrêt pendant au moins 6 minutes. Installer des voyants de marche et défaut et des compteurs horaires pour chaque compresseur.

Bien entendu aujourd'hui une installation moderne sera pilotée par un automate programmable gérant l'ensemble des entrées (sondes, capteurs), sortie (actionneurs), défauts, mesure des pressions et des températures conservées via un historique (courbes, listes)...etc.

Gestion des ventilateurs condenseur

L'idéal afin de réguler la pression HP est de faire varier la vitesse des ventilateurs soit avec des variateurs de fréquence soit en utilisant des moteurs EC. Ce type de gestion permet une pression HP plus stable, contrairement à la régulation en cascade des ventilateurs. La mise en service et l'arrêt des ventilateurs en cascades causeront à la longue une fatigue des moteurs. En mi-saison on peut avoir un phénomène de flash gaz au détendeur causé par les on/off répétitifs des ventilateurs.

Maintenance et entretien

À partir des analyses des paramètres de fonctionnement enregistrés ou mesurés par un technicien frigoriste il est possible de déterminer la nature des interventions à effectuer. En parallèle, un contrôle régulier (tous les 3, 6 ou 12 mois selon l'installation) permet d'assurer la prévention des dégradations éventuelles.

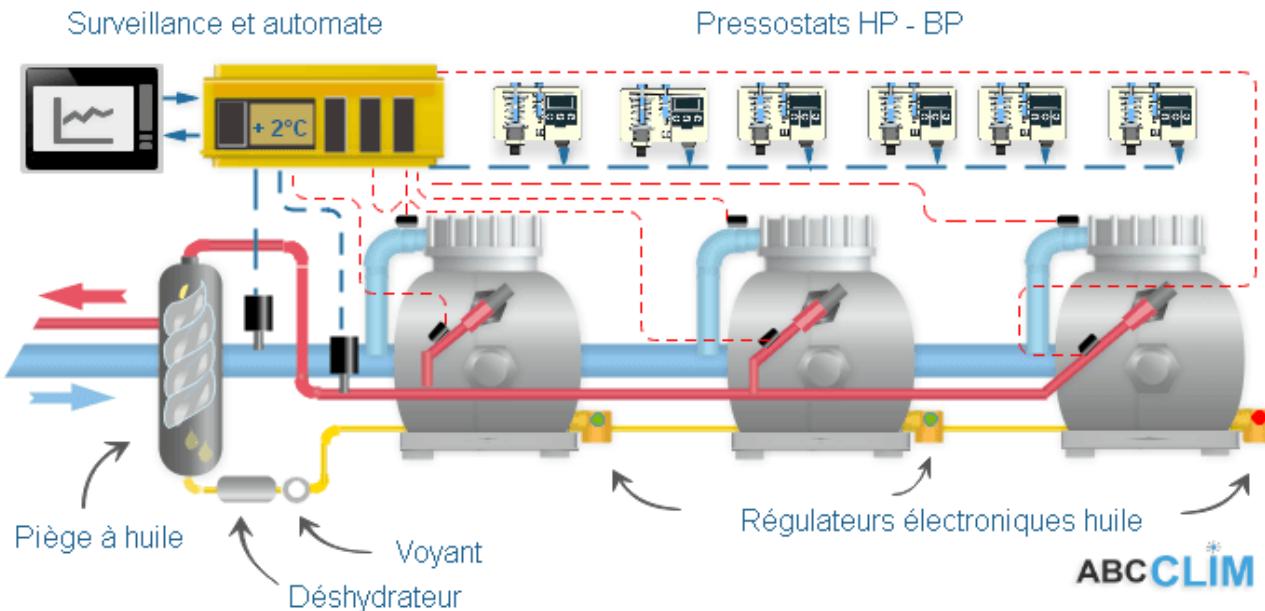
Perspectives d'amélioration

Il est possible d'améliorer le fonctionnement d'une centrale frigorifique suivant deux axes :

- Réduire la consommation d'énergie
- Améliorer le rendement des compresseurs par HP et BP flottante pour mieux adapter la puissance à la demande.

Améliorer la maintenance

- Diminuer le risque de pannes par des contrôles préventifs poussés.
- Prévoir des pièces de rechange pour les points les plus critiques.



Dégivrage des évaporateurs

L'air contient toujours une certaine quantité d'humidité et lorsque la température de surface de l'évaporateur ou de l'échangeur extérieur (pour une PAC) est négative ou inférieure au point de rosé de l'air, cette humidité se dépose sur les ailettes de l'échangeur sous forme de givre et si l'on n'élimine pas ce givre ainsi formé il remplira progressivement les espaces entre les ailettes puis recouvrira l'évaporateur avec une couche qui ne permettra plus le passage de l'air et les performances de l'appareil diminueront.

Les types de dégivrages les plus courants :

1:Chambres froides positives:

Dégivrage par arrêt de compresseur et ventilation forcée de l'évaporateur, simple, mais long, généralement commandé par cycles par une horloge, temps de dégivrage fixe.

2:Chambres froides négatives:

Dégivrage par résistances:

Des résistances électriques sont incorporées dans l'évaporateur, généralement un régulateur électronique gère le fonctionnement de l'ensemble de l'installation et bien entendu aussi le dégivrage, il interrogera par cycle (ex:toutes les 4 heures) une sonde(thermistance) placée dans l'évaporateur si la température correspond à la température d'enclenchement du dégivrage, le compresseur ,la ventilation de l'évaporateur s'arrêtent ,les résistances sont mises sous tension, cette même sonde mettra fin au dégivrage quand la température de surface de l'évaporateur sera conforme à la température de fin de dégivrage préréglée, puis le ventilateur après temporisation sera mis en marche (projection d'eau). Dans les multiples réglages des régulateurs actuels, le temps de dégivrage maximum est de 30 mn utile au cas où la sonde ne ferait pas son office.

Dégivrage par gaz chauds:

Plutôt réservé aux installations à postes multiples, car l'on peut dégivrer individuellement un évaporateur pendant que les autres fonctionnent. Plusieurs méthodes existent pour ce système de dégivrage, mais la philosophie du procédé reste la même, on préleve à la sortie du compresseur une certaine quantité de gaz chaud (D,E) qui est réinjecté dans l'évaporateur et parfois en sortie de l'évaporateur (postes multiples), un jeu de vannes électromagnétiques et de clapets anti-retour complète le système.

Le dégivrage par résistances

Dans les installations où la température de surface des évaporateurs est inférieure à 0 °C l'accumulation de givre est inévitable. Quand cette accumulation devient trop importante cela devient problématique, cela engendre une réduction du coefficient d'échange, (le givre, la glace sont des isolants), et par voie de conséquence une réduction des performances frigorifiques. Il est donc primordial d'éliminer le plus complètement possible ce givre ou cette glace, le dégivrage par résistances est un moyen efficace et très utilisé notamment dans les chambres froides à température négative.

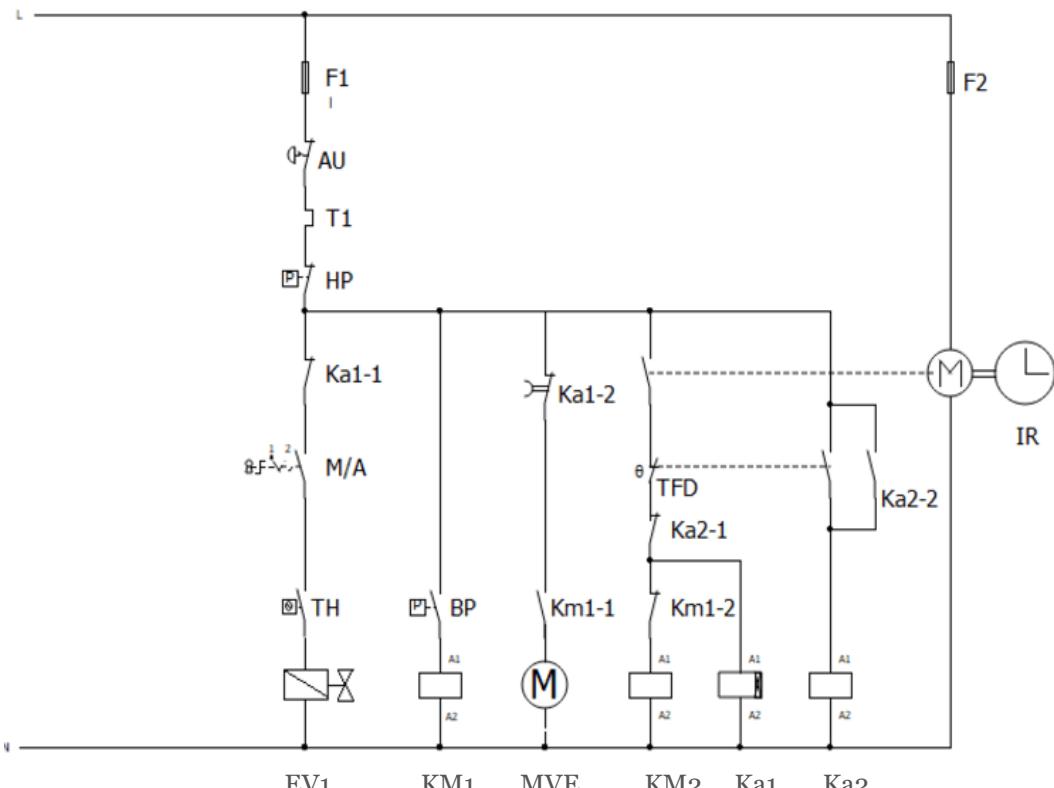
Ici ne traiteront que du dégivrage cyclique des évaporateurs par résistances électriques.

Séquence de dégivrage :

1. Commande par horloge du dégivrage, arrêt vanne liquide (pump down), arrêt compresseur, mise en marche des résistances de dégivrage.
2. Fin de dégivrage, arrêt des résistances par détection de température thermostat évaporateur ou par fin de cycle horloge.

Notons ici que la durée du temps de dégivrage et la température de fin dégivrage sont primordiales et doivent être vérifiées sur plusieurs cycles.

Dégivrage par résistances, schéma électromécanique



Légende :

F_{1,2} = Fusibles

AU = Arrêt d'urgence

T₁ = Thermique compresseur

IR = Horloge dégivrage (inter-horaire)

HP = Pressostat HP

BP = Pressostat BP

Ka1-1 = Contact auxiliaire de Ka1 (mise en marche froid après dégivrage)

M/A = Marche/arrêt

TH = Thermostat de régulation

Ka1-2 = Contact auxiliaire de Ka1 (temporisation marche ventilateur évaporateur)

TFD = Thermostat de fin de dégivrage

Ka2-1 = Contact auxiliaire de Ka2

Ka2-2 = Contact auxiliaire de Ka2

Km1-1 = Contact auxiliaire de KM1

KM1 = Contacteur compresseur

EV1 = Électrovanne ligne liquide

KM2 = Contacteur résistances

MVE = Moteur ventilateur évaporateur

Ka1 = Relais autorisation marche froid + temporisation ventilateur

Ka2 = Relais fin dégivrage (autoalimentation)

Description rapide du schéma.

Lorsque l'horloge autorise un dégivrage et que le contact du thermostat de fin de dégivrage est fermé, le dégivrage peut alors commencer, KA1-1 ouvre et coupe l'électrovanne (tirage au vide), et le compresseur au point de coupure du BP s'arrête (par KM1), le ventilateur évaporateur est mis à l'arrêt (KM1-1), KM2 est alimenté seulement si le tirage au vide est terminé via le contact de KM1 (KM1-2).

La fin du dégivrage est ordonnée soit en fin de cycle de l'horloge ou plus généralement par le thermostat de fin de dégivrage (TFD). Il faut donc bien faire attention au temps maximum de dégivrage afin d'être sûr que ce soit le thermostat de fin dégivrage qui commande la fin du cycle.

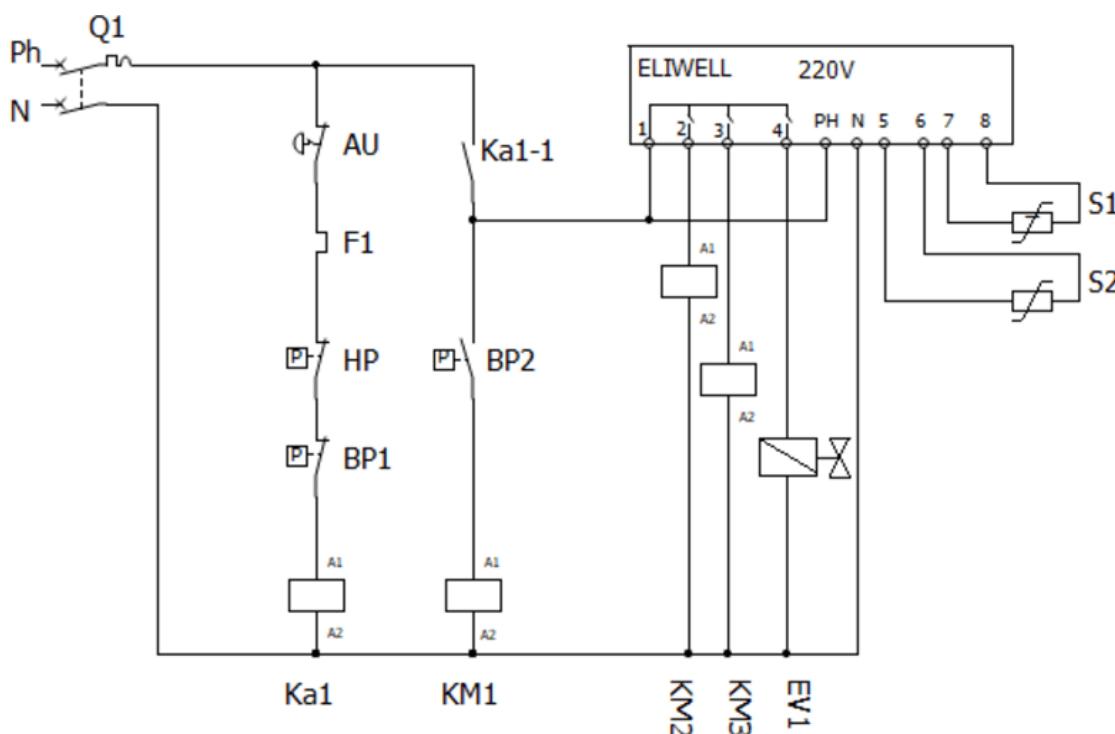
Si le thermostat de fin de dégivrage s'ouvre il alimente le relais KA2 qui de fait désalimente KA1 et KM2, le contact KA1-1 se ferme et la temporisation de marche ventilateur démarre (KA1-2). Si le thermostat de régulation l'ordonne l'électrovanne est alimentée et le compresseur peut démarrer.

Dégivrage commandé par régulateur.

Le système de dégivrage par résistances électriques du type électromécanique a tendance à disparaître au profit du dégivrage commandé par régulateur de type numérique ou analogique. Les avantages de ces régulateurs sont la facilité de câblage, la fiabilité et la multitude de paramétrages qu'ils offrent.

Citons quelques paramètres parmi les plus communs :

- Température de consigne
- Différentiel consigne
- Temporisation activation relais compresseur
- Temporisation compresseur entre deux démarrages
- Type de dégivrage
- Sélection du type de décompte concernant les intervalles de dégivrage
- Durée maximum du dégivrage
- Temps d'égouttement de la batterie
- Temps de retard pour l'activation des ventilateurs après un dégivrage
- Calibrage des sondes
- Modalité de visualisation durant le dégivrage
- Sélection du type de sonde, PTC ou NTC
- Transfert des paramètres de programmation de l'instrument.
- Etc....



Légende :

Q1	= Disjoncteur
AU	= Arrêt d'urgence
F1	= Thermique compresseur
HP	= Pressostat HP
BP1	= Pressostat BP sécurité
BP2	= Pressostat BP automatisme (pump down)
Ka1	= Relais défaut
KM1	= Contacteur compresseur
KM2	= Contacteur résistances
KM3	= Contacteur ventilation
EV1	= Électrovanne ligne liquide
S1	= Sonde d'ambiance
S2	= Sonde de dégivrage

Dégivrage par gaz chauds

Le givre qui s'accumule inévitablement sur les évaporateurs des chambres froides dont la température de surface est inférieure à zéro constitue un handicap et celui-ci doit être éliminé. Le givre en réduisant la surface d'échange diminue la production frigorifique.

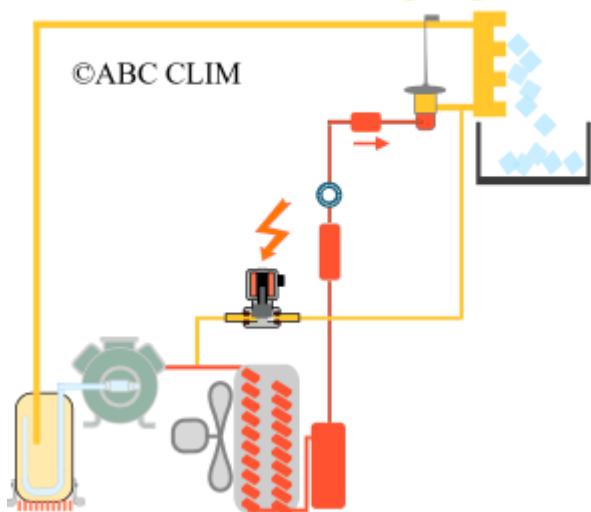
Le principe du dégivrage par gaz chauds consiste à utiliser les gaz surchauffés par le travail de compression (refoulement) pour les injecter directement dans l'évaporateur à dégivrer.

Il existe plusieurs méthodes de raccordement pour ce type de dégivrage cependant quelque soit le schéma frigorifique de raccordement le compresseur restent en fonctionnement tandis que les ventilateurs évaporateur et de condenseur sont à l'arrêt. La marche et l'arrêt du dégivrage sont régulés par des sondes placées dans l'évaporateur, la température de fin dégivrage se situe aux alentours des 5°C.

Dégivrage par gaz chauds (ex : machine à glaçons)

Gaz chauds - machine à glaçons

Fonctionnement en dégivrage



Ici l'injection des gaz chauds venant du compresseur est commandée par une électrovanne, un piquage pratiqué juste à la sortie de l'organe de détente (capillaire, détendeur) permet aux gaz chauds d'être introduit directement dans l'évaporateur.

L'évaporateur devient un condenseur, les gaz chauds se transforment en liquide petit à petit par échange (avec l'air, ou l'eau), ce changement d'état permet de libérer une grande quantité d'énergie appelée chaleur latente. Cette énergie ainsi libérée permet par exemple dans une machine à glaçons de détacher les glaçons de l'évaporateur.

Le liquide arrive ensuite dans la bouteille anti-coups de liquide qui est généralement muni d'un cordon chauffant autoréguler ou commandé par thermostat afin d'évaporer le liquide, protégeant ainsi le compresseur contre un éventuel coup de liquide.

Dégivrage par gaz chauds et système de réévaporation

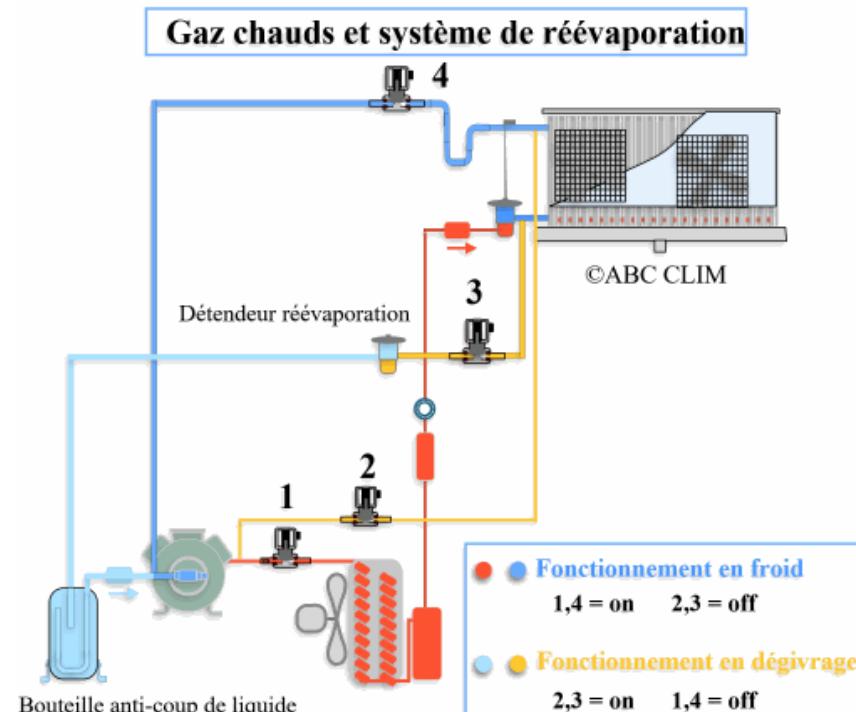
Le circuit frigorifique est un petit peu plus complexe car il comporte un ensemble de vannes électromagnétiques, un clapet de retenue et un détendeur de réévaporation.

Quand les VEM 1 et 4 sont alimentées et les vannes électromagnétiques 2 et 3 sont désalimentées le fonctionnement de l'installation est en mode de production de froid.

À l'inverse quand les électrovannes 1 et 4 ne sont pas alimentées et celles notées 2 et 3 sont sous tension le dégivrage est actif. Les gaz chauds sont injectés dans l'évaporateur par un piquage sur la tuyauterie d'aspiration, en traversant l'évaporateur l'énergie des gaz fait fondre le givre. Les gaz chauds se transforment en liquide petit à petit dans l'échangeur, puis le liquide est réévaporé partiellement à travers un détendeur prévu à cet effet.

La bouteille anti-coup de liquide permet aux dernières gouttes de liquide de s'évaporer avant d'être aspirées par le compresseur.

Pour améliorer l'efficacité du dégivrage on peut aussi procéder à un tirage au vide ou pump down de l'évaporateur avant le dégivrage.



Dégivrage par gaz chauds :
https://youtu.be/3z_IJ2-VnKI

Le dégivrage des évaporateurs devient intelligent !

Pourquoi faut-il dégivrer les évaporateurs ?

L'air qui nous entoure contient toujours une certaine quantité d'humidité si celle-ci est mise en contact avec une surface dont la température est inférieure à 0° cette humidité se transforme en givre.

Le givre qui se dépose sur les évaporateurs de chambre froide ou sur les batteries extérieures des pompes à chaleur se comporte comme un isolant, qui réduit l'échange entre le fluide frigorifique et l'air. Cette réduction d'échange entraîne une diminution du rendement et de la production frigorifique.

Il est donc nécessaire de dégivrer ses échangeurs de façon régulière.

Le dégivrage intelligent.

Généralement le dégivrage s'effectue souvent de façon cyclique actionnée par une horloge ou un timer (nombre de dégivrages fixe par jour ou par nombre d'heures de fonctionnement du compresseur), la fin de dégivrage étend commandée par une sonde thermostatique. Mais ce type de fonctionnement ne permet pas une gestion du dégivrage de façon économique, car parfois certains dégivrages ne sont pas utiles.

Par opposition le dégivrage intelligent permet une gestion optimisée des cycles de dégivrage n'autorisant son fonctionnement que si effectivement du givre est détecté sur l'évaporateur.

La température de l'enceinte réfrigérée sera plus uniforme et les coûts d'exploitation pourront être réduits de 5 à 10 %.

Capteurs et automates de dégivrage.

Dans une installation existante si celle-ci est pilotée par un automate permettant d'intégrer un capteur libérant un signal de 4 à 20 mA, il sera facile d'ajouter un organe de détection de présence de givre.

Ce type de capteur est constitué d'un transducteur et d'une sonde diélectrique, celle-ci ne conduit pas d'électricité mais induit un champ électrique externe qui est perturbé par la présence de givre sur l'évaporateur. Le signal transmis (4mA = pas de givre, 20 mA = présence de givre) à l'automate permet de lancer un dégivrage si nécessaire et de l'arrêté quand le besoin s'en fait sentir.

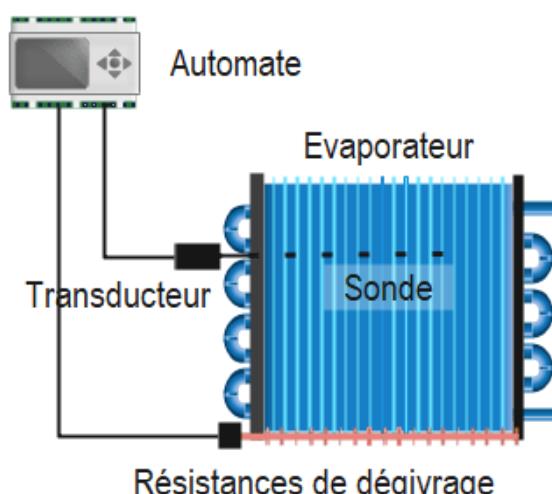
Il existe bien entendu sur le marché d'autre type de solution gérant de façon intelligente le dégivrage l'une des techniques employées s'appuie sur une analyse de la courbe de température de l'enceinte ainsi que celle de l'évaporateur.

L'automate enregistre en continu ces données, un algorithme interprète les différentes données pour ordonner ou non un dégivrage, il permet aussi d'établir des statistiques du temps de dégivrage afin d'affiner sa durée.

Par exemple si l'automate enregistre une montée en température courte dans l'évaporateur c'est que celui-ci n'est plus couvert de givre et arrêtera les résistances ce qui réduira le nombre des dégivrages.

D'autres régulateurs plus évolués enregistrent le débit d'air à travers l'évaporateur et le débit massique au niveau du détendeur ici on utilisera un détendeur de type électronique qui servira de débitmètre.

En comparant ces mesures de débit d'air et de débit au niveau du détendeur on peut déterminer l'efficacité de l'évaporateur et en déduire l'importance du givrage de l'évaporateur. Cette méthode très pointue réduit drastiquement les dégivrages intempestifs, notons aussi que le surcoût de ce type de régulation est vite amorti.



Régulation électronique des installations frigorifiques

De nos jours il existe une multitude de régulateurs électroniques de température ou de surchauffe ayant de nombreuses fonctionnalités, et sont utilisés en froid comme en conditionnement d'air.

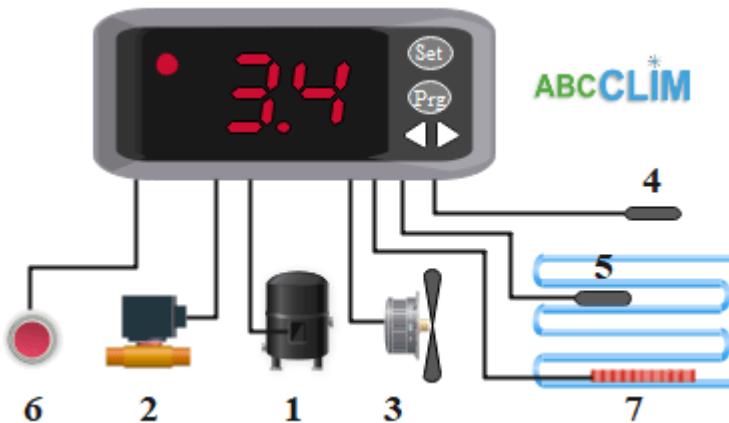
Régulateur de température

Les fonctions principales des régulateurs de température sont:

- Contrôle des compresseurs:température,marche,arrêt,défaits.
- Contrôle des dégivrages:électrique,gaz chaud,temps et nombre de dégivrages.
- Contrôle des ventilateurs évaporateur:marche,arrêt,retard ventilation.
- Contrôle des alarmes:défaits sonde,température,compresseur.
- Horloge en temps réel.
- Commande infrarouge à distance.
- Régulateur universel: suivant paramétrage affichage en %humidité,bar,Psi.

Légende:

- 1) Compresseur
- 2) VEM
- 3) Ventilateur évaporateur
- 4) Sonde reprise (régulation)
- 5) Sonde de dégivrage
- 6) Alarme (voyant,buzzer)
- 7) Résistance de dégivrage



Régulateur de surchauffe

Ce type de régulateur permet un contrôle précis de la surchauffe et de la température en un seul appareil.

Principales fonctions

Alimentation en fluide de l'évaporateur optimale quelles que soient les variations de charge et de pression d'aspiration. Fonction MOP du détendeur électronique, fonction qui limite l'ouverture du détendeur tant que la pression d'évaporation est supérieure à la valeur MOP de consigne.

Contrôle de la température de reprise et du dégivrage évaporateur

Régulation adaptative ultra-précise grâce aux fonctions PID

Sortie relais on/off pour compresseur, ventilateur évaporateur, alarme... etc

Transmission de données vers un PC, par exemple

Description du fonctionnement

Pour la mesure de la surchauffe, le régulateur utilise 1 sonde de contact à la sortie de l'évaporateur qui mesure la température d'aspiration et un transducteur qui mesure la pression d'évaporation du réfrigérant à la sortie de l'évaporateur.

À partir de la pression est calculée la température saturée d'évaporation puis dans un deuxième temps c'est à partir de la différence entre la température d'aspiration et celle saturée d'évaporation que la surchauffe est calculée.

Fonctionnement de la régulation PID

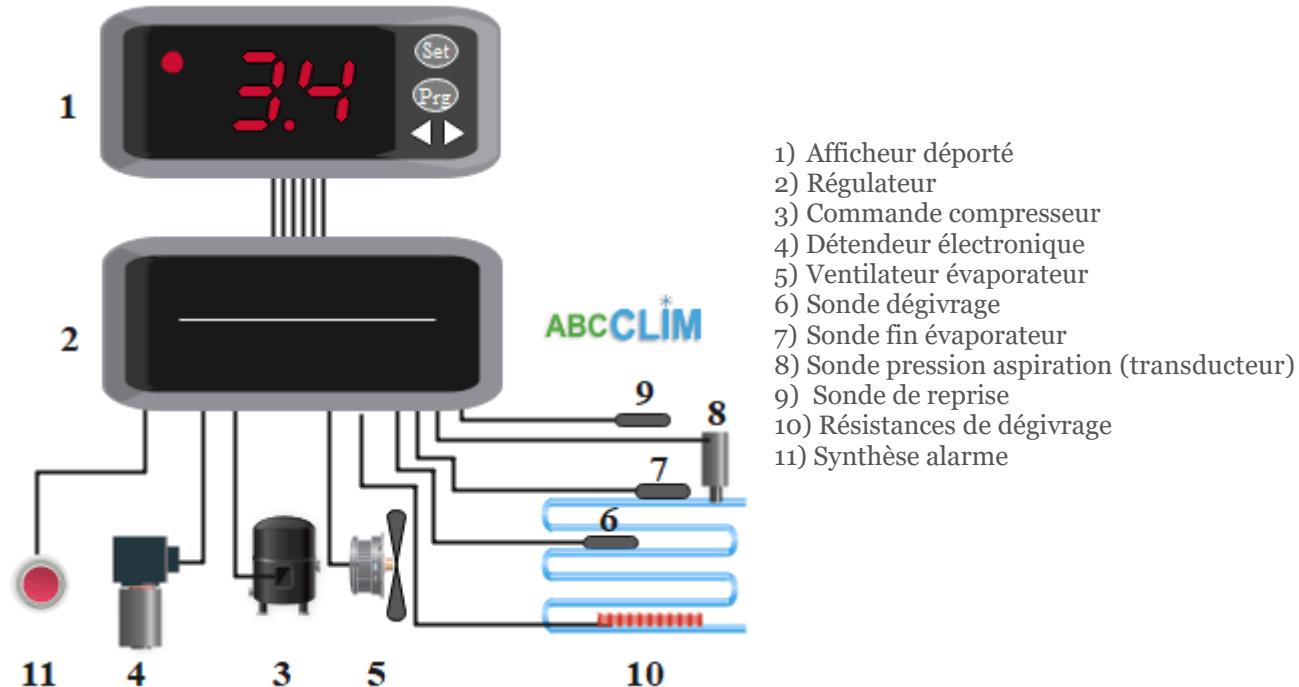
Action proportionnelle (P), caractérisée par le paramètre $K = \text{gain proportionnel}$. L'action proportionnelle ouvre ou ferme la vanne de K pas chaque fois que la surchauffe augmente ou diminue de 1°C . Donc plus élevée est la valeur de K , plus rapide sera la vitesse de réaction de la vanne aux variations de la surchauffe. L'action proportionnelle est fondamentale puisqu'elle influence en général la rapidité de réponse du détendeur.

Action intégrale (I), caractérisée par le paramètre T_i = temps intégral (sec) L'action intégrale est liée au temps et déplace le pointeau de la vanne en proportion de la distance de la surchauffe par rapport à la valeur de consigne. Plus grande est la différence, plus intense sera l'action intégrale ; plus court est le temps de l'action intégrale (T_i), plus énergique sera l'action intégrale. L'action intégrale est nécessaire pour que la surchauffe puisse atteindre la valeur de consigne.

Sans celle-ci, en effet, l'action proportionnelle seule pourrait faire stabiliser la surchauffe à une valeur différente de la valeur de consigne.

Action dérivée (D), caractérisée par le paramètre T_d = temps dérivatif (sec) L'action dérivée est liée à la vitesse de variation de la surchauffe, c'est-à-dire la pente selon laquelle la surchauffe change d'instant en instant. Celle-ci tend à contraster les brusques variations de la surchauffe, en anticipant l'action corrective et est d'autant plus énergique que plus grand est le temps T_d .

Régulateur de surchauffe :



La régulation pump down

La régulation en Pump down repose sur l'utilisation d'une électrovanne sur la ligne liquide pilotée par le thermostat d'ambiance .

Quand le thermostat est en demande il alimente la vanne liquide, la pression dans l'évaporateur et dans la tuyauterie BP augmente , dès que cette pression atteint la valeur de réglage (enclenchement) du pressostat BP celui-ci donne au compresseur l'ordre de ce mettre en route.

Puis quand la température arrive à la température de réglage du thermostat il s'ouvre et désalimente l'électrovanne , le compresseur fonctionne toujours puis la pression baisse petit à petit jusqu'à atteindre le point de coupure du pressostat BP.(arrêt)

Cette régulation a pour avantage d'éviter les coups de liquide au redémarrage du compresseur.

La régulation single pump-down:

Le principe de ce type de régulation repose sur l'utilisation d'un relais de mise au vide ce qui a pour avantage d'éliminer les courts cycles en cas de fuite de l'électrovanne ,mais en cas de manque de charge les courts cycles sont toujours possibles.

L'avantage de cette régulation c'est que l'on élimine tous risques de courts-cycle.

Ici on utilise un pressostat BP en régulation et une chaîne de sécurité distincte composée d'un arrêt d'urgence AU,des relais thermiques F1 et F2,des pressostats HP et BP,tous ces éléments sont à réarmement manuel.

En cas de coupure d'un des éléments de cette chaîne de sécurité, le relais KA1 sera mis hors tension et l'installation sera mise à l'arrêt.

Les éléments suivants l'arrêt d'urgence AU, les relais thermiques F1 et F2,le pressostat HP constituent la chaîne de sécurité.

Légende :

KM1 = Contacteur du groupe de condensation

KM2 = Contacteur du moteur de l'évaporateur

KA1 = Relais de sécurité

KA2 = Relais de mise au vide

Y1 = Électrovanne

AU = Arrêt d'urgence

F1 = Relais thermique du groupe de condensation

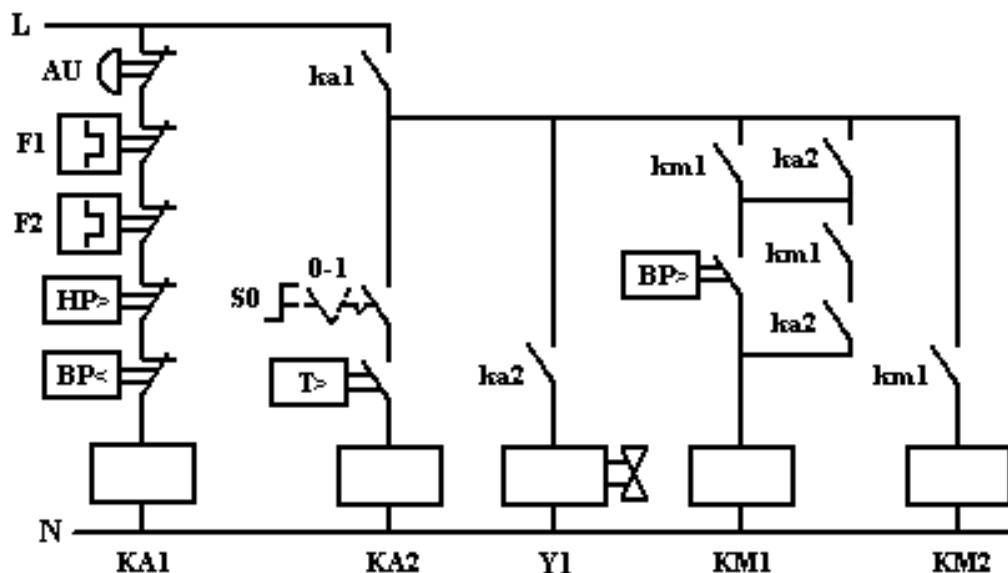
F2 = Relais thermique du moteur de l'évaporateur

HP> = Pressostat HP de sécurité

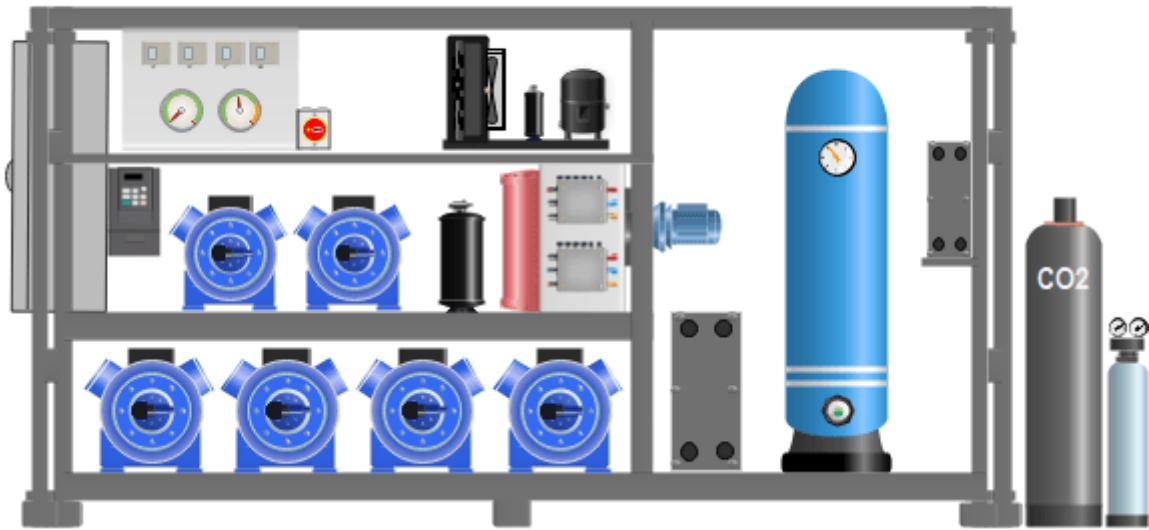
SO = Commutateur marche/arrêt

BP> = Pressostat BP de régulation

T> = Thermostat de régulation

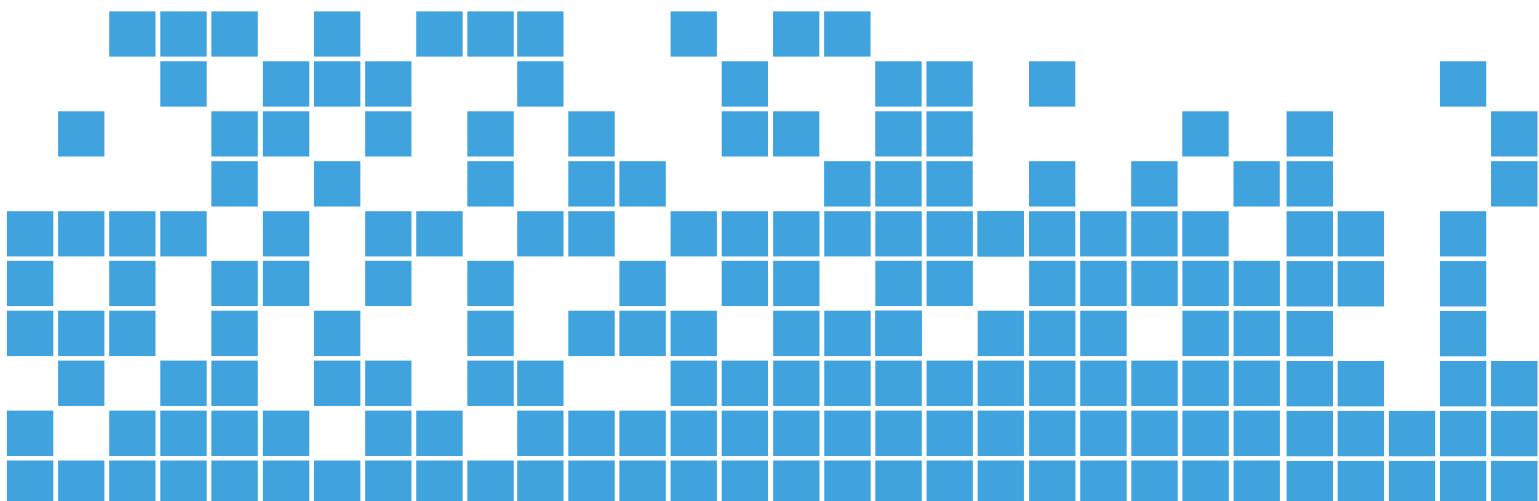


Installations au CO₂



En 1850, un brevet Anglais évoque l'utilisation du CO₂ pour la production frigorifique. En 1860, construction du premier système utilisant du CO₂, et en 1867 dépôt d'un brevet pour une machine à produire de la glace hydrique par Löwe. Pic d'utilisation entre 1920 et 1930. Dernières installations en bateaux de pêche en 1960, où il était jugé moins dangereux que l'ammoniac. L'arrivée des CFC vers 1950 avec des pressions maximales de 10 bar (R-12) et des compresseurs semi hermétiques ou hermétiques a sonné le glas du CO₂. Renouveau à partir de 1995 en Scandinavie en frigoporteur, puis en cascade basse température, puis en cycle transcritique vers 2005.

Texte AFCE



Caractéristiques et utilisations du R744 (CO₂) !

Le R 744 ou CO₂ est de plus en plus utilisé dans les installations de froid commerciales et industrielles, ainsi qu'en pompe à chaleur. Il peut être utilisé en réfrigération en détente directe dans des systèmes cascade (régime subcritique) avec des HFC, HFO ou NH₃ ou en systèmes booster (régime transcritique).

Son utilisation n'est pas nouvelle puisque c'est en 1850 que commence l'histoire du CO₂ comme fluide frigorigène.

Quels sont les avantages du R 744 ?

L'utilisation du CO₂ (dioxyde de carbone) comme fluide frigorigène se justifie au point de vue écologique, car son impact sur la couche d'ozone est nul (ODP=0) et son impact sur l'effet de serre est négligeable (PRG=1).

Comme c'est un fluide naturel, il échappe à la réglementation F gaz. Ce qui est un avantage pour la pérennité des installations utilisant ce fluide.

Le R 744 est non toxique à faible concentration et il est non inflammable.

Les installations CO₂ peuvent intégrer des échangeurs pour la récupération de chaleur destinés au chauffage et à l'eau chaude sanitaire.

Grâce à ces performances thermodynamiques et à une haute densité de vapeur, le R 744, à puissance égale aura des dimensions de tuyauterie plus petite qu'une autre installation utilisant un autre type de fluide.

Et les inconvénients ?

Cependant le CO₂ présente l'inconvénient d'avoir des pressions de fonctionnement très élevées ce qui pose un problème de fiabilité de matériel, de formation du personnel et de sécurité .

Dans les salles des machines, un détecteur fuite est obligatoire.

Les dangers de la concentration de CO₂ dans l'air.

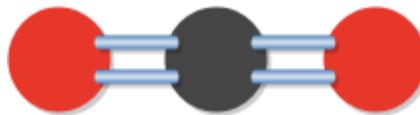
- La valeur maximale d'exposition est fixée à 0,5% de CO₂ dans l'air.
- À partir d'une concentration de 2%, les premiers symptômes de gênes respiratoires apparaissent.
- Entre 3 et 5%, mal de tête, vertiges, désorientation nécessite une évacuation rapide.
- Au-delà de 15% de concentration de CO₂, le sujet sera inconscient rapidement jusqu'à l'issue fatale s'il n'est pas évacué.

En cas de fuite, les mesures avec un contrôleur de CO₂ portatif s'imposent avant toute intervention. Le CO₂ est plus lourd que l'air, sa densité de 1,53 le rend particulièrement dangereux aux points bas des installations. De fait, les détections et les extracteurs doivent être placés à ces niveaux.

À noter encore que pour éviter des ruptures, le matériel d'intervention doit être adapté à des pressions élevées, manomètres, flexible de charge ... !

Caractéristiques du fluide CO₂ (R744)

Le CO₂ est la combinaison de deux éléments : un atome de carbone C et deux atomes d'oxygène O, soit CO₂.



• Masse molaire en g/mol.....	44,01
• Température de fusion en °C	-56,55
• Température de sublimation en °C.....	-78,46
• Température critique en °C.....	31,1
• Pression critique en bar absolu.....	73,8
• Chaleur massique du liquide à + 25°C en kJ/kg.K.....	6,467
• Chaleur massique de la vapeur (sous 1,013 bar) à + 25°C en kJ/kg.K.....	0,851
• Rapport des capacités thermiques massiques (Cp/Cv) à + 25°C et sous 1,013 bar	1,294
• Viscosité du liquide à + 25°C (10 ³ Pa.s)	0,057
• Tension de surface à + 25°C en dyne par centimètre (10 ³ N/m)	0,57
• Classification NF-EN 378	A1
• GWP.....	0
• ODP.....	1

Notions de cycle transcritique, subcritique, point critique, point triple !

Pour comprendre le fonctionnement des installations utilisant le CO₂ comme fluide frigorigène nous utiliserons une version simplifiée du diagramme enthalpique !

L'utilisation de ce diagramme permet d'une manière simple de représenter l'évolution du fluide frigorigène au cours de chaque transformation.

Le diagramme est un outil pratique c'est une représentation graphique de toutes les évolutions qu'un fluide dans un circuit frigorifique.

Chaque fluide à son diagramme qui lui est propre !

Nota :

Voir cette vidéo afin de mieux comprendre ce diagramme : <https://youtu.be/v2oPORVRIp0>

Point critique et point triple

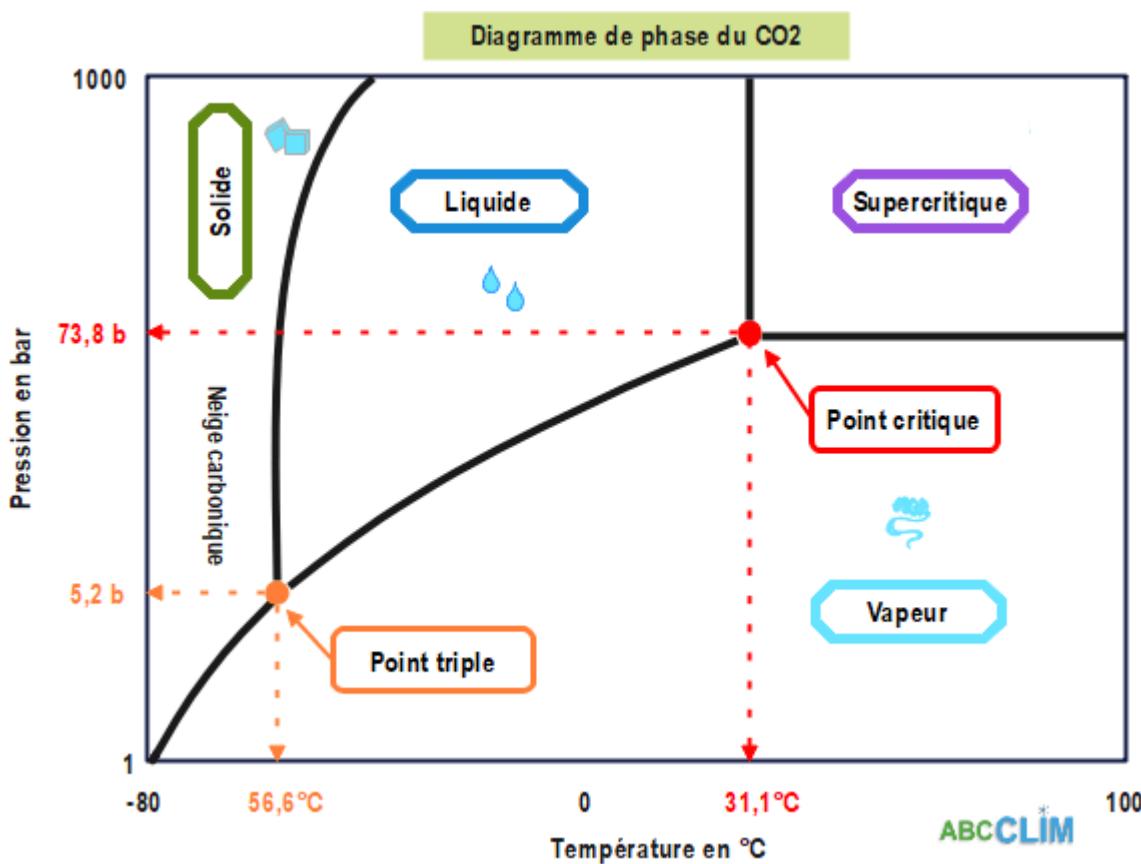
Tous les fluides frigorigènes ont un point critique c'est-à-dire un point dans une courbe reliant pression, température et masse volumique.

Ce point critique n'est jamais dépassé avec les fluides dits classiques, car il marque les limites du couple d'échange thermique, l'évaporation et la condensation .

Au-delà de ce point, l'état est qualifié de « supercritique» état dans lequel un corps ne peut être physiquement ni complètement liquide ni complètement gazeux, c'est un état qui n'existe pas dans la nature. Notons que dans ce cycle thermodynamique la relation pression température n'existe plus.

Le CO₂ possède une température critique extrêmement basse (31,1 °C) pour une pression élevée par rapport aux autres fluides frigorigènes .

Le point triple est le point d'un fluide pur où les trois phases (solide, liquide, gaz) ne peuvent coexister qu'à une température et une pression bien précise. Pour le CO₂ ce point est établi à la pression de 5,2 b absolu. La phase liquide ne peut exister qu'à une pression supérieure à 5,2 b. A une pression inférieure on obtient de la neige carbonique (solide).

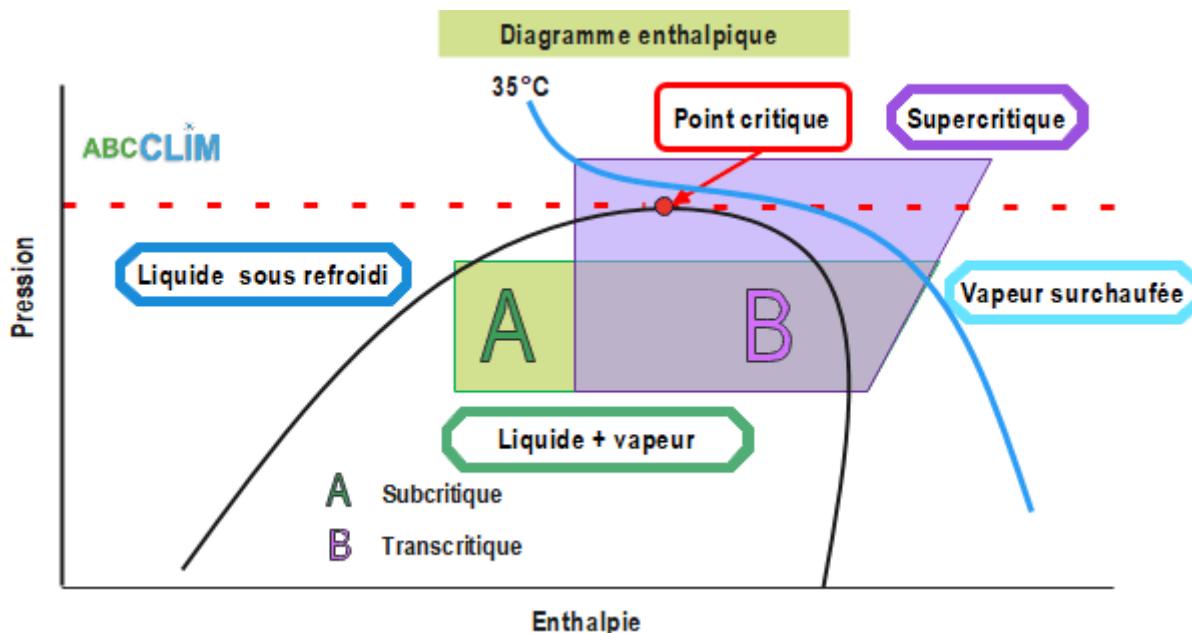


Cycle subcritique et transcritique

La courbe de saturation (noire) sépare les zones, liquide sous refroidi, mélange (liquide +vapeur), vapeur surchauffée et supercritique. Le point rouge au sommet de cette courbe définit le point critique.

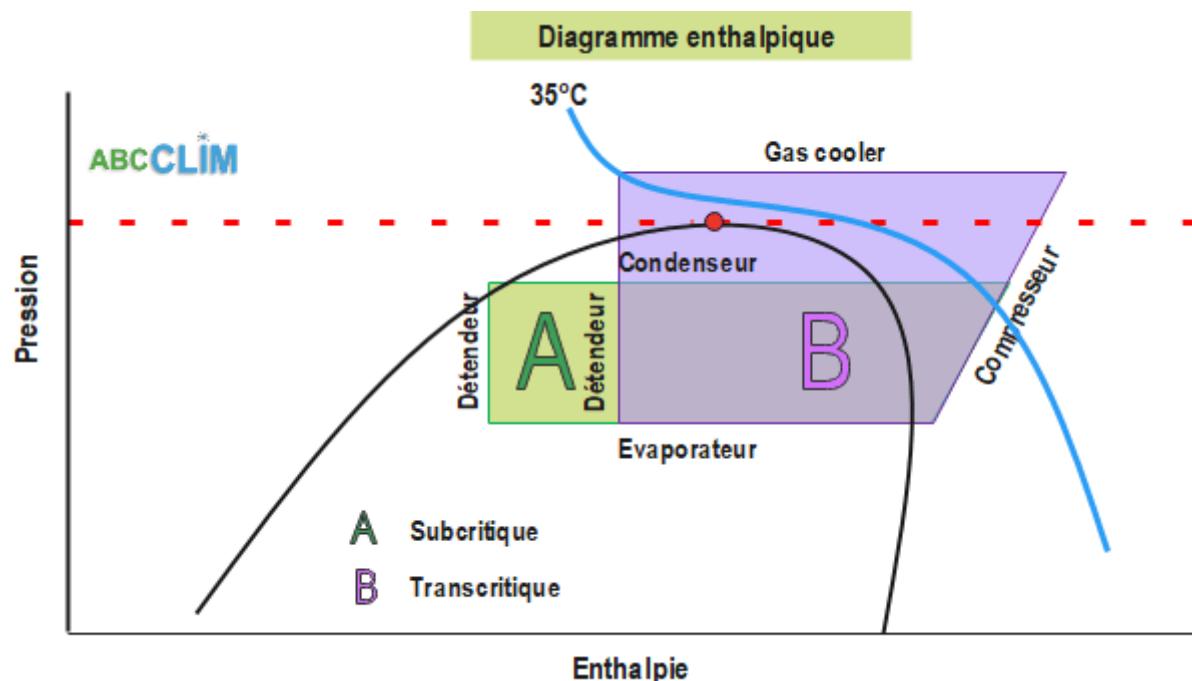
A : Zone de fonctionnement des installations CO₂ subcritiques (HCF, hydrocarbure, etc ..)

B: Zone de fonctionnement des installations CO₂ transcritiques.



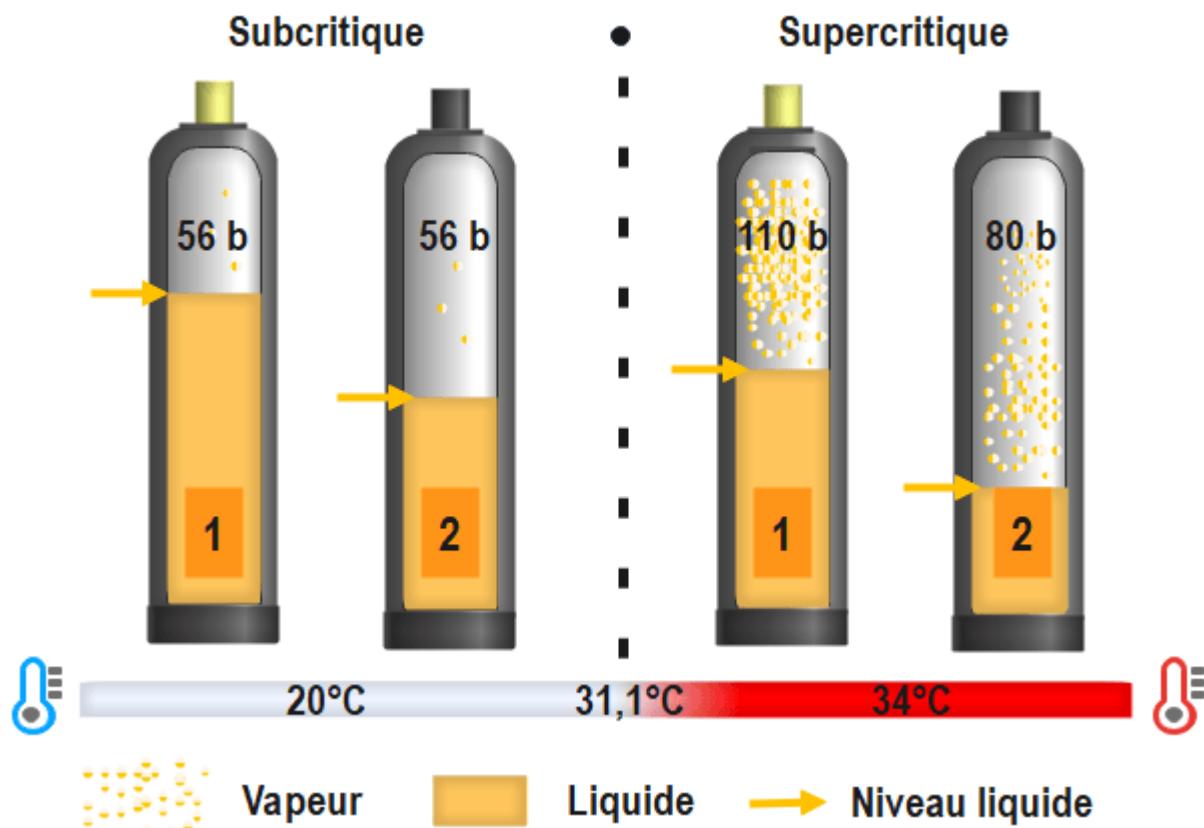
Dans le diagramme ci-dessous on remarque qu'en cycle transcritique (**B**) le condenseur est remplacé par un Gascooler. Le Gas cooler est un échangeur monophasique à chaleur latente, il n'y a pas de changement d'état. On abaisse seulement la température du fluide, dans l'exemple 35 °C (t° sortie gas cooler). Pour permettre le changement d'état et alimenter le détendeur en liquide on abaissera la pression dans une bouteille ou réservoir.

L'évaporation étant située dans la zone subcritique comme toute installation .



Evolution de la pression du CO₂ !

Relation entre température, pression, masse de liquide et vapeur



Prenons deux bouteilles identiques contenant du CO₂, la bouteille n° 1 à un volume de liquide plus importante que la bouteille n° 2, plaçons les deux bouteilles dans un local où la température est de 20°C .

Comme cette température (20°C) est plus basse que le point critique du CO₂ soit 31,1 la relation pression/température s'applique. On remarque qu'à 20°C les deux bouteilles ont une pression de 56 bars (relatif) quelle que soit la quantité de fluide présente dans les bouteilles.

Ici on peut donc dire que la pression est directement en relation avec la température.

Maintenant plaçons les deux mêmes bouteilles toujours avec les mêmes masses de liquide dans un local soumis à une température de 33 °C. Dans ce cas nous avons dépassé la température du point critique du CO₂.

Les deux bouteilles sont dans la zone supercritique, le liquide va diminuer alors que la vapeur va augmenter dans les 2 bouteilles. Pourtant dans la bouteille n° 1 on constate que la pression est plus élevée que dans la bouteille n°2. Ici on s'aperçoit que la masse de liquide et la température conditionnent directement la pression dans les bouteilles.

La vapeur dans la bouteille n°1 occupera plus de place pour le même volume de bouteille, et la pression sera plus forte.

Cette notion est importante dans les installations CO₂ transcritique. Cela explique la nécessité d'avoir un dispositif de sécurité pour limiter la pression pendant un arrêt long de l'installation. En ajoutant un groupe frigorifique dédié au refroidissement du réservoir liquide, via un échangeur à plaque. Des soupapes de sécurité viennent compléter l'ensemble

Nota:

- Supercritique : désigne l'état physique du fluide, comme liquide, solide, gaz !
- Transcritique : désigne le cycle thermodynamique d'une installation

Relation pression température

Vous remarquerez que cette table s'arrête en terme de température à 31,1 °C, évidemment vous avez compris que la relation pression/température n'est possible qu'en dessous du point critique (31,1 °C) du CO₂.

Temperature	Liquide
(°C)	Pression
	(bar abs)
-50	6,8234
-49	7,1049
-48	7,3949
-47	7,6937
-46	8,0015
-45	8,3184
-44	8,6445
-43	8,98
-42	9,3252
-41	9,6801
-40	10,045
-39	10,42
-38	10,805
-37	11,201
-36	11,607
-35	12,024
-34	12,452
-33	12,891
-32	13,342
-31	13,804
-30	14,278
-29	14,763
-28	15,261
-27	15,77
-26	16,293
-25	16,827
-24	17,375
-23	17,935
-22	18,509
-21	19,096
-20	19,696
-19	20,31
-18	20,938
-17	21,581
-16	22,237
-15	22,908
-14	23,593
-13	24,294
-12	25,01
-11	25,74
-10	26,487
-9	27,249

Temperature	Liquide
(°C)	Pression
	(bar abs)
-8	28,027
-7	28,821
-6	29,632
-5	30,459
-4	31,303
-3	32,164
-2	33,042
-1	33,938
0	34,851
1	35,783
2	36,733
3	37,701
4	38,688
5	39,695
6	40,72
7	41,765
8	42,831
9	43,916
10	45,022
11	46,149
12	47,297
13	48,466
14	49,658
15	50,871
16	52,108
17	53,368
18	54,651
19	55,958
20	57,291
21	58,648
22	60,031
23	61,44
24	62,877
25	64,342
26	65,837
27	67,361
28	68,918
29	70,509
30	72,137
31,1	73,8

La pression indiquée sur cette table est donnée en bar absolu !

La pression relative c'est la différence de pression par rapport à la pression atmosphérique, c'est la pression donnée par les manomètres du frigoriste.

La pression absolue est mesurée à partir du vide.

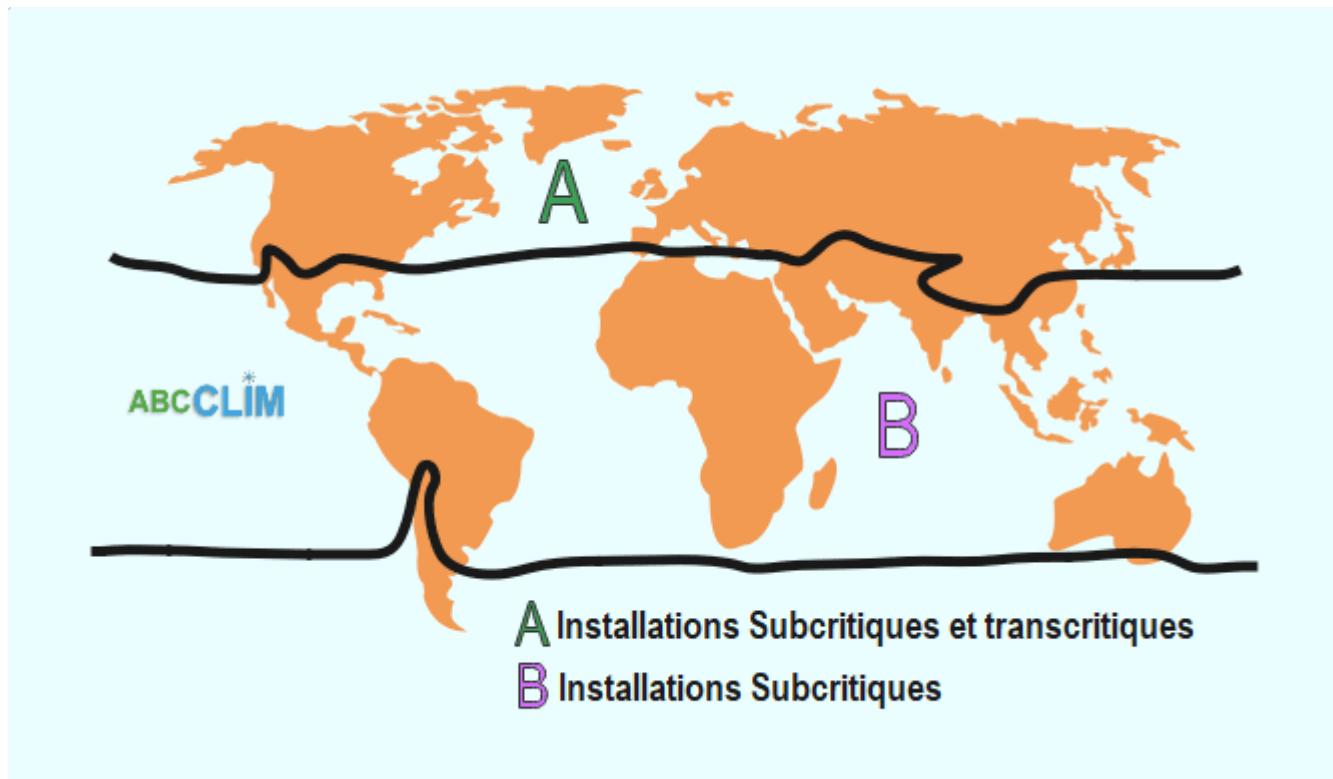
Pression absolue= pression relative + pression atmosphérique

Zones géographiques et utilisation de CO₂

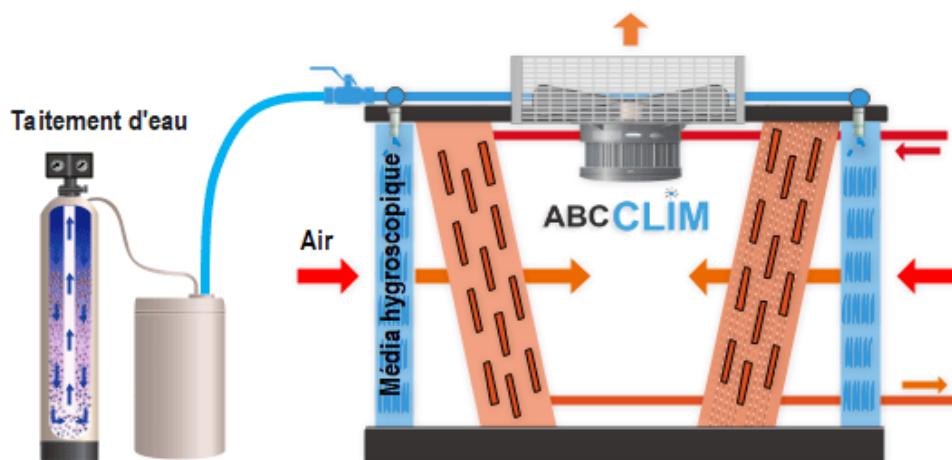
Les systèmes de réfrigération utilisant le R744 (CO₂) en mode transcritique sont particulièrement utilisés dans les climats froids et tempérés.

Pour qu'un cycle frigorifique ait une bonne efficacité, il est important que la température de condensation ne soit pas trop proche de la température critique.

Au-delà de 31°C, le CO₂ est au-dessus de son point critique. Dans les zones plus chaudes (température annuelle) avec un taux d'humidité élevée, les systèmes transcritiques sont moins efficaces énergétiquement et sont généralement remplacés par des systèmes en cascade. (Voir carte).



Pourtant des solutions existent comme l'utilisation de gaz cooler adiabatique qui permet d'utiliser de manière efficace des installations transcritiques au CO₂ même dans les régions où les températures extérieures dépassent les +40 °C .



Les principales technologies utilisent un système de collecteurs avec des buses, qui soit pulvérise l'eau en microgouttelettes directement dans le flux d'air, soit qui diffuse l'eau sur un média hygroscopique.

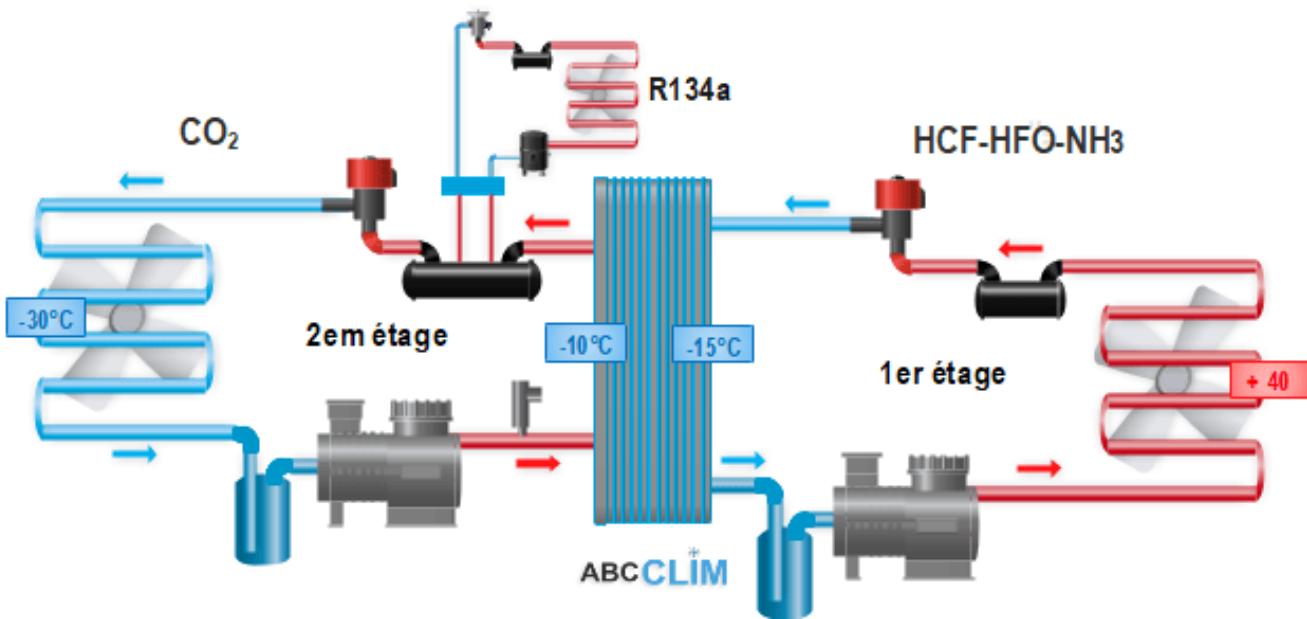
L'air qui entre en contact avec l'échangeur frigorifique contient encore une certaine quantité d'eau en sustentation qui ne s'est pas évaporée, ce qui améliore encore l'échange.

Un traitement d'eau est obligatoire car sinon gare au calcaire qui en se déposant sur le condenseur diminuerait l'échange.

Fonctionnement subcritique: Cascade CO₂ , HCF,HFO, NH₃

Les installations CO₂ fonctionnant en cycle subcritique (**A**) sont plutôt destinées à la réfrigération basse ou très basse température (-25°C à -50°C). Pour ce type d'utilisation les conditions de températures de condensation de l'étage CO₂ doivent rester en dessous du point critique c'est à dire 31°C.

Pour respecter ces conditions une installation en cascade est obligatoire. Le premier étage de la cascade est soit assurée par de l'eau glycolée soit par un autre fluide frigorigène, HCF, HFO, NH₃. Le couple NH₃/CO₂ permet un coefficient de performance plus élevé que toutes les autres solutions, mais les contraintes réglementaires liées à la toxicité du NH₃ freine un peu les installateurs.



L'étage haute pression (1er étage) possède un condenseur classique refroidie par air ou par eau. Son évaporateur est en contact avec le condenseur du 2^{em} étage (étage basse pression) grâce à un échangeur fluide/fluide à contre-courant. L'évaporateur du deuxième étage (CO₂) soustrait la chaleur dans le local à réfrigérer (chambre froide, entrepot).

La pressions de saturation du CO₂ peut devenir très importante avec l'augmentation de la température notamment à l'arrêt suite par exemple à une coupure de courant. Revoir la page 266 sur l'évolution des pressions!

Il est donc nécessaire d'avoir un dispositif de sécurité pour limiter la pression à l'arrêt. Ici on ajoute un groupe frigorifique dédié au refroidissement du réservoir liquide, via un échangeur à plaque. Des soupapes de sécurité viennent compléter l'ensemble.

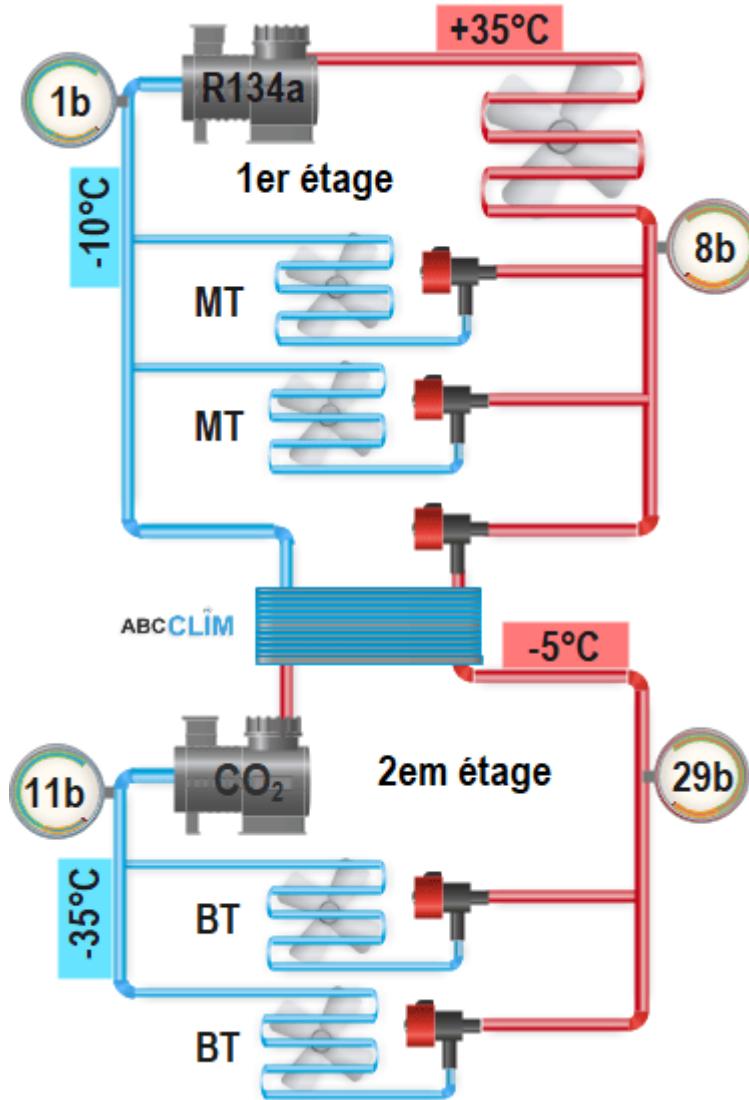
Description du fonctionnement :

Le premier étage est tout d'abord mis en service, petit à petit par manque d'échange dans l'échangeur à plaque, la température et la pression vont baisser côté 2^{em} étage .

Lorsque cette température atteindra sa valeur de consigne, par exemple -15 °C, alors on autorisera le fonctionnement du 2^{em} étage. La régulation de puissance, donc le volume aspiré des compresseurs est pilotée par des variateurs de fréquence. La fréquence minimum de fonctionnement sera choisie en fonction du type de compresseur, piston, scroll et des données du constructeur.

Le ventilateur condenseur est aussi commandé par un variateur pour réguler la pression HP. Le ventilateur de l'évaporateur (2^{em} étage) peut être à vitesse fixe. Les détendeurs sont soit mécanique de type a égalisation externe, soit électronique, ce dernier étant plus fiable et plus précis. Une régulation PID gère l'ensemble du système.

Cascade (subcritique) R134a /CO2 (MT, BT)



Les cascade ammoniac/CO₂ sont les plus performantes mais le R134a constitue une bonne option en raison de ses propriétés thermodynamiques et de son faible potentiel de réchauffement global.

Le fonctionnement de cette cascade est globalement identique à celle de la page précédente. La différence est que chaque étage est dédié à une production de froid de température différente.

L'étage haute température ou 1er étage assure la réfrigération des meubles et chambres froides moyennes températures ainsi que l'alimentation en fluide de l'échangeur à plaque.

LE 2em étage alimente la partie basse température de l'installation.

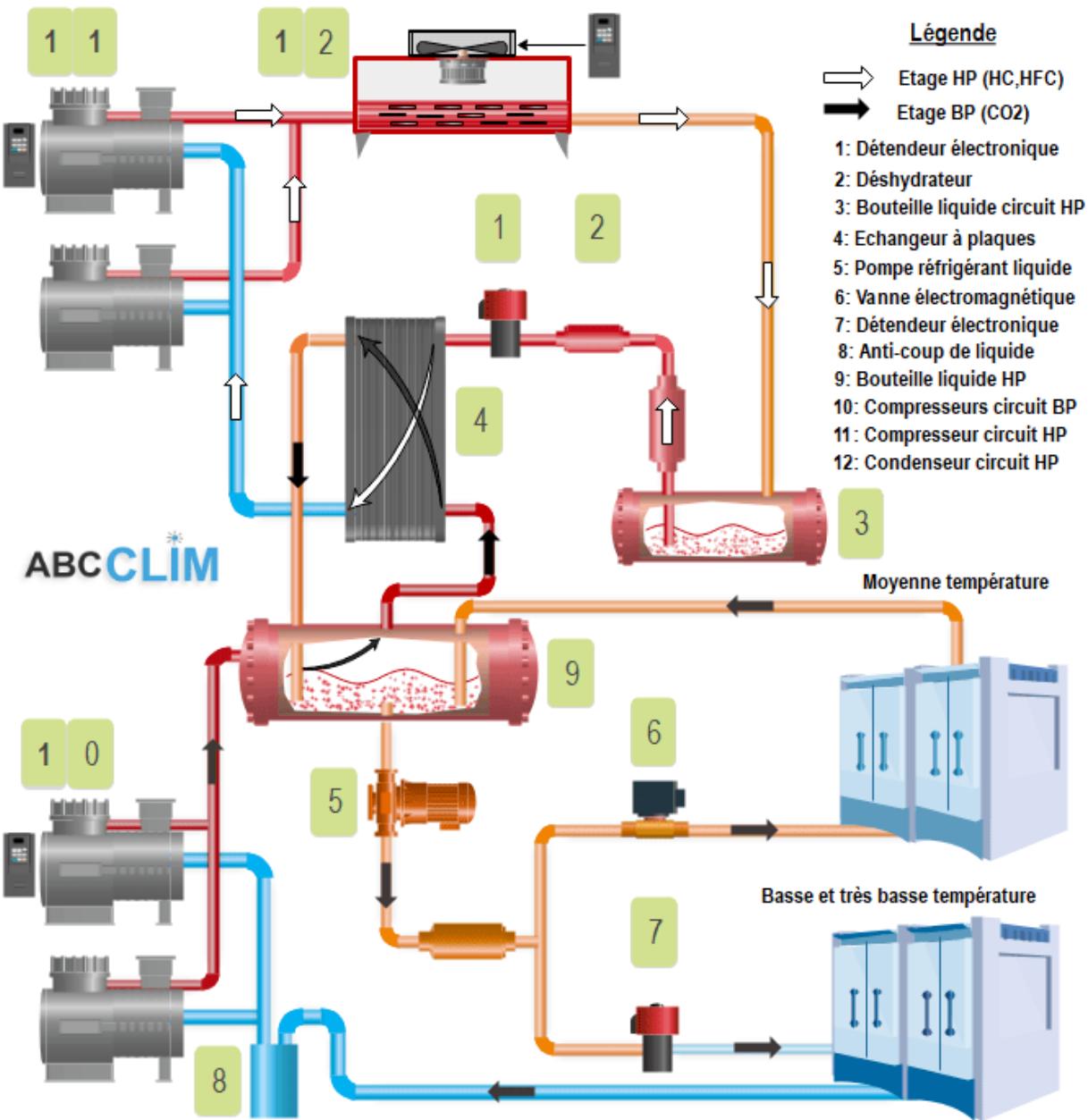
La régulation des systèmes en cascade :

- Régulation de la capacité du condenseur à air 1er étage par variation de la vitesse du moteur de ventilateur.
- Régulation de la capacité des compresseurs par variateur de fréquence.
- Régulation de l'injection de la cascade, des évaporateurs moyenne et basse température par détenteurs électriques.

Fonctionnement subcritique: Cascade, moyenne et basse température

Ici on doit réfrigérer des meubles positifs et négatifs, via une cascade HCF,HFO, NH₃ et CO₂.

Dans le schéma ci-dessous vous remarquerez que la partie dédiée au températures moyennes est alimentée par du CO₂ mais en phase liquide (régime noyé) comme un frigoporteur monophasique, tandis que la partie basse ou très basse température est alimentée comme toute installation par un détendeur (fonctionnement diphasique=changement d'état).



Description du fonctionnement.

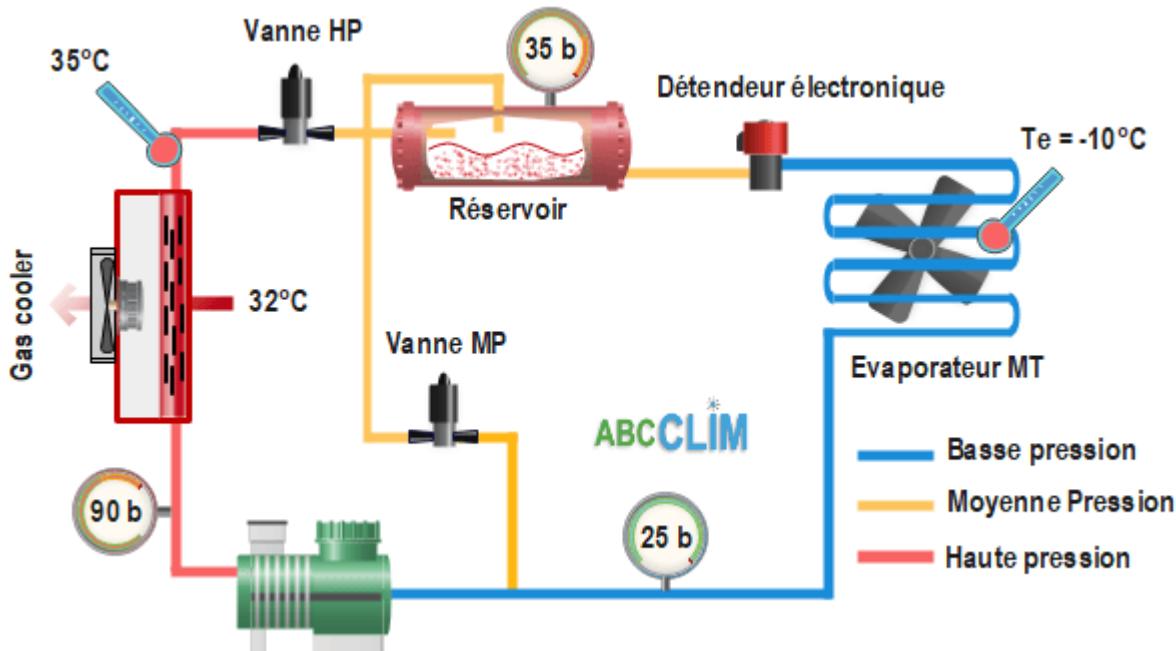
Le premier étage est composé de deux compresseurs (11) dont un est à vitesse variable. Ceux-ci permettent de maintenir dans l'échangeur à plaque (4) une température de CO₂ en dessous du point critique (changement d'état vapeur/liquide).

Les deux compresseurs (10) du second étage aspirent les vapeurs venant des meubles réfrigérés basse température. Pour adapter la puissance à la demande un des deux compresseurs est à vitesse variable. La vapeur surchauffée entre dans le réservoir (9), étant plus légère que le liquide elle reste en partie haute du réservoir. Le fluide ce dirige vers le condenseur, l'échangeur à plaques (4), le fluide ce condense. Le liquide obtenu entre dans le réservoir et reste en partie basse.

Une pompe (5) alimente en liquide les deux niveaux de températures. Pour les meubles moyenne température sont alimentés en régime noyé par des électrovannes (6), le fluide retourne à la bouteille. Le niveau basse température est alimenté par des détendeurs électroniques (7), le fluide change d'état est retourne au compresseurs. Une bouteille anti-coup de liquide (8) protège les compresseurs contre l'arrivée massive de liquide.

Principe d'une installation CO₂ transcriptrique

Le cycle transcriptrique comprend les mêmes composants qu'un cycle traditionnel, néanmoins au cours du refroidissement de la vapeur, après le compresseur, aucune condensation ne se produit car le fluide est à l'état supercritique. Dans ces conditions, l'échangeur est un simple refroidisseur de gaz (Gaz cooler) et non un condenseur. Après le gaz cooler, la détente du fluide à lieu et un mélange diphasique apparaît en sortie du détendeur.



Description du fonctionnement transcriptrique

Le compresseur aspire le gaz provenant de l'évaporateur, il le compresse et le porte à haute pression et haute température. Le fluide est refroidi dans le gas cooler, la température calculée par la régulation est généralement de l'ordre de 3°C par rapport à la température de l'air aspiré par le refroidisseur (gas cooler).

Ici pour une température d'air aspiré de 32°C on doit obtenir en sortie de gas cooler une température 35°C . Ici nous sommes toujours au-dessus du point critique de CO₂ (31,1°C).

Le fluide traverse la vanne HP, la pression en sortie de cette vanne est portée à une valeur intermédiaire (dans l'exemple 35 b). À cette pression nous sommes bien en dessous de point critique de CO₂ (rappel 31,1°C pour 73,8 b) donc nous quittons la zone supercritique pour nous retrouver dans la zone où le changement d'état est possible.

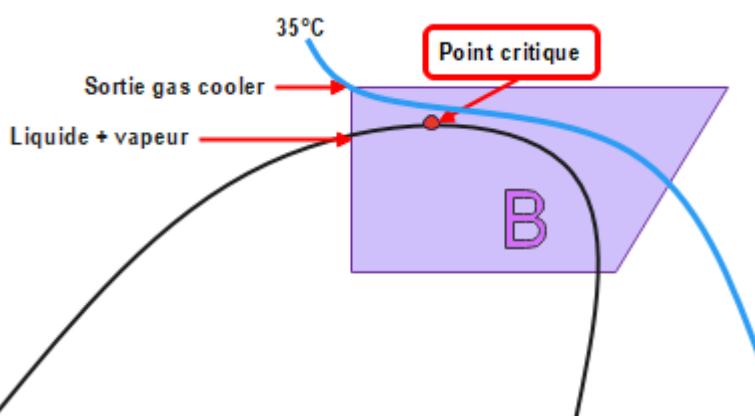
C'est dans le réservoir (bouteille séparatrice) que ce changement d'état de vapeur à liquide sera rendu possible. Le liquide tombe au fond du réservoir tandis que la vapeur stagnera au-dessus.

Suivant la saison la quantité de vapeur sera plus ou moins importante dans le réservoir, la vanne MP ou de décharge ou encore flash gaz est là pour réguler cette vapeur en la réinjectant à l'aspiration du compresseur en la mélangeant avec les vapeurs provenant de l'évaporateur.

En augmentant la pression d'aspiration on réduit le taux de compression limitant le travail de compression.

Le liquide au fond de la bouteille alimente l'évaporateur le plus normalement du monde.

Ce principe de fonctionnement reste vrai pour toutes les installations transcriptrique, bien entendu avec beaucoup plus d'organes de sécurité, de contrôle, de gestion ou de système de récupération et d'économie d'énergie.



Principe de régulation d'une installation transcriptique

Pour obtenir la meilleure efficacité dans une installation CO₂ on doit réguler, contrôler, divers paramètres :

- Régulation de capacité des compresseurs.
- Régulation de la température du gas cooler
- Régulation de la bouteille séparatrice (réservoir liquide)
- Régulation des détendeurs
- Régulation de l'huile

Régulation de la capacité des compresseurs

Le contrôle de la vitesse de rotation des compresseurs est assuré par des variateurs de fréquence.

Régulation de la température du gas cooler

La température du CO₂ sortant de gas cooler est contrôlée par des ventilateurs à vitesse variable (variateurs de fréquence ou moteur EC).

La régulation gère la vitesse des ventilateurs pour maintenir une différence de température minimale entre la température ambiante (extérieur) et la température du CO₂ mesurée à la sortie du gaz cooler.

Si la température est inférieure au point de consigne minimum défini, les ventilateurs s'arrêtent. Si cette température augmente la vitesse des ventilateurs fait de même de manière progressive.

Régulation de la bouteille séparatrice (réservoir)

La pression minimum dans la bouteille est maintenue par la régulation qui pilote la vanne HP (ICMTS) via deux capteurs en sortie de gas cooler.

La pression du réservoir maximale est contrôlée via la vanne de décharge (CCM) suivant les informations données par d'un transducteur de pression.

Si la pression chute dans le réservoir la vanne HP ouvre graduellement. Si elle monte la vanne de décharge ouvrira à son tour tandis que la vanne HP se fermera. Ces deux vannes fonctionnent en duo.

Régulation des détendeurs

Chaque évaporateur est alimenté par un détendeur électronique qui maintient la surchauffe à la valeur voulue.

Un régulateur individuel gère l'alimentation en fluide de l'évaporateur ainsi que le dégivrage en fonction des informations de diverses sondes :

- Sonde de reprise
- Sonde de soufflage
- Sonde pour le dégivrage
- Transducteur de pression en sortie d'évaporateur

Régulation de l'huile de lubrification

3 types d'huiles sont utilisés dans les installations au CO₂ :

- POE (Polyolesters)
- PAO (Polyalphaoléfines)
- PAG (Polyalkylèneglycols)

Suivant le type d'installations, cascade, boosters, l'huile ne réagira pas de la même manière notamment en ce qui concerne sa miscibilité avec le CO₂ et sa viscosité. Donc le choix de l'huile doit être réfléchi.

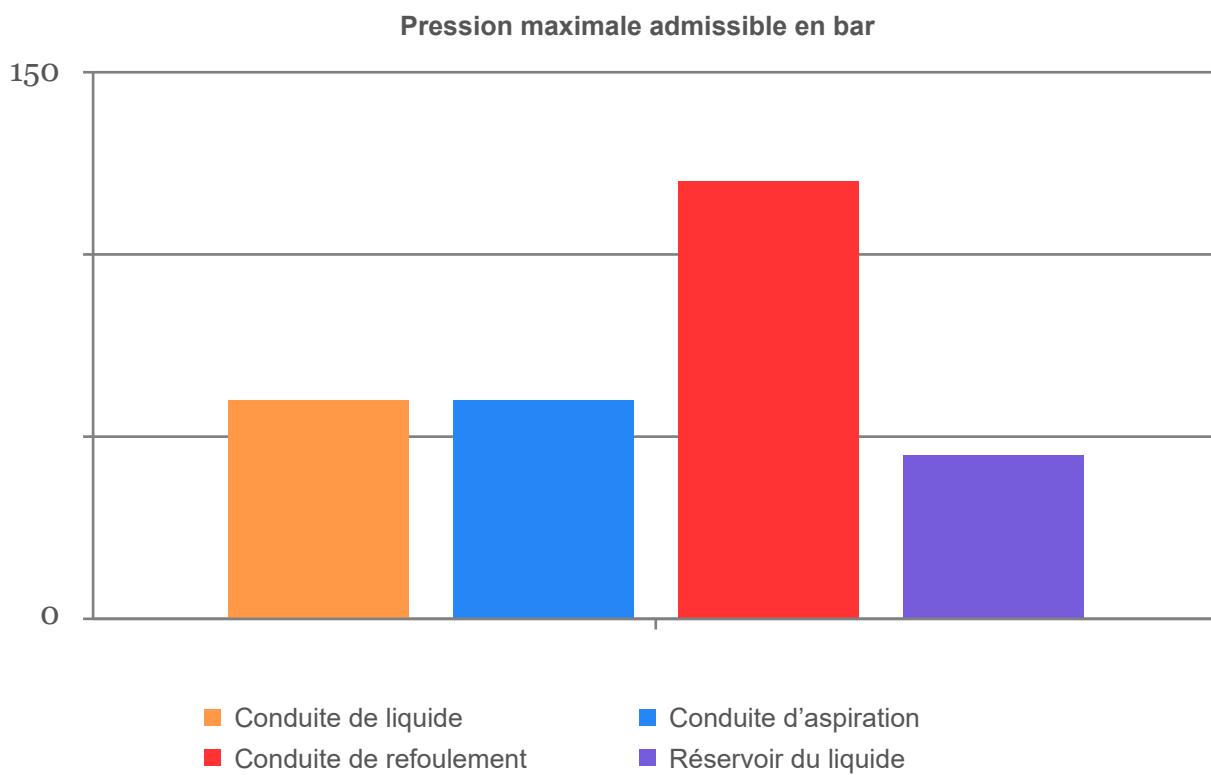
Le système de gestion de l'huile reste classique par piège à huile relié au carter du ou des compresseurs.

Le retour d'huile du piège à huile vers le (les) carter du compresseur(s) est possible grâce à un ensemble de capteurs :

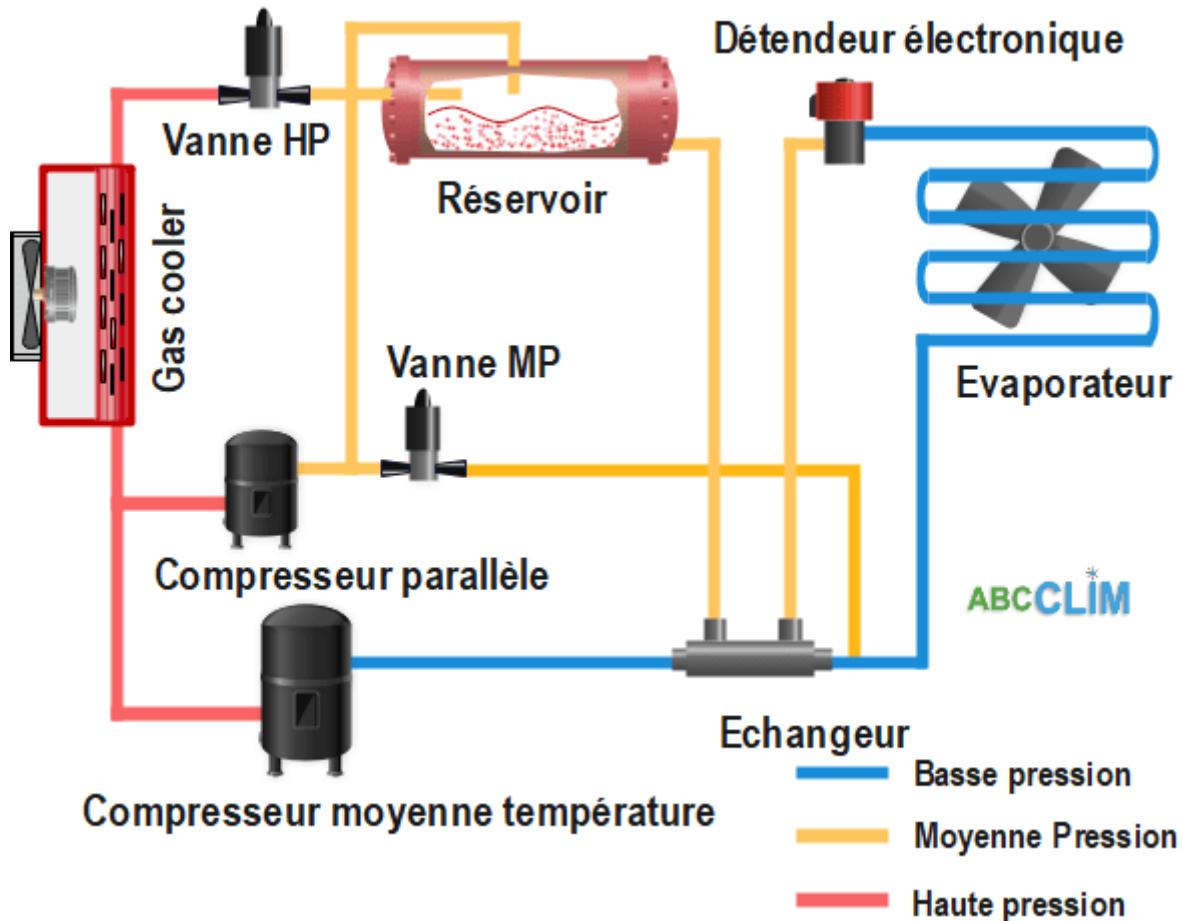
- Capteur de niveau du compresseur.
- Capteur de niveau du séparateur d'huile.
- Capteur de niveau du réservoir d'huile.
- Transmetteur de pression du réservoir d'huile.

Pressions usuelles des installations CO₂ transcriptiques

Pression en bar	
Pression d'évaporation MT à -10°C	25,5
Pression d'évaporation LT à -30°C	13,2
Pression intermédiaire (réservoir de liquide)	35 ou 60
PMaxi admissible conduite de liquide	60 ou 80
PMaxi admissible conduite d'aspiration	60
Pmaxi admissible conduite de refoulement	120
PMaxi admissible réservoir du liquide	45-60-80



Fonctionnement transcriptique: Co2 à compression parallèle



Documentation Profroid .

C'est typiquement ce que l'on voit comme fonctionnement pour les chambres froides positives ou négative.

Description du fonctionnement.

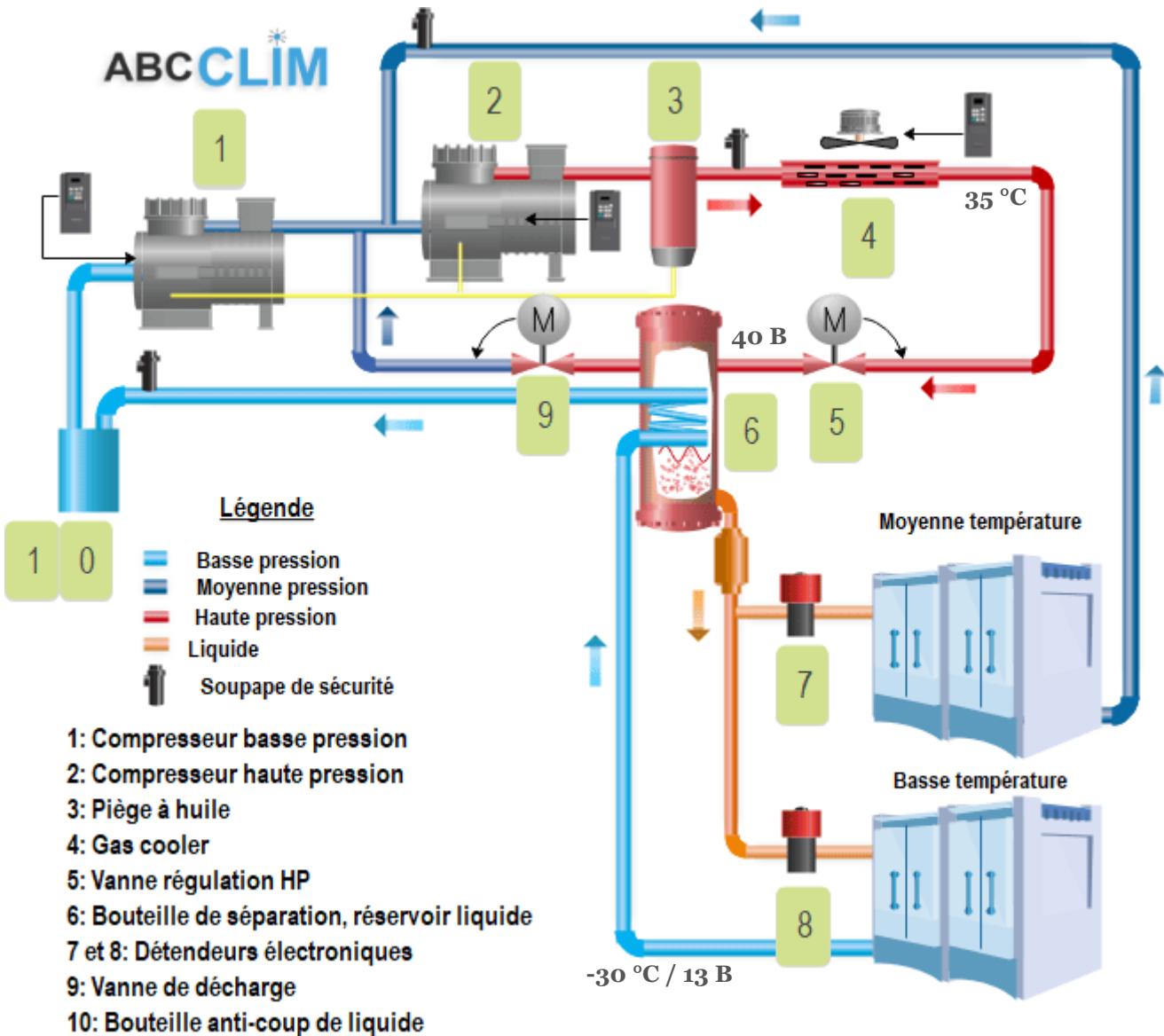
Le fluide est comprimé jusqu'à une pression comprise entre 90 et 120 bars. Nous sommes ici bien entendu bien au-dessus du point critique.

Le fluide est sous-refroidi dans le gas cooler. La vanne haute pression réduit la pression dans le réservoir ou bouteille séparatrice à une valeur compatible avec un changement d'État (sous 73,8 b). Le liquide étant plus lourd que le gaz, tombe au fond de la bouteille séparatrice. Le liquide passe à travers un échangeur liquide / vapeur, le liquide sous-refroidit peut donc maintenant alimenter le détendeur et l'évaporateur.

L'excédent de vapeur contenue dans la bouteille est évacuée à travers la vanne MP vers l'aspiration du compresseur .

Quand la température extérieure monte, par exemple en été. La quantité de vapeur contenue dans la bouteille séparatrice devient trop importante pour être aspiré par le compresseur. Pour régler ce problème, on ajoute un compresseur en parallèle de taille inférieure qui va aspirer les vapeurs et les réinjecter au niveau de l'entrée du gas cooler. Ce système permet une meilleure efficacité du système aux périodes les plus chaudes.

Fonctionnement d'une installation transcritique, bi étagée.



Description du fonctionnement.

Ce cycle bi-étage est aussi appelé booster.

Les compresseurs (1) Basse Pression , refoule à l'aspiration des compresseurs HP (2).

Un piège à huile (3) permet à l'huile après séparation avec le gaz, de rejoindre les carters des compresseurs.

Le gaz est sous-refroidi dans le gas cooler (4), c'est un échangeur de type sensible, il n'y a donc pas changement d'état.

Un variateur de fréquence régule la vitesse du ou des ventilateurs en fonction de la delta T entre la température extérieure et la température du fluide en sortie de gas cooler, généralement 2 à 3 degrés.

Par exemple température extérieure 32 °C température calculée en sortie de gas cooler 35°C.

La vanne de régulation (5) maintient une pression HP correcte (environ 40 bars).

La bouteille de séparation ou réservoir (6) permet au gaz de changer d'état, la quantité de vapeur dans la bouteille est régulée par le vanne de décharge (9).

Cette vanne de décharge (9) régule aussi la moyenne pression, à l'aspiration des compresseurs transcritiques.

Le fluide est aussi sous-refroidi par un échangeur alimenté par les gaz froids des évaporateurs négatifs. La pression dans cette bouteille est supérieure à la pression d'évaporation des évaporateurs positifs afin d'assurer leur alimentation en liquide par des détendeurs. Les détendeurs de types électroniques (7 et 8) régulent l'alimentation en fluide de chaque évaporateur.

Une bouteille anti-coup de liquide (10) protège les compresseurs contre une arrivée massive de fluide à l'état liquide.

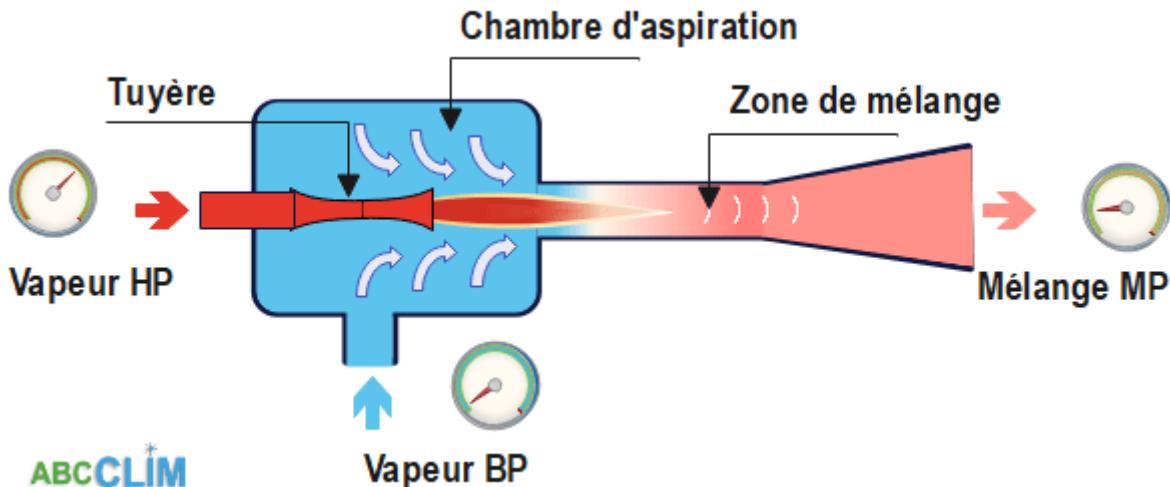
Des soupapes de sécurité protègent les différents niveaux de pression du circuit frigorifique, HP, MP, BP.

Un automate doté d'un programme complexe permet le contrôle, le réglage, la surveillance de l'installation.

Principe des éjecteurs.

Utilité et fonctionnement d'un éjecteur !

Les éjecteurs remplacent en lieu et place les vannes de régulation HP normalement utilisées dans les installations au CO₂. C'est une avancée technologique, qui vise à réduire le taux de compression des compresseurs et de faire ainsi des économies d'énergie. Un éjecteur a assez peu de pièces en mouvement ce qui un gage de fiabilité.



Comment ça marche ?

La technologie des éjecteurs est basée sur le principe de l'effet Venturi. Le pistolet à peinture ou encore le canon à neige utilise ce principe depuis longtemps.

Un fluide primaire ou fluide moteur (Vapeur HP) se détend dans une tuyère sa pression va diminuer mais sa vitesse elle va augmenter ce qui crée une dépression dans la chambre d'aspiration. Cette dépression va aspirer le fluide secondaire (Vapeur BP). Les deux fluides vont se mélanger et sont portés à une pression intermédiaire (mélange MP), plus importante que la pression du fluide secondaire.

Pour résumer, un éjecteur transforme l'énergie potentielle (pression) en énergie cinétique (vitesse) pour aspirer un autre fluide, et porter le tout à une pression intermédiaire.

Plusieurs façons d'utiliser les éjecteurs dans une installation CO₂

Ejecteur - Haute Pression HP :

L'éjecteur haute pression utilise l'énergie fournie par la haute pression, pour aspirer le gaz côté aspiration (MT) et le déplacer vers les compresseurs parallèles . Cela permet de réduire la puissance des compresseurs et la consommation d'énergie. Pour les systèmes de réfrigération au CO₂ avec compression parallèle

Ejecteur - Basse Pression BP :

L'éjecteur basse pression utilise l'énergie fournie par la haute pression, pour aspirer le gaz côté aspiration (MT), et le déplacer vers le réservoir de CO₂ . Pour les systèmes boosters au CO₂

Ejecteur - Liquide

L'utilisation d'éjecteurs ici permet d'alimenter les postes froids en régime semi-noyé. Ce qui améliore l'échange des évaporateurs.

Les performances d'un éjecteur.

Les performances d'un éjecteur est caractérisé par :

- Le taux d'entrainement, défini comme le rapport du débit secondaire au débit primaire
- le taux de compression (lift ou recouvrement), défini comme le rapport de pression entre la sortie d'éjecteur et l'entrée du secondaire

Ejecteur modulant

Comme le détendeur électronique l'éjecteur modulant est constitué d'un actionneur électrique qui transforme une impulsion électrique en mouvement angulaire. Ou plus simplement convertit cette impulsion en mouvement formant un angle par rapport à un axe.

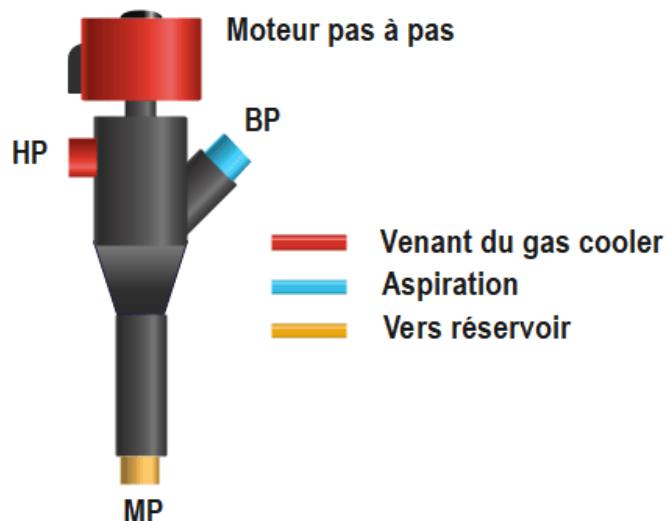
Le rotor qui autorise le passage du fluide HP dans l'éjecteur s'oriente et se positionne par impulsion en fonction des besoins.

Chaque impulsion on obtient un déplacement de 1 pas, suivant la technologie du moteur pas à pas, un tour complet correspond un certain nombre de mouvement angulaire.

La vitesse de rotation du moteur est proportionnelle à la fréquence des impulsions, donc si la fréquence des impulsions augmente, le mouvement pas à pas se transforme en un mouvement de rotation continue.

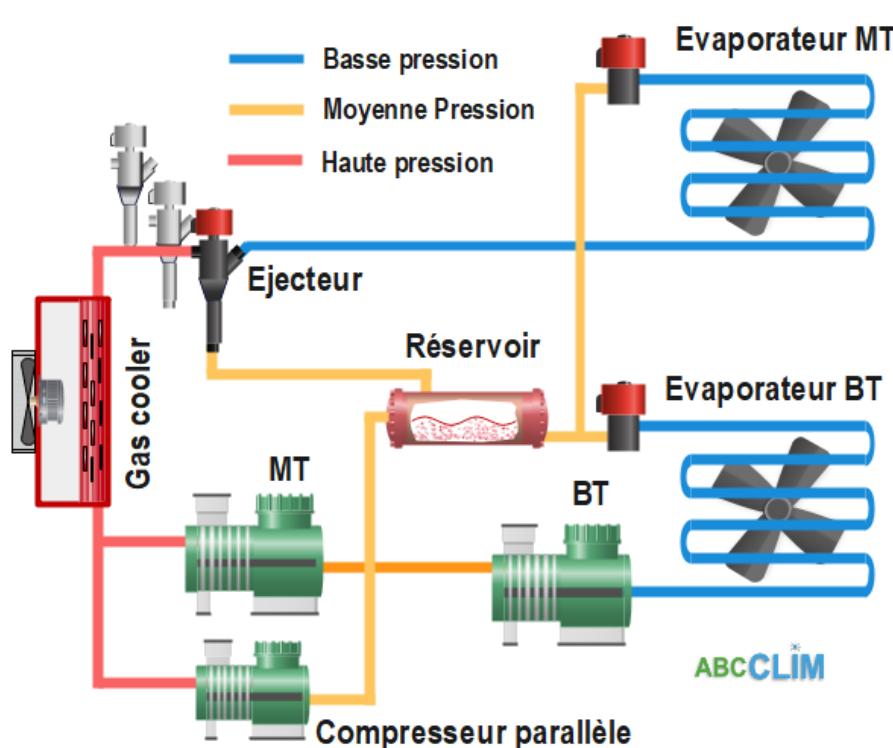
Cette modulation est gérée par des algorithmes de contrôle dédiés, permettant au système de s'adapter en permanence aux variations des conditions de fonctionnement des systèmes de réfrigération. Il garantit une efficacité maximale du système, en s'adaptant aux différentes exigences du système de la manière la plus optimale, notamment à charge partielle.

Exemple d'éjecteur BP



Compression parallèle à éjecteur modulant

Pour couvrir l'entièreté des besoins on utilise de manière générale 3 éjecteurs montés en parallèle, pouvant être utilisée de manière indépendante ou cumulé suivant les besoins du système.



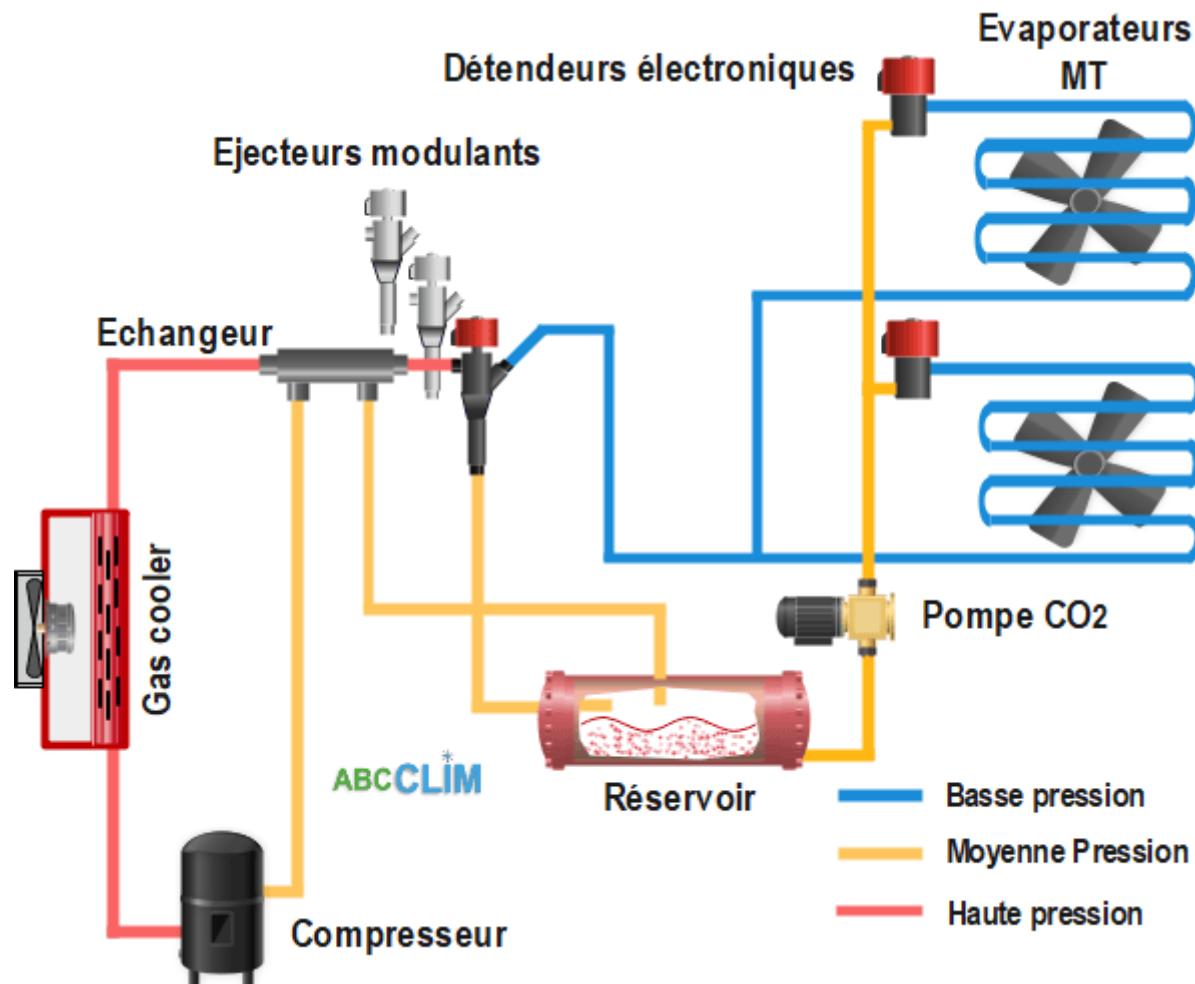
L'éjecteur remplace la vanne de régulation HP, plus besoin aussi de vanne de décharge. L'éjecteur aspire uniquement le fluide provenant des évaporateurs moyenne température. Les vapeurs (moyenne pression) ce dirigent vers le réservoir ou bouteille séparatrice. Le fluide change en état. L'excédent de vapeur est aspiré par le compresseur parallèle, le liquide au fond du réservoir alimente les détendeurs .

Ejecteur modulant et régime semi-noyé

L'avantage du fonctionnement des évaporateurs en régime semi-noyé est que la surface d'échange des batteries est mieux exploitée. En effet le fluide liquide circulera sur la face intérieur des tubes tandis que le gaz lui sera cantonné au centre. Un meilleur rendement des évaporateurs permet de faire des économies d'énergie.

En régime semi-noyé on utilise bien des détendeurs, et non des électrovannes comme en régime noyé.

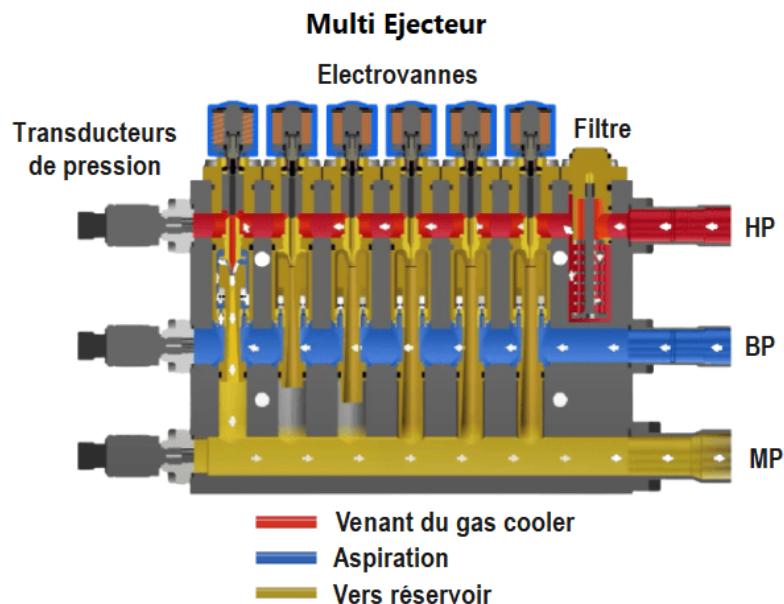
La pompe CO₂ permet un fonctionnement noyé toute l'année. Lorsque l'éjecteur ne peut pas délivrer suffisamment de pression différentielle (conditions hivernales), la pompe CO₂ démarre pour assurer le bon fonctionnement des détendeurs des évaporateurs. La régulation optimise l'efficacité énergétique du système en ne démarrant la pompe que lorsque l'éjecteur ne fournit pas assez de pression différentielle.



Multi-éjecteur

Plusieurs éjecteurs sont intégrés dans un corps en métal, ces éjecteurs sont pilotés par des vannes solénoïdes . Chaque éjecteur à un débit de masse différent (exprimé en kg/h) ce qui permet en cumulant les éjecteurs une modulation du débit général en sortie du multi-éjecteur.

La régulation flottante intègre un algorithme qui va activer un ou plusieurs éjecteurs en fonction des besoins et des pressions mesurées par les différents transducteurs de pression.



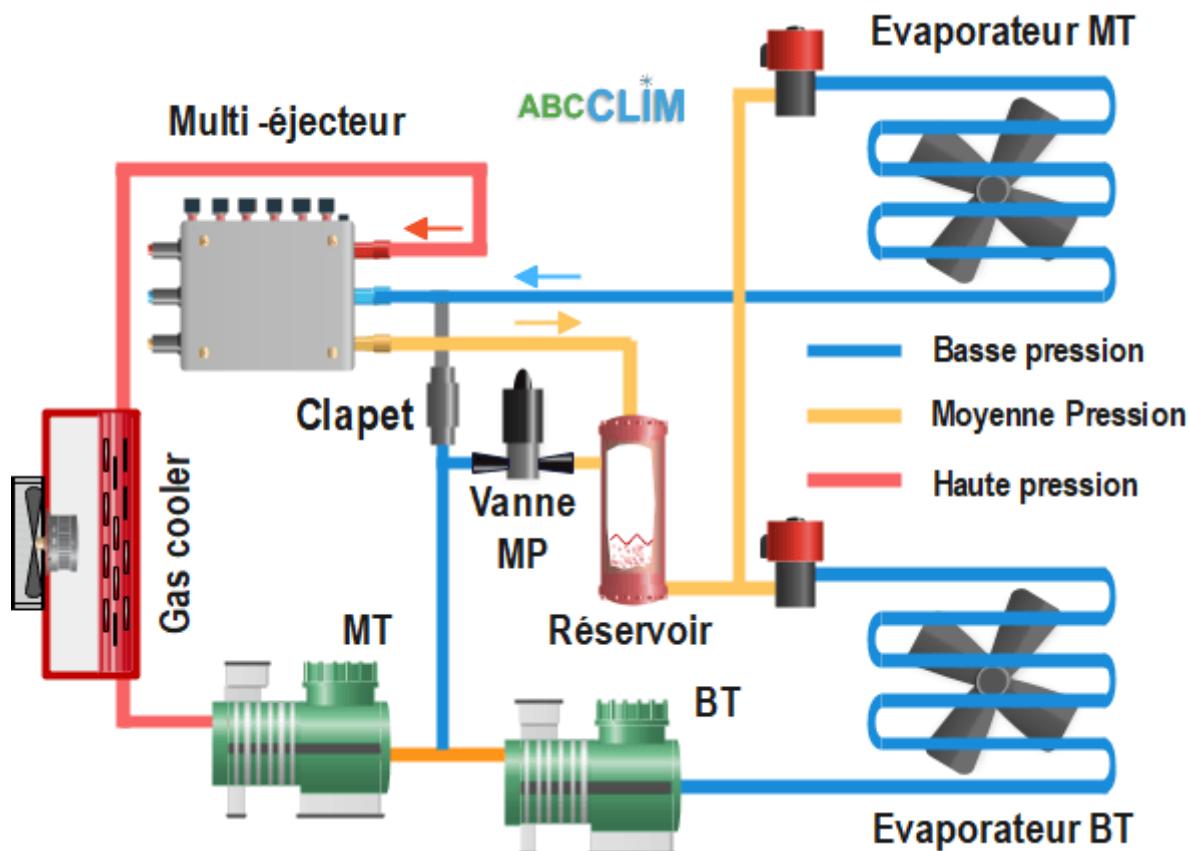
Il existe plusieurs versions de multi-éjecteurs :

- Version à 4 éjecteurs pour les installations de 18 à 35 kW
- Version à 5 éjecteurs pour les installations de 18 à 53 kW
- Version à 6 éjecteurs pour les installations de 18 à 72 kW

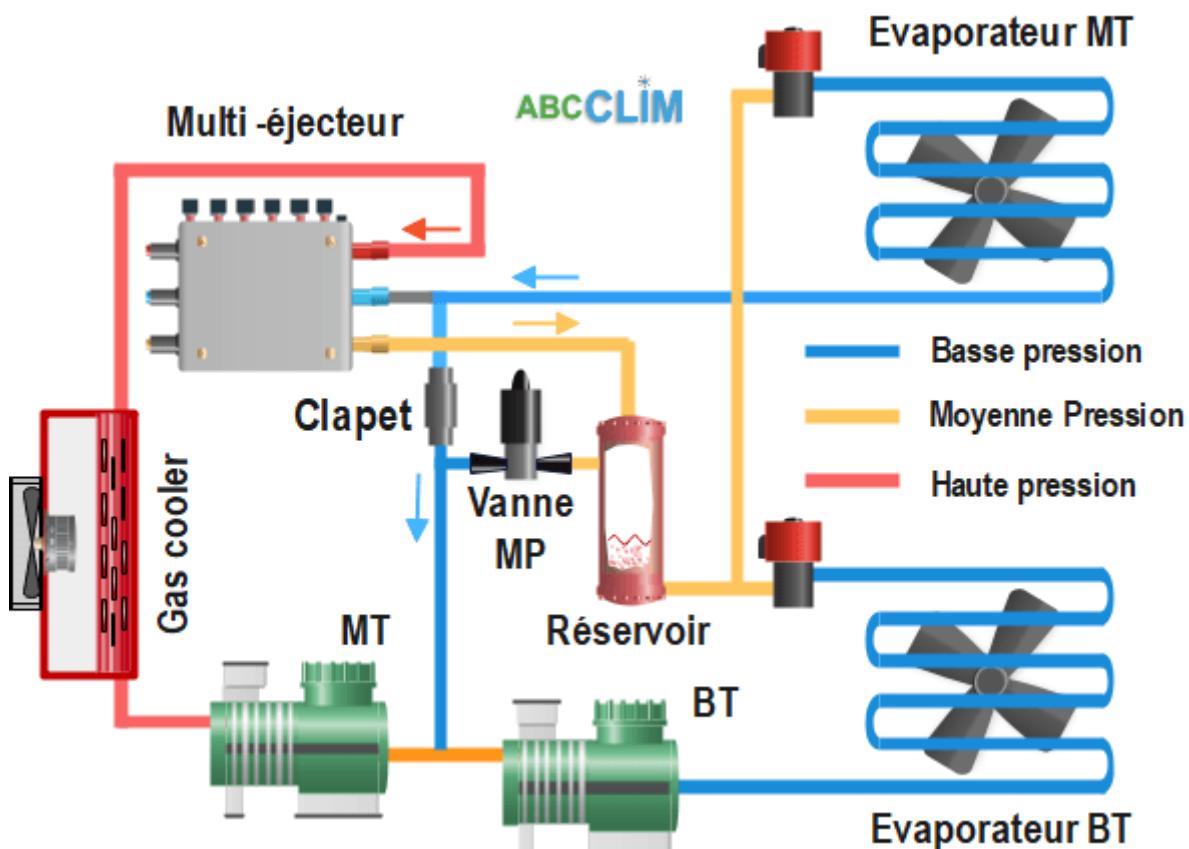
Par exemple prenons le multi-éjecteur BP, de la marque Danfoss, le tableau ci-dessous indique le débit de chaque éjecteur pour une version donnée :

Multi Ejector blocks							
Type	Code no.	Product name	Ejector 1	Ejector 2	Ejector 3	Ejector 4	Ejector 5
			kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h
CTM 6	032F5678	CTM Multi Ejector LP 935	60	125	250	500	
CTM 6	032F5693	CTM Multi Ejector LP 1435	60	125	250	500	500
CTM 6	032F5679	CTM Multi Ejector LP 1935	60	125	250	500	500

Au-dessus de 15°C extérieur et en été, il devient très intéressant énergétiquement pour aider le travail de compression d'utiliser la fonction multi-éjecteur. Le multi-éjecteur s'ouvre graduellement entraînant les vapeurs moyenne température. La pression va baisser côté clapet anti-retour et il se fermera. L'excédent de vapeur et de pression contenue dans la bouteille est évacuée à travers la vanne MP.



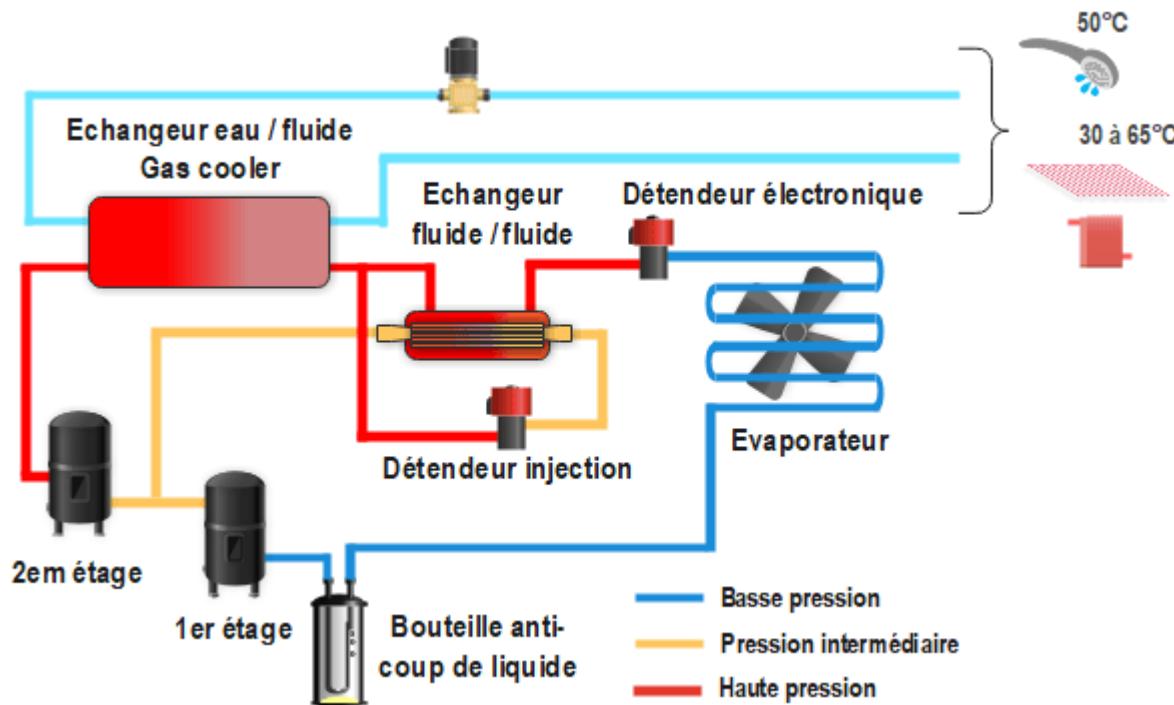
En mi-saison ou en période hivernale (moins de 15°C extérieur), l'éjecteur fonctionne comme une vanne HP. Il n'aspire pas les vapeurs provenant des postes moyenne température. La pression ouvre le clapet anti-retour et le fluide se dirige vers le compresseur MT. Le multi éjecteur et la vanne de décharge maintiennent toutefois une pression différentielle de 3 bars environ entre les vapeurs aspirées MT et le réservoir afin d'alimenter correctement les détendeurs.



Pompe à chaleur CO₂

Les pompes à chaleur CO₂ (air/eau) sont bien adaptées à la production d'eau chaude pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire. Les températures d'eau obtenues sont élevées (60 à 75 °C) même avec des températures extérieures basses. Ce qui permet un traitement thermique anti-légionnelles pour la production d'eau chaude sanitaire. Le rendement global et saisonnier des PAC au R744 est très intéressant et au-dessus des pompes à chaleur dites classiques. Les coefficients de performance atteignent parfois des valeurs allant au-delà de 4, dans des zones géographiques tempérées.

Exemple d'une technologie parmi d'autres ! :



Ce cycle bi-étage est aussi appelé booster. Aucun système de dégivrage n'est représenté pour simplifier.

Le fluide basse pression et basse température venant de l'évaporateur arrive au premier étage de compression, le fluide est refoulé vers l'aspiration du second étage de compression (pression intermédiaire).

Le CO₂ est porté à une pression supercritique dans ce deuxième étage (haute pression et haute température) pouvant atteindre 120 bar.

Puis, il est sous-refroidi dans un échangeur appelé « Gas-cooler », le fluide est toujours sous forme de vapeur, il n'y a pas de changement d'état.

Ici c'est un gas-cooler fluide/eau pour la production d'eau chaude ECS et pour le chauffage.

Le fluide se dirige vers un autre échangeur qui a deux fonctions :

1. Permettre d'alimenter correctement en liquide le détendeur.
2. Permettre une injection de gaz entre les deux niveaux de compression..

Le fluide passe à travers le détendeur et l'évaporateur, puis retourne au premier étage de compression. Une bouteille anti-coup de liquide protège le compresseur du premier étage contre une arrivée massive de fluide à l'état liquide.

Conseils pratiques !

Mise en place des tuyauterie CO2

- Utilisez des tubes renforcés conforme aux exigences de la norme EN12735-1 (2020).
- Brasure 5 % argent minimum, idéalement 15%
- Soudure sous pression d'azote
- Pas de cintrage à la main ou à la cintreuse

Astuce :

De plus, contrairement au cuivre standard, ce matériau est légèrement magnétique. On peut donc facilement le repérer en utilisant un aimant.

Les soudures doivent refroidir naturellement, un refroidissement rapide avec un linge mouillé peut causer des problèmes de micro-fissures.

L'isolation pour les tubes doivent être réalisée en coquille polyuréthane ou élastomère revêtues d'une fine feuille d'aluminium ou en isolant en mousse caoutchouc élastomère. Epaisseur 19mm et 32mm.

Test étancheité et mise au vide

Faire un test d'étanchéité en pressurisant les circuits légèrement en-dessous de la pression maximale admissible (PS). Attention les pressions maximales admissibles sont différentes pour la partie HP et BP.

Il est conseillé de mettre au vide l'installation jusqu'à 0,3 mbar / 0,225 Torr ou moins. L'humidité résiduelle doit être inférieure à 50 ppm, 10 ppm dans l'idéal.

Charge en fluide

Le remplissage d'un circuit frigorifique s'effectue en 2 étapes .

La mise sous pression du circuit doit être faite obligatoirement en phase gazeuse au-delà du point triple* c'est-à-dire à 5,2 bar.

Car en dessous de 5,2 bar un bouchon de neige carbonique (glace sèche) est à prévoir dans le circuit ou dans les flexibles de charge.

Le complément de la charge est introduit en phase liquide uniquement au-delà de 5,2 bar.

Pour un complément de charge on peut commencer par charger en liquide directement dans la bouteille liquide jusqu'à égalisation des pressions. Ensuite on fait le reste de la charge toujours en liquide dans l'aspiration.

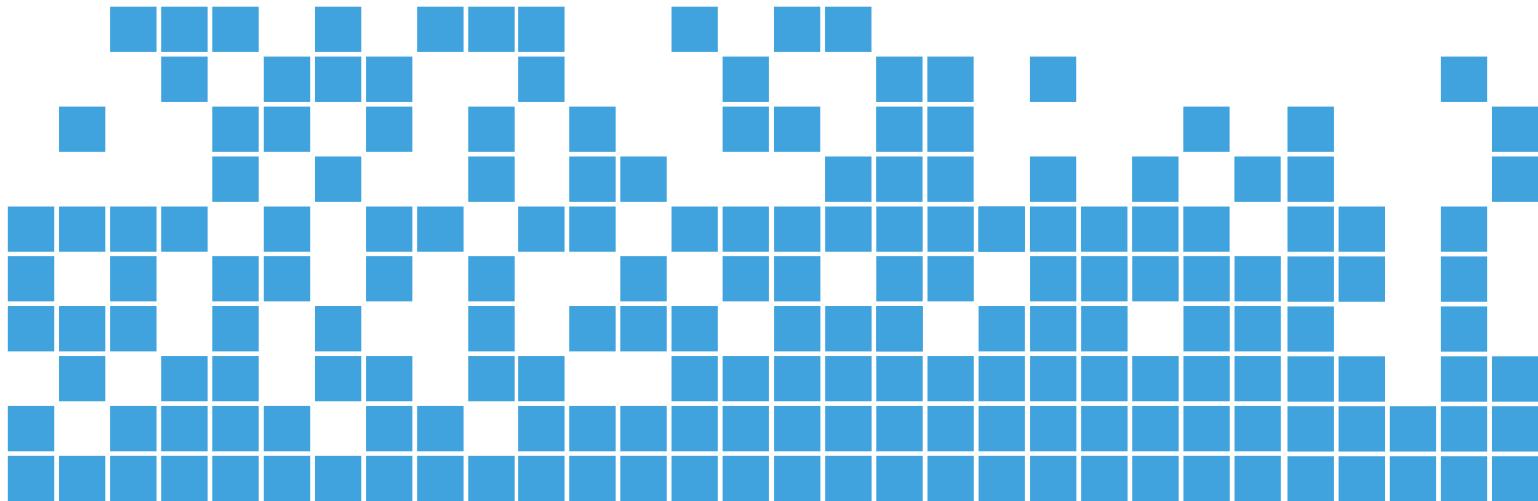
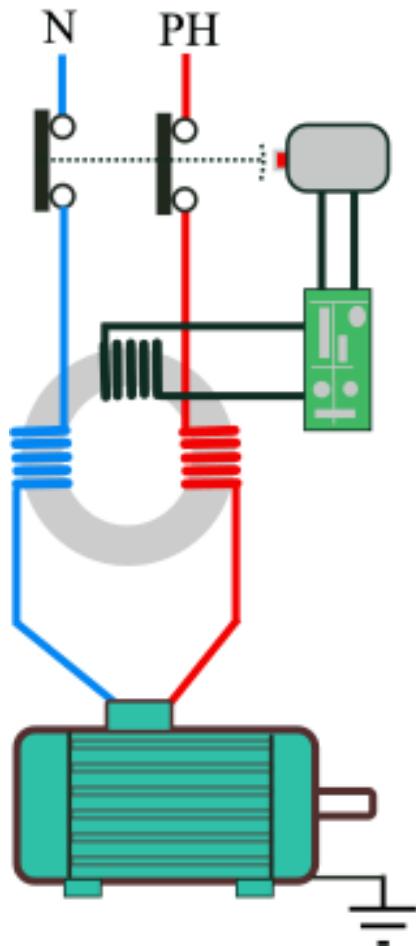
Sécurité

En cas de fuite, les mesures avec un contrôleur de CO2 portatif s'imposent avant toute intervention, surtout en lieu clos.

Le CO2 est plus lourd que l'air, sa densité de 1,53 le rend particulièrement dangereux aux points bas des installations. De fait, les détections et les extracteurs doivent être placés à ces niveaux.

À noter encore que pour éviter des ruptures, le matériel d'intervention doit être adapté à des pressions élevées, manomètres, flexible de charge ... !

Électricité



Habilitation électrique

Le Frigoriste intervient comme l'électricien sur divers équipements électriques et doit être informé des risques électriques. C'est l'habilitation électrique qui légitimera qu'une personne ait la capacité d'effectuer ce genre d'opérations en toute sécurité.

Cette habilitation est délivrée par l'employeur sous forme d'un titre d'habilitation, l'employeur s'assura que la personne habilitée possède bien toutes les connaissances nécessaires en matière de prévention des risques en général sous forme de stage assuré par un organisme spécialisé.

Cet organisme formateur donnera à l'employeur un avis sur le niveau d'habilitation pour chaque employé.

Ce titre d'habilitation est valable 3 ans. La Norme NF C 18-510 n'impose pas de période de recyclage cependant la périodicité recommandée est de trois ans.

<u>Domaine tension</u> 1 ^{er} lettre	<u>Qualification du personnel</u> Indice	<u>Nature opérations</u> 2 ^e Lettre
B : basse tension H : haute tension	0 : opération d'ordre non électrique 1 : exécutant opération d'ordre électrique 2 : chargé de travaux C : consignation R : intervention d'entretien et de dépannage S : intervention de remplacement et de raccordement E : opérations spécifiques P : photovoltaïque	T : travaux sous tension V : travaux au voisinage N : nettoyage sous tension X : spéciale

Il existe plusieurs niveaux d'habilitation en fonction de la nature du domaine de tension, du personnel .

Bo-Ho-HoV Exécutant

Travaux d'ordre non électrique en environnement électrique. Par exemple une personne habilitée BO accède aux locaux réservés aux électriciens et effectue des travaux d'ordre non électrique. Le BoV peut effectuer les mêmes tâches au voisinage de pièces nues sous tension

Bo-Ho-HoV Chargé de chantier

Personnel ayant en charge une équipe réalisant des travaux non électriques mais se trouvant à proximité d'un risque électrique (chef équipe, de chantier, responsable entretien).

BS-BE-HE

BS : réalisation d'opérations d'ordre électriques simples (remplacement de fusibles ou d'appareils à l'identique, raccordement d'un matériel électrique à un circuit)

BE manœuvre et HE manœuvre : manœuvre d'exploitation courante des installations basse ou haute tension (réarmement de protections).

BS-Personnel non expérimenté

Habilitation BS et compléments de connaissances en électricité afin de donner aux stagiaires non-électriciens les bases de l'électricité en matière de câblage, de compréhension de plans...

Basse/haute tension B1-B2-BR-BC-H1-H2-HC-HE...

En basse tension : habilitations B1-B1V-B2-B2V-B2V Essai-BR-BC-BE essai, mesurage, vérification

En haute tension : habilitations H1-H1V-H2-H2V-H2 essai, mesurage, vérification

Exemple : L'habilitation B1 : électricien hors voisinage de pièce nue sous tension qui agit toujours sur instructions.

Une personne habilitée B1V peut effectuer les mêmes tâches au voisinage de pièces nues sous tension.

BC (Chargé de consignation)

Une personne habilitée BC procède à la consignation des équipements électriques et ceci sur ordre de sa hiérarchie.

BR (Chargé d'intervention)

L'habilitation BR permet à un intervenant d'effectuer des dépannages, raccordements sous tension, essais, mesures.

Habilitation photovoltaïque BP

Opérations sur des panneaux photovoltaïques (pose, dépose, entretien/réparation...) opérations à effectuer.

Les dangers de l'électricité pour l'être humain !

L'électricité est une forme d'énergie présente dans la nature depuis toujours, notamment au travers de la foudre. Étudiée depuis la fin de XVI^e siècle, les chercheurs ont établi son mode de fonctionnement et ont compris comment la créer artificiellement et la transformer en diverses sources d'énergie qui nous servent au quotidien pour nous chauffer, nous éclairer, communiquer, etc.

L'électricité c'est quoi ?

Toute matière est composée d'atomes, eux-mêmes constitués d'un noyau central composé de protons positifs et des neutrons neutres le tout entouré d'électrons négatifs. Toutes ces charges s'équilibrent naturellement.

Dès qu'un déséquilibre s'effectue, il se crée une interaction entre les particules et l'électricité est le résultat du déplacement de ces électrons.

Différences entre électrisation et électrocution

Lorsque le corps humain est traversé par un courant électrique, il s'agit de l'électrisation. Les effets physiologiques provoqués par ce passage peuvent être plus ou moins graves. Il s'agit de :

- Destruction de cellules ;
- Brûlures internes ;
- Brûlures externes ;
- Crises de tétanie qui peuvent entraîner une asphyxie ;
- Fibrillation ventriculaire qui mène à des accidents cardiaques ;
- Traumatismes secondaires résultant d'une chute ou d'un mouvement réflexe.

Dès 0,75 mA, vous pouvez ressentir l'effet de l'électricité. Dès 10 mA, le courant devient dangereux et constitue le seuil de non-lâcher (crispation) et de contraction musculaire. Le seuil de paralysie respiratoire est atteint à partir de 30 mA (c'est aussi le seuil des protections dans les armoires électriques), celui de fibrillation cardiaque irréversible à 75 mA. À 1 A, vous risquez l'arrêt du cœur.

L'électrocution est le passage du courant dans le corps humain qui mène à la mort.



La conductibilité électrique du corps humain.

Le corps humain peut être traversé par un courant électrique, car il est un conducteur. Il n'est cependant pas un excellent conducteur, mais certaines circonstances l'exposent davantage.

Le fait de se trouver dans un milieu conducteur amplifie le phénomène, l'eau étant l'élément le plus funestement réputé pour les accidents liés à l'électrisation, et malheureusement souvent l'électrocution. Il ne faut jamais toucher des équipements électriques, changer une ampoule ou effectuer des branchements avec les mains ou les pieds mouillés.

En milieu sec, la résistance du corps humain est de 5000 Ohm (?), alors qu'il est seulement de 2500 ? en milieu humide. La tension limite de sécurité est de 25 volts en milieu humide, contre 50 volts en milieu sec.

La vétusté des installations représente également un facteur récurrent d'accident. Il faut prendre d'autant plus de précautions lorsque les prises électriques sont défectueuses ou que les fils sont dénudés. Les orages et la foudre représentent des risques accrus d'électrisation si vous vous trouvez à l'extérieur.

La gravité de l'électrisation dépend de trois facteurs :

1. L'intensité du courant qui traverse le corps ;
2. La durée pendant laquelle ce courant traverse le corps ;
3. Le trajet emprunté par le courant.

Les risques électriques

Tenant compte des risques électriques, des normes ont été établies pour le personnel habilité à intervenir sur les installations.

Les normes françaises – NF – sont les suivantes :

- Pour les installations domestiques : NF C 15 100 ;
- Pour les installations basses tension, inférieures ou égales à 1000 V : NF C 18 510.

Prévenir les dangers de l'électrisation et de l'électrocution

Portez une tenue appropriée

Pour toute intervention le technicien doit porter une tenue appropriée, à commencer par des chaussures dont les semelles doivent vous isoler du sol. Évitez les vêtements amples et retirez tous vos bijoux. Pour travailler sous tension munissez-vous d'un tapis et de gants isolants. Il est toujours conseillé de porter des lunettes de travail.

Nettoyez et séchez votre espace de travail

Il est hors de question de travailler sur un lieu humide, épongez et aérez si c'est le cas. Votre espace de travail doit être propre et dégagé pour ne prendre aucun risque de trébucher et de faire de faux mouvements. La poussière est également dangereuse, car elle électrise l'air et le rend davantage conducteur.

Travaillez hors tension

Prenez toutes les précautions quand vous intervenez. Pour tous vos travaux électriques, coupez le courant, soit par le biais du disjoncteur général, soit en débranchant le fusible ou le disjoncteur qui correspond à la ligne sur laquelle vous travaillez.

Munissez-vous d'outils spécifiques

Achetez des outils adaptés isolés 1000 V. Ils sont signalés par la norme NF EN CEI 60900.

Les matériels sont groupés par classes qui déterminent le niveau de protection contre les chocs électriques. Un matériel de classe 0 signifie qu'il possède une isolation fonctionnelle, mais ne présente pas de liaison à la terre des masses métalliques. Il est interdit dans l'industrie.

La classe 1 concerne le matériel possédant une isolation fonctionnelle et une liaison à la terre des masses métalliques. La classe 2 définit le matériel à double isolation - fonctionnelle et matérielle - sans liaison à la terre des parties métalliques. Enfin, la classe 3 représente le matériel de classe 2, équipé d'un transformateur Très Basse Tension de Sécurité (TBTS).

Dans tous les cas, si vous assistez à l'électrisation d'une personne, ne la touchez surtout pas. Désjonctionnez l'installation etappelez les secours.

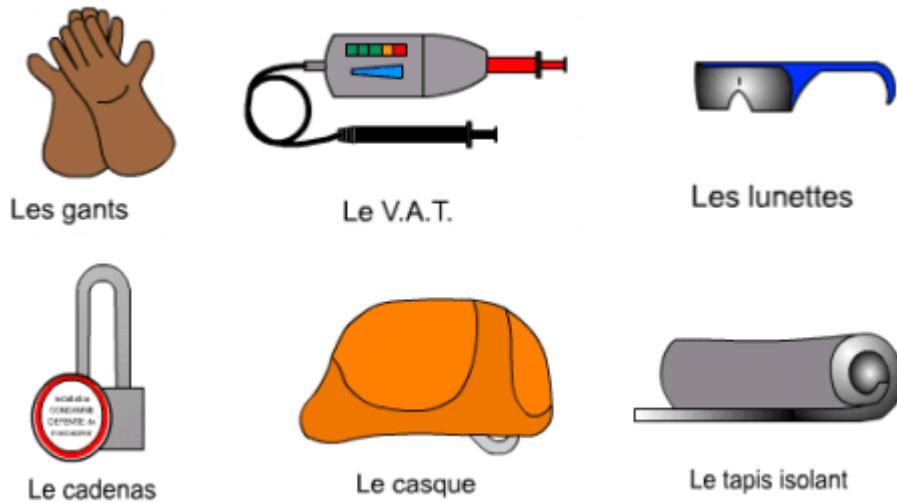
La consignation électrique

À chaque fois que vous devrez effectuer des travaux électriques hors tension en toute sécurité, il sera nécessaire de consigner le coffret électrique.

La consignation électrique est soumise à un mode opératoire précis, dont il faut respecter l'ordre et les étapes.

Tout d'abord il faut s'équiper.

L'équipement standard comprend les moyens de protections individuels, le cadenas de consignation et le V.A.T.



S'équiper c'est utiliser le matériel en respectant quelques vérifications de bon usage :

- Vérifier que les gants sont étanches.
- Contrôler que le V.A.T. (Vérificateur Absence de Tension) fonctionne correctement.

La première étape consiste à séparer.

La séparation doit être réalisée de façon certaine, pour cela, nous utiliserons généralement le sectionneur de l'armoire ou un autre organe de coupure comme un coffret de proximité ou un disjoncteur par exemple.

- Coupure de tous les conducteurs actifs y compris le neutre
- Séparation visible et contrôlable

La deuxième étape consiste à condamner.

En utilisant un cadenas, nous allons interdire toute manipulation de l'organe que nous venons de manœuvrer pour séparer.

La troisième étape c'est l'identification.

Pour ce faire, on pose une étiquette de consignation sur le cadenas.

L'identification est formalisée par :

- Une signalisation sur l'ouvrage même (étiquette)
- Nous délimitons notre zone de travail en balisant. (rubarise)

Puis nous procérons à la vérification

Nous procédons à la vérification d'absence de tension ((VAT) sur l'organe identifié précédemment. La vérification doit être obligatoirement suivie d'un deuxième test de bon fonctionnement du V.A.T.

Notions de bases

Un atome est constitué d'un noyau et d'électrons, un électron libre est un électron se détachant de son atome. Le déplacement d'électrons libres d'un point à un autre est appelé courant électrique, les matériaux bons conducteurs possèdent beaucoup d'électrons libres, à l'inverse les matériaux isolants ou moins bons conducteurs en ont moins.

Les effets du courant:

Effet calorifique :

Quand un matériau résistant est traversé par un courant électrique l'énergie électrique est transformée en énergie calorifique également appelé effet joules, comme par exemple le chauffage par résistance, le fer à repasser, le grille pain, ou les ampoules.

Effet chimique :

Batterie, pile , électrolyse.

Quand deux électrodes sont plongées dans une solution de sulfate de cuivre ou d'un mélange d'acide ,eau, sel et qu'un courant traverse cette solution, les électrons se déplacent du côté positif au côté négatif (anode, cathode).La galvanoplastie est aussi une application de l'électrolyse cette technique permet de déposer une couche de métal sur la surfaces d'objets.

Effet magnétique :

Moteur, électroaimant (sonnette, contacteurs), alternateur.

Si l'on applique un courant électrique à un fil conducteur et que l'on enroulerait autour d'une barre, on observerait un champ magnétique capable influencer l'aiguille d'une boussole.

Les mesures du courant électrique :

L'intensité :

Lorsque deux corps de charges électriques égales et opposées sont reliés par un conducteur métallique, les électrons se déplacent du corps négatif vers le corps positif, de façon à rétablir un équilibre. La circulation des électrons est appelée courant.

L'intensité du courant correspond au nombre d'électrons qui traversent un point en une seconde.

On exprime ainsi l'intensité en ampères (symbole A), unité nommée en référence au physicien français André-Marie Ampère.

L'intensité est souvent comparée à l'écoulement de l'eau dans une rivière. Quand nous disons qu'il y a de l'intensité dans un conducteur, cela signifie qu'il y a écoulement d' électrons. Ces électrons peuvent être comparés à des gouttes d'eau. De la même manière que ces gouttes d'eau réunies en grande quantité constituent en définitive une unité de mesure comme le litre, nous pouvons dire qu'une grande quantité d'électrons constitue une unité de mesure du courant électrique l'ampère.

La tension :

La tension décrit la différence de potentiel électrostatique entre deux points c'est-à-dire l'énergie qu'il faut à un électron pour se déplacer entre ces deux points. Elle s'exprime en volts (V), en référence au chercheur italien Alessandro Volta .

La mise en mouvement des électrons s'opère sous l'action d'une force. Cette force c'est le voltage. On utilise aussi le mot de tension ou de différence de potentiel. Les appareils qui fabriquent les électrons, tels que les batteries ou les alternateurs, ont également une différence de potentiel pour mettre les électrons en mouvement. Cette possibilité de mettre les électrons en mouvement ou tension ou encore différence de potentiel, est mesurée en volts.

La résistance :

L'unité de la résistance est l'ohm (symbole), du nom du physicien allemand Georg Ohm.

Elle est définie comme la résistance dans un circuit traversé par un courant de 1 A (ampère) et soumis à une tension de 1 V (volt).

La résistance réduit le nombre des électrons en transformant l'énergie qu'ils représentent en une autre forme d'énergie comme la chaleur ou la lumière.

Cette énergie récupérée en freinant la libre circulation des électrons peut être utilisée aussi pour faire tourner les moteurs de compresseurs, de pompes, etc.

Type de courant électrique :

Le courant continu :

C'est le courant que l'on trouve dans les piles, les batteries de voiture , les dynamos de vélo. Les bornes sont polarisées + et -.

Le courant continu consiste en un courant électrique où le déplacement des électrons se fait continuellement dans un seul sens du négatif au positif.

Le courant alternatif :

C'est le courant qui alimente nos installations électriques. L'intensité et la tension varient selon une courbe sinusoïdale. Le courant alternatif est un courant électrique dont le mouvement des électrons à l'intérieur d'un matériau conducteur se fait dans une direction, puis dans l'autre, de manière alternative et de façon périodique.La fréquence du nombre d'oscillations par seconde du courant s'appelle le hertz (Hz).

La loi d'Ohm:

C'est la loi fondamentale de l'électricité qui porte le nom de Georg Simon Ohm ,qui s'exprime ainsi :

La tension aux bornes d'un conducteur ohmique est égale au produit de la résistance de ce conducteur ohmique par l'intensité du courant qui le traverse.

U : tension en volts **I** : intensité en ampères **R** : résistance en ohms

$$U = R I \quad \text{ou} \quad R = \frac{U}{I} \quad \text{ou} \quad I = \frac{U}{R}$$

Exemples :

Calcul de la tension

Calculons la tension aux bornes d'une résistance de 1k Ω traversé par un courant de 10mA, il faut effectuer le calcul suivant:

$$U = R \cdot I = 1000 \cdot 0.010 = 10V$$

Calculer le courant

Calculons le courant qui traverse une résistance de 4k Ω et qui est soumis à une tension de 10V est le suivante:

$$I = U/R = 10/4000 = 0.0025A$$

Calcul de la résistance

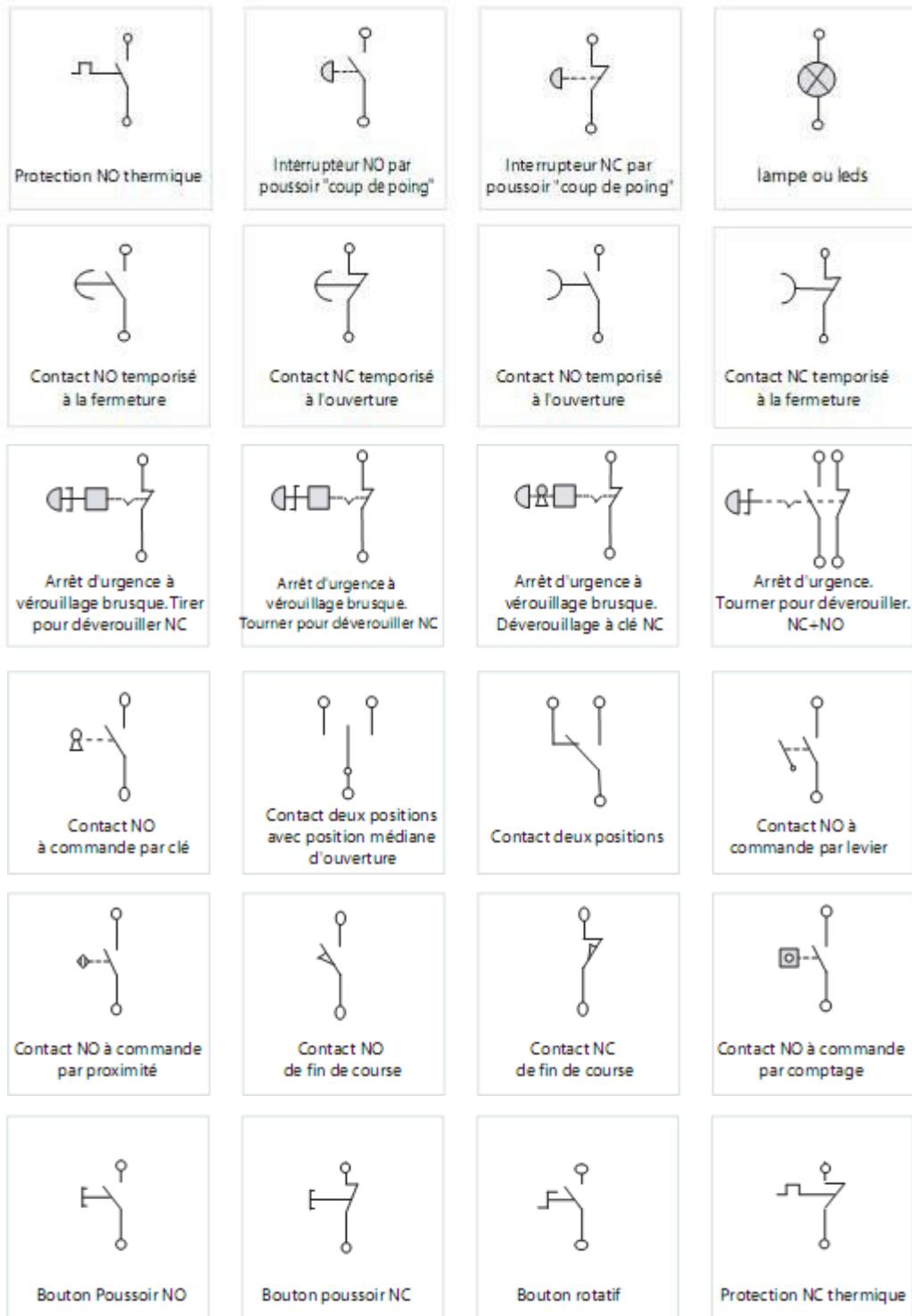
Il est possible de calculer la valeur d'une résistance en connaissant la tension à ses bornes et le courant qui la traverse. Dans le cas d'une différence de potentiel de 24V et d'un courant de 2.20mA, le calcul à effectuer est le suivant:

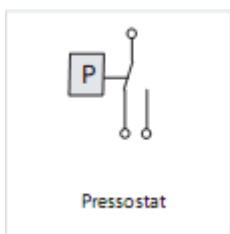
$$R = U/I = 24/(2.20 \cdot 0.001) = 10909 \text{ Ohms soit } 10 \text{ k}\Omega$$

$0.001 = 10^{-3}$ ou 10 puissance -3

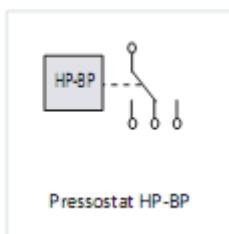
Les symboles électriques

Symboles de commande





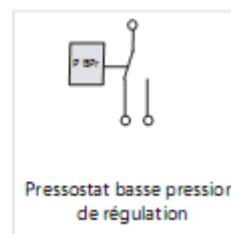
Pressostat



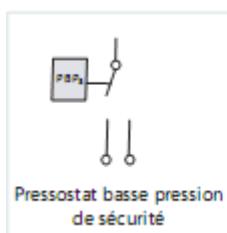
Pressostat HP-BP



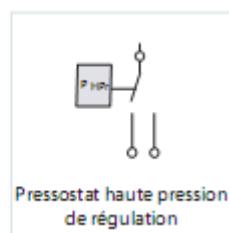
Pressostat haute pression
de sécurité



Pressostat basse pression
de régulation



Pressostat basse pression
de sécurité



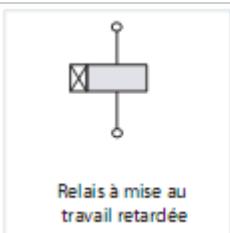
Pressostat haute pression
de régulation



Sonnerie



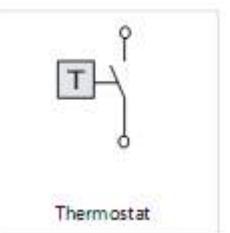
Sirène



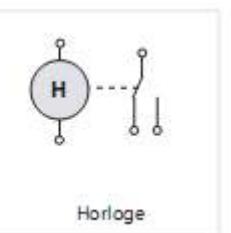
Relais à mise au
travail retardée



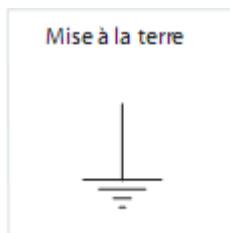
Relais à mise au
repos retardée



Thermostat

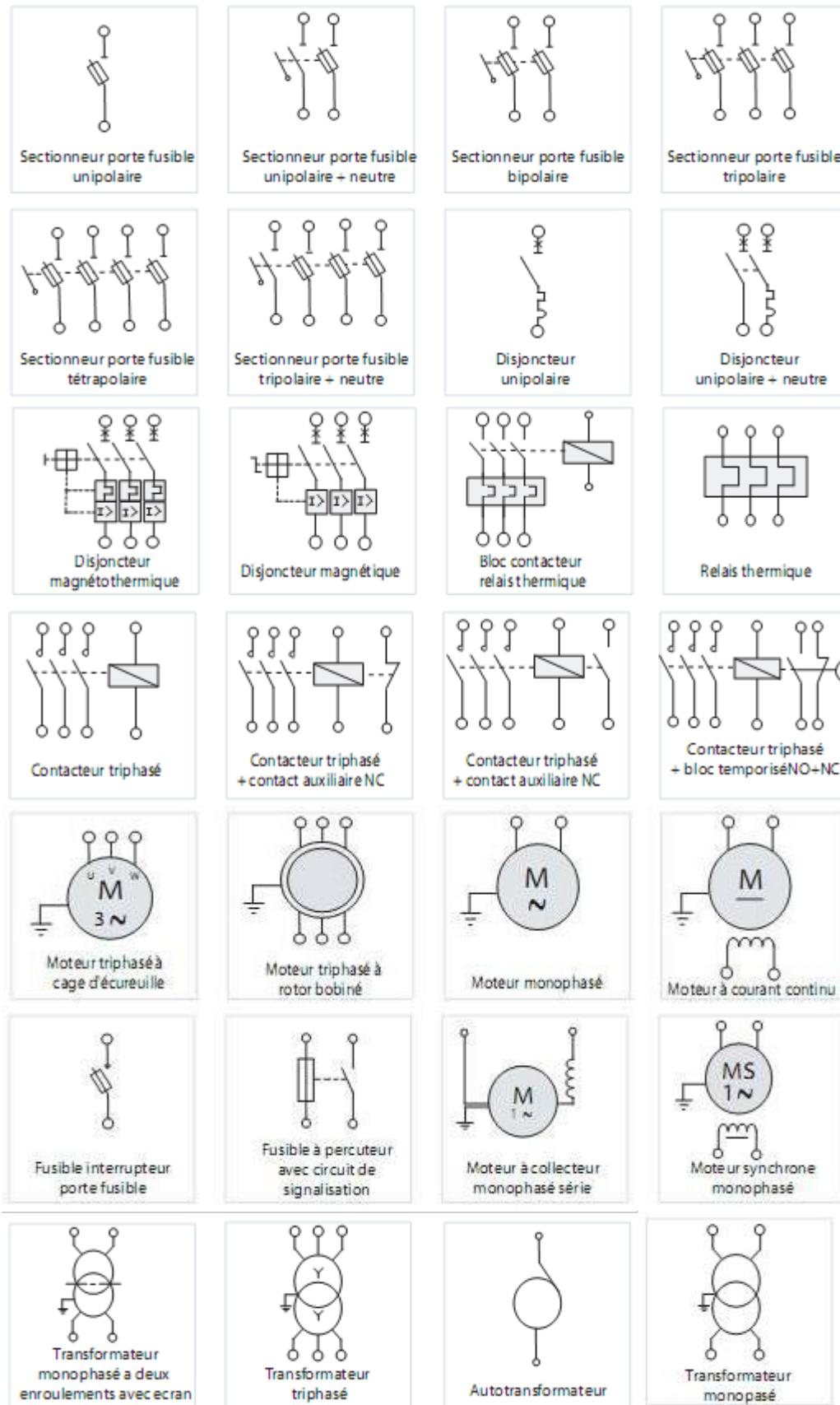


Horloge



Mise à la terre

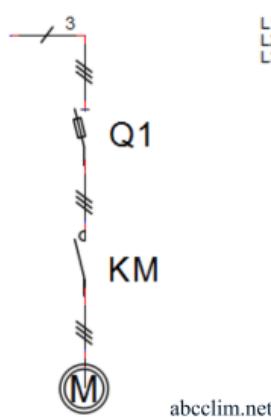
Les symboles de puissance



Comment lire un schéma électrique ?

Tout comme l'apprentissage de l'alphabet nous a permis de maîtriser le langage et l'écriture, la connaissance des symboles électriques et de leurs fonctions, l'identification des éléments nous aidera à analyser et comprendre un schéma électrique.

Unifilaire



Multifilaire

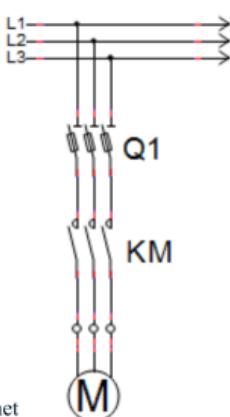


Schéma électrique unifilaire

Un trait représente l'ensemble des conducteurs qui relie les divers composants, c'est un schéma simple qui donne une idée générale du fonctionnement de l'installation.

Schéma électrique multifilaire

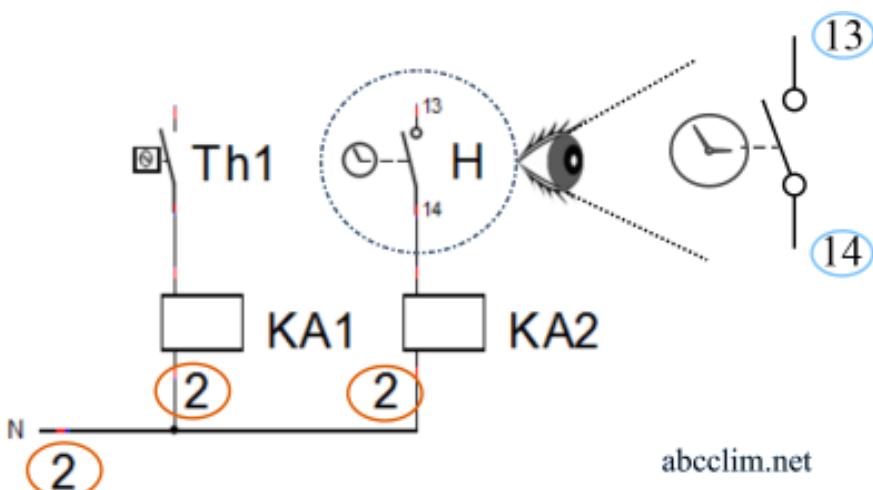
Le schéma électrique multifilaire représente tous les conducteurs, ce qui permet une interprétation et une analyse claire des schémas de puissance et de commande.

Les symboles électriques

Les représentations graphiques que sont les symboles sont nombreuses et spécifiques à chaque élément d'un circuit électrique.

Les conducteurs sont tous numérotés, leurs numéros changent lorsqu'ils sont connectés à un élément qui la capacité d'ouvrir ou de fermer un circuit.
Les conducteurs soumis au même potentiel portent le même numéro.

Repérage des contacts



abcclim.net

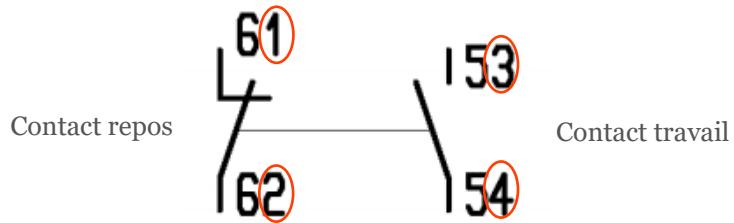
Les contacteurs, sectionneurs, les bornes sont repérés:

- 1 à 6 pour les organes tripolaires
- 1 à 8 pour les organes tétrapolaires



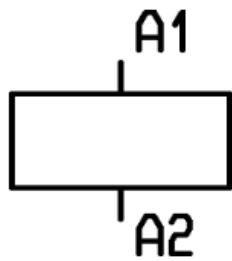
Les contacts auxiliaires sont repérés par deux chiffres, le chiffre des dizaines indique le numéro du contact de l'auxiliaire, le chiffre des unités est le plus important, car il indique la fonction du contact:

- 1 et 2 : contact à ouverture "O"
- 3 et 4 : contact à fermeture "F"
- 5 et 6 : contact à ouverture, contact temporisé
- 7 et 8 : contact à fermeture, contact temporisé



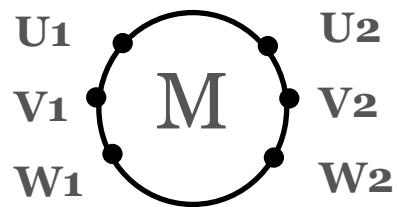
Contact travail: ouvert au repos, ferme le circuit électrique lorsqu'il est actionné.
Contact repos: fermé au repos ouvre le circuit électrique lorsqu'il est actionné.

Les branchements des bobines de relais ou de contacteur sont répérées par la lettre A et un chiffre .



Concernant les moteurs, ceux-ci sont répérés avec une lettre et un chiffre par pôle U1 ,V1 ,W1. Le chiffre spécifiant l'enroulement concerné.

Pour les moteurs avec deux enroulements distincts, voir le dessin ci-dessous.



Identification des éléments d'un schéma

Tableau répertoriant les lettres d'identifications les plus utilisées en froid et climatisation.

Repères	Eléments	Exemples
B	Transducteur	Pressostats
C	Condensateur	Démarrage ou permanent
F	Protection	Coupe-circuit, protection thermique
G	Générateur	Alimentation, batterie
H	Signalisation	Buzzer, voyant
K	Actionneur	Relais, contacteur
KA	Relais automatisme	Temporisé, relais divers
KM	Contacteur principaux	Contacteur de puissance
M	Moteur	Tous types de moteur
P	Appareil mesure	Compteur, horloge
Q	Protection	Sectionneur, disjoncteur
R	Résistance	Potentiomètre, rhéostat
S	Appareil de commande	Interrupteur
T	Transformateur	
TH	Thermostat	
U	Convertisseur	Onduleurs
X	Bornier	
Y	Vanne électrique	Vanne 3 voies, électrovanne

Exemple de schéma

Régulation thermostatique, schéma commande

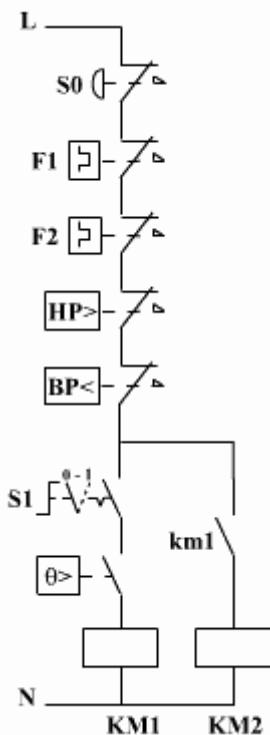


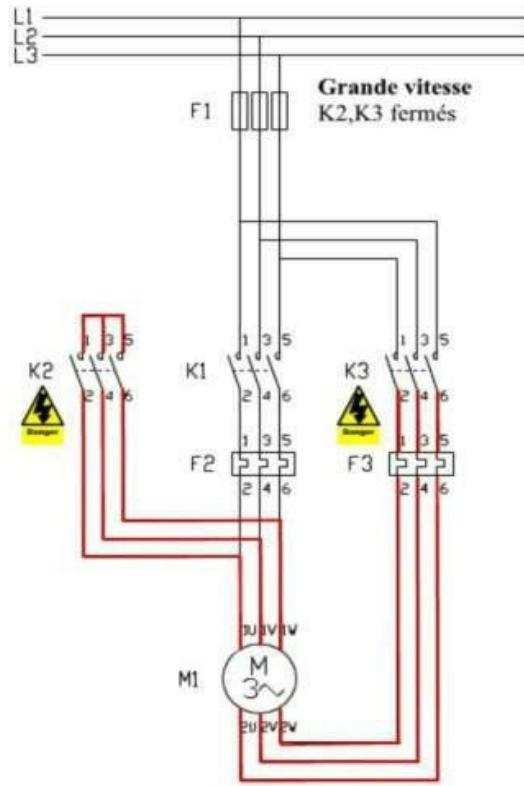
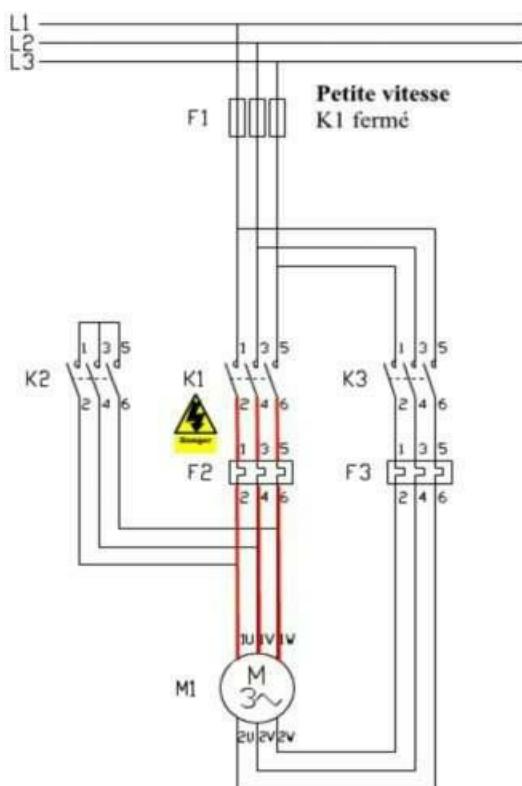
Schéma simplifié de régulation montrant que le thermostat d'ambiance est l'organe de régulation qui coupe ou enclenche KM1 (le groupe de condensation) en fonction de la demande, à noter que le contact auxiliaire Km1 donne l'ordre au ventilateur de l'évaporateur de se mettre en route. La chaîne de télécommande est constituée de l'ensemble des organes de protection, HP, BP, thermique groupe et ventilateur ainsi des organes de régulation thermostat, arrêt urgence ...etc

Légende:

KM1 = groupe de condensation
 KM2 = ventilateur évaporateur
 o> = thermostat de régulation
 S1 = marche/arrêt
 So = arrêt d'urgence
 HP> = pressostat HP
 BP< = pressostat BP
 F1 = relais thermique du groupe de condensation

Schéma de puissance: câblage Dalhander

Le schéma de câblage Dahlander s'applique pour un moteur ayant des enroulements spécifiques du même nom. Ce type de câblage permet d'avoir deux vitesses (50 %, 100 %), utilisés pour les hottes de cuisine, les extracteurs, les centrales de traitement d'air.



Démarrage étoile triangle

Un moteur asynchrone possède un couple important et peut absorber 4 à 8 fois son intensité nominale au démarrage, ce qui risque de provoquer des perturbations sur le réseau électrique, chute de tension, déclenchement de protection. Pour réduire cet appel de courant on utilise un procédé simple et financièrement intéressant le démarrage étoile/triangle, car il suffit de 3 contacteurs de puissance et une télécommande simple pour fonctionner.

Ce procédé ne peut s'appliquer qu'aux moteurs dont le couplage triangle correspond à la tension U du réseau soit :

- Pour un réseau 230 V entre phases moteur 230/400 V ou 230 /400Y.
- Pour un réseau 400 V entre phases moteur 400/690 V ou 400 /690Y.

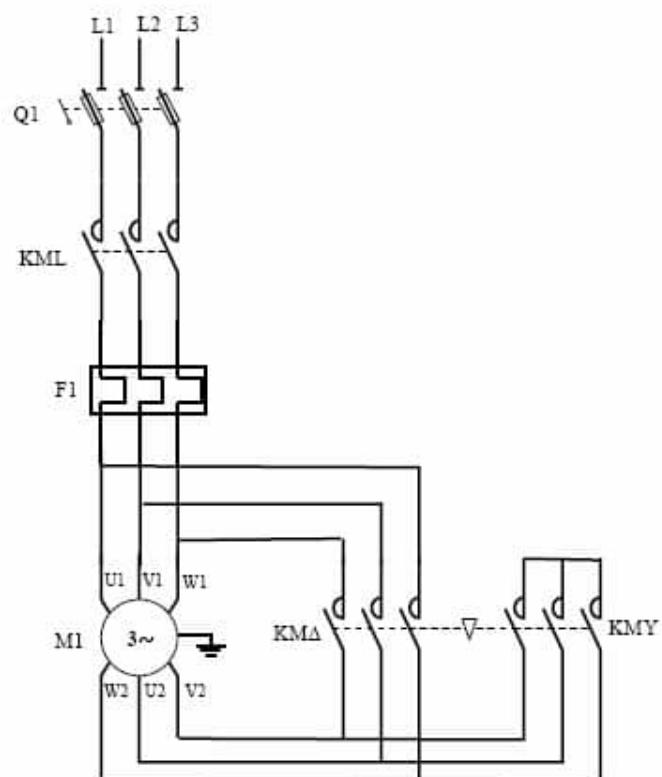
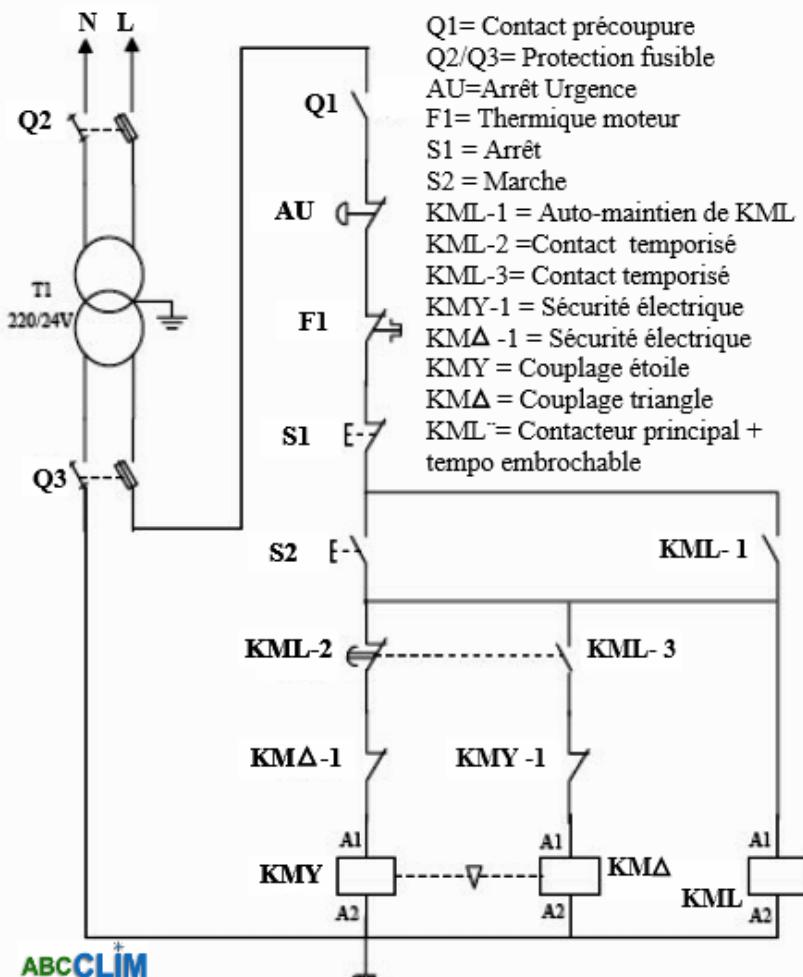
Description du fonctionnement :

Après l'ordre de démarrage du moteur, le relais temporisé bascule automatiquement le couplage étoile en couplage triangle. En couplage étoile les enroulements du moteur sont soumis à un courant réduit puis en couplage triangle, les enroulements du moteur sont soumis à la tension du réseau. Le temps de démarrage en couplage étoile doit permettre au moteur d'atteindre une vitesse suffisante afin de permettre l'accélération après la commutation en triangle. Si la séquence de démarrage n'est pas maîtrisée ou que le sens de rotation des deux couplages n'est pas le même, il y a un vrai risque de casse moteur.

C'est un type de démarrage fractionné en 2 temps :

1. 1er temps : Les enroulements sont couplés en étoile, la tension est réduite aux bornes de chaque enroulement. Le contacteur KML alimente les extrémités des enroulements U1, V1, W1. Le contacteur KM relie les extrémités des enroulements W2, U2, V2, c'est le point étoile.
2. 2em temps : Suppression du couplage étoile KMY (après temporisation), puis on couple les enroulements du moteur en triangle en reliant les bornes U1/V2, V1/W2, W1/U2. Chaque enroulement est maintenant soumis à la tension réseau.

Notons que des relais de temporisation spécifique pour la commutation étoile-triangle existent, notamment pour éviter les éventuels arcs électriques au cours des commutations successives.



Démarrage en part Winding

Le démarrage en part winding ou à enroulements séparés est destiné à des moteurs spécifiques ayant deux bobinages complètement indépendants électriquement, chacun câblé en étoile, soit parfaitement identique en puissance 50 % 50 %, soit deux tiers un tiers 66 % 33 % ne démarrant que l'un après l'autre et formant ainsi un gros moteur.

Le but de cet artifice est de limiter l'intensité de démarrage d'un compresseur de forte puissance.

Le démarrage s'effectue dans un premier temps par l'alimentation du premier bobinage puis après une très courte temporisation (1s maxi) alimentation du deuxième bobinage.

Comme ces moteurs (bobinages) sont indépendants les câblages sont aussi indépendants et pour éviter des problèmes il faudra veiller à les câblés de façon qu'une fois sous tension ils tournent dans le même sens.

Les schémas de câblage des enroulements sont généralement fournis, mais dans le cas contraire un repérage des 6 bornes sur le bornier du moteur s'impose.

Repérage moteur 50% 50%:

les résistances des enroulements n°1 entre U1,V1,W1 sont identiques.

les résistances des enroulements n°2 entre U2,V2,W2 sont identiques.

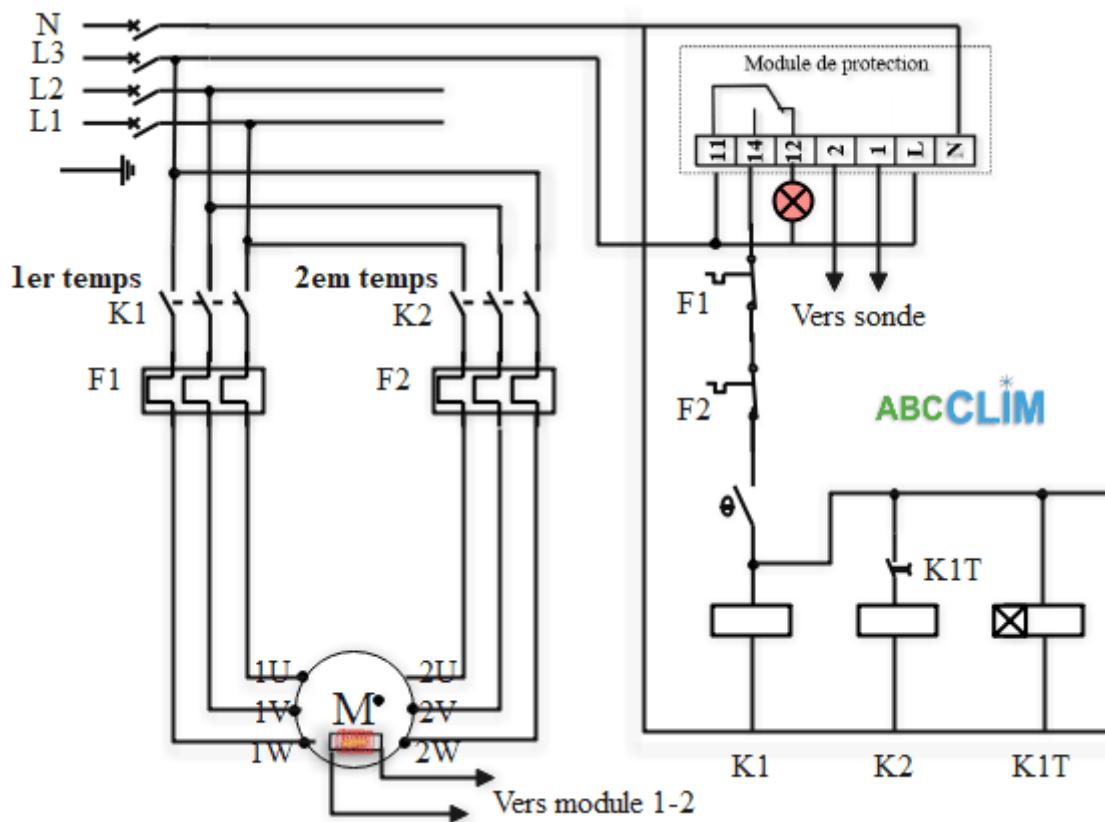
Les résistances des deux enroulements sont identiques.

Repérage moteur 66% 33%

les résistances des enroulements n°1(66%)entre U1,V1,W1 sont identiques.

les résistances des enroulements n°2(33%)entre U2,V2,W2 sont identiques.

Les résistances du premier bobinage U1,V1,W1 sont inférieures au deuxième U2,V2,W2 (plus un moteur est puissant plus sa résistance est faible)

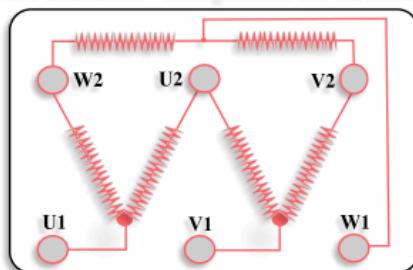


Câblage Dahlander

Le schéma de câblage Dahlander s'applique pour un moteur ayant des enroulements spécifiques du même nom. Ce type de câblage permet d'avoir deux vitesses (50 %, 100 %), utilisés pour les hottes de cuisine, les extracteurs, les centrales de traitement d'air.

Robert Dallander ingénieur électromécanicien né en Suède en 1870, a donné son nom au moteur asynchrone à deux vitesses qu'il a inventé avec son compatriote Lindström en 1897.

Moteur Dallander : configuration des enroulements



©ABC CLIM

En petite vitesse, le couplage des bobinages(enroulements) en série permet de diviser la vitesse par deux (deux paires de pôles). Alimentation en U1,V1, W1 uniquement

En grande vitesse en couplant les bobinages en parallèle, il constitueront un seul et même enroulement (une paire de pôles). Alimentation en U2,V2,W2 et point étoile (barette) en U1,V1, W1

Schéma de puissance :

Attention à l'ordre des phases en petite et grande vitesse, afin d'éviter une inversion du sens de rotation au moment du passage de la petite vitesse à la grande vitesse.

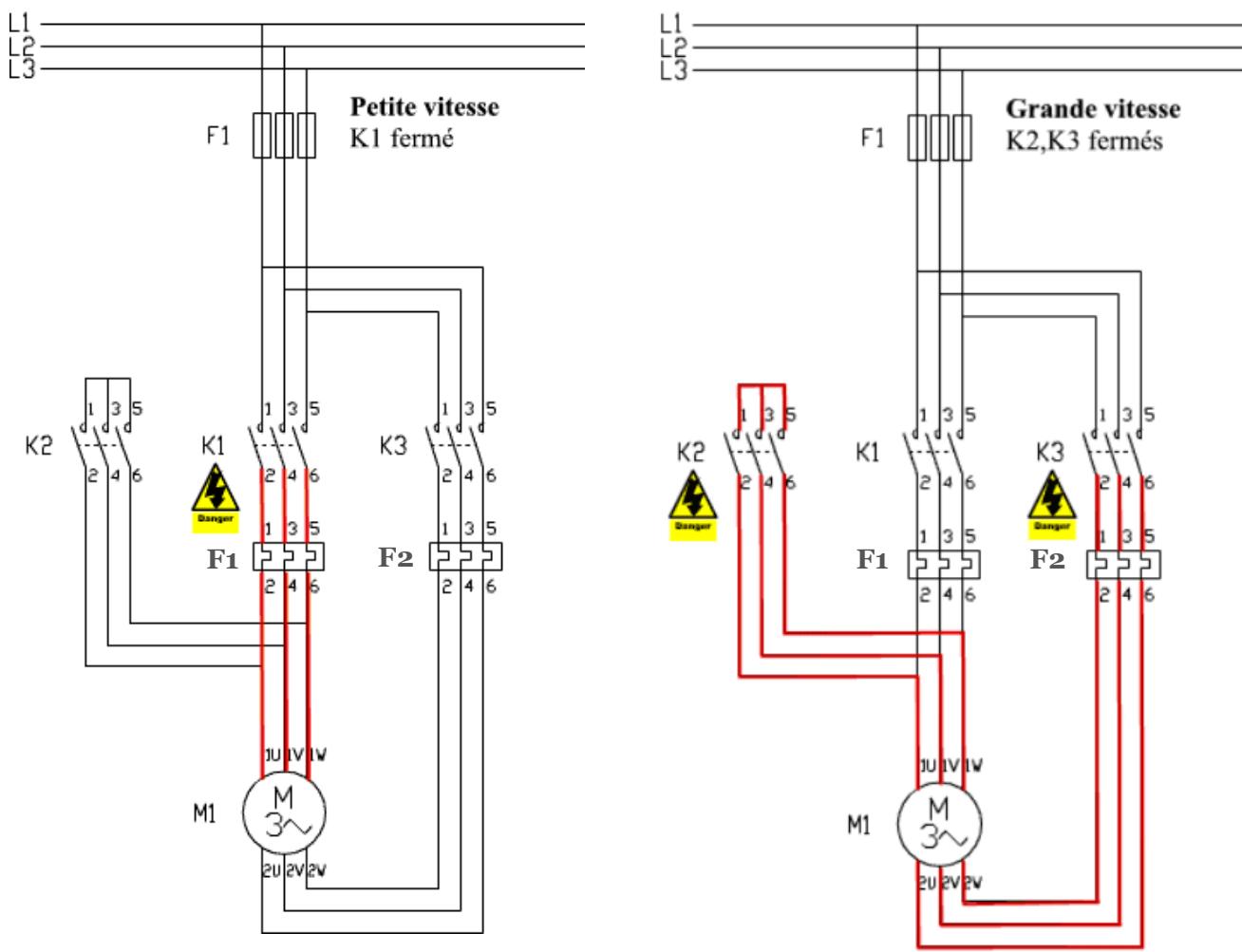


Schéma de commande simple :

Légende :

Q2 = protection commande

F1 = thermique PV

F2 = thermique GV

S1 = arrêt

S2 = marche PV

KM1-1 = contact auto-maintien PV

S3 = marche GV

KM2-2 = interdiction marche PV (pas obligatoire)

KM3-1 = interdiction marche PV (pas obligatoire)

KM1-2 = interdiction marche GV (pas obligatoire)

KM2-1 = contact auto-maintien GV

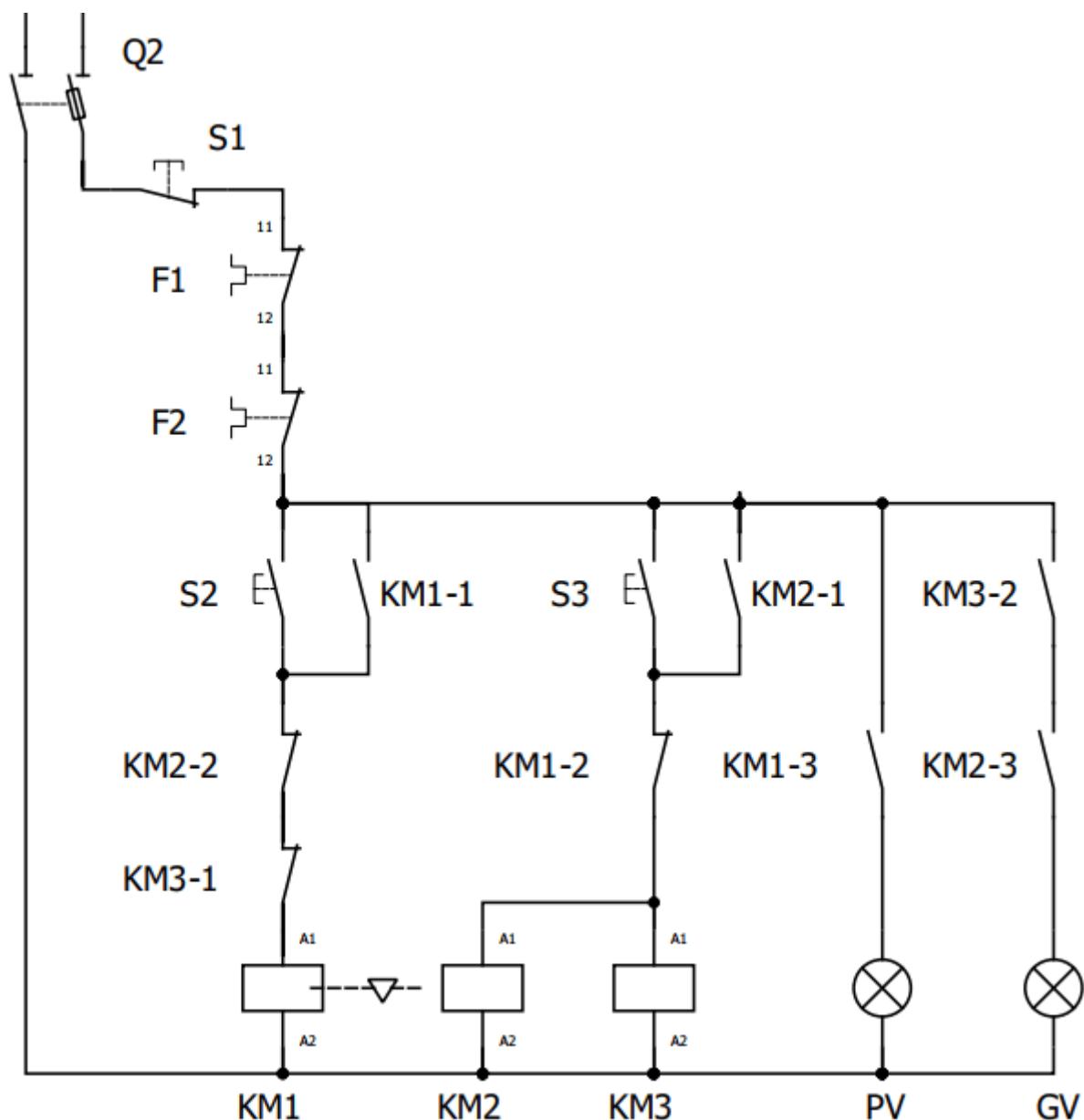
KM1-3 = Voyant marche PV

KM1-3 et KM2-3 = voyant marche GV

KM1 = contacteur PV

KM2 = contacteur GV

KM3 = contacteur étoile GV



Démarrage statorique

L'intérêt de ce type de démarrage est de réduire l'intensité dès la mise sous tension d'un moteur. Le démarrage statorique se fait en deux étapes. La première étape via un contacteur (KM2) utilise l'insertion de résistances sur chacune des phases du moteur pour abaisser la tension. La seconde étape verra le premier contacteur (KM2) mis hors tension, puis un second contacteur (KM1) sera activé et court-circuitera les résistances. Le moteur est alors alimenté directement par le réseau sous sa tension nominale.

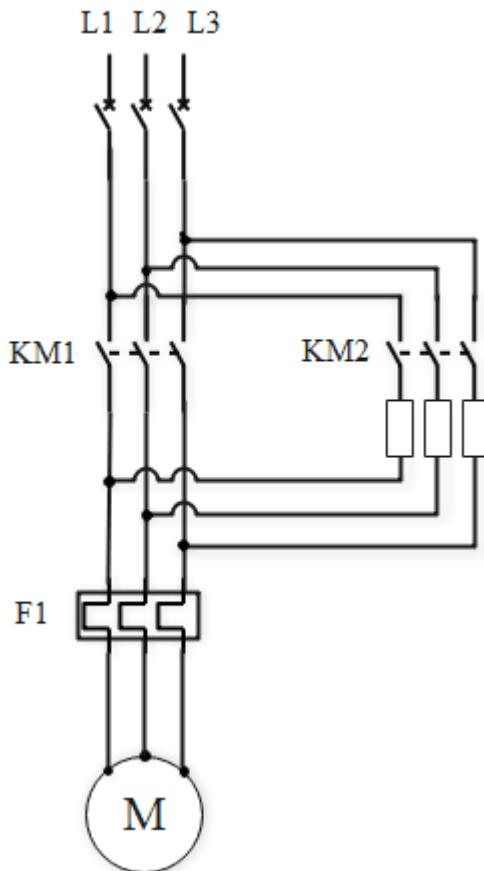
Ce procédé est applicable pour les charges présentant un faible couple au démarrage comme les pompes et ventilateurs.

Les principaux avantages :

- Utilisation avec moteur asynchrone classique
- Forte réduction de l'intensité au démarrage

Les principaux inconvénients :

- Couple assez faible
- Échauffement des résistances
- Complexité du câblage
- Coût



Auto-maintien

L'auto-maintien permet l'autoalimenter un circuit de commande par un contact branché en parallèle sur un contact marche d'une installation de climatisation, de ventilation par exemple.

L'avantage de ce type de câblage étant que si un contact de sécurité sur la chaîne de télécommande est actionné, la remise en marche ne peut se faire que par une action sur le bouton marche ou réarmement du système.

Ici ce schéma d'auto-maintien est utilisé sur une chaîne de sécurité d'un compresseur.

Quand un contact de sécurité s'ouvre, KA1 est mis hors tension et ouvre les contacts KA1.1 et KA1.2, arrête le compresseur et ferme KA1.3 qui allume le voyant de défaut.

Pour réarmer, il faudra appuyé sur le bouton poussoir à condition que le défaut ne soit plus présent, ainsi KA1 par son contact KA1.1 s'autoalimentera, le défaut de l'auto-alimentation c'est qu'en cas de coupure de courant il faudra appuyé sur le bouton poussoir de réarmement ce qui peut être gênant alors on pourra améliorer le schéma en câblant en parallèle sur KA1.1 un contact temporisé à impulsion (ouverture, fermeture rapide) dont l'alimentation sera prise directement sur la télécommande.

Légende :

AU: arrêt d'urgence

BP: bouton poussoir (réarmement)

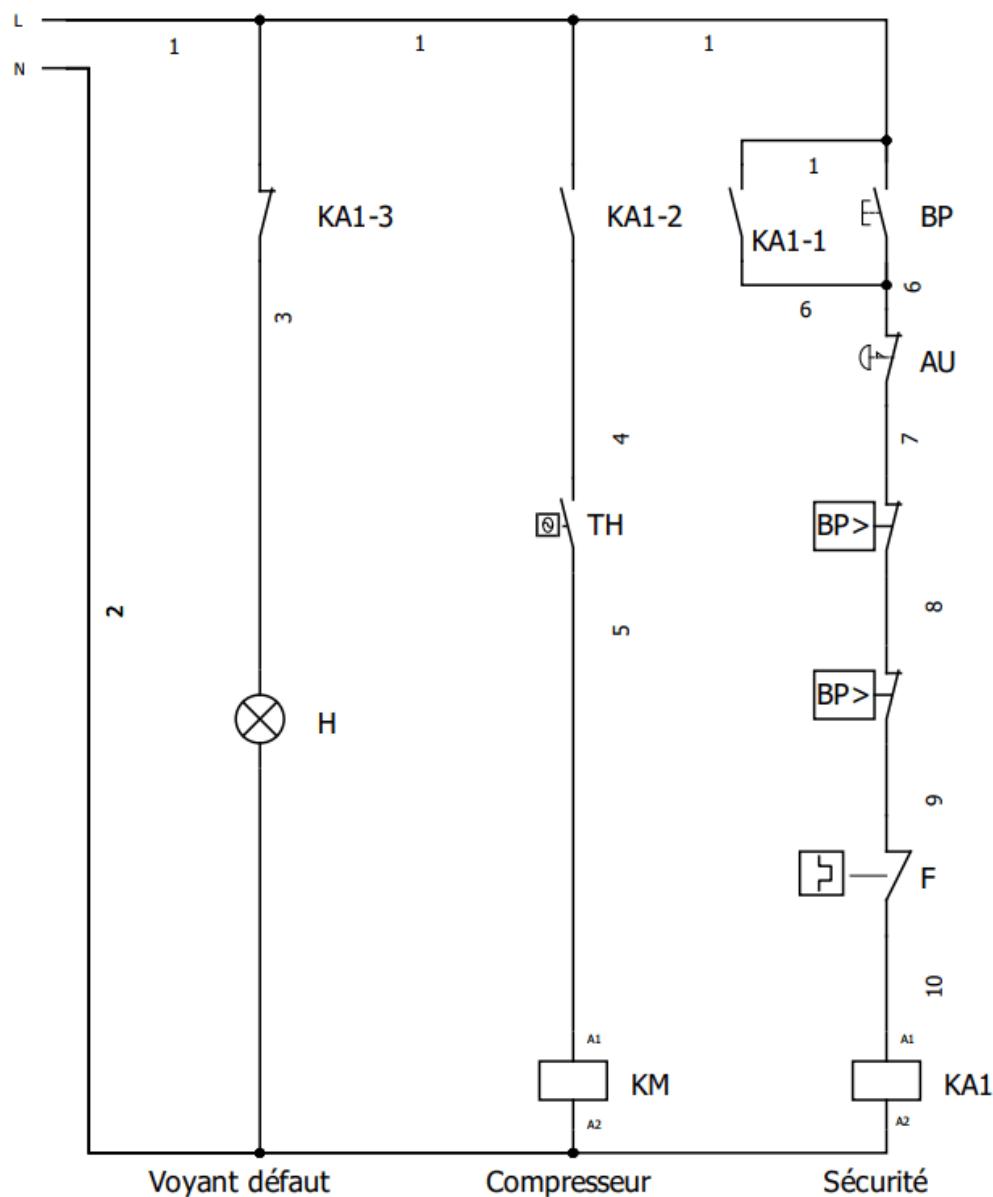
HP: pressostat haute pression

BP: pressostat basse pression

KA1: relais de défaut

KM: contacteur compresseur

F = protection thermique compresseur



Dégivrage par résistances (évaporateur)

Dans les installations où la température de surface des évaporateurs est inférieure à 0 °C l'accumulation de givre est inévitable. Quand cette accumulation devient trop importante cela devient problématique, cela engendre une réduction du coefficient d'échange, (le givre, la glace sont des isolants), et par voie de conséquence une réduction des performances frigorifiques.

Il est donc primordial d'éliminer le plus complètement possible ce givre ou cette glace, le dégivrage par résistances est un moyen efficace et très utilisé notamment dans les chambres froides à température négative.

Ici ne traiteront que du dégivrage cyclique des évaporateurs par résistances électriques.

Séquence de dégivrage :

Commande par horloge du dégivrage, arrêt vanne liquide (pump down), arrêt compresseur, mise en marche des résistances de dégivrage.

Fin de dégivrage, arrêt des résistances par détection de température thermostat évaporateur ou par fin de cycle horloge. Notons ici que la durée du temps de dégivrage et la température de fin dégivrage sont primordiales et doivent être vérifiées sur plusieurs cycles.

Légende :

F1,2 = Fusibles

AU = Arrêt d'urgence

T1 = Thermique compresseur

IR = Horloge dégivrage (inter-horaire)

HP = Pressostat HP

BP = Pressostat BP

Ka1-1 = Contact auxiliaire de Ka1 (mise en marche froid après dégivrage)

M/A = Marche/arrêt

TH = Thermostat de régulation

Ka1-2 = Contact auxiliaire de Ka1 (temporisation marche ventilateur évaporateur)

TFD = Thermostat de fin de dégivrage

Ka2-1 = Contact auxiliaire de Ka2

Ka2-2 = Contact auxiliaire de Ka2

Km1-1 = Contact auxiliaire de KM1

KM1 = Contacteur compresseur

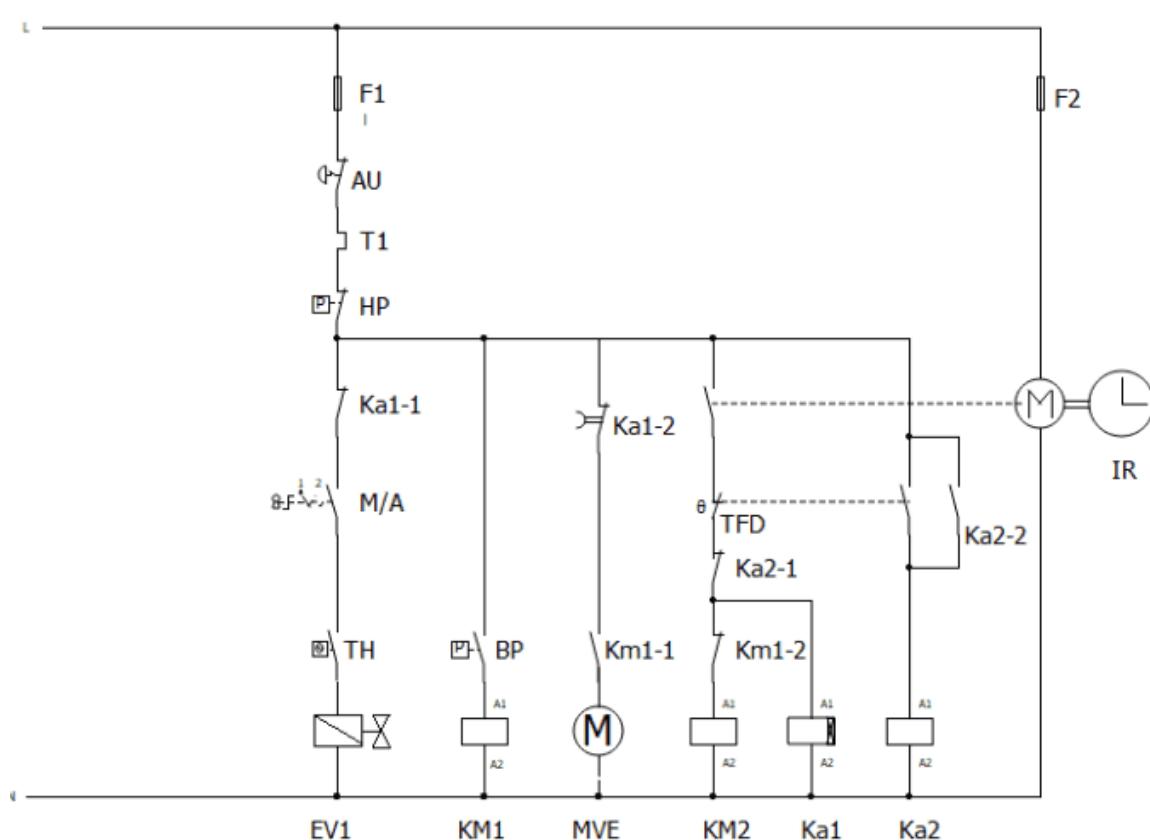
EV1 = Électrovanne ligne liquide

KM2 = Contacteur résistances

MVE = Moteur ventilateur évaporateur

Ka1 = Relais autorisation marche froid + temporisation ventilateur

Ka2 = Relais fin dégivrage (auto-alimentation)



Description rapide du schéma.

Lorsque l'horloge autorise un dégivrage et que le contact du thermostat de fin de dégivrage est fermé, le dégivrage peut alors commencer, KM1-1 ouvre et coupe l'électrovanne (tirage au vide), et le compresseur au point de coupure du BP s'arrête (par KM1), le ventilateur évaporateur est mis à l'arrêt (KM1-1), KM2 est alimenté seulement si le tirage au vide est terminé via le contact de KM1 (KM1-2).

La fin du dégivrage est ordonnée soit en fin de cycle de l'horloge ou plus généralement par le thermostat de fin de dégivrage (TFD). Il faut donc bien faire attention au temps maximum de dégivrage afin d'être sûr que ce soit le thermostat de fin dégivrage qui commande la fin du cycle.

Si le thermostat de fin de dégivrage s'ouvre il alimente le relais KA2 qui de fait désalimente KA1 et KM2, le contact KA1-1 ce fermé et la temporisation de marche ventilateur démarre (KA1-2). Si le thermostat de régulation l'ordonne l'électrovanne est alimentée et le compresseur peut démarrer.

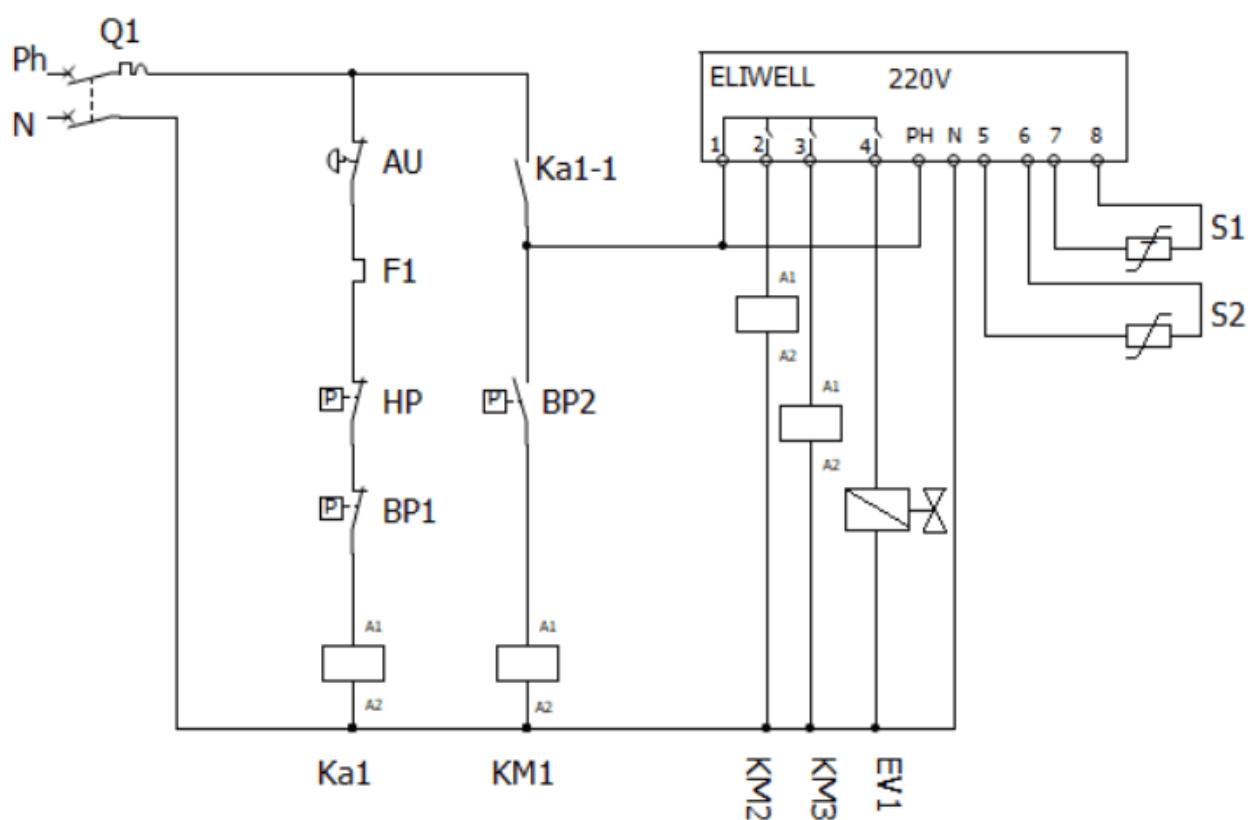
À la fin de la temporisation le ou les ventilateurs peuvent démarrer.

Dégivrage commandé par régulateur.

Le système de dégivrage par résistances électriques du type électromécanique a tendance à disparaître au profit du dégivrage commandé par régulateur de type numérique ou analogique. Les avantages de ces régulateurs sont la facilité de câblage, la fiabilité et la multitude de paramétrages qu'ils offrent.

Citons quelques paramètres parmi les plus communs :

- Température de consigne
 - Différentiel consigne
 - Temporisation activation relais compresseur
 - Temporisation compresseur entre deux démarrages
 - Type de dégivrage
 - Sélection du type de décompte concernant les intervalles de dégivrage
 - Durée maximum du dégivrage
 - Temps d'égouttement de la batterie
 - Temps de retard pour l'activation des ventilateurs après un dégivrage
 - Calibrage des sondes
 - Modalité de visualisation durant le dégivrage
 - Sélection du type de sonde, PTC ou NTC
 - Transfert des paramètres de programmation de l'instrument.
 - Etc....



Conducteurs et câbles

Les conducteurs et câbles permettent de véhiculer l'énergie électrique d'un émetteur vers un récepteur. Compte tenu du nombre d'applications, il existe une grande variété de conducteurs et de câbles, mais les principaux critères de choix sont la quantité d'énergie à transporter, la longueur du conducteur et son utilisation.

Les conducteurs isolés

Les conducteurs isolés sont composés d'une âme conductrice et d'une enveloppe isolante.

L'âme conductrice est composée du cuivre ou d'aluminium, elle peut être soit constituée d'un seul fil rigide ou d'un ensemble de brins torsadés souples de petite section.

Dans tous les cas, la résistivité du conducteur doit être la plus faible possible, afin d'éviter tout échauffement par effet Joule et de réduire autant que possible la chute de tension dans le conducteur.

- Résistivité du cuivre à 20°C: Cu = $17,242 \times 10^{-8}$ Omm²/m
- Résistivité de l'aluminium à 20°C: Al = $28,264 \times 10^{-8}$ Omm²/m

L'enveloppe isolante (polyéthylène réticulé = PR) doit avoir une forte résistivité au courant électrique tout en protégeant le conducteur contre toute agression extérieure, humidité, chaleur, froid. En outre, celle-ci doit avoir une bonne résistance mécanique et une certaine tenue au vieillissement.*

Les enveloppes sont définies par leur tension nominale d'isolement entre phase/terre* et entre phase soit 300* / 500V, 450* / 750V, 600* / 1000V

Par convention les isolants des conducteurs sont de différentes couleurs, vert/jaune pour la terre, bleu clair pour le conducteur de neutre, et enfin le rouge, le noir et le marron pour les phases.

Les câbles

Câble unipolaire :

Ce câble est constitué d'une âme conductrice isolée, protégée par une ou plusieurs enveloppes pouvant être de différentes natures.

Câble multiconducteur:

C'est un ensemble de conducteurs de même section électriquement séparés compris dans une ou plusieurs enveloppes isolantes en fonction de leurs utilisations.

Les différents conducteurs constituant le câble sont repérés par couleurs ou par chiffres

Suivant l'utilisation on utilise, le Polychlorure de vinyle (PVC), le polyéthylène réticulé (PR) et le caoutchouc butyle volcanisé (PRC) comme enveloppe isolante, ou encore suivant les cas de l'aluminium, de la tresse métallique, certains câbles dénommés CR1 sont même résistant au feu.

Normes et dénomination des câbles

Pour différencier et reconnaître les câbles, un ensemble de code sous forme de lettres et de chiffres est utilisé, défini par deux normes:

- Norme française : UTE code U
- Norme européenne harmonisée : CENELEC code H.

Renseignements donnés par les normes pour identifier un câble :

- Norme utilisée
- Tension nominale
- Type d'enveloppe
- Type de conducteur
- Nombre de conducteurs
- Conducteur terre
- Section des conducteurs

Indice de protection

Un matériel électrique doit non seulement remplir la fonction pour lequel il est conçu, mais doit aussi répondre efficacement aux exigences de sécurité et de protection des personnes. Il est important qu'un appareil électrique soit protégé contre les agressions externes telles que la pénétration des corps solides (ou poussières) et la pénétration des liquides (eau).

Pour définir les différents niveaux de protection du matériel électrique un code normalisé est utilisé nommé classe IP « International Protection ». Cette codification émane de la Commission Électrotechnique Internationale. Cette norme est garantie par les constructeurs, les fabricants des divers matériels ou appareils par contre l'installateur doit lui veiller au maintien du degré de protection (NF EN 60529)

La conception de tout matériel électrique (moteurs, armoire électrique, interrupteur...etc) est impactée par cette réglementation, ce qui représente un effort important pour les concepteurs, fabricants et bureau d'études. Pour cette classification on utilise deux chiffres, le premier chiffre compris entre 0 et 6 indique le degré de protection contre la pénétration des corps solides et le deuxième compris entre 0 et 9, indique le niveau de protection contre la pénétration des liquides. Plus les deux chiffres sont élevées plus le niveau de protection est élevé.

Protection contre les solides

Le premier chiffre défini le niveau de protection des matériels contre l'accès aux parties dangereuses par des corps étrangers.

IP 0X : Pas de protection

IP 1X : ne permet pas le passage d'un corps de 50 mm de diamètre. Typiquement le passage d'une main

IP 2X : doit interdire le passage d'un objet de 12,5 mm d'épaisseur, par exemple un doigt.

IP 3X : ne doit pas laisser pénétrer les corps étrangers de plus de 2,5 mm de diamètre.

IP 4X : interdit le passage d'un corps de 1 mm d'épaisseur.

IP 5X : Indice de protection contre la poussière, celle-ci ne doit pas pénétrer dans les organes sensibles de l'appareil et gênant son fonctionnement.

IP 6X : ne tolère l'introduction d'aucune poussière.

Les deux indices 5X et 6X sont testés en laboratoire, dans une cabine saturée de talc en suspension.

Protection contre les liquides

IP X0 : Pas de protection

IP X1 : protection contre les chutes verticales d'eau (condensation, fuites ponctuelles) sur des matériels installés en intérieur

IP X2 : protection contre les projections d'eau sous un angle jusqu'à 15°.

IP X3 : ce degré correspond à l'étanchéité contre l'eau (pluie) avec un angle maximal de 60°.

IP X4 : protection contre les projections d'eau sous un angle jusqu'à 180° dans toutes les directions (forte pluie, arrosage)

IP X5 : protégé contre les jets d'eau de toutes directions par un jet de 12,5L minute(sans être immergé)

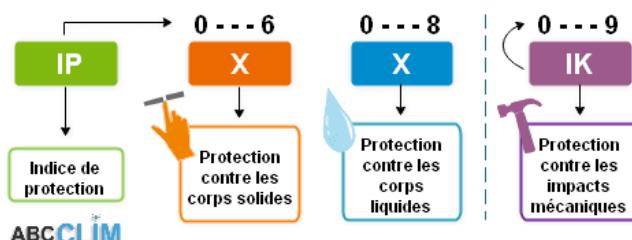
IP X6 : protection contre les paquets d'eau ou les jets très puissants

IP X7 et IP X8: indice correspondant à des immersions ponctuelles pour l'IP X7(1m de profondeur max ,30 mn)ou prolongée pour l'IP X8.

Concernant ce dernier indice le concepteur du matériel doit spécifier la nature de cette immersion prolongée.

Indice de protection spécifique (IK)

Ce type de degré de protection(IK 0 à 9) correspond à des impacts mécaniques externes exprimés en joules.



Régime de neutre

Une installation électrique doit être conçue de manière à répondre aux besoins en énergie des utilisateurs et ceci en toute sécurité.

Le type de régime de neutre d'une l'installation ainsi que la mise à la terre des équipements permettent de mettre à disposition cette énergie avec des garanties de sécurité et de continuité de service.

Tout d'abord un peu d'histoire, jusqu'en 1920 la distribution de l'électricité est assurée par des lignes nues sur isolateurs, sans aucune terre sur les équipements, puis un peu plus tard la mise à la terre des masses était conseillée pour les appareils domestiques.

En 1927, un arrêté stipule l'obligation de la mise à la terre du neutre des transformateurs délivrant de l'électricité pour le public. Ce n'est que bien plus tard au milieu des années 1950 que les premiers disjoncteurs différentiels furent installés dans l'industrie.

Les régimes de neutre.

Chaque régime de neutre est défini par 3 lettres :

1 ère Lettre : Type de raccordement du neutre de l'alimentation EDF par rapport à la terre.

T : Liaison avec la terre .

I : Isolation par rapport à la terre ou liaison avec la terre par une impédance.

2e Lettre : Type de raccordement des masses de l'installation par rapport à la terre.

T : Masses reliées à la terre.

N : Masses reliées au neutre lui-même relié à la terre.

3e lettre : Uniquement le régime TN.

(C) : Les conducteurs de protection PE et de neutre N sont confondus.

(S) : Les conducteurs PE et de neutre N sont séparés.

Régime TT

T = Neutre relié directement à la terre.

T = Masses de l'installation reliées à la terre.

C'est le régime de neutre des installations basse tension domestiques seuls les usagers propriétaires de leurs transformateurs (industrie,hôpitaux) peuvent utiliser d'autres régimes de neutre.

Un dispositif différentiel à courant résiduel (DDR) est placé en tête de l'installation, il protège les biens et surtout les personnes en cas d'un défaut d'isolement quand le courant de fuite dépasse la sensibilité du disjoncteur (30mA ou 300mA)

Régime TN

T = Neutre relié directement à la terre.

N = Masses reliées au neutre lui-même relié à la terre.

Le schéma TN est plus particulièrement utilisé dans les établissements recevant du public, magasins, hôpitaux, grandes cuisines.

Pour tout défaut d'isolement, un court-circuit phase/neutre active les protections de surintensité.

Dans le schéma TN-C le neutre et le conducteur de terre sont confondus. Ce type de schéma n'est autorisé que pour des sections de conducteurs supérieur à 10 mm² en cuivre et 16mm² en aluminium.

Régime TNC

Le schéma TN-S est obligatoire pour les installations ayant des conducteurs de section inférieure à 10 mm² en cuivre et 16 mm² en aluminium. Ici le neutre et le conducteur de protection sont séparés.

Régime IT

I : Neutre isolé de la terre ou impédant.

T : Masses reliées à la terre.

Schéma privilégié des grosses industries, qui permet tout en protégeant les personnes de garantir un service continu en énergie.

Le neutre est soit isolé de la terre, soit relié à la terre par une assez forte impédance (Contrôleur Permanent d'Isolation, CPI).

Lors du premier défaut le courant entre phase et masse est très faible, la tension ne représente pas de danger, au deuxième défaut la protection doit être assurée par un dispositif contre les courts-circuits.

Protections électriques, en bref

Principaux organes de protection électrique utilisés dans les installations de froid commercial, de climatisation, avec les fonctions et utilisations pour chacun d'entre eux.

Fusible:

Le rôle du fusible et de protéger un circuit contre les surintensités ou les courts-circuits.

Il existe deux types de fusibles :

le fusible gG utilisait dans les installations domestiques et circuits de télécommande, il garantit l'intégrité du circuit contre toute surcharge.

Le fusible AM ou fusible accompagnement moteur, permet de protéger un moteur contre une surintensité anormale ou court circuit, il est conçu pour absorber un fort courant d'appel pendant un court laps de temps notamment lors des démarriages moteurs.

Sectionneur à fusible :

Il assure l'isolation d'un circuit électrique de puissance, il est généralement utilisé à l'extérieur ou à l'intérieur des armoires électriques.

Il protège l'ensemble de l'armoire contre les courts-circuits grâce aux fusibles calibrés à la puissance de l'installation. Le sectionneur à fusible possède un contact de précoupe intégré dans la chaîne télécommande afin d'éviter tout arc électrique en cas de coupure d'urgence.

Disjoncteur :

Un disjoncteur est un dispositif électromécanique de protection dont la fonction est d'interrompre le courant électrique en cas d'incident sur un circuit électrique.

Disjoncteur magnétothermique :

Il protège les moteurs (disjoncteur moteur) contre les courts-circuits et les surcharges électriques, en coupant l'alimentation du moteur.

Description des fonctions:

Effet thermique, suivant l'intensité calibrée du disjoncteur et l'intensité réellement consommée du moteur celui-ci réagira en fonction de l'importance de la surcharge. C'est un bilame qui déclenchera mécaniquement le disjoncteur par échauffement.

Effet magnétique, une bobine électromagnétique réagira instantanément sous l'effet d'une élévation de l'intensité du courant dû à un court-circuit.

Disjoncteur différentiel :

Il a pour rôle d'assurer la protection des circuits contre les surintensités et court-circuit ainsi que de protéger les personnes contre les contacts indirects.

Ce dispositif différentiel réagit si un déséquilibre de courant par rapport à la terre survient, une bobine mesure ce déséquilibre et alimente un électroaimant qui coupe le disjoncteur en cas de danger pour les personnes.

Relais thermique :

Il est conçu pour protéger les moteurs contre une surintensité ne correspondant pas à l'intensité nominale du moteur. Il réagit donc à une surcharge par exemple en cas d'absence de phase.

Un système différentiel constitué de trois bilames permet de contrôler le courant, qui en cas de surcharge ouvrira mécaniquement un contact inséré dans le circuit de commande du contacteur provoquant la mise hors tension du moteur.

Cette protection n'a pas de pouvoir de coupure, car elle ne coupe pas directement la puissance du récepteur.

Relais thermique

Les relais thermiques protègent les moteurs électriques contre les surintensités. L'augmentation excessive de l'intensité se traduit par un échauffement des enroulements du moteur pouvant entraîner sa destruction.

Les causes des surintensités sont nombreuses :

- Baisse de la tension du réseau.
- Surcharge mécanique (roulements usés, couple trop important).
- Fonctionnement sur deux phases.
- Surdébit (notamment pour les ventilateurs de soufflage, de reprise, d'extraction).
- Surcouple au démarrage.
- Démarrage trop fréquent.

La courbe de déclenchement d'un relais thermique permet le démarrage (forte intensité) d'un moteur à froid grâce à un temps de coupure très long tout en protégeant celui-ci si l'intensité atteint une valeur trop importante à chaud (temps de coupure très court).

Notons que relais thermique n'a pas de pouvoir de coupure, étant toujours associé à un contacteur le relais thermique coupera par le biais d'un contact auxiliaire l'alimentation du contacteur.

Fonctionnement de relais thermique :

Un relais thermique comprend trois bilames constitués chacun de deux métaux (nickel et fer ou chrome et fer) assemblés par laminage à froid et dont le coefficient de dilatation est différent.

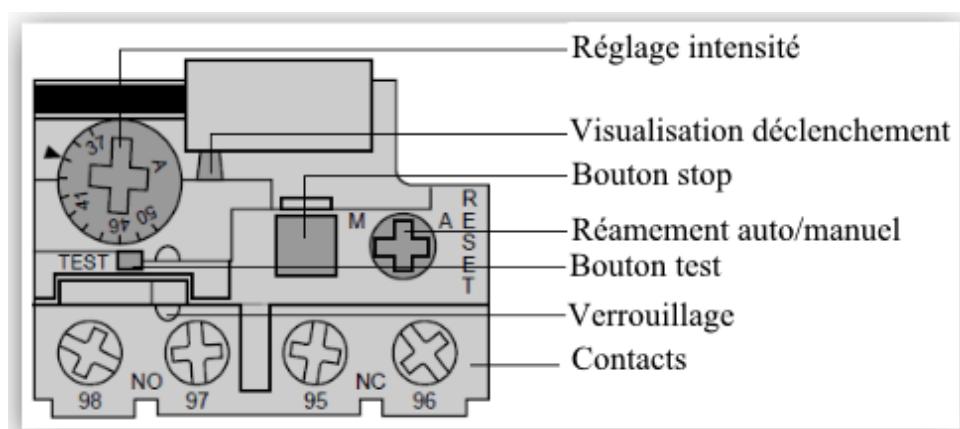
Un enroulement résistant et chauffant entoure les bilames et sont raccordés en série sur chacune des phases, l'échauffement causé par le passage du courant permet la déformation du ou des bilâmes. Cette déformation actionne un contact relié au circuit de commande contacteur qui alimente le moteur.

Une fois les bilames refroidies le réarmement est possible soit manuellement soit automatiquement.

Pour éviter le déclenchement du relais thermique due à la variation de la température ambiante, un système de compensation est monté sur les bilames .

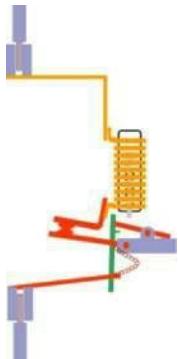
Réglage du relais thermique

L'intensité plaquée sur un moteur électrique c'est l'intensité maximale que peut supporter le moteur dans des conditions normales d'utilisation, donc un thermique doit être réglé à cette intensité jamais au-dessus.



Disjoncteur moteur

Un disjoncteur moteur est un organe de protection dont la fonction est d'interrompre le courant électrique en cas de surcharge ou de court-circuit, c'est un dispositif magnétothermique.



Chaque phase du moteur est protégée par un bilame (déclencheur thermique) qui en cas de surintensité prolongée chauffe par effet Joule et déclenche un mécanisme qui ouvre les contacts. Le seuil de déclenchement est réglable directement sur le disjoncteur moteur.

Protection magnétique :

Un déclencheur équipé d'un électroaimant protège chaque phase qui en cas de court-circuit coupe le courant électrique.

Ce déclencheur est basé sur la création d'un champ magnétique instantané (0,1sec) qui actionne une partie mobile et commande l'ouverture des contacts.

La partie magnétique du disjoncteur moteur n'est pas réglable ce sont les courbes de déclenchement qui définissent le seuil de déclenchement qui s'exprime en nombre de fois l'intensité nominale (3 à 15 In).

De nombreux accessoires existent suivant les marques:

- Contacts auxiliaires
- Déclencheur à manque de tension
- Déclencheur à présence de tension
- Bouton d'arrêt d'urgence à distance
- Dispositifs de verrouillage
- Coffret IP 65

Disjoncteur différentiel

Le disjoncteur différentiel appelé aussi dispositif différentiel à courant résiduel (DDR) est un organe de protection qui permet d'interrompre le passage du courant électrique en cas de problème sur le circuit qu'il protège.

Il remplit trois fonctions :

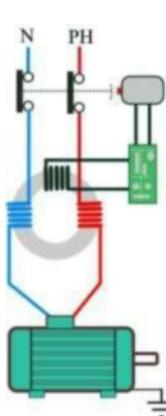
- La protection des circuits contre les surintensités
- La protection des circuits contre les courts circuits
- La protection des personnes contre les contacts indirects (fuites de courant à la terre)

Protection thermique :

À pour rôle de protéger les conducteurs et les récepteurs contre une surintensité, un échauffement prolongé. Des spires sont enroulées sur un bilame qui en cas d'intensité trop élevée chauffe par effet Joule, le bilame en se déformant actionne le déclenchement du disjoncteur.

Protection magnétique :

Le courant électrique traverse une bobine qui en cas de court-circuit crée un champ magnétique qui alimente un électroaimant coupant instantanément le passage du courant.



Protection différentielle :

Notre corps est un conducteur, sa résistance au courant varie en fonction de notre morphologie, du trajet du courant dans notre corps, de l'intensité du courant, de l'humidité...et les conséquences peuvent être dramatiques.

Donc une bonne installation électrique doit être équipée de protections différentielles, car elles assurent la sécurité des personnes contre les défauts d'isolement.

Comment fonctionne un disjoncteur différentiel :

Le dispositif différentiel comporte un tore ferromagnétique sur lequel une bobine pour chaque conducteur est enroulée ainsi qu'une bobine de détection reliée à un électroaimant.

En l'absence de fuite de courant par apport à la terre, le champ magnétique produit par la somme des courants circulant s'annule, rien ne se passe.

À l'apparition d'un défaut sur un conducteur par exemple celui-ci induira un déséquilibre du champ électromagnétique, qui aura pour conséquence de créer une tension sur la bobine de détection, la disjonction sera instantanée.

Différents types de disjoncteur différentiel

Type AC

Le disjoncteur différentiel de type AC est le plus commun car le plus « basique ».

Il ne détecte pas les fuites électriques de courant continu (liées par exemple à la foudre), mais seulement les fuites électriques de courant alternatif. Ce dispositif est donc réservé aux installations courantes tel que l'éclairage, prises électriques de la maison ou encore petits électroménagers - qui ne sont pas sensibles aux coupures intempestives et n'utilisent pas de courant continu.

Cependant la plupart des appareils contenant de l'électronique embarqué, comme les machines à laver, les plaques à induction, les télévisions ou les ordinateurs, ce type de disjoncteur présente donc des limites.

Type A

Le disjoncteur différentiel de type A offre, en plus de la protection type AC, une protection contre les fuites électriques de courant alternatif. Il est recommandé pour les circuits spécifiques et particulièrement pour les installations ayant des appareils électronique et qui transforment le courant alternatif en continu pour fonctionner.

C'est notamment le cas des lave-linges, fours électriques, plaques de cuisson ou bien les cuisinières. Par contre, un disjoncteur différentiel de type A ne sera pas suffisant pour protéger des appareils sensibles aux coupures électriques intempestives (lors d'un orage ou d'un problème sur le réseau électrique) comme un congélateur, un système d'alarme ou les équipements informatiques.

Type Hpi, Hi ou Si

Ces disjoncteurs différentiels, également appelés disjoncteurs différentiels à Haute Immunité, sont exclusivement conçus pour éviter les déclenchements intempestifs et donc protéger les appareils sensibles comme les congélateurs, les systèmes d'alarme ou encore informatiques.

<https://www.youtube.com/watch?v=SsLRyBaStyk>



À l'apparition d'un défaut sur un conducteur par exemple celui-ci induira un déséquilibre du champ électromagnétique, qui aura pour conséquence de créer une tension sur la bobine de détection, la disjonction sera Instantanée.

Le disjoncteur moteur : https://youtu.be/PB_aqBZJgDM

Le disjoncteur différentiel : <https://youtu.be/SsLRyBaStyk>

Contacteurs

Le contacteur est un relais électromagnétique qui permet grâce à des contacts (pôles) de puissance d'assurer le fonctionnement de moteurs, de résistances ou d'autres récepteurs de fortes puissances.

Suivant le modèle, il possède aussi des contacts auxiliaires intégrés ouverts ou fermés, il est possible d'ajouter des additifs ou blocs auxiliaires servant uniquement pour la télécommande ou la signalisation.

Constitution d'un contacteur

- Une Bobine.
- Un ressort de rappel.
- De 2 à 4 contacts de puissance ou pôles (unipolaires, bipolaires, tripolaires, tétrapolaires).
- Un circuit magnétique constitué d'un aimant fixe et d'un aimant mobile (armature fixe et mobile).
- Une bague de déphasage qui stabilise les vibrations des bobines alimentées en courant alternatif.
- Des contacts auxiliaires ouverts ou fermés.

Fonctionnement d'un contacteur

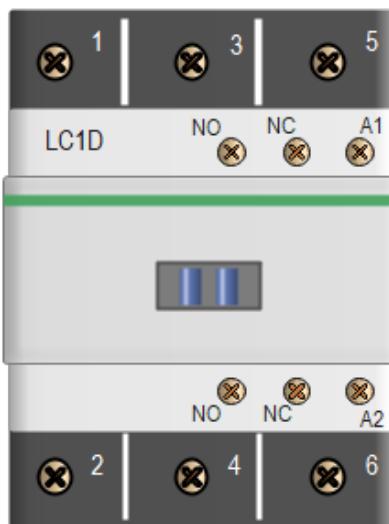
La bobine du contacteur (bornes A1-A2), peut-être alimentée en courant alternatif ou en courant continu (24V, 48V, 110V, 230V, 400 V).

Lorsque la bobine est alimentée, un champ magnétique se forme, la partie mobile de l'armature est attirée contre la partie fixe et les contacts se ferment (ou s'ouvrent suivant le modèle).

Lorsque la bobine n'est pas alimentée, le ressort de rappel sépare les deux parties de l'armature et maintient les contacts de puissance ouverts (ou fermés).

Principaux critères de choix d'un contacteur

- La tension de commande de la bobine du contacteur.
- La tension d'alimentation du récepteur.
- Nombre de contacts de puissances(1,2,3,4).
- La puissance consommée par le récepteur.
- Pouvoir de coupe, courant maximal que le contacteur peut supporter.



Le contacteur : <https://youtu.be/6helnYoVocE>

Relais statique principe et fonctionnement

Un relais statique est un dispositif de puissance permettant de commuter des récepteurs monophasés ou triphasés tel que des résistances électriques, des moteurs, des compresseurs frigorifiques. Il est utilisé pour les mêmes applications qu'un relais ou contacteur électromécanique.

Par contre un relais statique comme son nom l'indique n'a pas de pièces en mouvement pour établir une commutation, c'est un assemblage de composants électroniques (triac, thyristor) qui ont ce rôle.

Les avantages de cette technologie :

- Durée de vie importante, pas de pièces mécaniques en mouvement
- Pas d'arc électrique ou d'amorçage.
- Pas de parasite ou de perturbation électromagnétique
- Commande directe via sortie automate (ex : 0 à 10V)
- Rapidité et fréquence de commutation
- Silencieux, résistants aux chocs et aux vibrations
- Fabrication antidéflagrante

Les inconvénients :

- Génère de la chaleur, dissipateur thermique obligatoire
- Utilisable jusqu'à 100 A maximum

Plusieurs types de relais existent :

- Tout ou rien (TOR), pour moteurs ou résistances
- Triac, pour varier le courant des récepteurs
- Démarreur

Composition d'un relais statique

Comme il existe un grand nombre de types et de technologies de relais statique, la description du fonctionnement ci-dessous est la plus commune.

Deux grandes parties distinctes le composent, la commande et le circuit de puissance.

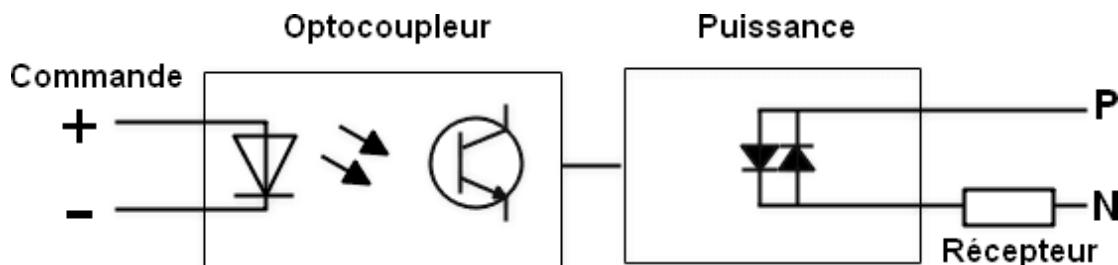
Pour la commande on utilise un optocoupleur qui est le même rôle que la bobine d'un contacteur traditionnel, elle donne l'ordre de commutation.

Un optocoupleur possède un émetteur et un récepteur de type optique, c'est en fait une LED infrarouge (émetteur) qui de manière optique ou photosensible établit une liaison avec un phototransistor (récepteur) qui ferme alors le circuit de puissance. Généralement la tension de commande est comprise entre 4 à 30 Volts DC.

Pour la partie circuit de puissance, les composants électroniques utilisés sont des thyristors montés tête-bêche (fonctionnement TOR) pour permettre le passage des deux alternances du courant alternatif.

Quant à eux les relais statiques de type triac (gradateur) utilisent de semi-conducteurs capables d'assurer la commutation des deux alternances.

Certains d'entre-eux disposent de protections thermiques internes.



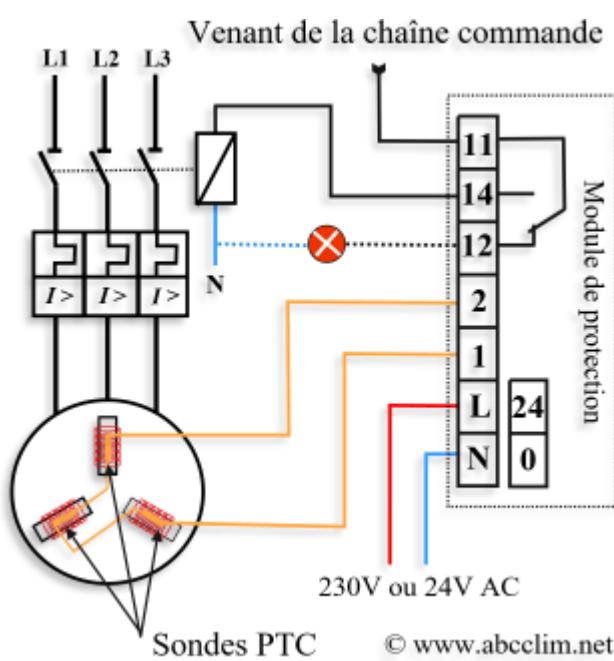
Relais de surchauffe à thermistances

Le relais de surchauffe nommé aussi un peu improprement par les frigoristes relais Kriwan du nom du fabricant historique protège les enroulements contre toute surchauffe destructrice.

En effet les compresseurs semi-hermétique ou hermétique sont refroidis par les gaz aspirés venant de l'évaporateur, si par hasard leurs températures augmentent trop fortement, la température des enroulements immanquablement augmentera aussi, ce qui à terme si les enroulements n'ont pas de protection thermique interne peut causer de graves désordres.

Le relais de surchauffe est le complément idéal des autres protections comme le disjoncteur, le disjoncteur moteur, la thermique, qui chacun dans leurs registres protègent les compresseurs frigorifiques.

Constitution d'un relais de surchauffe



Le système de détection de la température des enroulements est possible grâce à des thermistances ou sondes situées au cœur des enroulements du moteur électrique.

En général une résistance est comprise dans chaque enroulement et elles sont raccordées électriquement entre-elle en série. Ces résistances sont de type à coefficient de température positif ou PTC, leurs résistances varient en fonction de la température du bobinage, leur valeur ohmique croît lorsque la température augmente. Les dimensions des sondes PTC sont particulièrement adaptées et elles permettent une réponse rapide ainsi qu'une protection efficace.

Elles sont raccordées au système de détection électronique intégré dans le boîtier de raccordement du compresseur. En cas de surchauffe un relais inverseur raccordé en série dans la chaîne de télécommande arrête le compresseur et permet aussi de signaler le défaut.

Suivant le modèle le réarmement du boîtier est possible soit :

1. Grâce à un bouton-poussoir raccordé sur le boîtier de détection.
2. En coupant l'alimentation du boîtier.
3. Par temporisation

Par exemple : Avec une thermistance PTC, ayant une température de coupure 100°C, le réenclenchement ce situera à l'alentour de 90°C.

Test rapide du relais de surchauffe :

Débrancher les fils des sondes (thermistances), le contacteur du compresseur doit être désalimenté et s'il y a un voyant celui-ci doit s'allumer.

Les protections multifonctions

Les fabricants commercialisent depuis déjà quelque temps des systèmes évolués de surveillance des compresseurs frigorifiques. Ce sont des produits tout en un qui cumulent un certain nombre de fonctions :

- Protection surchauffe moteur
- Historique des alarmes
- Protection basse tension
- État de fonctionnement du compresseur
- Protection pression d'huile
- Contrôle résistance de carter
- Protection température de refoulement
- Protection rotor bloqué
- Protection phase manquante
- Mesure de la consommation de courant
- Protection déséquilibre de tension
- Indication par LED des pannes
- Communication Modbus

Les moteurs électriques

Un aimant possède un pôle Nord et un pôle Sud. Les pôles de même nature se repoussent, ceux de natures différentes s'attirent.

On peut fabriquer artificiellement un aimant en enroulant un fil électrique autour d'un noyau métallique pour créer un champ magnétique il suffira d'alimenter cette bobine. Pour inverser la polarité de l'électroaimant, il faudra changer le sens du courant. Pour le courant alternatif distribué en Europe le sens du courant s'inverse tous les centièmes de seconde (fréquence 50 Hertz) .

C'est ce principe qui est largement utilisé pour la conception des moteurs électriques.

Moteur à courant continu :

Le stator peut être constitué soit d'un aimant permanent ou d'un électroaimant, le rotor est constitué d'un électroaimant alimenté par une source continue.

Cet électroaimant étant en mouvement l'alimentation se fait par l'intermédiaire de contacts glissants (balai et un collecteur).

Pour changer de sens, il suffit d'inverser les polarités.

Moteur pas-à-pas :

Ce type de moteur est très employé en climatisation et en froid commercial dans la conception de détendeur électronique.

Le déplacement du rotor se fait par alimentation successive des électroaimants chaque impulsion correspond à un pas ce qui permet une multitude de positions suivant les conceptions.

Le moteur synchrone triphasé :

le stator est constitué de trois électroaimants alimentés par une source triphasée.

Le rotor se compose soit d'aimants permanents soit d'électroaimants (bobinage) alimentés par une source continue.

Sur ce type de moteur, le rotor tournera à la même vitesse que le champ tournant créé par les électroaimants.

Moteur asynchrone triphasé:

Comme le moteur synchrone, le stator est constitué de trois électroaimants alimentés par une source triphasée.

Le rotor est constitué d'un bobinage rotorique ou d'une cage d'écureuil (barres conductrices réunies de chaque côté par des flasques).

Dans les moteurs asynchrones, la vitesse de la rotation du champ magnétique du stator et toujours supérieure à la vitesse induite au niveau du rotor.

Le moteur asynchrone triphasé est largement utilisé en climatisation du fait essentiellement de sa fiabilité, de sa robustesse, du peu d'entretien qu'il demande et de son prix.

Il est constitué d'une partie fixe le stator, logé dans une carcasse en acier trois enroulements ou bobinage sont raccordés à une plaque à borne permettant le branchement sur le réseau, et d'une partie mobile le rotor qui est soit à cage d'écureuil ou de type rotor bobiné.

Rotor bobiné:

Des tôles sont munies d'encoches où sont placés des conducteurs formant des bobinages qui ne sont pas alimentés.

Rotor Cage d'écureuil:

Il est constitué de barres conductrices très souvent en aluminium. Les extrémités de ces barres sont reliées par deux flasques également conductrices.

Ce montage offre très peu de résistance

Principe de fonctionnement :

Ce qui permet au rotor de tourner c'est le principe des champs magnétiques tournant produit par des tensions alternatives. Trois enroulements sont disposés dans le stator à 120° les uns des autres, une fois alimentés trois champs magnétiques indépendants sont créés. Ces champs magnétiques sont déphasés dans le temps de par la nature même du courant triphasé la vitesse du champ magnétique sera toujours supérieure à celle du rotor, les deux vitesses ne peuvent être synchrones d'où le nom de moteur asynchrone.

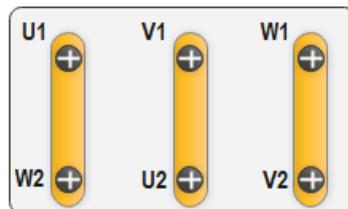
La vitesse d'un moteur en tours par secondes dépend de la fréquence du réseau qui alimente le stator en Hz (50Hz pour l'Europe) et du nombre de pôle du moteur, donc pour faire varier la vitesse d'un moteur il suffit de modifier la fréquence ou le nombre de pôle.

Câblage d'un moteur triphasé : <https://youtu.be/CTJ4n6QsbBw>

Couplage des moteurs

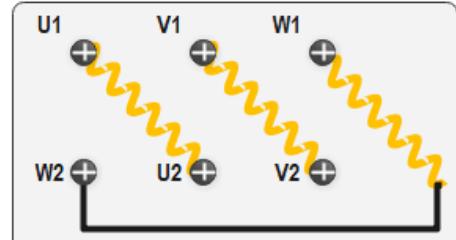


Etoile

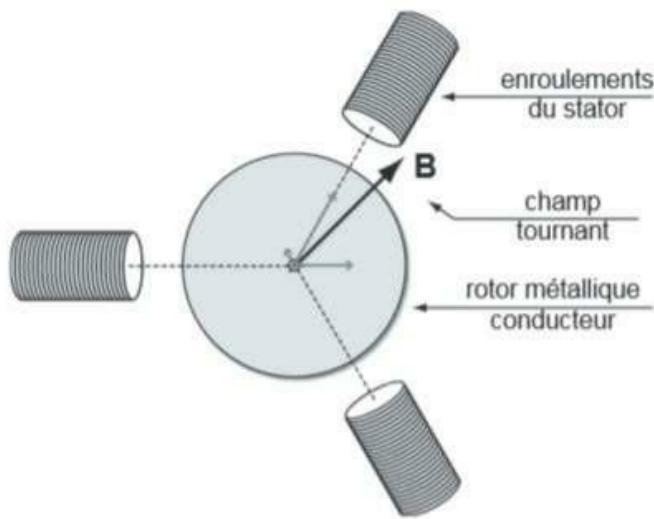


Triangle

Repérage enroulements



Ci-dessous les trois enroulements disposés dans le stator à 120 ° les uns des autres, une fois alimentés trois champs magnétiques indépendants sont créés.



Couplage moteur et tension d'alimentation :

Tension alimentation	Moteur 220/400 V	Moteur 400/660 V
240V	Couplage Triangle	
400V	Couplage Étoile	Couplage Triangle

Caractéristiques des moteurs asynchrones triphasés

La vitesse de synchronisme.

La vitesse de synchronisme est directement conditionnée par la fréquence du courant (en France 50 Hz) et le nombre de paires de pôle du moteur. Elle correspond à la vitesse de rotation du champ tournant créé par les enroulements.

$$N_s = 60 f/p$$

N_s: vitesse de synchronisme en tr/min

f: fréquence en Hz,

p: nombre de paires de pôles.

Le glissement.

C'est la différence entre la vitesse du champ magnétique et la vitesse angulaire du moteur c'est-à-dire à la vitesse réelle du moteur.

Ce glissement généralement est de l'ordre de 2 à 5 % de façon générale, rarement plus.

Vitesse réelle.

C'est la vitesse que l'on peut mesurer directement en bout d'arbre avec un tachymètre. Cette vitesse est toujours inférieure à la vitesse (2 à 5 %) de synchronisme d'où le nom de moteur asynchrone.

Donc la vitesse réelle d'un moteur asynchrone est égale à la vitesse de synchronisme moins le glissement.

Le cosinus phi (ϕ)

C'est un facteur de puissance qui représente la valeur de l'angle du déphasage (décalage temporel) entre la tension (U) et l'intensité (I) du courant alternatif.

Un moteur soumis à un courant alternatif consomme deux types d'énergie, l'énergie active qui utilisable sous forme de travail (moteur) ou de chaleur (résistance, effet Joule) et une énergie réactive qui sert à créer un champ magnétique dans un bobinage. La somme de ces deux énergies c'est l'énergie apparente.

Le cosinus ϕ est égal au rapport de la puissance active (P) sur la puissance apparente (S).

Donc un récepteur avec un facteur de puissance (cosinus phi) égale à 1 ne consommera aucune énergie réactive à contrario ce même récepteur avec un cosinus ϕ inférieur à 1 conduira à une consommation d'énergie réactive.

Pour un moteur électrique on aura concrètement pour un cosinus ϕ élevé (maximum 1) une intensité mesurée faible à l'inverse plus le cosinus ϕ sera faible plus l'intensité sera élevée.

Le cos ϕ moyen pour un moteur se situe en général au alentour de 0,8.

Puissance absorbée

la puissance absorbée est le résultat de la puissance électrique transformée en puissance mécanique.

La puissance absorbée par un appareil électrique est égale au produit de la tension par l'intensité du courant qu'il absorbe, pour un moteur électrique triphasé la puissante absorbée s'exprime ainsi :

$$P_a = U \cdot I \cdot v_3 \cdot \cos \phi \text{ (puissance électrique en W)}$$

U = Tension efficace entre deux phases, I = Intensité , v₃ = 1.732, cos ϕ = 0,8

Puissance utile et rendement

C'est la puissance directement utilisable en bout d'arbre, représente la puissance absorbée moins les diverses pertes par frottement, effet joules etc..

Le rendement c'est le rapport entre la puissance utile et la puissance absorbée.

$$\text{Rendement} = (\text{puissance utile}) / (\text{puissance absorbée})$$

Moteurs EC, commutation électronique

Les moteurs électriques EC ou moteurs à commutation électronique sont de plus en plus employés en froid, climatisation et en ventilation. Cette technologie présente de nombreux avantages, rendement élevé, fonctionnement souple et économique grâce à une gestion aisée de la vitesse de rotation du moteur.

Technologie à commutation électronique

Cette technologie permet grâce à des composants électroniques de faire fonctionner un moteur à courant continu de type brushless(sans charbon et balai) à partir d'une source de courant alternatif.

Les moteurs à commutation électronique sont des moteurs synchrones c'est-à-dire qu'il tourne à la même vitesse que le champ magnétique, le rotor est constitué d'aimants permanents (pôles magnétiques, terre rares) et le stator est composé d'enroulements pilotés par un microcontrôleur.

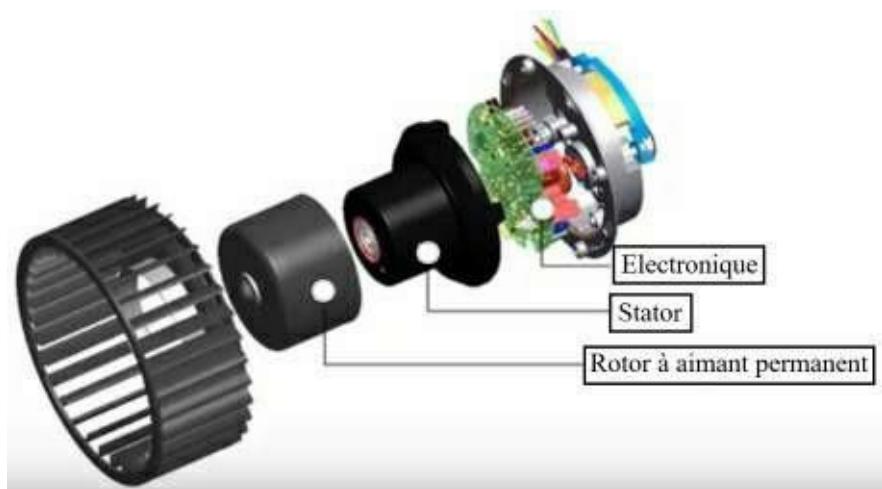
Les bobines composant le stator sont alimentées de façon séquentielle par l'électronique, les aimants scindés en deux parties nord et sud se déplace à chaque fois dans le sens du champ crée alternativement. La tension d'alimentation et la fréquence de commutation des bobines doivent être adaptées continuellement par la commande électronique pour que le champ reste en avance sur la position du rotor, plus les séquences sont rapprochées plus le moteur tournera rapidement et inversement.

Les moteurs EC sont employés pour les ventilateurs de condenseur, d'évaporateur, d'extracteur car le couple de ces moteurs sont assez faible est si la charge s'avère supérieur au couple, il aura risque de décrochage du rotor. En outre ce type de moteur nécessite pour atteindre la vitesse de synchronisme que l'électronique démarre le moteur progressivement.

Les ventilateurs de type EC sont faciles à contrôler, avec une tension 0-10VDC ou un signal PWM (signal numérique à tension appliquée par courtes impulsions).

Réduction des coûts de fonctionnement

Fonctionnant souvent à vitesse régulée adaptant la vitesse du moteur aux besoins, ces moteurs sont viables économiquement, ils permettent des économies de fonctionnement allant jusqu'à 40 % par rapport aux moteurs standard de type asynchrone. Les moteurs EC sont conformes à la nouvelle directive européenne d'éco-construction.



Moteur pas à pas, aimant permanent

Le moteur pas à pas est un actionneur électrique qui transforme une impulsion ou commutation électrique en mouvement angulaire ou plus simplement convertit cette impulsion en mouvement formant un angle par rapport à un axe. Il a été inventé par ingénieur français Marius Lavet en 1936, très utilisé en mécanique de précision, en horlogerie, mais depuis quelques années il connaît un essor important comme organe de détente ou détendeur dans les installations frigorifiques. La précision, la finesse de réglage que permet ce type de moteur (pas à pas aimant permanent) est particulièrement utile en froid et climatisation, en effet le rôle d'un détendeur est d'alimenter un évaporateur en fluide frigorigène en fonction de la demande, plus l'organe de détente est précis meilleur est le rendement frigorifique.

Plusieurs technologies de moteur pas à pas existent :

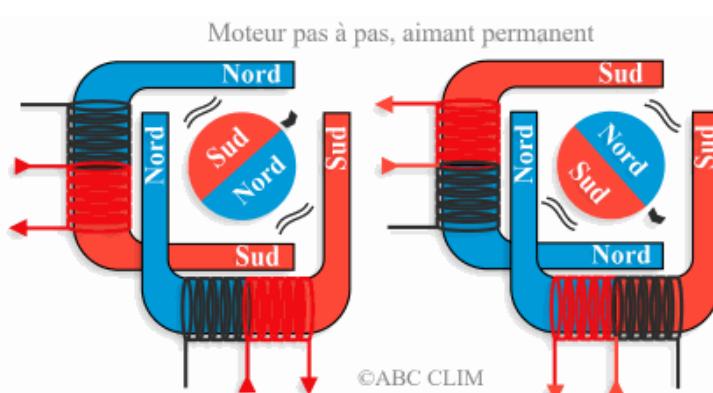
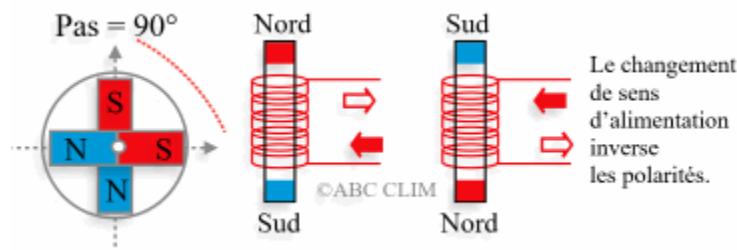
- A réductance variable (moteur pas à pas le plus ancien)
- A aimant permanent (technologie des détendeurs électroniques)
- Hybrides (très précis, complexe et cher)

Les principales qualités du moteur pas à pas à aimant permanent sont robustesse, précision, fiabilité, coût raisonnable, fabrication peu complexe.

Petit retour sur les aimants !

Pour comprendre le fonctionnement du moteur pas à pas, il nous faut revenir sur les aimants et leurs propriétés. Le principe de base des aimants utilise la notion de pôle magnétique nommé nord et sud.

De façon naturelle le pôle nord d'un aimant et le pôle sud d'un autre aimant s'attirent alors que deux pôles magnétiques identiques se repoussent.



Principe de base du moteur pas à pas

Comme tous les moteurs il est constitué d'un rotor (partie mobile) et d'un stator (partie fixe). Le rotor est constitué par un aimant permanent de forme cylindrique à base de ferrite, de terre rare, Néodyme, Cobalt, celui-ci possède un pôle sud et un pôle nord. Le stator lui est constitué de bobines ou enroulements diamétralement opposés qui créent une fois alimenté un champ magnétique (électroaimant) nécessaire au déplacement du rotor. L'aimant permanent suit le déplacement du champ magnétique (impulsions) créé par les bobines qui sont successivement

alimentées. Le rotor s'oriente et se positionne en direction du pôle opposé (nord, sud) créé par le champ magnétique, en inversant les sens des courants dans un enroulement, on inverse les pôles et le rotor tourne en sens inverse.

Chaque impulsion on obtient un déplacement de 1 pas, suivant la technologie du moteur pas à pas, un tour complet correspond à un certain nombre de pas (mouvement angulaire). On parle souvent de pas entier (un pas = 90°), de demi-pas (un pas = 45°) ou encore de micropas.

Exemple de moteur à micropas :

- 1,8°, soit 200 pas par tour (200 divisé par 360°-tour complet- on obtient un angle de pas de 1,8 °) 3,6°, soit 100 pas par tour
- La vitesse de rotation du moteur est proportionnelle à la fréquence des impulsions, donc si la fréquence des impulsions augmente, le mouvement pas à pas se transforme en un mouvement de rotation continue.

Deux types de moteur pas à pas à aimant permanent existent :

Le moteur bipolaire :

Chaque enroulement est séparé et il est alimenté de façon séquentielle soit en pôle positif ou négatif (bipolaire).

Le moteur unipolaire :

Les enroulements sont raccordés avec un commun ou point milieu et ils sont alimentés avec des impulsions de même polarité.

Le condensateur

Un condensateur est constitué de deux plaques conductrices constituant l'armature ces plaques sont séparées par un isolant (papier, alumine, plastique, etc), quand condensateur est soumis à un courant électrique il accumule l'énergie électrique jusqu'à la limite de sa capacité pour ensuite ce décharger de cette énergie.

Pour démarrer un moteur monophasé à phase auxiliaire (ventilateur, moteur compresseur), il est nécessaire de créer une seconde phase. On utilise principalement un condensateur branché en série avec la phase auxiliaire de sorte à obtenir le déphasage et donc le couple de démarrage désiré rappelons que le couple de démarrage du moteur doit obligatoirement être supérieur au couple résistant de la machine entraînée.

Notons que si le condensateur est mal dimensionné (trop petit ou trop gros), le déphasage obtenu risque de ne plus permettre le démarrage du moteur.

Les condensateurs de marche (au papier) ont une faible capacité et des dimensions importantes. Ils sont conçus pour rester sous tension en permanence sans aucun échauffement excessif.

Les condensateurs de démarrage (électrolytiques) possèdent au contraire une importante capacité (pouvant dépasser 100 μF) bien qu'ils aient des dimensions plutôt faibles. Ils ne doivent absolument pas rester sous tension sinon ils s'échauffent très rapidement.

Les dimensions du condensateur dépendent de capacité (plus la capacité est importante et plus le condensateur est gros).

Cette capacité est indiquée en microfarad (μF) avec la tolérance de fabrication, par exemple $15 \mu\text{F} \pm 10\%$

Dans nos métiers on rencontre souvent les condensateurs, permanents ou de démarriages, pour les compresseurs et les ventilateurs monophasés et il est important de savoir les vérifier.

Un contrôle visuel peut déjà donner une indication sur la bonne santé du condensateur, il ne doit pas être gonflé ni sur le dessus ni sur le côté.

Principales caractéristiques d'un condensateur:

La capacité :

Elle représente la quantité d'énergie stockée dans le condensateur. Plus la capacité sera grande, plus le condensateur pourra s'opposer aux variations de tension à ses bornes.

L'unité de mesure de la capacité est le Farad, noté F.

La tension :

Elle s'exprime en volts. Elle correspond à la tension nominale, c'est à dire la tension que peut supporter le condensateur en permanence. Une tension d'utilisation supérieure à celle indiquée peut endommager irrémédiablement le composant.

La tolérance :

Elle correspond aux écarts de valeur sur la capacité du condensateur. Les condensateurs les plus courants affichent une tolérance de 5 à 20 %.

Courant de fuite :

Un condensateur chargé, laissé longtemps déconnecté finit par se décharger, c'est comme s'il y avait une résistance de très forte valeur entre les deux bornes du condensateur.

La température :

La température de fonctionnement peut avoir plusieurs incidences sur son fonctionnement, notamment sur sa capacité et sur sa durée de vie.

Comment vérifier un condensateur voir cette [page](#).

Démarrage des compresseurs monophasés

Les moteurs des compresseurs frigorifiques de petite puissance (type de monophasé) qui sont installés notamment dans les réfrigérateurs et les meubles réfrigérés positifs ou négatifs ont plusieurs modes de démarrage suivant la puissance du compresseur et le couple de démarriages.

Ils sont constitués de 2 enroulements:

1. L'enroulement Principal, enroulement peu résistant, plus gros pour supporter l'intensité nominale.
2. L'enroulement de démarrage constitué d'un fil plus fin et plus résistant.

Démarrage par CTP:

C'est le mode de démarrage plus simple, car on intercale simplement une thermistance (semi-conducteur) entre l'enroulement principal et l'enroulement de démarrage.

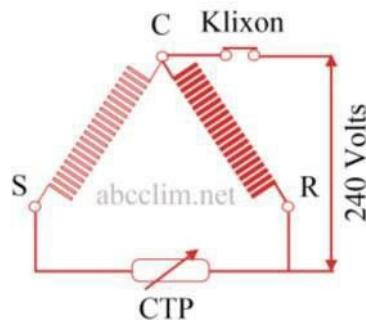
Cette thermistance dite CTP (Coefficient Température Positive) à la particularité d'augmenter sa résistance en fonction de l'augmentation de sa température.

Dès que l'on alimente le compresseur, l'enroulement principal est sous-tension, la résistance de la thermistance CTP étant à ce moment pratiquement nul l'enroulement de démarrage est lui aussi sous tension, le moteur peut ainsi démarrer.

Après une à deux secondes, l'intensité qui traverse la CTP augmente et de fait sa température et sa résistance, celle-ci devient suffisamment importante pour ne plus alimenter l'enroulement de démarrage.

La faible intensité qui continue à traverser la thermistance CTP pendant le fonctionnement permet de maintenir une température et une résistance suffisante pour garder hors service l'enroulement de démarrage.

Compte tenu du fait que le couple de ce type de démarrage il n'est utilisable que pour les installations avec détendeur à capillaire (égalisation rapide HP et BP).

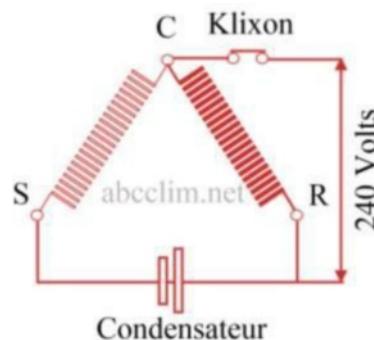


Démarrage PSC:

Plutôt utilisé dans les petites installations frigorifiques dotées de compresseur à faible couple de démarriages et avec détendeur à capillaire.

Le montage ressemble au montage par CTP du moins ce qui concerne le type de câblage.

À la mise sous tension, le condensateur en série avec l'enroulement de démarrage permet d'améliorer le couple en créant un déphasage suffisant pour permettre au compresseur de démarrer, en régime normal l'enroulement de démarrage reste sous tension en limitant l'intensité dans le condensateur.

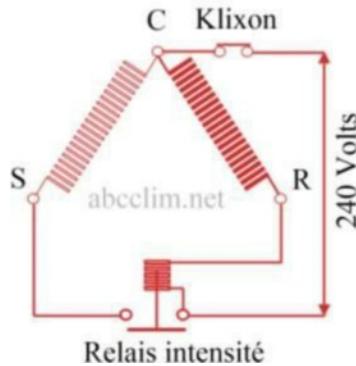


Démarrage RSIR:

Ici on utilise soit un relais d'intensité, soit un relais de tension pour permettre un couple suffisant afin de faire démarrer le compresseur.

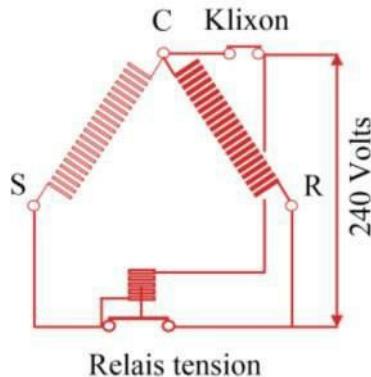
Relais d'intensité:

Lors de la mise sous tension de l'enroulement principal, l'intensité est suffisamment importante pour que la bobine du relais d'intensité attire son contact, le moteur peut ainsi démarrer, lorsqu'elle intensité absorbée en marche normale devient insuffisante pour maintenir le contact celui-ci s'ouvre et l'enroulement démarrage est désactivé.



Relais de tension:

À l'arrêt le contact du relais de tension est fermé, à la mise sous tension enroulement principal et l'enroulement de démarrage sont alimentés, le moteur démarre, le moteur prenant de la vitesse, la tension aux bornes de l'enroulement de démarrage augmente, la vitesse nominale de rotation étant atteinte la tension est suffisante pour provoquer l'ouverture du contact et ainsi couper l'alimentation de l'enroulement de démarrage.



Démarrage CSIR:

Le montage est identique au démarrage RSIR, seul un condensateur est monté en série avec l'enroulement de démarrage afin d'améliorer le couple, montage plutôt utilisé avec un détendeur thermostatique (couple important).

Variateur de fréquence

Dans les installations de réfrigération et de climatisation près des trois quarts de la consommation électrique est générée par les moteurs.

En ventilation à charge partielle par exemple en zone morte quand le volume d'air peut être réduit il est plus rentable de réduire la vitesse des moteurs pour l'adapter aux besoins.

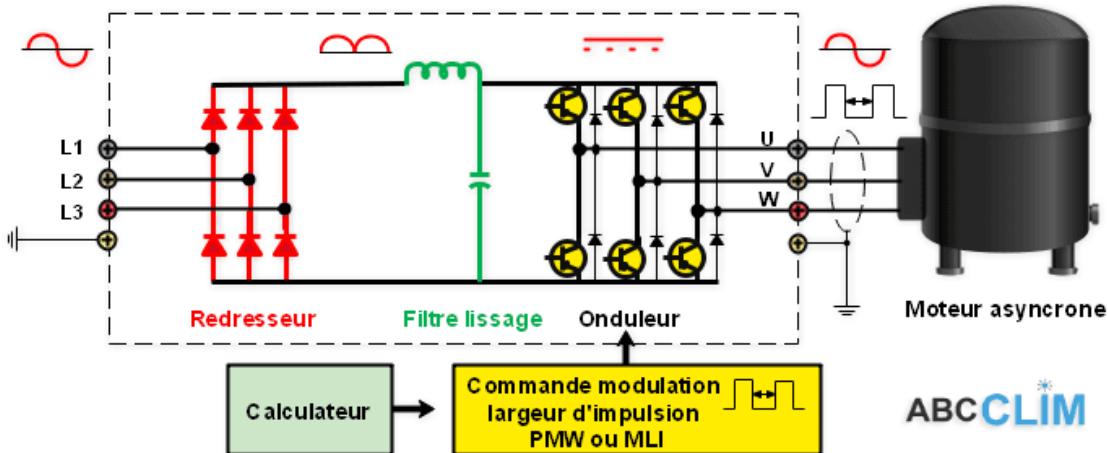
Depuis quelques années compte tenu des progrès réalisés au niveau de la fiabilité et du coût de l'électronique de puissance, la régulation de vitesse par réduction de fréquence s'impose comme un bon moyen de faire des économies d'énergie tout en restant une solution technique viable.

Les moteurs asynchrones utilisés dans nos métiers sont particulièrement adaptés à ce type de variations de vitesse.

Fonctionnement du variateur de fréquence.

La vitesse du champ magnétique et donc la vitesse de rotation d'un moteur asynchrone dépend directement de la fréquence de la tension d'alimentation c'est sur ce paramètre que le variateur va agir. Le principe général étant de fournir un courant à amplitude et à fréquence variable tout en maintenant une tension constante.

Un variateur de fréquence est constitué de quatre parties, le redresseur, le circuit intermédiaire (filtre), l'onduleur et le circuit de commande.



Le redresseur :

Le rôle du redresseur est de transformer la tension alternative en tension continue ou plus exactement en tension pseudo continue. En effet la tension continue obtenue n'est pas parfaite car elle comporte des ondulations positives résiduelles. Le redresseur est formé de diodes semi-conductrices. Ce composant électronique fonctionne comme à un clapet anti-retour n'autorisant le passage du courant que dans un sens. C'est cette fonction qui permet la modification de la nature du courant.

Circuit intermédiaire :

Le circuit intermédiaire remplit généralement plusieurs fonctions, il sert de stockage d'énergie (grâce à des condensateurs), il réduit les ondulations résiduelles et filtre les parasites.

L'onduleur :

Les semis-conducteurs composant l'onduleur permettent de recréer un courant alternatif (triphasé) à fréquence ou ondulation variable. C'est l'amplitude des variations des sinusoides qui détermine la fréquence du courant appliquée au moteur. Un calculateur commande la largeur des impulsions du courant en actionnant des transistors IGBT, qui se comportent comme des interrupteurs qui se commutent plus ou moins rapidement en fonction de la fréquence en Hertz donc de la vitesse demandée.

Circuit de commande :

C'est le cerveau du variateur de fréquence, il récolte les données et délivre les messages d'erreurs, il pilote le redresseur et l'onduleur, il protège le moteur et l'ensemble du variateur.

Suivant sa technologie le variateur dispose de multiples fonctions de commande et de surveillance.

Problèmes liés au variateur de fréquence:

Les variateurs de fréquence génèrent des courants parasites, les harmoniques. Les effets de ces courants sont préjudiciables, échauffement, vibrations, fatigue mécanique.

Les composants électroniques de puissance des variateurs (hautes fréquences) peuvent créer des interférences sur l'électronique raccordée sur le même réseau électrique, des filtres RFI sont prévus pour réduire ces effets, suivant les constructeurs ces filtres peuvent être de plus ou moins bonne qualité.

Changement d'un variateur de fréquence : <https://youtu.be/zRT1QO5b1IQ>

Hachage de phase, variation de vitesse

Pour contrôler la pression de condensation des machines frigorifiques à condensation par air la méthode la plus simple est de réguler le débit d'air.

En cela le variateur de vitesse est la solution la mieux adapté tant au point de vue économique qu'au niveau performance. Deux technologies existent, le variateur de fréquence et le variateur à hachage de phase. Le variateur de fréquence étend le plus abouti mais aussi le plus onéreux et le variateur par hachage de phase, plus simple d'utilisation, moins chère, mieux adapté aux moteurs de petite puissance monophasés ou triphasés.

Qu'entend-on par hachage de phase ?

Ici la technique consiste à découper chaque alternance du courant alternatif en secteurs de telle manière à appliquer au moteur qu'une certaine partie de la tension disponible. A contrario des variateurs de fréquence qui joue sur la fréquence des alternances ici on joue directement sur la tension du courant.

Cette technologie s'applique bien entendue aux moteurs dont le couple résistant est assez faible. Les moteurs utilisés doivent être d'une classe d'isolation thermique de type F autorisant des échauffements relativement importants notamment à faible vitesse (la tension diminue, l'intensité augmente).

Technologie des variateurs.

Types de variateurs de vitesse utilisés pour les moteurs monophasés ou triphasés, ils sont constitués d'une carte électronique avec deux thyristors montés tête-bêche qui permettent la découpe de l'alternance sinusoïdale et d'un capteur, soit thermostatique (thermistances), soit pressostatique (transducteur HP).

Les transducteurs des versions pressostatiques sont des capteurs actifs qui délivrent une tension de commande à la carte électronique d'autant plus grande que la pression de condensation augmente. Pour les versions thermostatiques ici le capteur est de type passif (thermistance en contact avec le tube).

Ils délivrent aux moteurs une tension variant de 30 à 96 % de la tension nominale (4% perte par échauffement), plage de réglage jusqu'à 42 Bars.

Ils offrent un certain nombre de réglages possibles :

- Point de consigne
- Vitesse maximum : tension maximum délivrée au moteur
- Vitesse minimum : tension minimum délivrée au moteur
- Mode arrêt : mise en arrêt du moteur à la pression minimum de réglage
- Bande proportionnelle : écart entre la tension minimum et maximum
- Hystérésis : Réglage de la tension minimum au démarrage du moteur



Les transducteurs de pression

Le terme de transducteur est par définition un dispositif qui transforme une forme d'énergie en un signal électrique. Un transducteur de pression est donc un appareil qui mesure à l'aide d'un élément sensible une pression pour la convertir en un signal exploitable. Ce signal électrique varie proportionnellement à la pression. Le signal en sortie du transducteur est soit un courant de 4-20 mA soit une tension 0/10 V.

Les transducteurs de pression sont utilisés pour mesurer les pressions absolues, relatives, différentielles.

Pour la petite histoire, la piézoélectricité notamment du quartz fut découverte par les frères Pierre et Jacques Curie en 1880. Mais c'est à partir des années 1930, que les premiers transducteurs furent inventés, il a fallu attendre la fin des années 60 pour voir cette technologie se développer. Plus tard les capteurs piézoélectriques et les gauges de contrainte apparurent et sont aujourd'hui devenus incontournables. Même si un grand nombre de technologies et de conceptions existe pour mesurer des variations de pression dans les gaz et les fluides.

Deux principes physiques sont généralement utilisés dans les transducteurs de pression parfois les deux technologies sont utilisées dans un même transducteur.

Principe piézoélectrique

Les matériaux piézoélectriques ont le pouvoir de transformer une énergie électrique en énergie mécanique, ou vibratoire technologie employée dans le haut-parleur ou le microphone (tension = énergie mécanique).

Mais cette propriété est réversible c'est-à-dire qu'un matériau piézoélectrique soumis à une pression peut se polariser électriquement et générer un courant électrique de faible amplitude (pression = force = tension).

C'est cette propriété qui est utilisée dans les transducteurs de pression utilisés en froid et climatisation.

L'exemple le plus simple c'est l'allume-gaz piézoélectrique, une pression exercée sur un élément piézoélectrique produit un courant sous forme d'étincelles.

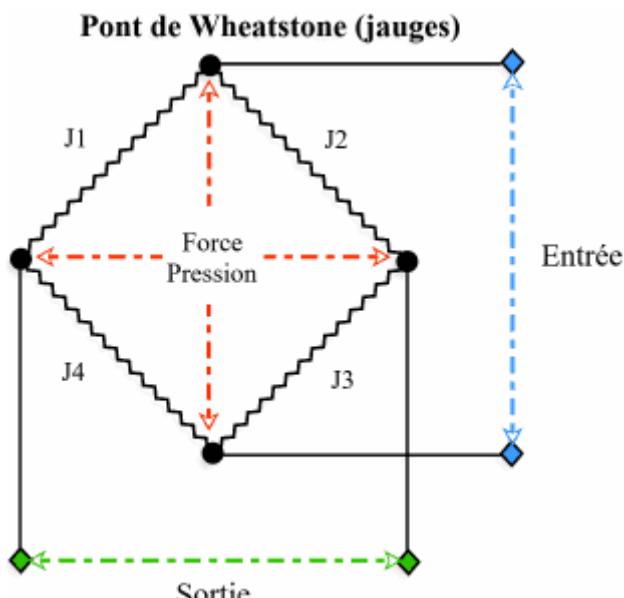
Quelques matériaux piézoélectriques :

- Quartz
- Topaze
- Céramiques
- Polymères
- Composites

Technologie des jauge de contrainte

Ici on utilise un principe simple des métaux conducteurs, un étirement ou une compression d'un filament de métal modifie non seulement son épaisseur et sa longueur mais aussi sa résistance au passage du courant. Ces diverses variations mécaniques sont transformées en variations de résistance électrique qui peuvent être exploitées pour des mesures. Les transducteurs emploient généralement quatre éléments (bande de métal, fils) collés à des diaphragmes en silicium ou en céramique, connectés électriquement pour former un circuit en pont de Wheatstone. Ce montage confère aux transducteurs la précision nécessaire face aux changements parfois très faibles de variations de résistances du métal.

D'ailleurs on utilise souvent le raccordement en pont de Wheatstone pour la compensation de température (moyenne des mesures) dans des locaux de grandes surfaces (4 sondes d'ambiance).



Le transformateur monophasé

Les transformateurs sont des convertisseurs d'énergie électrique, ils permettent d'adapter un courant électrique en fonction de l'utilisation.

Notons qu'un transformateur modifie suivant le cas, la tension (Volt) et l'intensité (Ampère) d'un courant électrique sans toutefois en changer la fréquence (50 Hz en France).

Les transformateurs sont partout autour de nous, qu'ils soient de très grosses puissances comme ceux utilisés dans le réseau de distribution électrique ou de très petites comme les transformateurs monophasés des appareils que l'on utilise tous les jours, chargeur pour ordinateur ou téléphone portable, rasoir électrique, etc.

Pour la petite histoire il faut savoir que de 1830 à 1885 plusieurs physiciens, scientifiques, ingénieurs ont expérimenté et étudiés les divers phénomènes autour des transformateurs, citons Michael Faraday, Joseph Henry (auto-induction), Nicholas Joseph Callan qui inventa en 1837, le premier transformateur. Il faudra attendre la fin des années 1880 pour voir le premier transformateur commercialisé dans le monde entier.

Utilisation des transformateurs électriques.

On utilise les transformateurs pour :

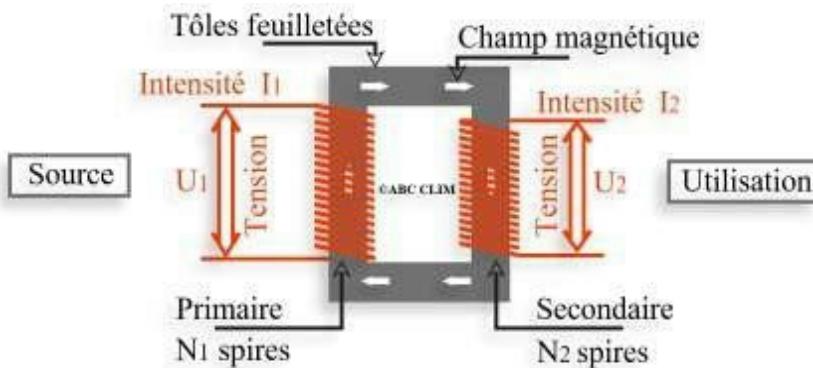
- Convertir une tension alternative (ex : 240V) en une autre tension alternative plus faible (ex : 24V).
- Convertir une tension alternative (ex : 400V) en une autre tension (48 V) de type continue (transfo + pont diodes).
- Transformer une certaine tension alternative en une autre tension alternative plus élevée.
- Séparer deux circuits électriques pour des raisons de sécurité.

En froid et climatisation on utilise comme de partout divers types de transformateurs de courant abaisseur de tension, essentiellement monophasés (240V) ou biphasés (400V), pour alimenter des circuits de télécommande en basse tension (ex : 24V) ou des organes de régulation, ou encore des commandes de désenfumage (ex : 48V continu)

Constitution d'un transformateur monophasé

Un transformateur est constitué de :

1. Deux enroulements nommés bobines, en fils de cuivre. Une bobine (N_1 spires) appelé primaire, alimentée par un courant de type alternatif de tension U_1 , et d'intensité I_1 . Et d'une autre bobine nommée secondaire comportant N_2 spires, qui fournit, sous la tension U_2 , un courant I_2 au récepteur. Plus le nombre de spire du primaire (N_1) sera grand par rapport à celui du secondaire (N_2), plus U_2 sera petit.
2. D'un circuit magnétique en tôle feuilletée assez fine de l'ordre de 0,2 mm, son rôle est de permettre le transfert au secondaire de l'énergie magnétique créée par le primaire.



Tout conducteur électrique génère un champ magnétique, la grandeur de ce champ s'appelle inductance.

Une bobine aura une inductance d'autant plus grande que le nombre de spires est important, elle dépend aussi de la qualité du circuit magnétique.

On peut donc dire que le primaire transforme l'énergie électrique en énergie magnétique (inductance) et que le secondaire fait carrément l'inverse il transforme l'énergie magnétique reçue en énergie électrique.

Les tensions et les intensités au secondaire et au primaire seront différentes (sauf transformateur de séparation) mais la fréquence est la même, celle du réseau.

La puissance d'un transformateur s'exprime en Voltampère (VA, kVA) cette unité est assez proche du Watt, c'est la puissance "apparente" qui est le résultat de la tension appliquée au récepteur multipliée par l'intensité.

$$1\text{VA} = 1\text{V} \times 1\text{A}$$

Donc pour connaître l'intensité maximum aux bornes du secondaire on aura :

$$A = VA / V \quad \text{exemple : } 100 \text{ VA} / 24\text{V} = 4,16 \text{ A}$$

Comment lire une plaque signalétique ?

La plaque signalétique c'est la carte d'identité d'un moteur , tous les renseignements utiles y sont répertoriés. Il est intéressant de connaître la signification des différents symboles, chiffres, abréviation.

1	SEM	2	Mot 3 ~	3	LZ	4	20kg	5	IEC 34/1
6		7		8		9		10	
IP 55		50 Hz		40°C		S1		Kw 3	
			tr/m		Cos phi		A		
	380		1415		0,85		7,5		
	415		1450		0,75		7,2		
11	12		13		14		15		

1: Nom du constructeur

2: Indique que c'est un moteur triphasé, courant alternatif

3: Référence constructeur

4: Poids du moteur

5: Norme européenne qui permet aux constructeurs d'harmoniser la construction des moteurs, support,diamètre,hauteur axe..il existe plusieurs autres normes américaine, canadienne, etc.

6: Classe de protection indique le degré de protection contre l'eau, la poussière, les chocs mécaniques:

- le premier chiffre pour la protection des personnes
- le deuxième chiffre pour l' infiltration et projection d'eau indice de 0 à 5 (5 maximum)

7: Fréquence du courant

- La fréquence du courant en France est de 50 hertz, le champ magnétique tourne à une fréquence de 50 rotations par seconde

8: Température maximum d'utilisation

- Généralement 40 °C

9: Type d'utilisation marche permanente, marche intermittente

- S1 marche permanente
- S2 marche à durée limitée
- S3 marche intermittente

10: Puissance délivrée en bout d'arbre

11: Type câblage ici "triangle" pour la tension considérée

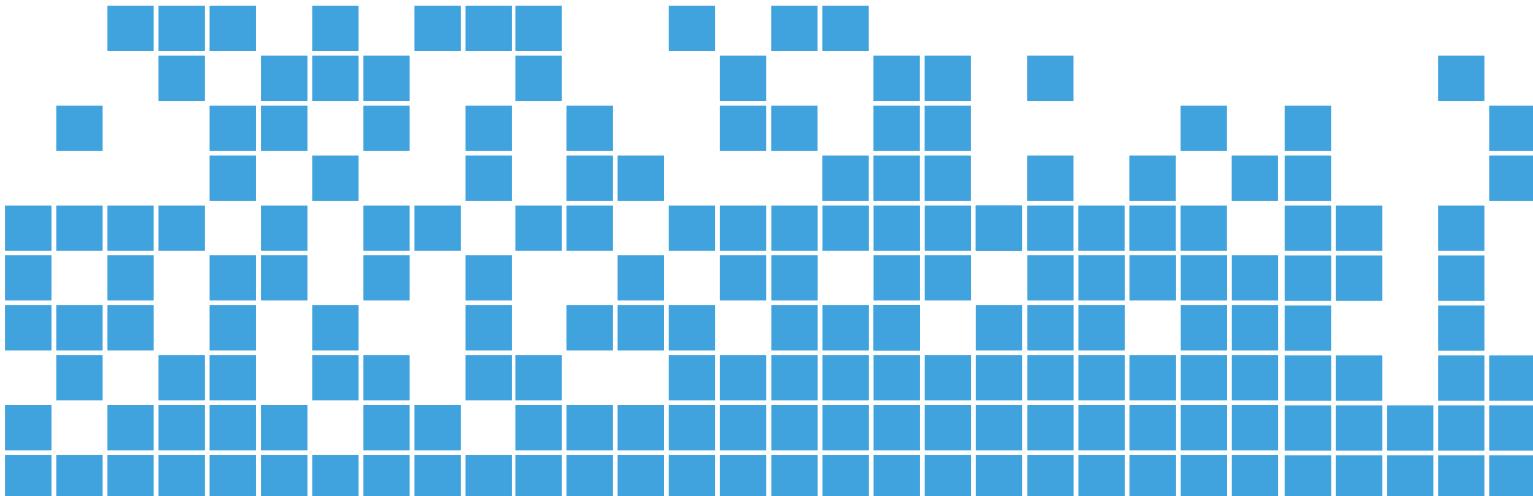
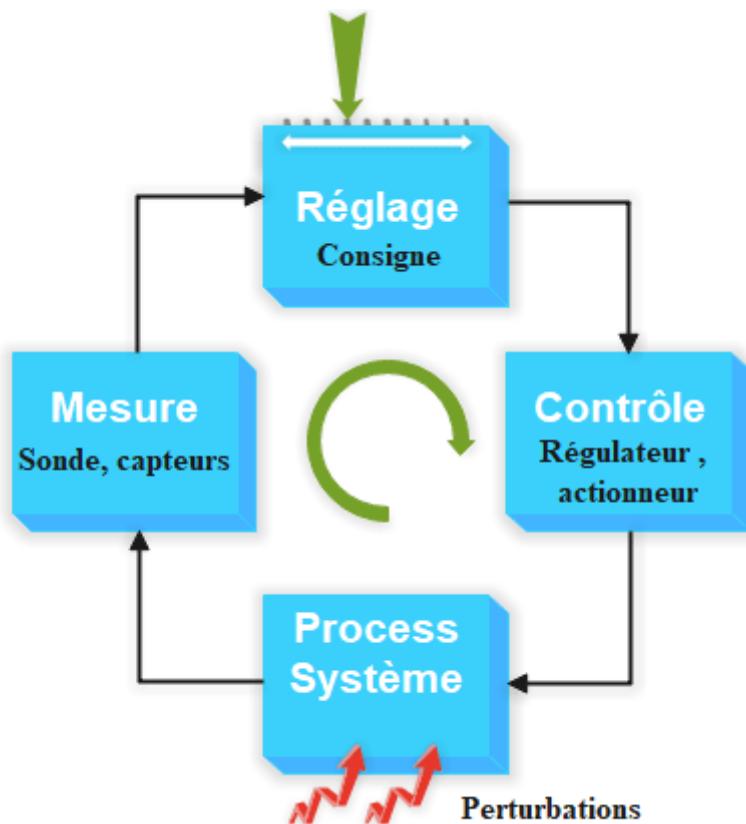
12: Tension nominale du moteur

13: Vitesse réelle du moteur en tour/minute en bout d'arbre

14: Cosinus phi , coefficient de déphasage par rapport à la tension

15: Intensité nominale du moteur

Régulation



Qu'est ce que la régulation ?

C'est satisfaire les besoins de confort, ou d'autre besoins et réduire les consommations d'énergie.

En résumé quant on parle de régulation de température on parle de:

- La température qu'il faut
- Là où il faut
- Quand il le faut

Mais cela peut s'appliquer à d'autres grandeurs physiques

- Pression
- Hygrométrie,
- Qualité d'air, etc...

Définition:

La régulation est un dispositif permettant de maintenir une grandeur physique (température, hygrométrie..Etc.) à une valeur appelée point de consigne alors que l'environnement varie, perturbations extérieures, apports divers...

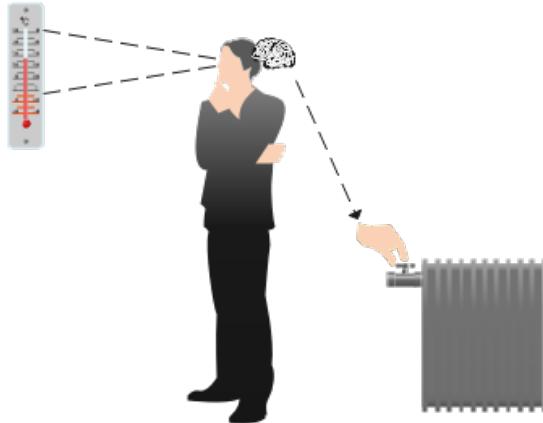
La régulation compare cette grandeur à régler (la consigne) à la grandeur mesurée par un organe de détection (bulbe, sonde) et agit de façon à faire diminuer cet écart et à atteindre le point de consigne.

Régulation manuelle :

Le capteur-----l'œil, le corps (sensation de froid ou de chaleur)

Le régulateur-----le cerveau

L'actionneur----- la main

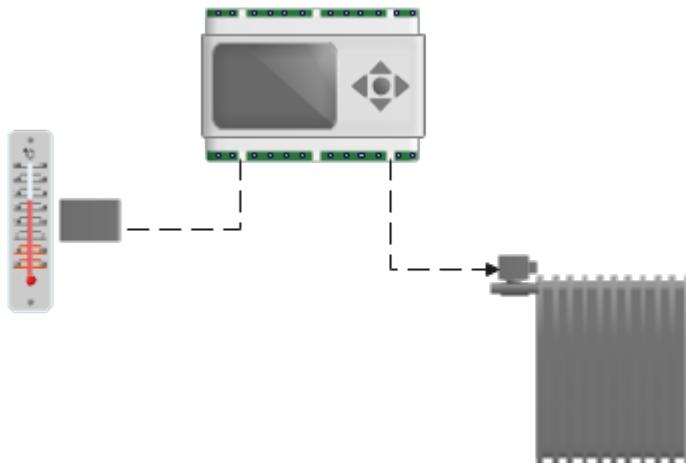


Régulation automatique :

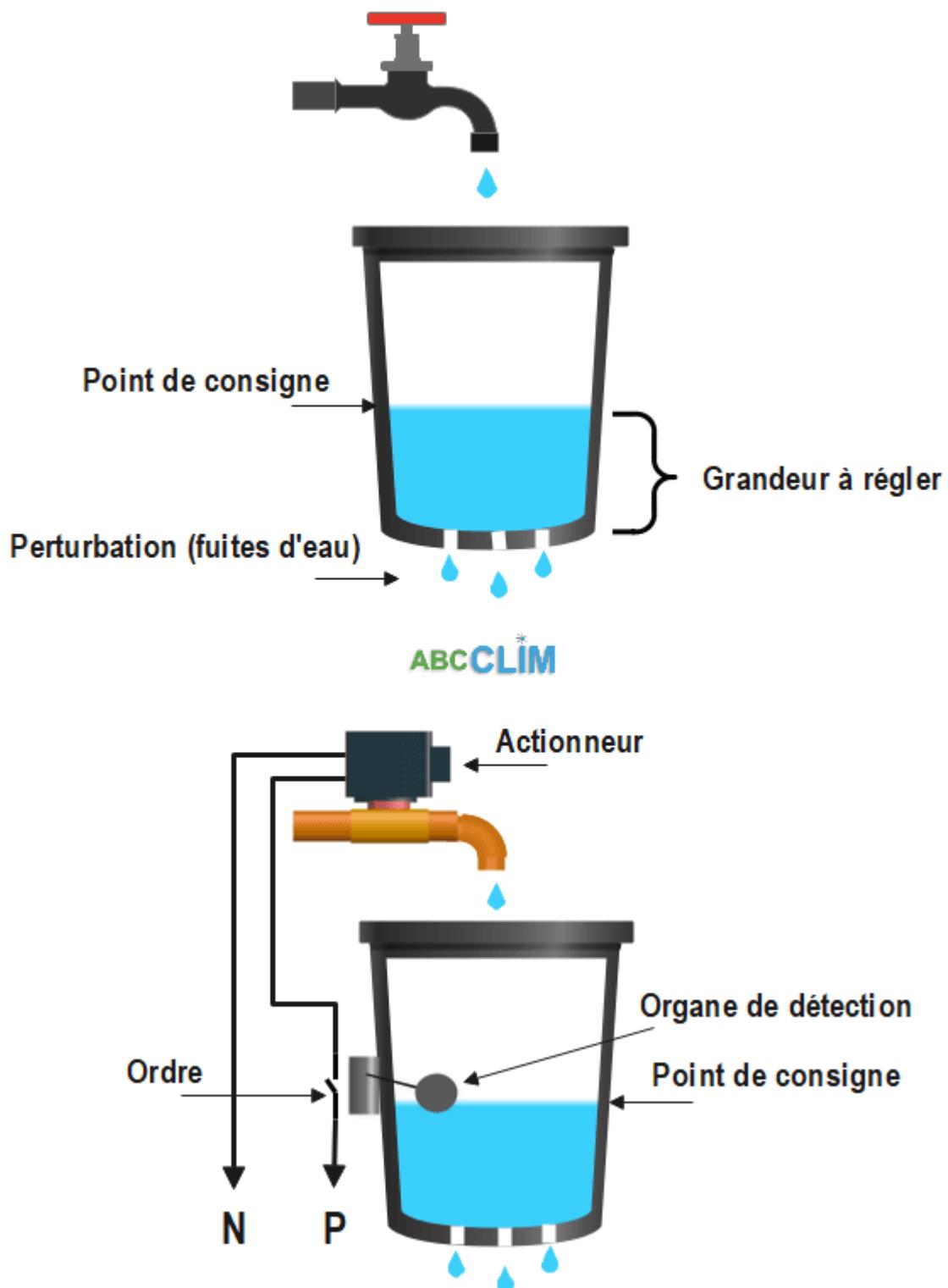
Le capteur-----sonde

Le régulateur-----l'appareil de réglage (régulateur, automate, thermostat)

L'actionneur-----vanne/moteur/volet/contacteur



La régulation en deux images !



Type de régulation

La réglementation thermique actuelle toujours plus exigeante impose un mode de régulation pour assurer le confort et réaliser des économies d'énergie.

De ce fait, les fabricants ont dans leurs catalogues tout un arsenal de thermostats, thermostats programmables, de régulateurs électroniques qui permettent de gérer facilement et automatiquement la température de confort, les périodes de moindre activité (périodes nocturnes, absence les week-ends, etc.).

Depuis le début de la climatisation et du froid, la régulation électromécanique a rempli et remplira encore parfaitement son rôle d'automatisme, d'anticourts cycles, de démarrage en cascade, de permutation compresseur etc .. Mais les exigences actuelles en termes de précisions, d'utilisations spécifiques, d'interconnexions, de surveillance a tout naturellement imposé la régulation électronique qui permet de par sa modularité, ses options diverses, sa facilité de connexions d'avoir une régulation adaptée à toutes les utilisations.

La régulation électronique suit l'évolution des nouvelles technologies et plus particulièrement les nouveaux modes de communication (internet, protocole TCIP).

Quoique déjà très utilisées, demain la plupart de nos installations frigorifiques ou de climatisation seront raccordées à des systèmes de télégestion qui surveilleront pour nous nos installations.

Types d'action en régulation

Action "tout ou rien" (TOR):

C'est la régulation plus simple qui ne permet que deux actions Marche /Arrêt, par ouverture ou fermeture d'un contact, pas de position intermédiaire (0 ou 100%).

Les deux réglages sont la consigne (ex: T° a atteindre) et le différentiel . Ce qui ne permet pas d'avoir une régulation très fine , la température ambiante est soumise à d'assez grandes variations et l'écart de réglage permanent est relativement grand.

Action "Proportionnelle":

L'action du régulateur sera proportionnelle à l'écart entre la valeur mesurée et la consigne.

Cet écart est appelé Bande Proportionnelle par exemple une BP de +3°C veut dire que la sortie du régulateur va varier de 10 à 20 Volts(vanne 3 voies, volet) dans une plage de variation de 3°C.

Action "Intégrale":

L'intégrale permet au régulateur de prendre en compte la vitesse de variation entre la valeur réelle mesurée et la consigne, cette notion de temps s'exprime en secondes.

La composante intégrale n'est jamais utilisée seule elle vient en complément de l'action proportionnelle (Régulation PI) cela permet une adaptation de la réponse du régulateur en fonction du temps afin de rattraper cet écart.

Action "Dérivée" :

C'est une composante pas toujours facile à comprendre, mais pour faire simple cette action est plutôt employée sur l'air car son inertie est faible et en complément d'une régulation PI , c'est la fonction Dérivée, qui va augmenter le signal rapidement en cas de brusque chute ou élévation de la température de l'air en question on peut dire que cette composante permet d'anticiper les dépassemens de consigne .

Qualité d'une bonne régulation

Stabilité

Une régulation est considérée stable, si elle ne s'écarte pas de sa position d'équilibre. Après un cours régime transitoire elle doit revenir à sa position initiale.

Rapidité

Elle traduit la durée du régime transitoire quand on modifie un réglage par exemple . C'est le temps de réponse d'un système.

Précision

Elle se caractérise par son aptitude à obtenir une mesure proche de la consigne dans tous les cas de figures.

Régulation par thermostat (TOR)

Les thermostats permettent de maintenir une température ambiante (air) ou la température d'un liquide contact (eau, saumure) à un réglage défini par la consigne (t° désirée).

Les thermostats sont des organes de régulation basique "tout ou rien", qui ferment et ouvrent de simples contacts électriques, libres de potentiel. Les contacts ne peuvent avoir que deux états : ouvert ou fermé. Ils sont utilisés soit en régulation pour le chauffage ou la climatisation, soit en sécurité pour protéger les personnes ou les installations.

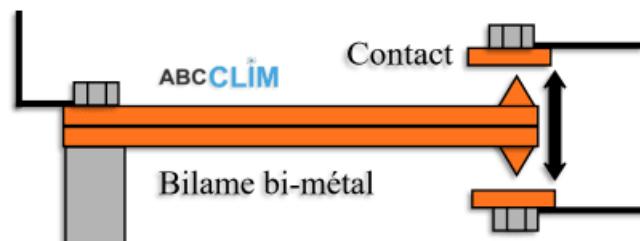
La plage de réglage définit les températures maximum et minimum que le thermostat peut contrôler. Le différentiel c'est l'écart de température entre le point d'enclenchement et celui de coupure du contact, il peut être fixe (par exemple 2°C) ou réglable.

Il existe un grand nombre d'utilisation et de modèles, citons les thermostats :

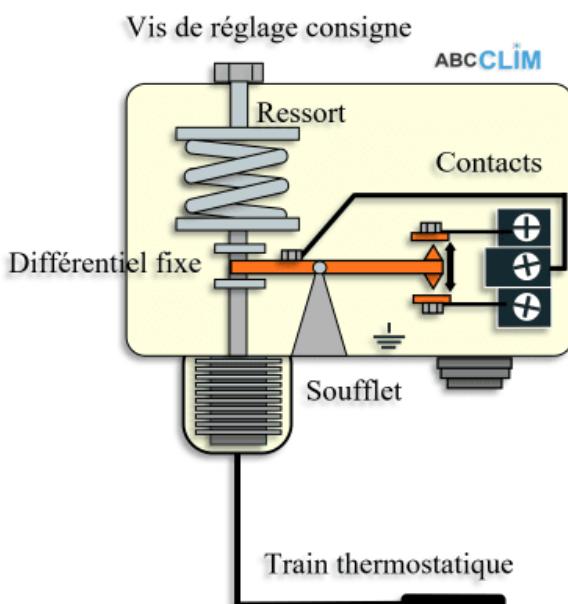
- à plusieurs étages ou contact
- de liquide (saumure)
- incendie (sécurité CTA)
- antigel (sécurité sur l'air ou sur l'eau)
- à franchissement d'ambiance (quand la température du thermostat est plus basse que celle du bulbe)
- à point neutre

Thermostats à bilame

Ces thermostats sont constitués de 2 lames de matériaux ayant des coefficients de dilatation différents formant le contact.



Thermostats à tension de vapeur



C'est un fluide contenu dans un organe de détection (bulbe ou membrane) qui par variation de pression entraîne le basculement d'un contact électrique. Cette variation de pression est directement liée à une variation de température, c'est la relation pression/température. Quand la température monte si la pression de l'organe de détection est plus forte que celle du ressort alors le contact s'actionnera dans un sens. Dans le cas contraire quand la température baisse, la pression est alors plus faible que celle du ressort et le contact basculera dans un autre sens.

Thermostats à membrane:

L'élément sensible est constitué d'un diaphragme en métal circulaire soudé contenant un fluide qui par dilatation actionne directement le contact.

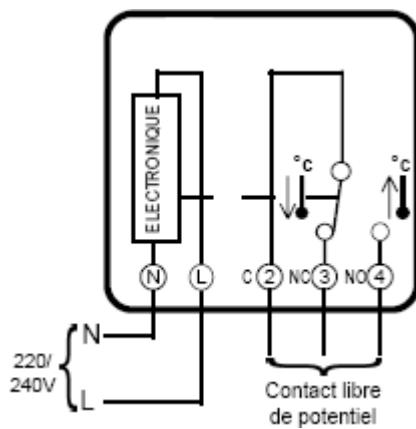
Thermostats à bulbe:

Le bulbe et le capillaire relié au thermostat est appelé "train thermostatique". C'est la pression du train thermostatique qui va agir par déformation sur un soufflet, un ressort antagoniste réglé par une vis qui constitue le point de consigne, l'ensemble permet d'agir sur le contact. Le bulbe contient un mélange vapeur/liquide, il est placé dans la zone à contrôler.

Thermostats électroniques:

Ce sont les thermostats qui en termes de précision et de fonction sont nettement plus performants que les thermostats mécaniques.

Fonctionnement:



C'est une sonde dont la valeur ohmique se trouve modifiée en fonction de la température (thermistance), cette valeur est interprétée par l'électronique qui actionne un contact. Une afficheur digital donne quelques informations, températures (ambiante, réglage), date, horaires de fonctionnement, etc...

Les fonctions supplémentaires (suivant modèle) :

- Plage de réglages hebdomadaire
- Hors gel (t° mini du local)
- Abaissement de nuit (- 2 °C)
- Marche forcée (manuelle) ou auto (horloge)
- Consigne confort ou réduit
- Programmes préenregistrés ou modifiables
- Une ou plusieurs zones (ex : salon, chambres)
- Pilotage par téléphone (pour les plus évolués)
-

Exemple d'utilisation d'un thermostat :

Exemple de câblage d'un thermostat pilotant un compresseur frigorifique, pour une chambre froide

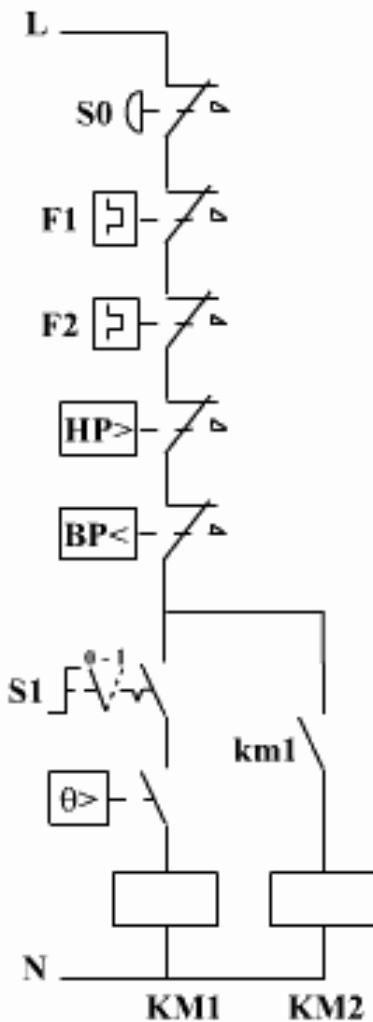


Schéma simplifié de régulation montrant que le thermostat d'ambiance est l'organe de régulation qui coupe ou enclenche KM1 (le groupe de condensation) en fonction de la demande, à noter que le contact auxiliaire Km1 donne l'ordre au ventilateur de l'évaporateur de se mettre en route. La chaîne de télécommande est constituée de l'ensemble des organes de protection, HP, BP, thermique groupe et ventilateur ainsi des organes de régulation thermostat, arrêt urgence ...etc

Légende:

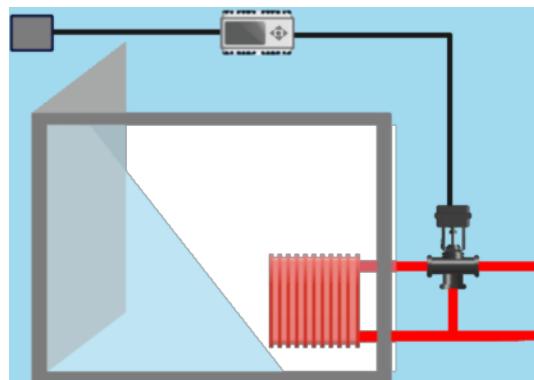
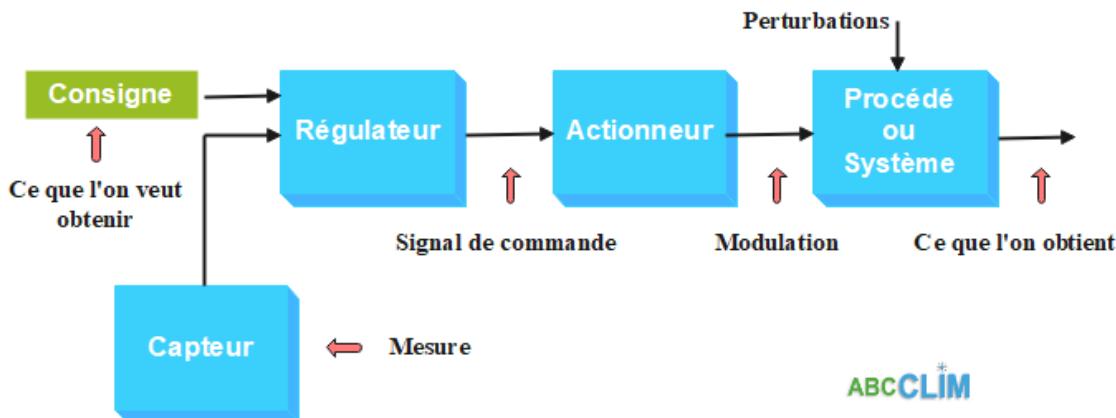
- KM1 = groupe de condensation
- KM2 = ventilateur évaporateur
- $q >$ = thermostat de régulation
- S1 = marche/arrêt
- So = arrêt d'urgence
- HP> = pressostat HP
- BP< = pressostat BP
- F1 = relais thermique du groupe de condensation
- F2 = relais thermique du ventilateur évaporateur

Notions de boucle ouverte et fermée

Boucle de régulation ouverte

Le capteur ne mesure pas la grandeur dans l'endroit (système) où l'organe (actionneur) agit.

Une boucle de régulation ouverte, c'est par exemple des terminaux (radiateur, etc) dans lequel la température de l'eau chaude est réglée en fonction de la température extérieure.La température d'ambiance étant réguler en ouvrant ou fermant manuellement ou thermostatiquement les vannes des terminaux.Il s'agit d'une régulation sans boucle de contrôle entre l'entrée et la sortie du système, ni retour d'informations.

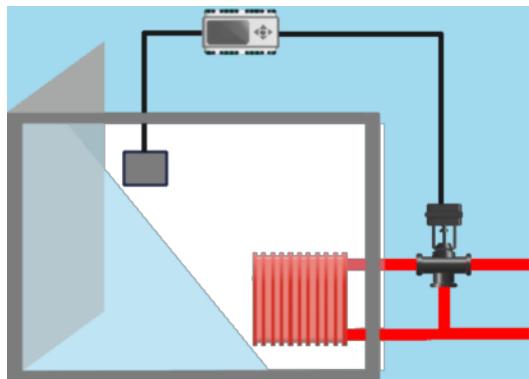
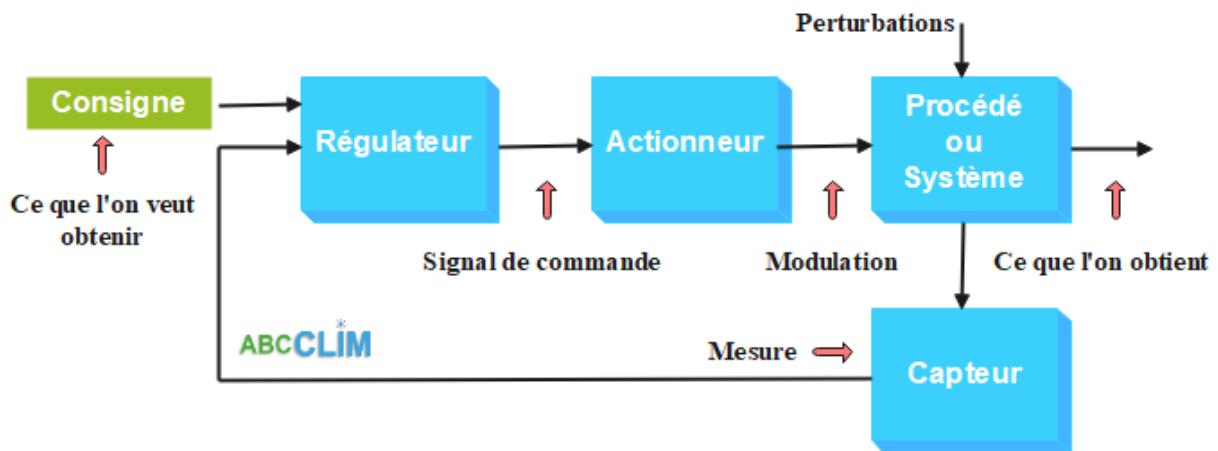


Boucle de régulation fermée

Le capteur mesure la grandeur dans l'endroit (système) où l'organe(actionneur) agit. Dans ce cas, on contrôle la grandeur souhaitée, on effectue les corrections nécessaires au fil du temps

Dans une boucle fermée, la valeur souhaitée est constamment comparée à la valeur mesurée.

Pour revenir à notre exemple la régulation de la température d'eau d'un radiateur, la température réelle est mesurée par un capteur de température puis elle est comparée à la consigne. Tout écart entre la valeur désirée et la valeur mesurée provoque un signal qui est transmis à une vanne motorisée pour l'ouvrir (si la température est inférieure à la valeur souhaitée) ou la fermer (si la température est supérieure à la valeur souhaitée).



Boucle mixte.

C'est la conjugaison d'une boucle ouverte et d'une boucle fermée. C'est typiquement une régulation qui gère le départ d'eau chaude d'une installation avec une vanne trois voies. La température d'eau dans une boucle mixte sera régulée en fonction de la température extérieure mais sera aussi pondérée par la température intérieure.

Boucle de régulation longue

C'est par exemple un ou des radiateurs dont la température est régulée par une vanne à trois voies, celle-ci fait varier la température dans l'émetteur. Une sonde d'ambiance mesure la température de la pièce, comme l'air n'est pas en mouvement un temps de latence plus ou moins long est nécessaire, quelques minutes tout au plus. Puis l'ordre est transféré au régulateur celui-ci compare au point de consigne la mesure, un temps d'intégration est nécessaire. Puis la vanne trois voies commence à s'ouvrir, il faudra une à deux minutes afin que celle-ci soit complètement ouverte. Il faudra plusieurs minutes pour chauffer le corps du radiateur pour que celui-ci commence à émettre de la chaleur dans le local. Puis enfin il y a l'inertie du local lui-même. C'est la somme de ses constantes de temps qui définissent une boucle de régulation longue.

Boucle de régulation courte

C'est par exemple la production d'eau sanitaire de type instantané.

Une sonde à tube plongeur mesure en continu la température de l'eau, comme l'eau est en mouvement la réponse de la sonde à une baisse de température sera très rapide.

Une vanne trois voies alimente un échangeur à plaques, la course de cette vanne trois voies est très courte. L'échangeur à plaques compte tenu de son volume d'eau et de sa surface d'échange permet un transfert de chaleur avec l'eau chaude sanitaire de manière quasi instantanée.

Principe de régulation PID

Le terme de régulation est employé lorsqu'on cherche à combattre des perturbations afin de garder une valeur constante que ce soit une température, une pression, un débit ou une hygrométrie.

La régulation mesure en permanence par le biais de sonde ou de capteurs le système à régler puis transmet ces informations au régulateur celui-ci compare cette mesure à la consigne puis suivant son algorithme le régulateur va transmettre ses ordres aux actionneurs (vannes, volets, moteurs, etc.), afin de corriger les perturbations.

La Régulation PID :

La composante proportionnelle :

L'action proportionnelle applique une correction instantanée pour tout écart entre la mesure et la consigne, plus la perturbation est grande, plus la correction apportée est grande.

Cette composante seule ne permet pas une grande précision surtout dans les systèmes à faible inertie, comme dans le traitement de l'air, cette rapidité d'action engendre un phénomène appelé le pompage.

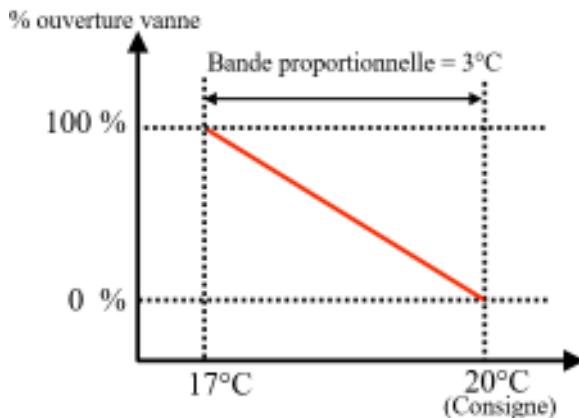
Bandes proportionnelles :

La bande proportionnelle c'est l'écart entre la valeur mesurée et la valeur de la consigne notons que si la bande proportionnelle est égale à zéro la régulation fonctionne en tout ou rien.

La bande proportionnelle doit être réglée à la valeur la plus faible obtenue sans phénomène de pompage.

L'action proportionnelle du régulateur s'exprime de différentes manières, soit par le gain (coefficient multiplicateur de l'écart), soit en % à appliquer pour que la sortie varie 0 à 100 %, soit encore en K ici on parlera d'écart pour passer de 0% à 100 %.

Action proportionnelle (ex: vanne chaude)



En % :

Température mesurée 26 °C, température consigne 24 °C, BP 20 % on aura en sortie de régulateur:
 $(26-24)/(26*20\%) = 38\%$

En gain:

Température mesurée 20°C , température consigne 22°C,pour un gain de 20 on aura ici en sortie:
 $(22-20)*20=40\%$

La composante intégrale

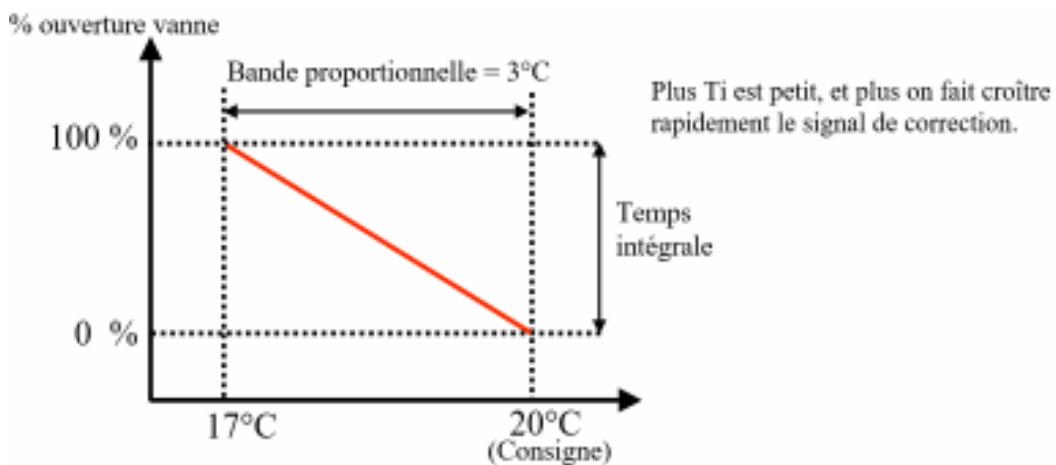
Cette composante apporte une notion de temps d'intégration à la correction, cette notion de temps s'exprime généralement en seconde.

Cette action est complémentaire à l'action proportionnelle, elle permet de stabiliser dans le temps l'action proportionnelle, plus l'erreur mesurée est constante plus la correction est constante.

L'algorithme de la régulation utilisera une mémoire des différents écarts déjà mesurer pour affiner le temps d'intégrale à appliquer à la correction.

Une valeur trop faible de la composante intégrale causera un fonctionnement instable alors qu'une valeur trop élevée pourra annuler l'action de l'intégrale.

A la mise en service d'une installation, l'erreur étant l'action intégrale aura tendance à réagir de façon disproportionnée. Aussi afin d'éviter ce type de phénomène, les régulateurs suppriment généralement l'action de l'intégrale lorsque l'erreur est supérieure à la bande proportionnelle.



La composante dérivée

Cette action permet d'anticiper la réponse de la régulation en cas de perturbation rapide ou de modification de consigne ce qui améliore la stabilité du système.

On peut donc dire que cette composante permet de compenser tout dépassement excessif de la consigne.

La mesure de température, de pression, d'humidité, etc, doit être fiable sans parasitage car sans cela la fonction intégrale sera d'aucune utilité, voir sera sources d'ennuis.

Action d'une régulation PID

Sur une installation si l'on change brusquement le point de consigne de 18°C à 23°C, la régulation pour pouvoir augmenter la température dans l'ambiance va ordonner à l'actionneur de libérer de l'énergie. La température va monter très rapidement grâce aux deux composantes dérivées et proportionnelle. Est ce de telle manière que le point de consigne sera largement dépassé momentanément. Suivant la bande proportionnelle et le temps d'intégration la température va fluctuer jusqu'à ce que l'action intégrale permette de stabiliser la température.

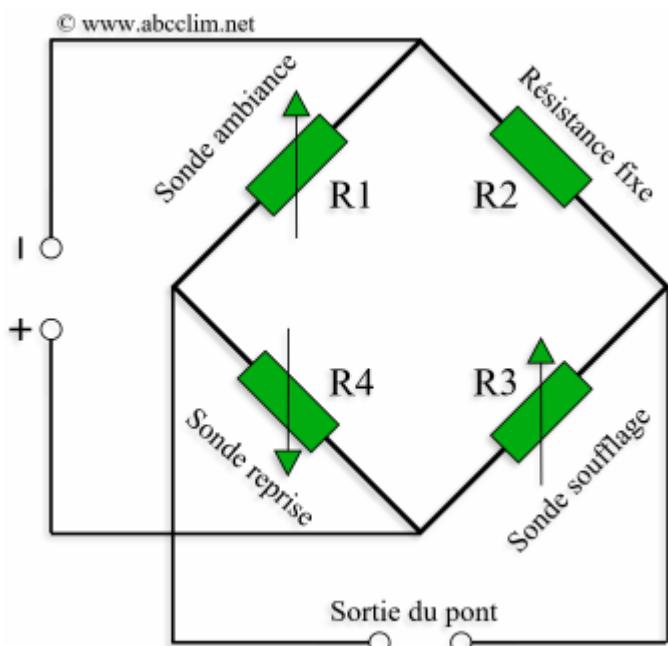
Régulation numérique et analogique

Bien maîtriser les différents aspects d'une régulation en génie climatique est bien entendu primordiale non seulement pour atteindre un point de consigne, mais c'est aussi un enjeu pour le client en terme d'économie d'énergie.
La régulation qu'elle soit numérique ou analogique permet de diminuer l'écart entre la consigne et la valeur mesurée dans un système, alors que l'environnement varie.

Les régulateurs et les automates sont des organes parfois complexes, ils offrent la possibilité de surveiller, d'optimiser, de commander, de réguler les installations techniques de climatisation et de chauffage. Ils peuvent traiter les paramètres de température, d'humidité, de pression, de débit d'air, de qualité d'air.. etc.

Fonctionnement de la régulation numérique et analogique.

Régulation analogique, comment ça marche ?



Un régulateur analogique est conçu à partir du pont de Wheatstone, le signal délivré est proportionnel à l'écart entre la mesure et la consigne, c'est une régulation non communicante. Un courant est appliqué en entrée du pont de Wheatstone, quatre résistances sont raccordées en série parallèle, celles-ci peuvent être toutes variables ou certaines à résistances variables et certaines fixes. Le courant émit en sortie sera modulé en fonction de la valeur ohmique des résistances. Si les quatre résistances ont la même valeur ohmique rien ne se passe s'il y a déséquilibre car une ou plusieurs résistances varient une tension est générée celle-ci est utilisée pour commander divers actionneurs. Ce signal permet d'actionner après amplification des contacts secs (contact on/off) ou de libérer à l'aide d'un convertisseur un courant de 0 à 10 V (volet mélange, vanne 2 et 3 voies etc.).

La régulation analogique permet des actions de types :

- Proportionnelles (P)
- Intégrales (PI)
- Proportionnelles Intégrales Dérivées (PID)

Régulation numérique, c'est quoi ?

C'est une régulation communicante par excellence, les données numériques traitées sont comparables à celles des ordinateurs et comportent plusieurs états binaires (0,1). Ici le régulateur est un automate programmable qui cumule plusieurs fonctions, de méthode de calcul, de logique et d'optimisation ou encore d'algorithmes* complexes qui vont plus loin que les régulateurs PID.

* Un algorithme est une méthode de calcul permettant de résoudre un problème.

Fonctionnement général

Un microprocesseur interprète des informations fournies par des entrées analogiques ou tout ou rien (Tor) suivant un programme (P, PI, PID) préenregistré dans la mémoire du processeur ou spécifique introduit à la demande, pour agir sur des actionneurs.

Le programme est sauvegardé en cas d'incident soit dans une mémoire flash ou dans une mémoire physique alimentée par pile, on peut aussi récupérer les paramètres et données via un ordinateur ou une interface contenant la programmation (Smart key). Le dialogue entre les différentes interfaces ou modules est assuré par un "bus", liaison informatique à 2 fils.

Type d'entrées et de sorties :

Entrées : (input)

- 1) AI : (Analogic Input) Sondes passives ou actives = sondes ambiances, soufflage, reprises, capteur de pression etc.
- 2) DI : (Digital Input) entrée on/off = pressostat d'air, HP, BP, hypsotherme, sécurité.

Sorties : (output)

- 1) AO : (Analogic Output), sortie proportionnelle = Vannes trois voies, volets de mélange, triac (résistances).
- 2) DO : (Digital Output) sortie tout ou rien = Compresseurs, pompes, ventilateurs etc.

Types des signaux des régulations et automates

Les signaux utilisés dans les automates et autres régulateurs sont des valeurs de tension ou d'intensité, et permettent le contrôle ou la commande des organes de réglages.

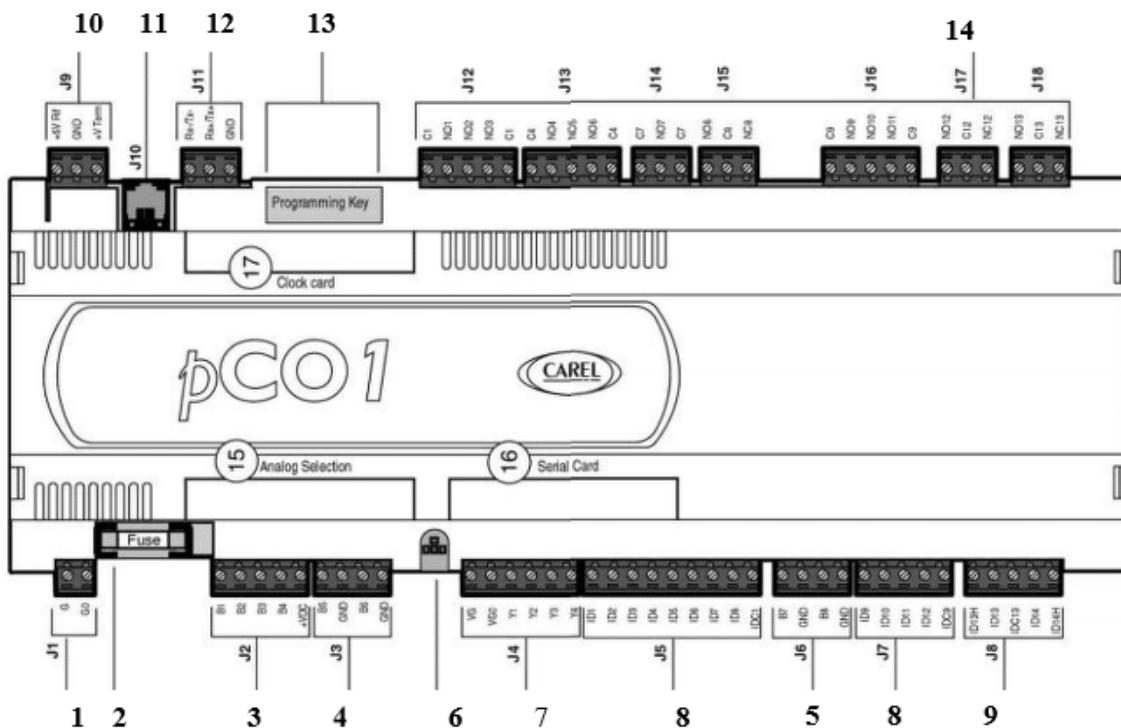
Les signaux utilisés les plus utilisés :

- Tension : 0/10 V, 0/5 V. (Sortie = Volet, V4V, triac)
- Intensité : 0-20 mA, 4-20 mA. (Entrée =Sonde active, transducteur de pression)

Les signaux utilisant l'intensité sont moins sensibles à la distance entre les éléments et aux perturbations électromagnétiques. Les signaux en tension sont généralement utilisés pour la commande d'organes de réglage.

Exemple de raccordement d'un automate :

Automate Carel pCO 1 (automate de première génération de la gamme)



Description connecteurs

1. branchement à l'alimentation électrique [G(+), Go(-)];
2. fusible protection 250 Vac;
3. entrées analogiques universelles NTC, 0/1 V, 0/5 V, 0/20 mA, 4/20 mA;
4. entrées analogiques passives NTC et ON/OFF(TOR)
5. entrées analogiques passives NTC;
6. voyant jaune d'alimentation électrique active et 3 voyants indicateurs;
7. sorties analogiques 0/10 V et sorties courant PWM;
8. entrées numériques à 24 Vac/Vdc;
9. entrées numériques à 230 Vac ou 24 Vac/Vdc;
10. connecteur avec Vref pour alimentation électrique 5V aux sondes et V Term pour alimentation électrique de l'écran;
11. connecteur pour tous les écrans standard des pCO et pour télécharger le programme d'application ;
12. connecteur réseau local pLAN;
13. connecteur pour connexion à la clé programmation;
14. sorties numériques
15. volet pour choix type d'entrées analogiques;
16. volet pour initialisation carte série:
 - RS485 pour superviseur (option)
 - Gateway (convertisseur protocole, option)
17. Carte Horloge (option)

GTB (Gestion Technique Bâtiment)

La maîtrise énergétique dans les grands magasins ou grandes surfaces alimentaires est devenue prépondérante, compte tenu du prix des énergies, on comprend aisément la nécessité d'un contrôle précis et d'une bonne gestion de l'ensemble des postes gros consommateur d'énergie comme le chauffage, la climatisation, le froid alimentaire, d'autant qu'ils représentent à eux seuls plus de la moitié de la consommation électrique totale, le reste se répartit entre l'éclairage ,les parkings, les enseignes ,les escalators, etc

Un contrôle précis par exemple de la climatisation, du chauffage, permet de garder dans toutes les zones d'un magasin dont les charges ne sont pas toujours identiques (produits frais, électroménagers) une température agréable pour les clients et une consommation maîtrisée, en évitant les pertes de marchandises ou des fonctionnements des équipements frigorifiques inutilement longs.

L'architecture de ce type de régulation s'articule autour d'un automate,d'un PC (superviseur)gérant l'ensemble des données (sondes ,contact, etc.) et qui interprète ces données suivant un programme en relayant les ordres à des interfaces qui commutent les équipements (Ex : éclairage, chauffage ..etc) et les actionneurs (Ex : vannes 3 voies,volets). L'affichage souvent graphique,est facilement compréhensible, et interrogable à distance par internet, l'exploitant surveille,dépanne quant c'est possible,ou informe les intervenants quand ceux-ci ne sont pas informés directement.

Les possibilités de gestions et de contrôles sont nombreux sur les équipements :éclairages,ventilation, chauffage ,climatisation, qualité de l'air, contrôle d'humidité,centrale de froid alimentaire,cordons chauffants,fours,contrôle d'accès,surveillance incendie,arrosage..Ainsi que des actions comme le délestage des équipements, programmation horaire,modifications point de consigne,marche arrêt..etc

Les aides aux diagnostics sont aussi intéressantes historiques des dernières alarmes,courbes des températures permettant l'analyse des défauts.

Pour communiquer entre les différents composants du réseau qui peuvent être de fabricants différents il faut le même langage appelé protocole,les protocoles propriétaire c'est-à-dire propre au fabricant du matériel doivent pouvoir dialoguer à travers des «passerelles» de communication avec les protocoles dits «ouverts» du type :TCP/IP, LonTalk, BACnet, Modbus ,KNXt, LonWorks... souvent adoptés par un nombre important de fabricants dont les langages sont interpolables.

Pour quel secteur activité ?

Collèges,universités,administrations ,hôtels,collectivités locales,hôpitaux ,grands magasins,Industrie, etc...

GTC,GTB ?

GTC: Gestion Technique Centralisé gère,contrôle les équipements thermiques, chauffage,climatisation,froid industriel

GTB: Gestion Technique Bâtiment,pilote,optimise tout ce qui peut l'être de façon électrique.

Avantages d'une GTB ?

1. Économies d'énergie
2. Amélioration du confort
3. Réduction des coûts d'exploitation
4. Facilité d'utilisation pour le client
5. Dépannage à distance
6. Surveillance du bâtiment 24h/24 7j/7
7. Alarmes par mail, fax, sms

Qu'est-ce qu'un intégrateur ?

C'est un installateur ou société souvent issue du génie climatique ou électrique qui développe en interne un système de gestion centralisé et qui assure à son client une GTB clé ainsi que le service après-vente.

Protocole de communication en génie climatique

Pour communiquer l'être humain, utilise le langage comme protocole de communication, les mots ainsi que l'intonation permettent de nous comprendre et quand cela n'est pas possible comme pour les sourds et muets, le langage des signes remplace la parole.

En informatique c'est la même chose, c'est un ensemble de règles qui ordonnent comment doit s'effectuer la communication entre les diverses entités connectées.

Différents protocoles peuvent cohabiter en harmonies au moyen de passerelles, certains permettent la transmission, d'autres le routage, etc.

En froid et climatisation pour que cette communication entre les différents éléments constituant la régulation soit possible elle doit être réalisée à partir de câble, constituant le bus (bus de terrain) généralement du câble tressé, blindé ou de la liaison informatique(5e ou 6e catégorie).

BACnet

Les protocoles de communication :

BACnet (Building Automation and Control Networks)

Protocole défini par l'association ASHRAE (Société américaine des Ingénieurs en Chauffage, Réfrigération et Climatisation)utilisé dans les applications de GTC/GTB.BACnet établie la communication entre les divers systèmes de régulation,climatisation,ventilation,chauffage,contrôle accès,protection incendie,etc.

Les moyens utilisés pour la connexion BACnet peuvent être, Ethernet, une connexion RS232 (3 fils),une connexion RS485(2fils).

Les informations traitées par ce protocole :

- Horaires
- Calendriers
- Alarme
- Historique
- Lire une propriété
- Écrire une propriété

M-Bus (Bus métrique)

Son utilisation principale c'est le comptage d'énergie, la puissance, le débit, la température.

Protocole normalisé et peu coûteux largement utilisé en gestion technique du bâtiment, conçu par Texas Instruments et Techem AG et l'université de Paderborn.

Connectivité: Ethernet,connexion RS232 (3 fils),connexion RS485(2fils).

Mod-bus

Protocole du domaine public, simple et fiable développé par Modicon aux États-Unis dédié à la surveillance et au contrôle des automates.Dialogue basé sur une communication hiérarchisée entre un maître qui donne les ordres et plusieurs esclaves,le maître et les esclaves peuvent communiquer, mais les esclaves entre eux ne le peuvent pas.

Utiliser pour des réseaux d'automates programmables, analyse de réseau,conduites de machines de production de froid ou de chaleur, climatiseurs, variateurs de vitesse des moteurs, etc.

EIB-KNX

Essentiellement utilisé en domotique dans les bâtiments industriels ou tertiaires,standard européen contrôlant les systèmes et sous-systèmes,chauffage,climatisation, volet roulant ,éclairage.

Protocole ouvert créé à l'origine par des entreprises du secteur énergétique puis développé par l'association Konnex.

Types de sondes

La mesure de température surtout dans l'industrie doit être la plus juste et le plus fiable possible. Les sondes sont des capteurs qui permettent de transformer une grandeur physique ici la température en une grandeur électrique ou un signal électrique. En froid et climatisation on distingue trois technologies de sondes, les thermistances, les thermocouples, les sondes à résistance. Les sondes utilisées pour mesurer des températures, dans les systèmes de climatisation, de chauffage, de froid commercial (ex :sonde "ambiance,soufflage,reprise..etc") obéissent à un principe physique simple, la résistance électrique d'un conducteur est directement influencée par sa température,. Le champ d'application de ces sondes couvre une large plage de travail allant de -200 jusqu'à 1000 °C avec des résistances de quelques Ohms à plusieurs Kilohms.

Les thermistances

Deux types existent, les NTC (Coefficient de température négatif), et les PTC (Coefficient de température positif).

Sondes NTC:

Les sondes NTC sont des thermistances dont la résistance diminue de façon presque uniforme quand la température augmente, elles sont fabriquées à base d'oxydes, nickel, cuivre, cobalt et manganèse. Ces oxydes sont des métaux de transition très bon conducteur de la chaleur et de l'électricité utilisés dans les semi-conducteurs.

Les sondes NTC sont disponibles dans une plage de températures très étendue. Elles sont principalement utilisées pour les mesures et le contrôle de la température.

Sondes PTC :

Les sondes de type PTC (Coefficient de Température Positif) sont des thermistances dont la résistance augmente fortement avec la température et ceci dans une plage de température restreinte entre 0 °C et 100 °C, pour diminuer en dehors de cette plage, mais dont la courbe n'est pas linéaire.

Ces sondes sont constituées de titanate de baryum, c'est un oxyde ferroélectrique utilisé sous forme de couche mince. Utilisations :

- Sonde de température.
- Protection thermique des moteurs électriques

Les thermocouples

Les thermocouples sont des capteurs actifs qui génère une f.e.m c'est-à-dire une tension ou différence de potentiel, lorsque ceux-ci sont soumis à une modification de température.

Cette tension est très faible quelque millivolt qui doit être amplifié afin d'être utilisable.

On utilise deux fils conducteurs de natures différentes générant une tension différente (positive, négative) pour une même variation de température.

En fonction de leurs performances et de leurs utilisations , les thermocouples sont désignés par une lettre,B, E, J, K, N, R, S et T. Par exemple le type k est utilisé pour les basses températures, le type E possède une grande sensibilité,etc..

Les sondes à résistances

Sondes PT 100, PT 1000

Le principe ici est simple on applique à un matériau une tension qui fluctue en fonction de la résistance. Concrètement, une fois chauffé, la résistance du métal augmente et inversement une fois refroidi, elle diminue.

Les avantages de ces sondes dont l'élément sensible est constitué de platine (PT=Platinum) sont :

1. Sonde généralement très fiable
 2. Une gamme plus large de température
- Une précision de mesure élevée et une meilleure linéarité
- PT 100 :Leur résistivité est de 100 ohms pour 0 °C
 - PT 1000 :Leur résistivité est de 1000 ohms pour 0 °C

Fonctionnement des thermocouples : <https://youtu.be/ynrpqtEdBmY>

Valeurs des sondes passives

(en ohms)

	NTC K2	NTC K10	Pt100	Pt1000
-50	149 808	669 534	80,31	803,06
-49	139 761	623 574	80,70	807,03
-48	130 264	581 063	81,10	811,00
-47	121 472	541 722	81,50	814,97
-46	113 329	505 296	81,89	818,94
-45	105 783	471 552	82,29	822,90
-44	98 787	440 275	82,69	826,87
-43	92 297	411 271	83,08	830,83
-42	86 275	384 362	83,48	834,79
-41	80 682	359 383	83,87	838,75
-40	75 487	336 185	84,27	842,71
-39	70 659	314 630	84,67	846,66
-38	66 170	294 593	85,06	850,62
-37	61 993	275 957	85,46	854,57
-36	58 106	258 616	85,85	858,53
-35	54 487	242 473	86,25	862,48
-34	51 115	229 439	86,64	866,43
-33	47 973	212 430	87,04	870,38
-32	45 043	200 370	87,43	874,32
-31	42 310	188 191	87,83	878,27
-30	39 759	176 827	88,22	882,22
-29	37 378	166 219	88,62	886,16
-28	35 154	145 313	89,01	890,10
-27	33 076	147 057	89,40	894,04
-26	31 133	138 407	89,80	897,98
-25	29 316	130 318	90,19	901,92
-24	27 616	122 751	90,59	905,86
-23	26 025	115 670	90,98	909,80
-22	24 535	109 040	91,37	913,73
-21	23 139	102 830	91,77	917,67
-20	21 832	97 011	92,16	921,60
-19	20 605	91 557	92,55	925,53
-18	19 455	86 442	92,95	929,46
-17	18 376	81 643	93,34	933,39
-16	17 364	77 140	93,73	937,32
-15	16 413	72 912	94,12	941,24
-14	15 520	68 941	94,52	945,17
-13	14 680	65 210	94,91	949,09
-12	13 891	61 703	95,30	953,02
-11	13 150	58 406	95,69	956,94
-10	12 452	55 304	96,09	960,86
-9	11 795	52 385	96,48	964,78
-8	11 177	49 637	96,87	968,70

Température (°C)	NTC K2	NTC K10	Pt100	Pt1000
-7	10 594,2	47 049,9	97,26	972,61
-6	10 045,7	44 612,6	97,65	976,53
-5	9 528,7	42 315,9	98,04	980,44
-4	9 041,4	40 150,8	98,44	984,36
-3	8 581,8	38 109,1	98,83	988,27
-2	8 148,2	36 183,1	99,22	992,18
-1	7 739,1	34 365,6	99,61	996,09
0	7 352,8	32 650,0	100,00	1 000,0
1	6 988,0	31 029,9	100,39	1 003,91
2	6 643,5	29 499,6	100,78	1 007,81
3	6 317,9	28 053,5	101,17	1 011,72
4	6 010,1	26 686,7	101,56	1 015,62
5	5 717,1	25 394,2	101,95	1 019,53
6	5 443,8	24 171,8	102,34	1 023,43
7	5 183,3	23 015,2	102,73	1 027,33
8	4 936,8	21 920,5	103,12	1 031,23
9	4 703,4	20 884,1	103,51	1 035,13
10	4 482,4	19 902,6	103,90	1 039,03
11	4 273,0	18 972,8	104,29	1 042,92
12	4 074,5	18 091,7	104,68	1 046,82
13	3 886,4	17 256,4	105,07	1 050,72
14	3 708,0	16 464,5	105,46	1 054,60
15	3 538,8	15 713,3	105,85	1 058,49
16	3 378,3	15 000,6	106,24	1 062,38
17	3 226,0	14 324,2	106,63	1 066,27
18	3 081,3	13 682,1	107,02	1 070,16
19	2 944,0	13 072,4	107,40	1 074,05
20	2 813,6	12 493,2	107,79	1 077,94
21	2 689,6	11 942,9	108,18	1 081,82
22	2 571,8	11 419,8	108,57	1 085,70
23	2 459,8	10 922,6	108,96	1 089,59
24	2 353,3	10 449,8	109,35	1 093,47
25	2 252,0	10 000,0	109,73	1 097,35
26	2 155,6	9 572,1	110,12	1 101,23
27	2 063,9	9 164,8	110,51	1 105,10
28	1 976,6	8 777,1	110,90	1 108,98
29	1 893,4	8 407,9	111,29	1 112,86
30	1 814,2	8 056,2	111,67	1 116,73
31	1 738,7	7 721,1	112,06	1 120,60
32	1 666,8	7 401,9	112,45	1 124,47
33	1 598,3	7 097,5	112,83	1 128,35
34	1 532,9	6 807,3	113,22	1 132,21
35	1 470,6	6 530,5	113,61	1 136,08

Température (°C)	NTC K2	NTC K10	Pt100	Pt1000
36	1 411,09	6 266,49	114,00	1 139,95
37	1 354,35	6 014,55	114,38	1 143,82
38	1 300,19	5 774,09	114,77	1 147,68
39	1 248,49	5 544,53	115,15	1 151,55
40	1 199,12	5 325,32	115,54	1 155,41
41	1 151,97	5 115,95	115,93	1 159,27
42	1 106,92	4 915,92	116,31	1 163,13
43	1 063,87	4 724,77	116,70	1 166,99
44	1 022,73	4 542,07	117,08	1 170,85
45	983,39	4 367,40	117,47	1 174,70
46	945,78	4 200,36	117,86	1 178,56
47	909,80	4 040,59	118,24	1 182,41
48	875,38	3 887,74	118,63	1 186,27
49	842,44	3 741,47	119,01	1 190,12
50	810,91	3 601,47	119,40	1 193,97
51	780,73	3 467,44	119,78	1 197,82
52	751,83	3 339,09	120,17	1 201,67
53	724,15	3 216,17	120,55	1 205,52
54	697,63	3 098,40	120,94	1 209,36
55	672,23	2 985,56	121,32	1 213,21
56	647,87	2 877,41	121,71	1 217,05
57	624,53	2 773,73	122,09	1 220,90
58	602,15	2 674,33	122,47	1 224,70
59	580,68	2 579,00	122,86	1 228,58
60	560,10	2 487,55	123,34	1 232,42
61	540,34	2 399,81	123,63	1 236,26
62	521,39	2 315,62	124,01	1 240,09
63	503,19	2 234,81	124,39	1 243,93
64	485,73	2 157,23	124,78	1 247,77
65	468,96	2 082,74	125,16	1 251,60
66	452,85	2 011,19	125,54	1 255,43
67	437,38	1 942,47	125,93	1 259,26
68	422,51	1 876,44	126,31	1 263,09
69	408,23	1 812,99	126,69	1 266,92
70	394,50	1 752,00	127,08	1 270,75
71	381,30	1 693,37	127,46	1 274,58
72	368,61	1 636,99	127,84	1 278,40
73	356,41	1 582,78	128,22	1 282,23
74	344,67	1 530,63	128,61	1 286,05
75	333,37	1 480,45	128,99	1 289,87
76	322,50	1 432,17	129,37	1 293,70
77	312,05	1 385,71	129,75	1 297,52
78	301,98	1 340,98	130,13	1 301,33
79	292,28	1 297,92	130,52	1 305,15

Température (°C)	NTC K2	NTC K10	Pt100	Pt1000
80	282,95	1 256,45	130,90	1 308,97
81	273,96	1 216,51	131,28	1 312,78
82	265,30	1 178,03	131,66	1 316,60
83	256,96	1 140,96	132,04	1 320,41
84	248,92	1 105,24	132,42	1 324,22
85	241,17	1 070,81	132,80	1 328,03
86	233,70	1 037,62	133,18	1 331,84
87	226,49	1 005,62	133,57	1 335,65
88	219,55	974,77	133,95	1 339,46
89	212,85	945,01	134,33	1 343,26
90	206,39	916,30	134,71	1 347,07
91	200,15	888,60	135,09	1 350,87
92	194,14	861,87	135,47	1 354,68
93	188,33	836,08	135,65	1 358,48
94	182,73	811,18	136,23	1 362,28
95	177,32	787,14	136,61	1 366,08
96	172,09	763,93	136,99	1 369,87
97	167,05	741,51	137,37	1 373,67
98	162,18	719,86	137,75	1 377,47
99	157,47	698,94	138,13	1 381,26
100	152,92	678,73	138,51	1 385,06
101	148,52	659,20	138,88	1 388,85
102	144,27	640,32	139,26	1 392,64
103	140,17	622,07	139,64	1 396,43
104	136,20	604,43	140,02	1 400,22
105	132,36	587,37	140,40	1 404,00
106	128,65	570,88	140,78	1 407,79
107	125,05	554,92	141,16	1 411,58
108	121,58	539,49	141,54	1 415,36
109	118,22	524,55	141,91	1 419,14
110	114,98	510,30	142,29	1 422,93

Sonde COV

Une mauvaise qualité de l'air dans les bâtiments de plus en plus souvent hermétiquement clos peut entraîner une sensation d'inconfort ou encore des symptômes plus gênants, irritation de la gorge et des yeux, maux de tête, allergies. Les composés organiques volatiles (COV) sont de deux natures, soit ils sont d'origine naturelle, soit ils sont l'émanation des activités humaines. Ce sont des composés chimiques qui ont la particularité de s'évaporer facilement et rapidement à température ambiante. Ces substances polluantes peuvent être inhalées facilement et elles sont particulièrement préjudiciables à notre santé à forte dose, même si leurs effets sont assez mal connus. Les COV sont largement utilisées dans l'ameublement, la décoration et les produits d'entretien.

Ci-dessous quelques composés chimiques et leurs utilisations :

- Dichlorobenzène/Limonène : désodorisant intérieur, cires
- Méthoxy/propanol/Toluène/Trichloroéthylène : peintures, vernis, laque.
- Trichloroéthane : colles, solvants.
- m/p-xylène et o-xylène : Peintures, vernis, colles, insecticides
- Styrène : Matières plastiques, matériaux isolants, carburants, fumée de cigarette
- Décane : White-spirit, moquettes, tapis

Au même titre que le dioxyde de carbone (CO₂) les composés organiques volatiles (COV) ne doivent pas dépasser un certain seuil de concentration dans l'air. Afin de mesurer ou de contrôler cette concentration, des sondes de qualité d'air doivent être installées. Les applications sont multiples et variées, locaux industriels, salles de spectacles, de réunions, cabines de peinture, fabrication industrielle, salle blanche, etc.

Descriptions du fonctionnement des sondes COV

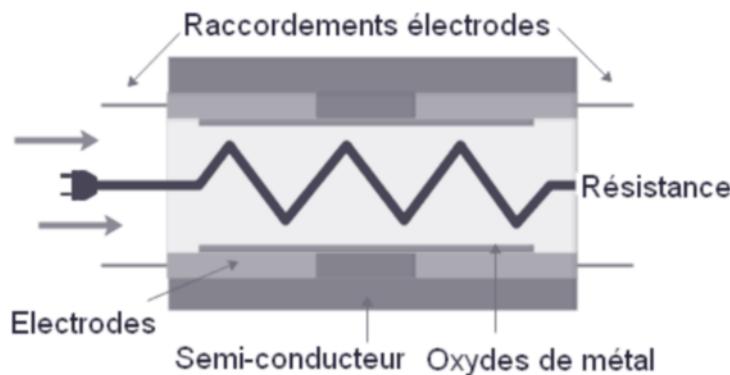
Deux types de technologies de détecteurs existent plus particulièrement :

- DéTECTEURS à semi-conducteur
- DéTECTEURS à photoionisation

Sonde COV à semi-conducteur

Cette sonde est composée de deux électrodes comprenant chacune un semi-conducteur recouvert d'oxyde d'étain et une résistance chauffante mettant à température le capteur. En fonction de la quantité de molécules COV présentes dans l'air une oxydation plus ou moins importante sera émise ce qui modifiera la résistance électrique des semi-conducteurs. Suite à la variation de la résistance électrique du semi-conducteur, une simple mesure permettra de connaître la quantité de COV en présence. Capteurs de type actif délivrant un signal amplifié de 0 à 10 V ou 4 à 20 mA.

Ce type de sonde ne permet pas de connaître la concentration exacte de composés organiques volatiles comme peut le faire une sonde CO₂ pour le dioxyde de carbone, mais donne une mesure globale de la qualité de l'air ambiant.



Sonde à COV photoionisation

Ici le principe est tout à fait différent, on utilise des capteurs équipés de lampes ultraviolettes (Argon, krypton) qui émettent des photons (particule sans charge électrique à très haute énergie). Cette source de lumière UV décompose les COV en ions positifs et ions négatifs, cette fragmentation où décomposition produit un courant électrique qui est amplifié et converti en fonction de la concentration des COV dans l'air. Ici au même titre que les sondes CO₂ on peut avoir une mesure quantifiable en partie par million (ppm). Notons aussi que ce type de sonde permet de connaître à quel type de composés organiques volatiles on a faire. Sonde passive utilisée généralement pour de la mesure et du contrôle.

Sonde CO₂

On a tous ressenti cette sensation de gène dans des locaux surpeuplés et mal aérés, odeurs, transpiration, humidité ,mais le facteur le plus gênant c'est en réalité la teneur en dioxyde de carbone dans l'air qui agira directement sur notre comportement.

En respirant l'homme, prélève 25 % d'oxygène et 0,040 % de dioxyde de carbone et rejette en expirant 15 % d'oxygène, et 4 % de dioxyde de carbone. Même si c'est à partir d'une concentration de 2,5 % que le dioxyde de carbone devient dangereux pour l'homme, on constate une diminution de l'attention, de la concentration des personnes bien avant ce seuil à environ de 0,08 % de concentration (800 ppm*).

Un bon renouvellement d'air exige un débit d'air extérieur de 30 m³/h par personne, débit impossible à atteindre de façon naturelle sans perdre beaucoup d'énergie surtout en hiver en ouvrant les fenêtres par exemple.

Un apport d'air neuf par ventilation mécanique est déjà une bonne solution, mais le débit étant souvent calculé pour le plus fort taux d'occupation pour finalement qu'une petite partie de l'année, on voit bien la perte d'énergie que cela représente.

L'utilisation d'une sonde CO₂ pilotant la vitesse de rotation d'un ventilateur ou l'ouverture d'un volet d'air neuf donne de bien meilleurs résultats en termes d'économie d'énergie et de confort.

Savez-vous qu'une réduction de 20 % de la vitesse de rotation d'un ventilateur permet de diviser par deux sa consommation électrique.

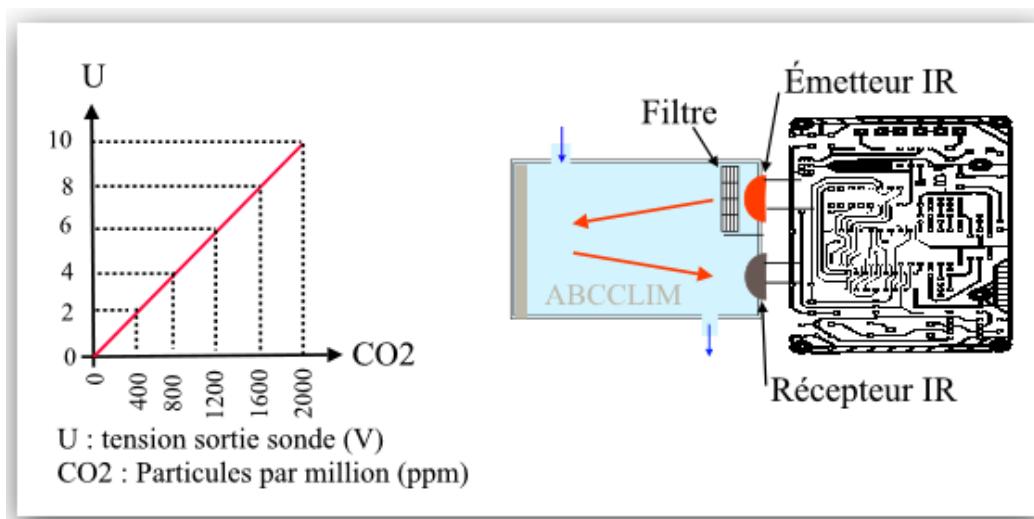
Constitution de la sonde CO₂

Elle est constituée d'une cellule émettant un rayon infrarouge et d'un récepteur ainsi qu'un filtre pour les interférences. Ce récepteur infrarouge mesure l'intensité du flux après son absorption par le CO₂. La poussière, la vapeur d'eau sont normalement sans effet sur la précision de la mesure.

La plage de mesure des sondes est de l'ordre de 0 à 2000 ppm (Particules Par Million).

Le signal de sortie suivant les modèles va de 0-10 V ou 0-20 mA, ce signal est proportionnel à la concentration mesurée.

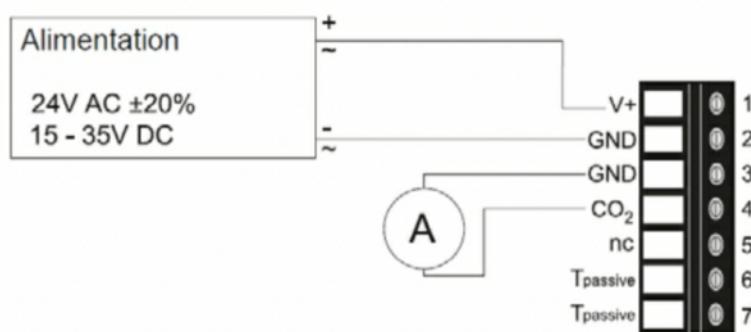
*PPM=Particules par million



Exemple de bornier de raccordement d'une sonde CO₂

V+ et GND = alimentation 24 V (alternatif)

GND et CO₂ = signal de sortie 0/10 V (continu) ou encore 0-20 mA, 4-20 mA.



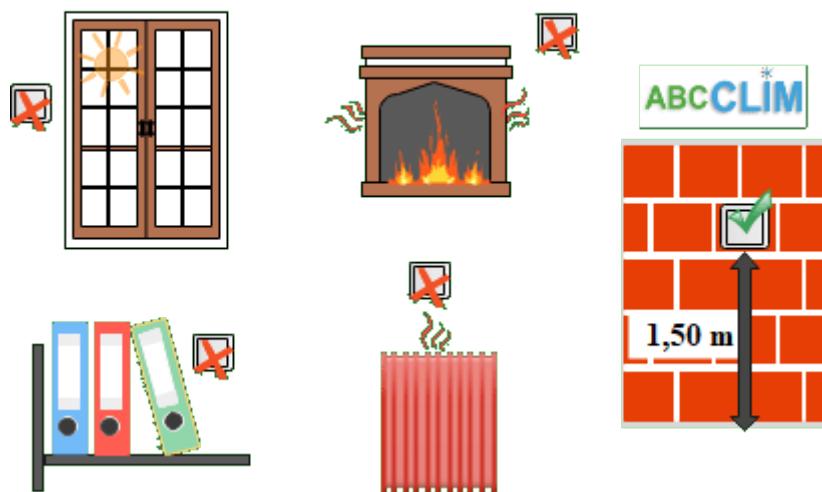
Positionnement correct des sondes et capteurs

Rien ne sert d'avoir une régulation performante et sophistiquée si celle-ci reçoit des informations erronées. D'où l'intérêt de bien positionner les sondes ou autres capteurs afin de mesurer une grandeur (température, pression, etc.) la plus fiable possible.

De manière générale l'organe de mesure doit être bien dans le flux (air ou eau) sans être perturbé par des éléments externes à la régulation (soleil, source de chaleur, vent, etc).

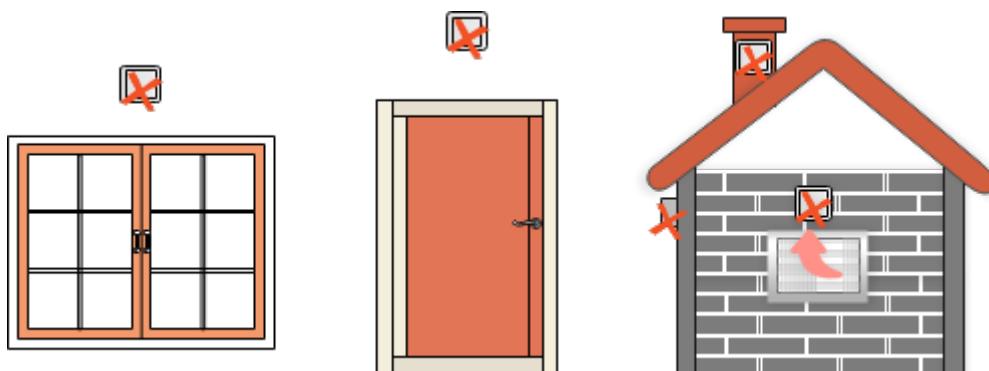
Sondes d'ambiance

Sur un mur non exposé aux rayons du soleil ou autres sources de chaleur, hauteur conventionnelle 1,5 m.

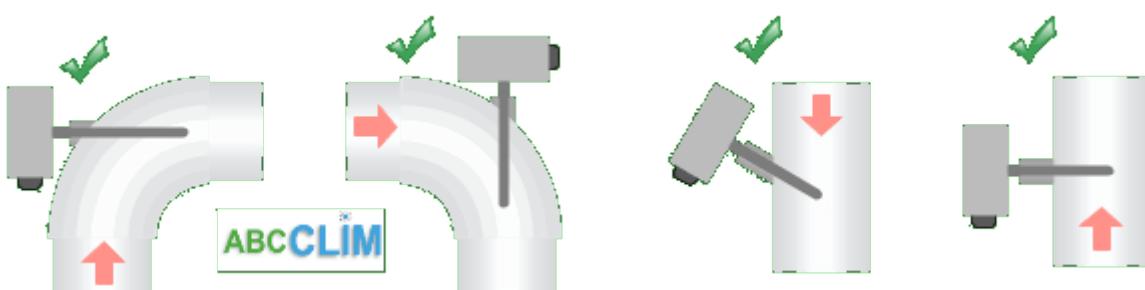


Sondes extérieures

La placer pour mesurer la moyenne des températures extérieures des façades les plus froides, attention au rayons du soleil. A installer plutôt sur la façade nord ou nord ouest.



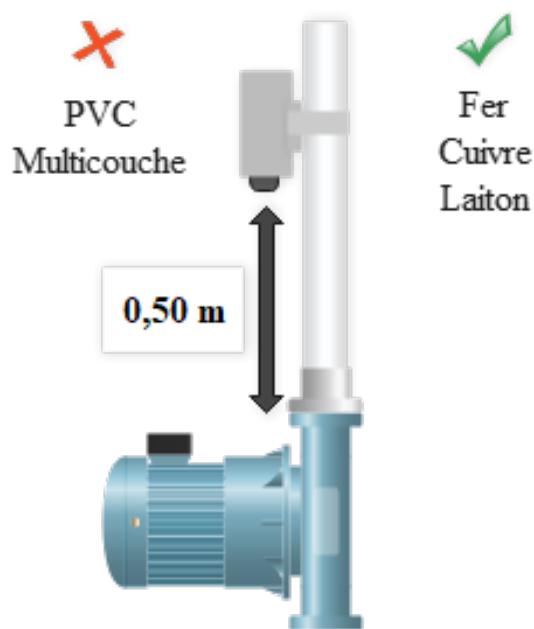
Sonde de gaine (air) ou de tube (eau)



Ne pas installer à contre courant de l'écoulement du fluide.

Sonde en applique

- Choisir un emplacement situé sur le tuyau de départ après le circulateur
- Nettoyer la surface du tube en contact avec la sonde
- Enduire si possible le tuyau de pâte thermoconductrice et fixer la sonde à l'aide du collier de serrage, lui même conducteur de la chaleur.
- Pose sur diamètre 100 mm maximum.



Vanne de régulation et servomoteurs

Servomoteurs thermiques

Une résistance alimentée électriquement est insérée entre des capsules remplies de gaz. Quand la résistance chauffe, la chaleur émise permet la dilatation de ces capsules ce qui va déplacer une tige commandant la soupape de la vanne. Le temps d'ouverture et de fermeture est assez long. Ce type de servomoteurs est très utilisés pour les vannes trois voies des ventilo-convection par exemple.

Servomoteurs électromécaniques tout ou rien

Ce sont des moteurs de type synchrone à courant alternatif qui ont deux sens de fonctionnement, ouverture et fermeture. Une fois alimenté le moteur poursuivra sa course en ouverture ou fermeture et ne sera mis à l'arrêt que grâce à des contacts de fin de course.

Ce type de servomoteur équipe généralement des vannes à papillons ou à secteurs.

Servomoteurs électromécaniques progressifs

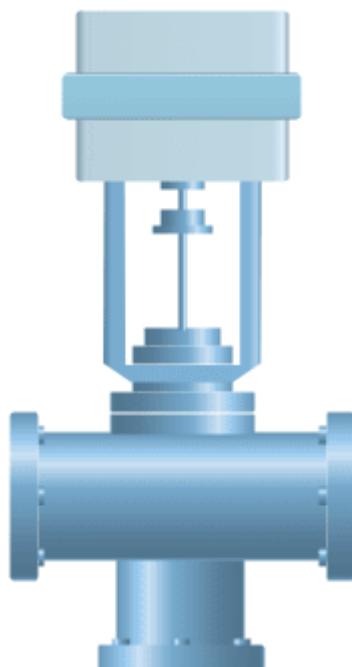
C'est un moteur asynchrone à courant continu à ouverture et fermeture progressive. Le moteur est alimenté par un courant 24 V alternatifs, l'ouverture et la fermeture progressive de la vanne est pilotée par un automate libérant une tension de 0 à 10 V continu. De manière générale à 0 V la vanne est complètement fermée et à 10 V la vanne est complètement ouverte. Donc que si on applique à cette vanne un courant de 1 V la vanne sera ouverte à 10 %, si on applique un courant de 1,5 elle sera ouverte à 15 % et ainsi de suite.

Ce type de servomoteurs équipe généralement les vannes trois voies par exemple des centrales de traitement d'air.

Moteurs électromagnétiques

C'est tout simplement une vanne solénoïde du même type que ceux que l'on utilise dans les circuits frigorifiques. Ils ont l'avantage de répondre instantanément dès qu'ils sont alimentés.

Lorsque la bobine est alimentée, un induit est attiré par le champ magnétique créé, la force du champ magnétique étant plus importante que les forces combinées de la pression régnant dans la cheminée de l'induit et du ressort, le clapet se soulève et permet l'écoulement du fluide.



Haute pression flottante et régulation

La régulation par Haute Pression flottante permet de réguler la pression de condensation tout au long de l'année à une valeur déterminée par une consigne en fonction de la température extérieure .

Régulation économique et performante

Les industries et les hypermarchés sont de gros consommateurs d'énergie électrique, il faut savoir que le poste froid et climatisation représente près de la moitié de leur consommation totale.

La régulation par HP flottante permet de faire des économies de consommation électrique en réduisant l'intensité absorbée par les ventilateurs, en éliminant soit un ou plusieurs ventilateurs soit en modulant leur vitesse à l'aide d'un variateur de vitesse.

On comprend bien qu'en période hivernale ou en mi-saison la puissance à évacuée au niveau des condenseurs baisse et il n'est pas nécessaire comme dans les installations par HP fixe de maintenir une température de condensation aux alentours des 40 °.

La HP flottante en maintenant une température de condensation plus basse en fonction de la température extérieure, permet de réduire le temps de fonctionnement , l'intensité absorbée par les ventilateurs et par les compresseurs tout en augmentant le coefficient de performance de l'installation.

Idéal pour les installations neuves, mais on peut tout à fait installer une régulation par HP flottante dans une installation existante, mais il faudra veiller à ce que les détendeurs soient du type électronique ou à orifice multiple, car les détendeurs thermostatiques sont peu compatibles avec ce système de régulation. Pour que les évaporateurs soient alimentés de façon optimale en fonction de la HP flottante il faudra aussi une basse pression "modulante".

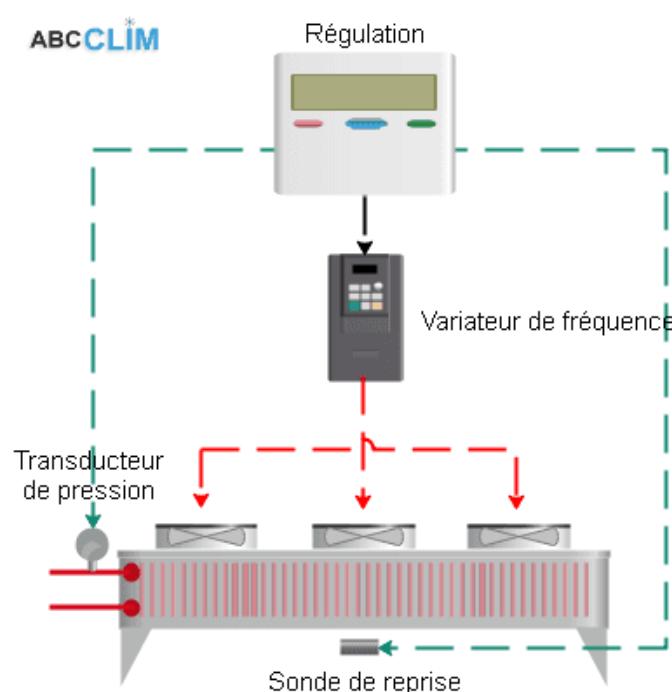
Fonctionnement de la HP flottante

L'automate intègre les données du capteur HP et de la sonde de température extérieure, puis il détermine l'écart optimal (Delta T° réglable) entre la mesure de la haute pression et la température extérieure

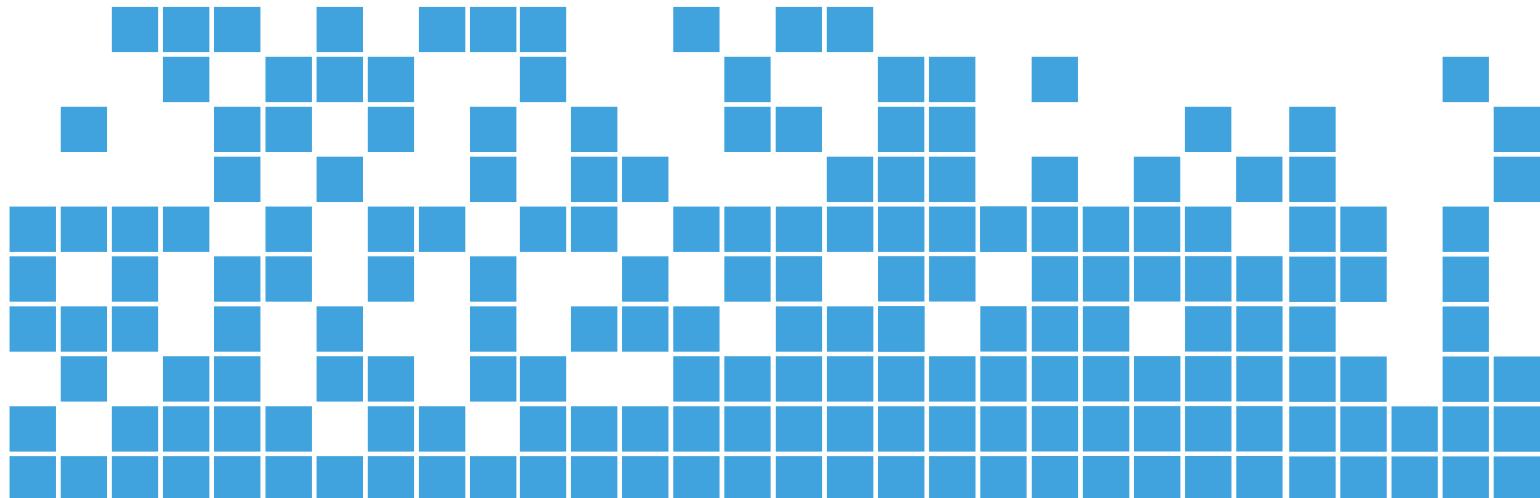
Puis l'automate en fonction de son algorithme donne l'ordre de fonctionnement aux ventilateurs par l'intermédiaire de contacteurs ou de variateurs.

Pour synthétiser, la HP flottante consiste à réguler la pression de condensation à une valeur permettant d'obtenir la plus faible consommation du couple compresseur/condenseur (et auxiliaires).

Ce n'est surtout pas d'abaisser la HP au maximum, ce qui pourrait en plus d'une surconsommation, provoquer des dysfonctionnements sur l'installation.



Fiches pratiques installations



Tubes frigorifiques utilisés en climatisation

Afin de relier les divers organes frigorifiques et de permettre le transport du fluide frigorigène, les installations de froid et de climatisation sont réalisées en tube cuivre. Ces tubes sont en cuivre à 99,9 % suivant la norme EN1412. Réaliser sans aucune soudure par étirement du métal, ils sont vernis à l'intérieur pour réduire les pertes de charge par frottement.

Les tubes frigorifiques ont leurs dimensions exprimées en pouce (1 pouce = 25,4 mm) et non en système métrique comme les tubes utilisés en plomberie, l'épaisseur est aussi plus élevée (de 0,8 mm à 1,25 mm) car les pressions de services sont plus fortes surtout depuis l'apparition des nouveaux fluides. Ils sont livrés déshydratés et bouchonnés, en couronne nue a isolée ou pré-isolée ou encore barre.

Les tubes d'aspiration notamment, doivent être isolés afin de limiter les déperditions néfastes au bon fonctionnement et d'éviter la condensation. Cas particulier les pompes à chaleur ont tout les tubes isolés (HP et BP).

La norme EN1412 impose un marquage réglementaire des tubes :

- Identification du fabricant ;
- N° de la norme en vigueur.
- Longueur, épaisseur et diamètre.

Les tuyaux de cuivre en froid et climatisation existent sous deux formes :

1. Cuivre écroui en couronne de 15 à 50 mètres
2. Cuivre recuit en barre de 4 ou 5 m

Tube écroui en barre

Pour la distribution de fluides frigorigènes pour la climatisation, le conditionnement d'air et la réfrigération.
Systèmes de climatisation Split, VRV, DRV, Multisplits...

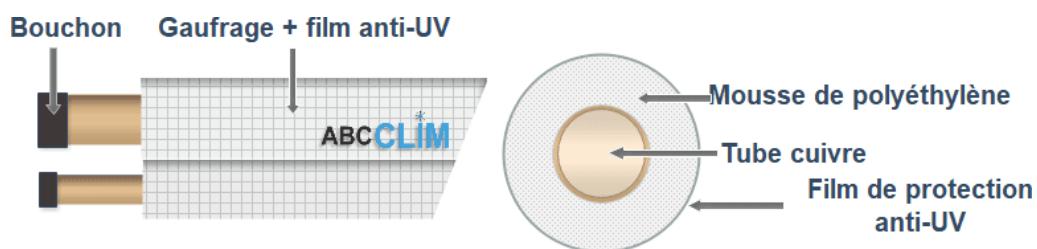
Tube en couronne recuit

Distribution des fluides frigorigènes pour la climatisation, le conditionnement d'air.

Isolation en mousse de polyéthylène haute densité, revêtue d'un film de protection anti-UV et pare vapeur.

La gaine ne contient pas de CFC, ni de HCFC conformément au Règlement (CE) N°2037/2000.

Classement au feu : 3 qualités d'isolant sont disponibles Mo (incombustible), M1 (combustible, ininflammable), M2 (combustible, peu inflammable).



Le cas des tuyauteries pour installation CO2

Utilisez des tubes renforcés conforme aux exigences de la norme EN12735-1 (2020).

Astuce :

Contrairement au cuivre standard, ce matériau est légèrement magnétique. On peut donc facilement le repérer en utilisant un aimant.

Dimensions des tubes frigorifiques

Diamètre extérieur en millimètre	Epaisseur en millimètre	Diamètre intérieur en millimètre	Surface extérieure par mètre lin. En cm ²	Surface Intérieure par mètre lin. En cm ²	Section extérieure du tube en cm ² Volume extérieur en dm ³ pour 10m	Section intérieure du tube en cm ² Volume intérieur en dm ³ pour 10m	Poids au mètre en kg
1/4	0.800	4.75	199	148	0.315	0.176	0.122
3/8	0.762	8.00	299	252	0.713	0.5025	0.185
1/2	0.889	10.90	399	342	1.270	0.937	0.293
5/8	1.016	13.84	499	435	1.975	1.500	0.418
3/4	1.067	16.92	598	532	2.850	2.247	0.528
7/8	1.143	19.94	698	626	3.900	3.122	0.686
1"1/8	1.270	26.03	896	817	6.400	5.322	0.950
1"3/8	1.400	32.12	1098	1010	9.570	8.107	1.280
1"5/8	1.524	38.22	1295	1202	13.300	11.405	1.670
2"1/8	1.778	50.42	1695	1582	22.880	19.996	2.540
2"5/8	2.032	62.56	2098	1969	35.000	30.786	3.700
3"1/8	2.286	74.80	2490	2350	49.500	43.944	4.000
3"5/8	2.540	86.99	2890	2738	66.600	59.430	6.300
4"1/8	2.794	99.18	3290	3120	86.000	77.260	7.700
5"1/8	3.175	127.82	4100	4010	132.000	120.388	10.200

Généralités sur la tuyauterie

Le succès de toute installation frigorifique dépend largement de la bonne conception de la tuyauterie. Voici ici quelques informations générales sur le calcul et la mise en oeuvre de la tuyauterie cuivre.

Dans l'ensemble du réseau, les pertes de charge doivent être réduites au maximum, car elles ont une influence non seulement sur le fonctionnement de l'installation, mais aussi sur sa puissance.

Les pertes de charge se calculent à partir d'abaque et sont exprimées en chute de température, la détermination du diamètre des tuyauteries doit respecter une perte de charge correspondant à 1°C.

Il faudra tenir compte de l'ensemble des pertes de charge, la tuyauterie et accessoires, tels que les vannes solénoïdes, filtre déshydrateur, vannes, etc.

Il faudra éviter sur le parcours de la tuyauterie les coude à 90° au rayon trop faible, utilisez plutôt des coude à 45° ou des coude à 90° grands rayon, et si vous exécutez vous-même les coude avec un ressort il faudra respecter un rayon égal à 10 fois la section de tube.

Les changements de direction ne doivent pas être trop brusques afin d'éviter les turbulences, car elles représentent des sources de pertes de charge importantes, si l'on doit raccorder plusieurs tés sur une même conduite prévoir une longueur droite en éloignant chaque té d'une longueur correspondant à 10 fois la dimension du tube.

Tuyauterie de liquide :

Les pertes de charge dans la conduite liquide ne posent que très peu de problèmes au niveau du retour d'huile, car la vitesse du fluide est souvent suffisante pour entraîner l'huile, mais par contre une perte de charge excessive, des accessoires ou une mauvaise dimension de la tuyauterie peuvent engendrer des phénomènes de flash gaz (pré détente) c'est-à-dire une vaporisation partielle dans la ligne liquide causant une sous-alimentation du détendeur.

Tuyauterie d'aspiration :

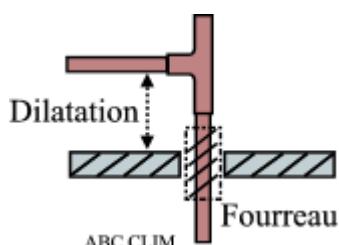
Dans la conduite aspiration c'est essentiellement des problèmes de Retour d'huile dont il faudra tenir compte. Poser la tuyauterie d'aspiration avec une pente de 2 cm par mètre pour permettre à l'huile de retourner facilement au compresseur. Éviter également les contre-pentes où l'huile peut s'accumuler.

Si la vitesse des gaz est trop peu importante dues par exemple à un dimensionnement erroné de la tuyauterie l'entraînement d'huile deviendra difficile, l'huile tapissera la paroi intérieure des tubes ou restera piégée dans des portions du réseau.

Le calcul dimensionnement de la tuyauterie devra permettre l'entraînement d'huile pendant fonctionnement à charge minimale, dans le cas par exemple de compresseur à réduction de puissance ou de compresseurs montés en parallèle.

Conduite de refoulement :

Ici aussi on doit respecter une vitesse minimale pour assurer que le retour d'huile surtout dans les colonnes montantes.



Support tuyauterie :

Les tuyauteries doivent être maintenues correctement, les supports doivent résister au poids des tuyaux et de leurs accessoires.

Les coude et les tés devront être éloignés suffisamment de tout obstacle pour permettre les mouvements engendrés par la dilatation.

Au passage des murs et des planchers, les tuyauteries seront protégées par des fourreaux.

Isolation

Les tuyauteries de liquide seront isolées que si la température ambiante est inférieure à celle du tube.

La tuyauterie d'aspiration devra être isolée pour éviter le phénomène de condensation, l'épaisseur de l'isolant doit être telle que sa température externe soit supérieure au point de rosée de l'air ambiant.

Entre la tuyauterie et l'isolant il ne doit pas y avoir d'espace afin d'éviter que le tube condense à l'intérieur de l'isolation, les accessoires eux aussi, doivent être isolés de manière parfaite.

Principaux isolants pour le cuivre:

- Isolant en mousse caoutchouc élastomère, couleur noir, longueur ou plaque.
- Isolant en polyéthylène expansé, couleur blanche.
- Coquilles polyuréthane ou élastomère revêtues d'une fine feuille d'aluminium.

Raccords laiton, SAE et NPT

La réalisation d'installations de froid et de climatisation nécessite la mise en œuvre de raccord varié, coude, té, réduction, écrou, etc.

Dans cet article nous étudierons les raccords en laiton matricé, largement utilisés par les frigoristes.

Le matriçage est une opération effectuée à chaud, la pièce en laiton est mise en forme par contrainte à l'aide de matrices. Le laiton matricé étant très résistant mécaniquement, peu sujet à la déformation, il convient bien à l'utilisation de tuyauterie frigorifique.

Raccord SAE

SAE (Society of Automotive Engineers) vient d'une norme américaine ancienne mais toujours utilisée qui définit, le diamètre en pouce (1 pouce = 25,4) ou en fraction de pouce du tube à raccorder et le pas (filetage) par un nombre de filets au pouce. Le filetage d'un raccord SAE est de type cylindrique c'est-à-dire que la section est égale sur toute la longueur. La partie qui est en contact avec le dudgeon (pièce conique en cuivre) est inclinée à 45 degrés, c'est la partie flare du raccord.

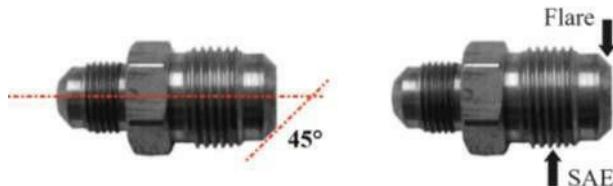


Tableau des raccords SAE :

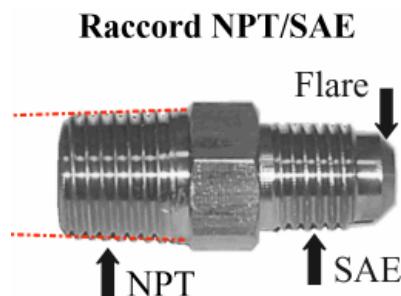
Dénomination	Diamètre filetage	Nb filets au pouce	Tube
1/4"	11,112	20	1/4"
3/8"	15,875	18	3/8"
1/2 "	19,05	16	1/2 "
5/8 "	22,225	14	5/8 "
3/4 "	26,987	14	3/4 "
1"	34,924	12	1"
1"1/8	38,1	12	1"1/8

Raccord NPT(briggs), mixte NPT/SEA

Les raccords NPT (standard américain) aussi appelés briggs sont de type filet conique, mâles (MPT) ou femelles(FPT) utilisés principalement pour être raccordés sur les carters de compresseurs, pompes à huile, vannes, culasses etc.

Les raccords mixtes sont utilisés quand à eux pour transformer les raccords NPT en SAE.

Ici l'étanchéité est faite à l'aide de téflon ou de résine spéciale (LEAK LOCK).



Autres types de raccords

Moins fréquent dans les installations frigorifiques on retrouve ces types de raccordements pour les transducteur de pression, manomètre, sonde.

BSP cylindrique: Etanchéité par joint laiton ou aluminium.

BSP conique : Etanchéité par pâte, résine, téflon.

Travail du cuivre et dudgeon

En climatisation et en froid commercial il est impératif de couper les tubes de cuivre avec un coupe-tube et non avec une lame de scie car la coupe serait inégale et avec un maximum de bavures.

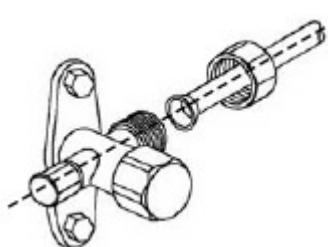
Une fois le tube coupé la deuxième opération consiste à ébavurer le tube en supprimant les bavures(intérieur, extérieur) faites par la coupe ,on doit toujours diriger le tube vers le bas pendant l'ébavurage de manière à ne pas introduire de morceaux de cuivre à l'intérieur du circuit frigorifique.

Pour réaliser un raccord du type à visser on effectuera un dudgeon

L'opération permettant de raccorder deux longueurs de cuivre entre elles peut être exécuté soit par manchon soudé ou par évasement , l'évasement consiste à porter le diamètre intérieur du tube à son diamètre extérieur .Ce manchon ainsi constitué doit être assez profond 10 mm environ.

Dans le travail du cuivre ,le changement de direction peut être exécuté à l'aide de coudes soudés ou par cintrage du tube effectué manuellement avec des ressorts pour éviter la déformation du tube ou à l'aide d'une cintreuse.

Comment faire un dudgeon ?



1. Coupez le tuyau :

Il est impératif de couper les tubes de cuivre avec un coupe-tube et non avec une lame de scie, car la coupe serait inégale et avec un maximum de bavures, la coupe doit être horizontale.

2. Ebavurage du tube:

L'ébavurage consiste à supprimer les bavures faites par la coupe, diriger le tube vers le bas pendant l'ébavurage de manière à ne pas introduire de morceaux de cuivre à l'intérieur du circuit frigorifique.

Attention , avec certains cuivres un ébavurage trop appuyé peut faire fendre le dudgeon (partie conique)..solution pratique...chauffer la partie à dudgeonner pour écrouir légèrement le tube.

3. Mettre en place de l'écrou

Avant d'effectuer le dudgeon, ne pas oublier de mettre en place l'écrou.

4. Exécution du dudgeon

Serrer le tuyau propre dans l'étau , positionner l'étrier pour effectuer le dudgeon (voir tableau pour écart entre l'étrier et la fin du tube) celui-ci devra être assez large, mais l'écrou doit rester libre.Il doit présenter une surface lisse et des bords lisses évasés d'une longueur uniforme.

Dimension tube	Écart étrier/tube en mm
1/4	1,5
3/8	1,5
1/2	1,8
5/8 et 3/4	2

5. Serrage du raccord

Visser l'écrou à la main en gardant aligné le tube,l'écrou doit être libre, si possible interposer une goutte d'huile frigorifique entre les parties mâles et femelles (du même type que d'huile utilisée dans le circuit).

Serrer avec 2 clés à molette le dudgeon en forçant suffisamment afin que le dudgeon soit bien en contact avec la partie mâle conique. Bien sûr l'idéal est d'utiliser une clé dynamométrique voir le tableau ci-dessous.3

NB: Evitez de mettre une pâte d'étanchéité sur le dudgeon ou sur le filetage, car ce type de produit n'est pas recommandé s'il est introduit dans le circuit frigorifique, logiquement un dudgeon bien fait suffit pour faire une bonne étanchéité.

Diamètre Nominal ("")	Diamètre extérieur (mm) Ø	Couple de serrage (N·m) (kgf·cm)
1/4	6.35	14 ~ 18 (140 ~ 180)
3/8	9.52	33 ~ 42 (330 ~ 420)
1/2	12.70	33 ~ 42 (330 ~ 420)
5/8	15.88	33 ~ 42 (330 ~ 420)

Comment réaliser une emboîture

Évasement en 2 passes

1. Marquer l'endroit exact de la coupe.
2. Couper le tube avec un coupe tube.
3. Ébavurer le tube, diriger le tube vers le bas pendant l'ébavurage.
4. Choisir la tête au diamètre du tube, visser là sur la pince.
5. Incérer la pince à emboîture dans le tube.
6. Refermer la pince doucement à moitié de sa course.
7. Retirer la pince du tube
8. Remettre en place la pince dans le tube en tournant le tube de manière à ne pas être au même endroit.
9. Refermer entièrement la pince.

Introduire le tube à souder dans l'emboîture puis faire une soudure.

Le fait de réaliser cette emboîture en 2 passes évite que le tube se fende par la contrainte, surtout si celui-ci n'est pas recuit.

Attention sur certain tube , il faudra recuire (chauffer le cuivre au chalumeau) le tube afin de réaliser une emboiture convenable, en fait c'est en fonction de la qualité du cuivre que cette opération sera nécessaire ou pas.

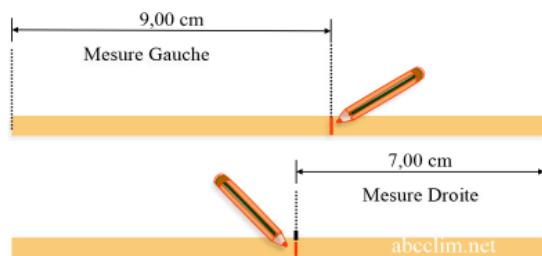


Utiliser une cintreuse à main ?

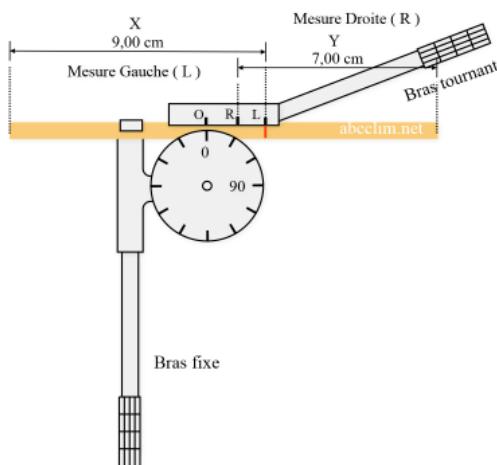
Pour exécuter un changement de direction, l'utilisation d'une cintreuse est un moyen simple et rapide. Le cintrage n'est possible que sur un tube cuivre recuit, par exemple pour les barres il faudra chauffer (recuire) la partie à cintrer pour le rendre plus malléable, une fois recuit il faudra éliminer la calamine à l'intérieure du tube.

Plusieurs techniques existent pour procéder à un pliage ici nous serons pragmatiques, nous utiliserons la plus simple.

1) Voyons comment faire simplement un angle à 90°, reportons sur le tube la mesure désirée, attention au sens de pliage, ici nous utiliserons la mesure côté gauche 9 cm.

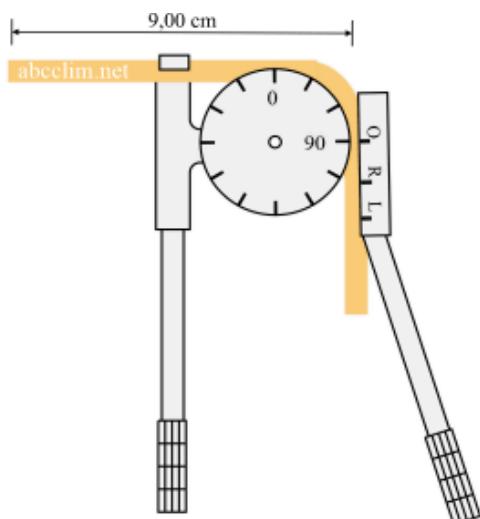


2) Mettre le tube en place dans la cintreuse en faisant coïncider la marque sur le tube (côté x) avec le repère L (Left) de la cintreuse, si l'on utilise la mesure côté droit (côté Y) il faudrait que la marque soit sur le repère R (Right).



3) Plier le tube en ramenant le bras jusqu'à ce que le repère o du bras soit en face du repère 90° du galet.

On remarquera que la longueur totale au pliage est comprise entre le début du tube et le bord extérieur du tube.



La brasure

La brasure consiste à assembler des parties métalliques à l'aide d'un apport d'alliage soudure sous forme de baguette dont la température de fusion est inférieure à celle des pièces à assembler. Il convient de différencier le brasage tendre employé surtout en électronique, électricité et le brasage fort que l'on emploie en plomberie, climatisation, etc. Évidemment le brasage qui nous intéresse est le brasage fort employé pour le montage des installations de climatisation, on parle de brasage fort lorsque la température de travail dépasse 450 °.

Tout d'abord deux notions utiles quand on parle de brasage :

1) le mouillage

Quand la liaison entre la brasure et la pièce à souder est sans défaut apparent que l'écoulement de la brasure apparaît uniforme on parle de mouillage .

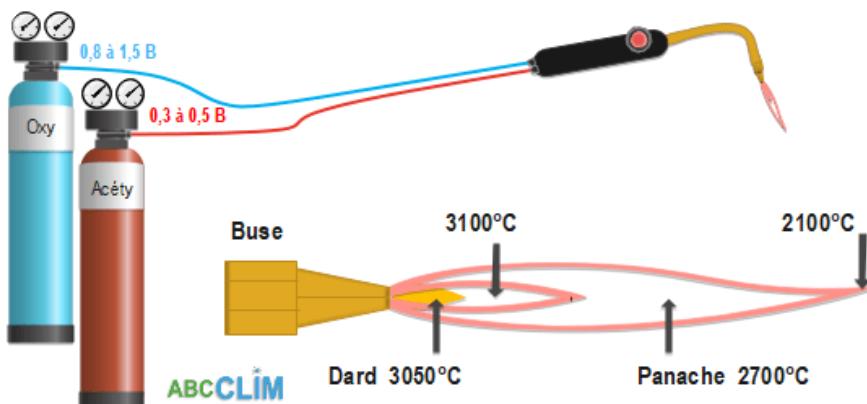
2) la capillarité

En chauffant les pièces à assembler jusqu'à la température de fusion de la baguette un phénomène d'attraction attirera la soudure, ce phénomène s'appelle la capillarité, cette attraction sera d'autant plus efficace si les parties sont intimement liées facilitant ainsi la capillarité donc il faudra éviter un jeu trop important entre pièces.

Préparations des pièces :

- dégraissier si nécessaire avec un chiffon imbibé de solvant.
- décaper avec une brosse métallique ou laine acier
- ajuster les pièces à leur place définitive faite éventuellement un repère.

Appliquer avant soudure si possible ou pendant la soudure du décapant sur les pièces ce décapant ou flux est une substance qui favorise la capillarité en assurant un décapage chimique des surfaces.
En général il se présente sous forme de pâte, poudre, liquide il peut être aussi enrobés autour de la baguette de brasure.



La soudure :

Les brasures (métal d'apport) les plus courantes sont les baguettes phosphore, argent qui suivant le prix possède un pourcentage plus ou moins important d'argent allant de 20 % à 55 % suivant les applications.

1. Régler les pressions du chalumeau aux valeurs suivantes 0,3 à 0,5 bar pour l'acétylène et 0,8 à 1,5 bar pour l'oxygène.
2. Choisir la buse appropriée en fonction du résultat à obtenir ,en climatisation les buses employées sont comprises entre les débits de 160 litres minutes et 350 litres minutes.

3. Régler le chalumeau afin d'obtenir une flamme homogène assez courte et régulière.
4. Chauffer les pièces au préalable de façon homogène puis appliquer la soudure enduite de décapant en prenant garde de toujours chauffer la totalité de l'assemblage pour que la soudure coule uniformément.
5. Laissez refroidir sans bouger les pièces un moment avant d'accélérer éventuellement le refroidissement des pièces.
6. Contrôler visuellement après nettoyage de la soudure l'aspect général de votre travail la brasure doit être lisse, homogène, sans défaut de compacité, sans trou où manque d'alliage

Il est préférable de positionner la buse du chalumeau dans un angle de 45 degrés par rapport à la pièce en chauffant plutôt la pièce femelle dans le cas d'un emboîtement ce qui favorisera l'écoulement de la soudure tout autour des pièces.

Pour les éléments tels que détendeur ,vannes 4 voies, mettre un chiffon humide autour afin de refroidir la pièce .

La brasure sous azote : <https://youtu.be/Og8Z4n7cxFw>

La brasure sous azote ne change rien à la technique de la soudure qui reste identique, mais cette pratique évite que la calamine se forme à l'intérieur du tube en introduisant un gaz inerte généralement de l'azote.

L'azote est introduit d'un côté du tube tandis que l'autre côté reste ouvert, il suffira d'un filet d'azote pour que l'oxygène du tuyau à souder soit chassé empêchant ainsi la calamine de ce former. La calamine est préjudiciable au bon fonctionnement des certains éléments comme les détendeurs mécaniques et électroniques, cette mise en œuvre est recommandée pour les tuyauteries des VRV,DRV (installation à débit variable).

Comment réaliser une évacuation de condensat ?

L'air que nous respirons contient une certaine quantité d'eau sous forme gazeuse, cette quantité exprimée en pourcentage s'appelle l'humidité relative.

A une certaine pression donnée plus on refroidit l'air plus le taux d'humidité relative augmente.

La condensation est un phénomène physique qui représente le passage d'un corps de l'état gazeux à l'état liquide. Pour que la vapeur d'eau contenue dans l'air change d'état, il faudra atteindre le point de rosée c'est-à-dire atteindre la température à laquelle la vapeur d'eau présente dans l'air se transformera en eau. Les trois conditions qui régissent ce phénomène physique dépendent du taux d'hygrométrie (humidité relative), de la pression atmosphérique, et de la température.

Dans une installation de climatisation quand l'air traverse l'évaporateur, la température de surface de cet échangeur est inférieure à la température de rosée, alors l'humidité contenue dans l'air se transforme en eau et s'écoule le long de la batterie jusqu'au bac à condensat.

La quantité d'eau produite par ce phénomène peut être très importante de quelques litres à plusieurs dizaines de litres en fonction de la taille et de la puissance de l'installation.

Par exemple pour 100 m² de surface climatisée il faudra compter de 20 à 40 l d'eau par jour.

Les réseaux acheminant l'eau de condensation sont fait généralement en PVC standard de type vidange pour les CTA, les UTA, les gainables. Les diamètres utilisés en général vont de 32 à 63 mm les longueurs, les coudes, les tés et tous les autres accessoires s'assemblent par collage.

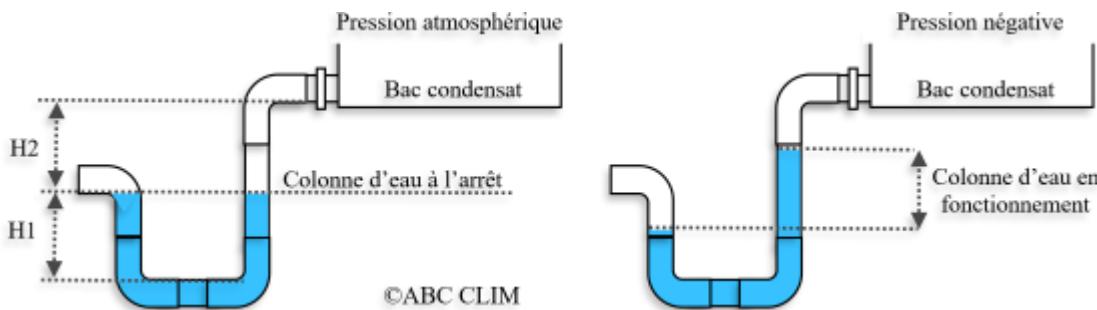
Pour les petites unités du style split-system et multisplit, il existe du tube souple spiralé de diamètre 16/20 vendu en carton de 50 mètres, avec de nombreux accessoires.

Mise en place des réseaux PVC :

1. Les longueurs de tubes et accessoires doivent être propres et décapées (papier de verre, décapant).
2. L'encollage se fait sur la partie mâle et la partie femelle de l'assemblage, collage sans torsion.
3. Prévoir une pente de 1 cm par mètre pour les longueurs horizontales.
4. Les supports doivent être espacés de manière à ce que le tube soit le plus droit possible.
5. Pour les unités à grande dépression comme les CTA ou les gainables, prévoir un siphon en sortie de bac, de telle manière que la hauteur du siphon soit supérieure à la dépression maximale de l'unité (+ 20 mm en plus en sécurité), sachant qu'un millimètre de colonne d'eau est égal à dix pascal .

Exemple :

$$\begin{aligned}\text{Dépression CTA} &= 400 \text{ Pa} \\ 400 \text{ Pa} : 10 &= 40 \text{ mm} \\ H_1 = 40 \text{ mm} + 20 \text{ mm} &= 60 \text{ mm} \\ H_2 = 40 \text{ mm} + 20 \text{ mm} &= 60 \text{ mm}\end{aligned}$$



Nota :

Les siphons de ligne vendus dans le commerce ne sont prévus que pour éviter les odeurs et ne peuvent combattre aucune dépression.

Quand la longueur du réseau est importante on peut prévoir une prise d'air ou évent cela facilitera l'écoulement.

L'isolation des siphons est souvent préconisé surtout sur les appareils à détente directe (point de rosée = condensation).

Abaques câbles électriques

Les conducteurs permettent de transporter l'électricité d'un émetteur vers un récepteur. Ceux-ci doivent être les moins résistant possible au passage du courant afin d'éviter une perte de tension préjudiciable au bon fonctionnement des récepteurs surtout si ce sont des moteurs et aussi afin de limiter l'échauffement des câbles par effet Joule.

Pour éviter ce genre de problème les câbles d'une installation doivent être correctement dimensionnés.

Les trois paramètres qui influencent le dimensionnement des câbles :

- La nature du conducteur, meilleure est sa conductivité moins sa résistance est importante
- La longueur, plus un conducteur est long plus sa résistance est grande ;
- Le diamètre, la résistance d'un conducteur est inversement proportionnelle au carré de son diamètre.

Les meilleurs conducteurs électriques sont l'argent, le cuivre, l'or et l'aluminium.

Estimation par le calcul :

$$S = r * L * I / V$$

r : résistivité du cuivre soit 0,021 ohms

L : longueur totale en mètre

I : Courant en A (ampère)

V : la chute de tension

"Un abaque permet une estimation rapide, ne prend pas en compte les cas particuliers, le mode de pose l'environnement.etc."

Les tableaux suivants sont valables pour un courant monophasé 240 V et triphasé 400 V, le cos phi(φ) est de 0,8 (moteur électrique).

Conducteur cuivre avec une chute de tension de 3 % environ (à partir d'un réseau de distribution public à basse tension).

P : signifie puissance consommée en kilowatt (kW)

I : intensité du courant en ampères (A).

Tableau de choix pour une tension de 240 Volts Monophasé .

Cos Ø = c'est le rendement ou plus exactement le cosinus phi représente la valeur du déphasage angulaire entre la tension et l'intensité du courant dans un circuit alternatif.

Exemples d'utilisation du tableau :

- Soit une intensité de **16 A** à transporter **sur 82 Mètres**, il faudra employer **un câble de 10 mm²**,
Puisque un câble de 6 mm² est limité pour cet intensité à 56 m

- Soit une puissance de **2 KW** (2000 Watts) à transporter sur **100 Mètres**, il faudra **un câble de 6 mm²**.

240 VOLTS - MONOPHASÉ- COS φ = 0,8		Sections en mm ²														
P en en	I en en	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
1	4,6	30	84	135	200	335	530									
1,5	6,8	33	57	90	130	225	355	565								
2	9	25	43	68	100	170	365	430	595							
2,5	11,5	20	34	54	80	135	210	340	470	630						
3	13,5	17	29	45	65	110	180	285	395	520						
3,5	16	14	24	39	56	96	155	245	335	450						
4	18		21	34	49	84	135	210	295	395	580					
4,5	20		19	30	44	75	120	190	262	350	515					
5	23			27	39	68	105	170	235	315	460	630				
6	27			23	32	56	70	140	195	260	385	530				
7	32				28	48	76	120	170	225	330	460				
8	36					42	67	105	145	195	290	400				
9	41					38	60	941	30	175	255	355				
10	45					34	54	84	120	155	230	320				
12	55						45	70	96	130	190	265				
14	64						38	60	84	110	165	230				
16	73							53	74	99	145	200				
18	82							47	65	88	125	175				
20	91								59	79	115	160				

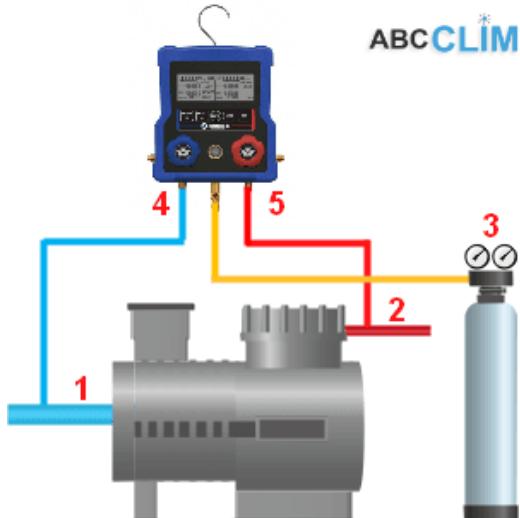
Tableau de choix pour une tension de 400Volts Triphasé.

400 VOLTS - TRIPHASÉ - COS φ =0,8		Sections en mm ²																
P en KW	I en A	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240		
2,5	5	190	325	510	745													
3	6	160	270	420	620													
3,5	7	135	230	365	540	895												
4	8	120	200	320	470	785												
4,5	9	105	180	285	420	700												
5	10	96	165	255	375	630	970											
6	12	79	135	210	315	525	810											
7	14	68	115	180	270	455	700											
8	16	60	105	160	240	400	610	940										
9	18	51	92	145	215	355	550	850										
10	19		84	130	190	320	500	780										
12	23		69	110	160	265	415	640	880									
14	27			94	140	230	355	550	750									
16	31				81	120	200	315	485	655	860							
18	35					110	180	280	430	580	770							
20	38					98	160	255	390	520	690							
25	48						130	205	315	420	555	760						
30	57							170	260	355	465	640	840					
35	67							145	225	300	400	550	730					
40	76								195	260	350	480	640	745				
45	86								175	235	310	430	565	670	770			
50	95								160	215	285	385	510	600	695			
60	114									180	235	320	420	500	580	680		
70	133										200	275	365	430	495	580		
80	152											240	315	375	430	510	600	
90	171												215	280	335	385	445	535
100	190													250	300	350	405	480
120	228														250	290	340	400
140	266															250	290	345
160	304																255	300
180	342																	265

Contrôle d'étanchéité d'un circuit frigorifique

Évidemment pour faire les essais d'étanchéité sur une installation neuve les tuyauteries devront être terminées y compris la pose des organes déshydrateur, voyant, vannes électromagnétiques, etc. La procédure est identique si vous vérifiez l'étanchéité d'une installation ancienne, si la recherche de fuite est complexe l'utilisation d'azote hydrogéné est plutôt indiquée (voir la vidéo <https://youtu.be/z6mRdj9HMp4>).

Mise sous pression d'azote:



1: Raccorder les manomètres à l'installation , manomètre BP (repère 4)à lavanne de service basse pression (repère 1) du compresseur et le manomètre HP (repère 5)à la vanne de service haute pression(repère 2) du compresseur.

2: Raccorder la bouteille d'azote sur la voie de service des manifolds .(Repère 3)

3: Ouvrir les vannes HP et BP en position intermédiaire (repère 1 et 2) sur le compresseur,pour les appareils préchargés ne test que la tuyauterie en laissant fermées les vannes de l'unité extérieure.

4: Ouvrir la vanne de la bouteille d'azote (repère 3), puis purger le flexible de charge pour chasser l'air.

5: Faire ouvrir la ou les vannes électromagnétiques en les alimentant ou avec des aimants prévus a cet effet.

6: Introduire l'azote en ouvrant les vannes des manomètres HPet BP.(repère 4 et 5)

7: Remplir d'azote en réglant le manomètre de la bouteille d'azote à la pression maximum de fonctionnement de l'installation* (35 bars pour VRV,DRV).

8: Fermer la bouteille d'azote ,les vannes des manomètres et du compresseur ,débrancher le flexible de la voie de service.(repère 3) et les manomètres.

9: Laisser en pression ,contrôler les dudgeons et raccords divers à la bombe pressurisée, vérifier la pression après plusieurs jours (soudure) .

*Attention aux clapets des compresseurs à pistons.

Moyen de contrôle des fuites (si fuites après mise en route)

Rechercher les fuites sur les raccords, les brasures et tous les éléments susceptibles de fuir.
Les moyens de détection sont nombreux les principaux sont:

- La lampe halogène(obsolete) : seulement adapté au HCF,c'est une flamme qui chauffe une plaque de cuivre qui devient verte en présence de chlore.
- Bombe pressurisée : c'est une solution aqueuse que l'on pulvérise sur les raccords et qui en présence des fuites forme des bulles.
- Détecteur électronique: le détecteur applique un champ magnétique qui ionise le gaz en formant un nuage d'électrons.
- Produits fluorescents : on introduit dans l'huile du compresseur un traceur fluorescent , qui en cas de fuites devient visible lorsqu'il est soumis à une lampe à UV .

Tirage au vide

Cette opération s'effectue après avoir bien sûr vérifié les fuites sur l'ensemble de l'installation.

« Le tirage au vide n'est en aucun cas une vérification de l'étanchéité du circuit. »

Le tirage au vide est nécessaire non seulement pour enlever l'air contenu dans l'installation (incondensable), mais aussi cela sert à retirer l'humidité, la méthode étant de faire passer cette humidité de l'état liquide à l'état vapeur en descendant suffisamment au vide, exemple à une température de 16°C il faut atteindre une dépression de 18,2 mbar pour passer de l'état liquide à l'état de vapeur (saturation de l'eau). On doit contrôler cette teneur en humidité avec un vacuomètre.

Procédure du tirage au vide:

1: Raccorder les manomètres à l'installation , manomètre BP (repère 4) à la vanne de service basse pression(repère 1) du compresseur et le manomètre HP (repère 5) à la vanne de service haute pression(repère 2) du compresseur. Pendant le tirage au vide, la mesure du niveau de la dépression se fait à l'aide d'un vacuomètre(indicateur de vide,repère 6).

2: Raccorder la pompe à vide sur la voie de service des manifolds .

3: Ouvrir les vannes HP et BP manomètres et compresseur.

4: Faire ouvrir la ou les vannes électromagnétiques en les alimentant ou avec des aimants conçus à cet effet (voir fournisseurs) .

5: Mettre en route la pompe à vide (vérifiez le niveau d'huile de la pompe à vide avant).

6: Laisser fonctionné de 1/2h ,à plusieurs heures suivant la taille de l'installation.

NB: A ce moment de la procédure on peut pour améliorer l'efficacité "cassé le vide" c'est-à-dire introduire une certaine quantité d'azote puis retirer l'installation au vide opération que l'on peut répétée plusieurs fois en cas de présence d'humidité.(méthode des 3 vides)

7: Quand le tirage au vide est fini ,voir le vacuomètre qui doit indiquer une dépression inférieure à la tension de vapeur correspondant à la température mesurée (**tableau ci-dessous**), fermer les vannes HP et BP du manifold (repère 4 et 5) mettre à l'arrêt la pompe à vide.

8: Retirer la pompe à vide et le vacuomètre mettre une bouteille de fluide à la place.

9: Introduire la charge d'usine quand c'est possible, mais dans tous les cas mettre une charge de sécurité en notant la quantité introduite.

<https://youtu.be/xXyndzTZvOM>



L'humidité a de fortes liaisons moléculaires et ne se libère pas facilement des surfaces auxquelles elle se fixe. Il faut de l'énergie et du temps pour que ces liaisons se rompent ainsi qu'un vide poussé pour que la pompe évacue finalement cette humidité hors du système.

Pour répondre à la question combien de temps doit on tirer au vide une installation et bien avec cette table la réponse est simple cela dépendra du temps qu'il faudra **pour atteindre le vide à la température de l'installation**.

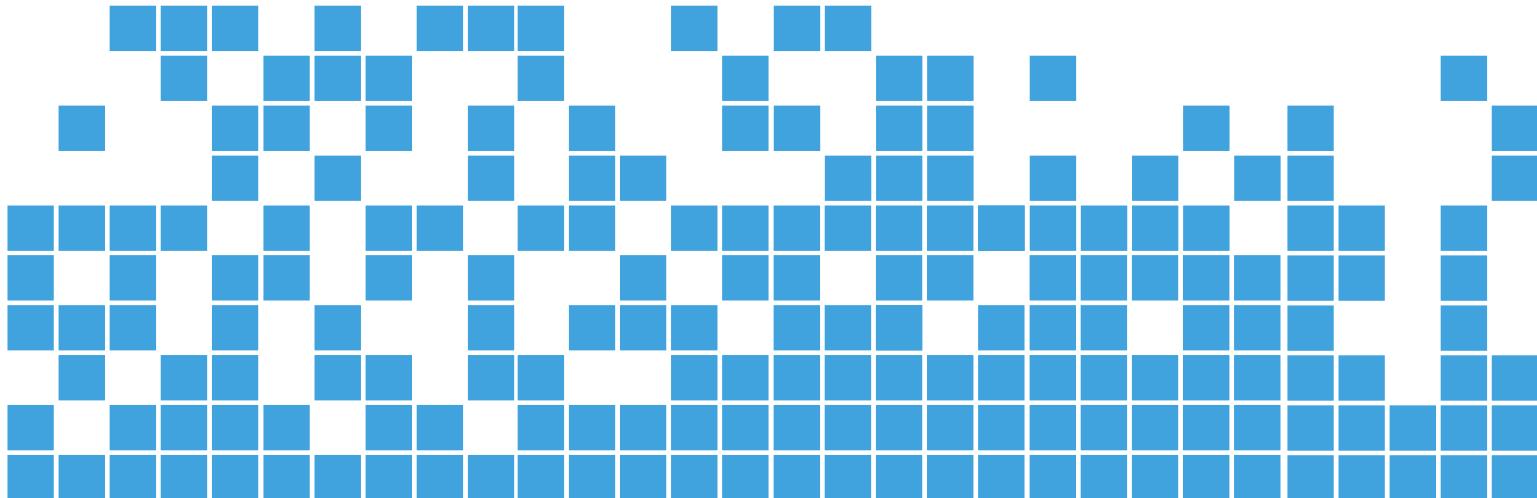
Le temps de tirage est aussi tributaire :

1. Du débit de la pompe à vide,
2. De teneur en humidité présente dans le système.

Table de pression de vapeur saturante de l'eau

Température °C	Pabs (mbar)	Pabs (Pascal)
-20	1,03	103
-10	2,6	260
0	6,1	610
5	8,7	870
10	12,3	1230
12	14	1400
14	16	1600
16	18,2	1820
18	20,6	2060
20	23,4	2340
22	26,4	2640
25	31,7	3170
26	33,6	3360
28	37,8	3780
30	42,4	4240
40	73,8	7380
50	123	12300
60	199	19900
100	1013	101300

Fiches pratiques :Mise en service



Procédure de mise en service

(roof-top, centrale à eau glacée, VRV... etc.)

Cette procédure de mise en route est une parmi tant d'autres, chaque frigoriste à la sienne.

Avant toute chose il faudra la veille ou quelques heures avant la mise en route alimenter les résistances de carter du ou des groupes, ceci afin d'éviter une migration excessive de l'huile au démarrage.

Mise en service en 18 points

1. Vérifier la tension des phases en amont du disjoncteur de tête de l'installation. (entre phases, entre neutre et phases, entre phases et terre)
2. Faire une vérification des raccordements électriques de puissance et de télécommande, schémas à l'appui, resserré les connexions électriques.
3. Faire une vérification visuelle de l'état de la machine, des tuyauteries gaz , hydraulique, des conduits aérauliques, des turbines, courroies, etc.
4. Alimenter votre machine via le disjoncteur général, les protections, porte fusible, disjoncteur des organes (ventilateurs, pompes etc) sont coupés.
5. Relever une à une les protections ventilateurs, pompes, etc. sauf celui du compresseur et du circuit de télécommande
6. Actionner manuellement les contacteurs, des ventilateurs, pompes, circulateurs, etc. pour contrôler le sens de rotation.
7. A ce stade contrôler les débits d'air (Roof-Top, CTA à détente directe, etc), d'eau, etc...suivant installation.
8. Mettre en place les manomètres ou manifolds sur les vannes de service compresseur.
9. Encrercher la protection du circuit de télécommande et faire si possible un essai de télécommande à blanc c'est-à-dire sans faire fonctionner le (ou les) compresseur toujours coupé au niveau de l'alimentation.
10. Mettre sous tension le ou les compresseurs
11. Pour les installations avec compresseurs scroll (triphasé), faire un contrôle des sens de rotation des compresseurs, les pressions doivent être normales (si le compresseur n'aspire pas = changement de sens).
12. Mettre en route l'installation par la télécommande en choisissant le mode souhaité.
13. Vérifier lors de ce premier démarrage que le cycle de fonctionnement est conforme aux données du fabricant, enclement pompe, pré-ventilation, basculement vannes quatre voies, etc.
14. S'il y a lieu faire un complément de charge,en respectant la quantité par mètre pour le tube considéré (split, multi,VRV).
15. Contrôler les intensités de chaque moteur avec une pince ampèremétrique.
16. Faire un relevé technique, pressions d'aspiration, refoulement, différence de température ou delta T entrée/sortie chiller ou échangeur, contrôler surchauffe, le sous-refroidissement, etc...
17. A ce moment lorsque l'installation fonctionne correctement faire des essais défauts, coupure BP en fermant la vanne d'aspiration, coupure HP en obturant le condenseur ou en mettant un ventilateur à l'arrêt, procéder à des défauts électriques coupure thermique, disjoncteur moteur, etc.
18. Contrôler les cycles de fonctionnement (marche, arrêt), trois ou quatre cycles de fonctionnement doivent permettre de dire que l'installation fonctionne correctement.

Charge en fluide frigorigène

L' installation est tirée au vide (mise sous pression d'azote et recherches fuites effectuées), les appareils de sécurités et de régulations sont prérglés. Le jeu de manifolds est monté sur l'installation.

Bien évidemment si l'on connaît la quantité de fluide à introduire ce n'est que mieux, mais ce n'est pas toujours le cas et on peut utiliser cette méthode.

Matériel nécessaire :

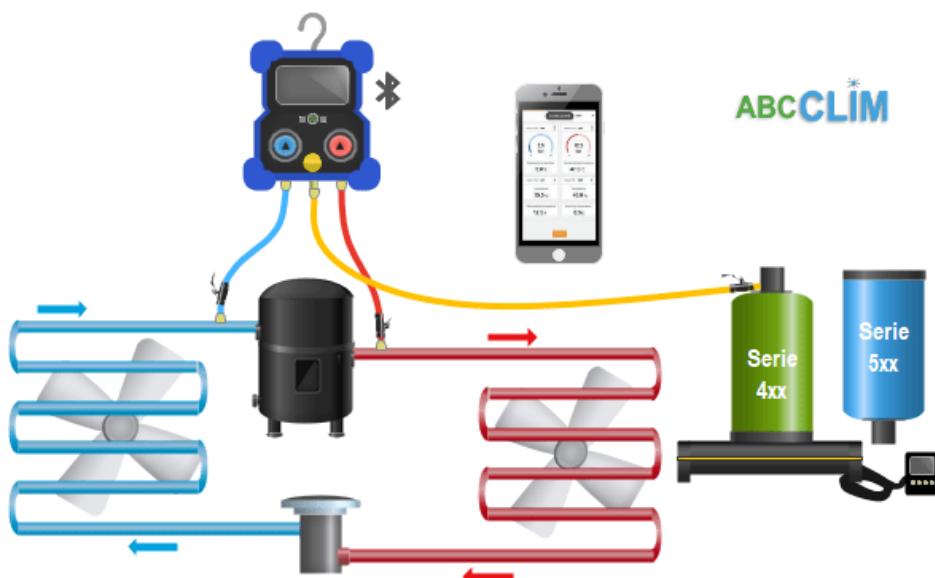
- Une bouteille de réfrigérant.
- Une balance.
- Une clef à cliquet.
- Un thermomètre équipé d'une sonde de contact.
- Un jeu de manifolds avec microvannes sur les flexibles.
- Une pompe à vide.

Mode opératoire : (installation mise au vide)

- Tirer au vide les manifolds
- Raccorder la pompe à vide sur la voie centrale des manifolds .
- Raccorder les flexibles HP et BP à l'installation (microvannes des flexibles fermées).
- Ouvrir la microvanne de la voie centrale et tirer au vide les manifolds, fermer la microvanne, débrancher et retirer la pompe à vide .
- Raccorder la bouteille de charge tête en haut (en phase liquide) sur la voie centrale du jeu de manifolds.
- Poser la bouteille de charge sur la balance afin de connaitre la quantité de fluide totale introduite dans l'installation
- Ouvrir la vanne de la bouteille de charge.
- Installation à l'arrêt, introduire une précharge de fluide dans le circuit BP et HP en ouvrant les by-pass HP et BP (+microvannes) du jeu de manifolds.
- Stopper l'introduction du fluide avant égalisation de pression (bouteille, circuit) .
- Refermer les by-pass BP et HP du jeu de manifold.
- Démarrer l'installation, la pression va chutée rapidement.
- Introduire le réfrigérant par le by-pass BP en liquide* (avec précaution) ou en vapeur* (retourner la bouteille).
- Dès que les premières bulles apparaissent au voyant de liquide, fermer le by-pass BP du jeu de manifold.
- Surveiller l'évolution des pressions ainsi que l'intensité du compresseur (voir la plaque compresseur).
- Ajuster la charge par le by-pass BP pour avoir un sous-refroidissement** (condenseur: entrée ,sortie) compris entre 4 et 7°C (remplissage correct de l'installation).
- Vérifier en régime établit la surchauffe évaporateur** (4 à 8°C, évaporateur bien alimenté) puis fermer la vanne le by-pass BP du jeu de manifold.
- Le voyant liquide ne doit presque plus avoir de bulles, la surchauffe et le sous-refroidissement sont corrects, l'intensité compresseur est inférieure à l'intensité nominale.

Plusieurs cycles de fonctionnement sont nécessaires pour valider un fonctionnement correct.

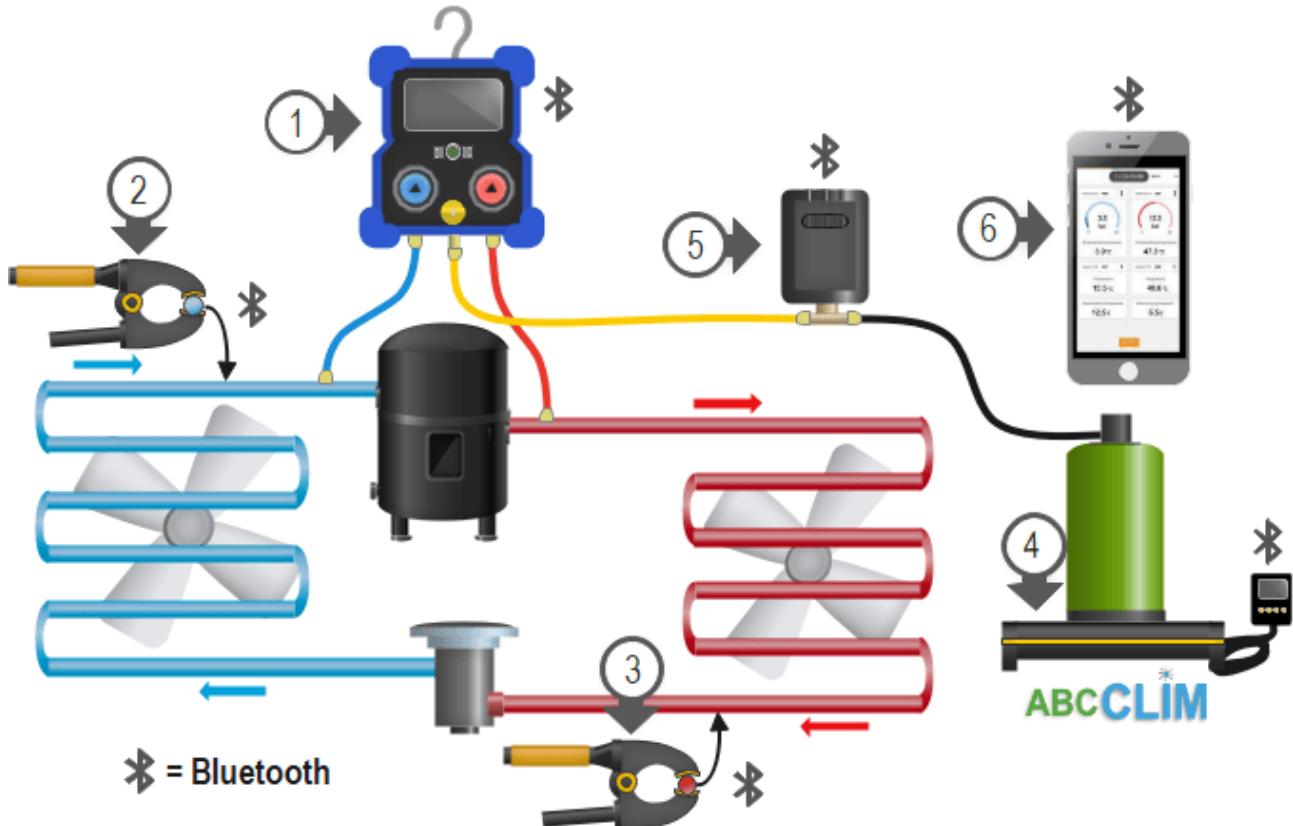
* En liquide avec les fluides zéotropes (fluides à glissement de température) ou en gaz pour les fluides purs ou azéotrope. ** Concernant les fluides zéotropes la surchauffe et le sous refroidissement sont prises de manières différentes qu'avec les fluides pur, voir la page sur les fluides à glissement de température



Charge en fluide et outils bluetooth

La charge de fluide automatique des installations frigorifiques en fonction de valeurs cibles, sous-refroidissement, surchauffe, poids de fluide. Grâce à l'utilisation d'un équipement électronique Bluetooth, manomètre (1), thermomètre à pince (2,3), balance (4), vanne remplissage intelligente (5), Smartphone (6) et son application.

Sélectionner un programme de charge, saisir la valeur cible de la surchauffe, du sous-refroidissement ou du poids de fluide dans l'Application de votre smartphone. La vanne va ouvrir et permettre une charge précise de l'installation jusqu'à la valeur voulue. Le poids de fluide introduit est enregistré sur l'application via la balance



Réglage surchauffe évaporateur

Une fois que la quantité de fluide frigorigène est introduite dans l'installation et que le sous refroidissement est correct mais que la surchauffe n'est pas bonne, la technique de réglage consiste à mettre d'abord le détendeur à la limite du pompage (ouverture, fermeture rapide du détendeur).

Rappel:

La surchauffe représente la différence entre la température mesurée au thermomètre au bulbe du détendeur et la température d'évaporation lue au manomètre BP, (relations : pression, température).

Brancher les manomètres et mettre la sonde du thermomètre bien en contact avec le tube au même endroit que le bulbe du détendeur.

Vérifiez si le positionnement du bulbe du détendeur est correct .

Durant le réglage, la HP doit être la plus stable possible car la puissance du détendeur fluctuera, commençons par ouvrir le détendeur ,dévisser par 1/4 de tour (sens antihoraire) la vis de réglage jusqu'à obtenir le pompage c'est-à-dire une instabilité dans la lecture du thermomètre et du manomètre basse pression.

Pour supprimer le pompage on augmente la surchauffe en fermant le détendeur (sens horaire) par 1/4 voir 1/8 tour afin d'affiner le réglage attendre quelques minutes entre chaque modification.

Dès qu'il n'y a plus pompage, c'est que l'alimentation de l'évaporateur est réglée à la plus petite surchauffe possible.

Problème de réglage

1) impossibilité d'obtenir le pompage, le détendeur est sous dimensionné .

- détendeur ou orifice trop faible

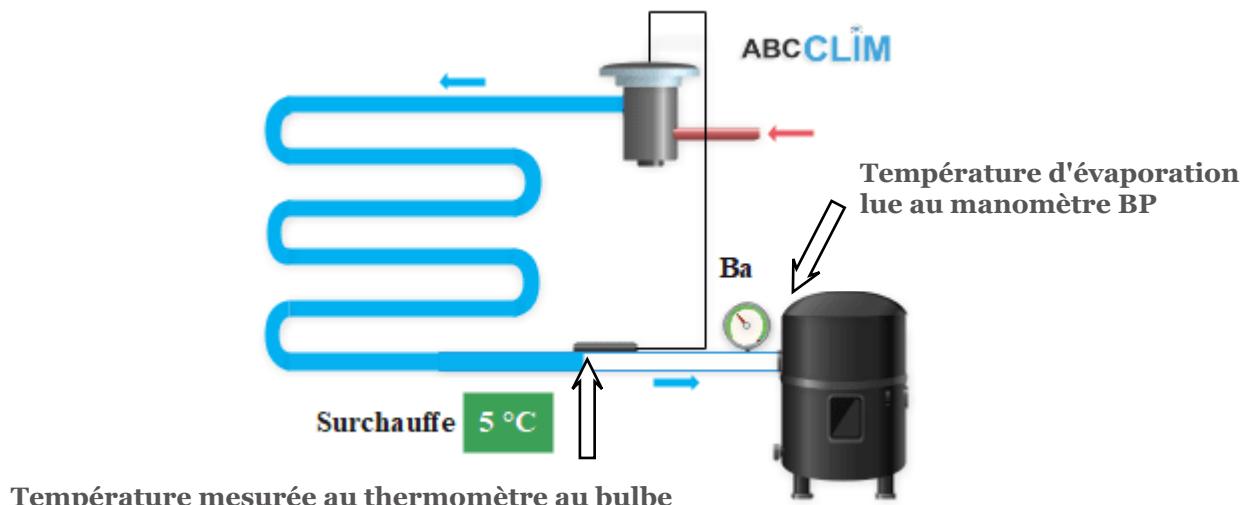
- manque de charge

- vaporisation partielle dans la conduite liquide (flash gaz)

2) impossibilité d'éliminer le pompage, le détendeur est surdimensionné même fermé à fond

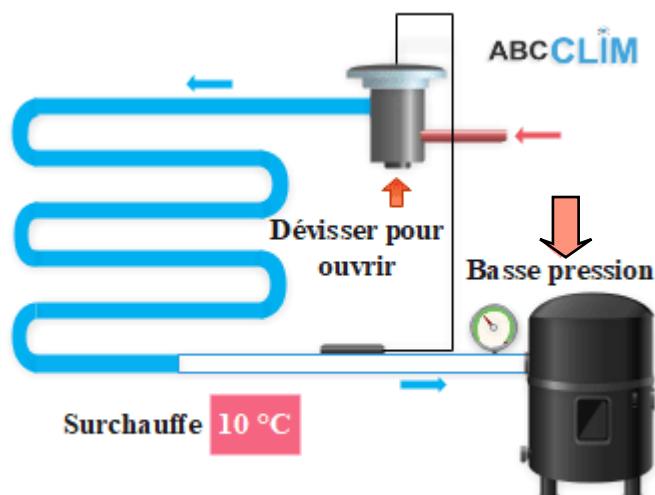
- détendeur ou orifice trop puissant

- évaporateur trop petit



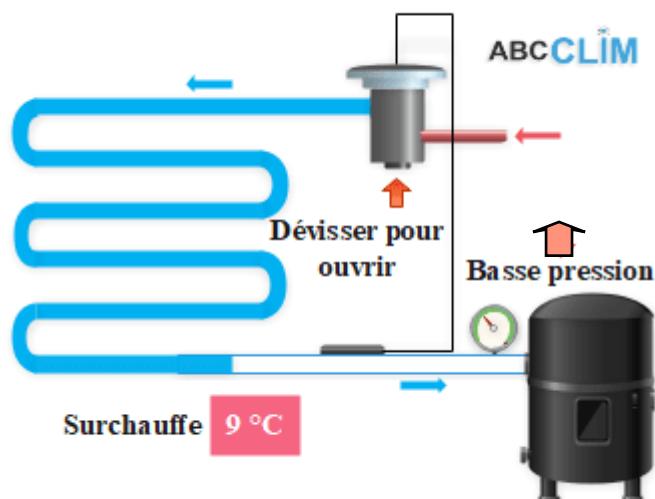
Exemple de surchauffe trop importante

Surchauffe visée 5 °C



Surchauffe trop grande :

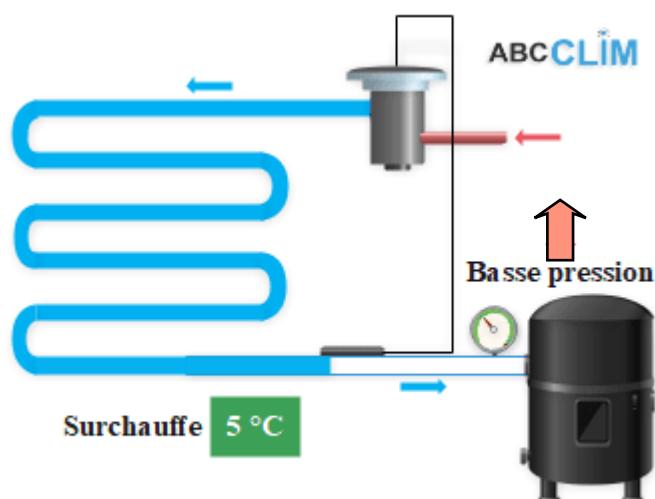
Ouvrir le détendeur ,dévisser par 1/4 de tour
(sens antihoraire)



Surchauffe encore trop grande :

Ouvrir le détendeur ,dévisser par 1/4 de tour
(sens antihoraire) .

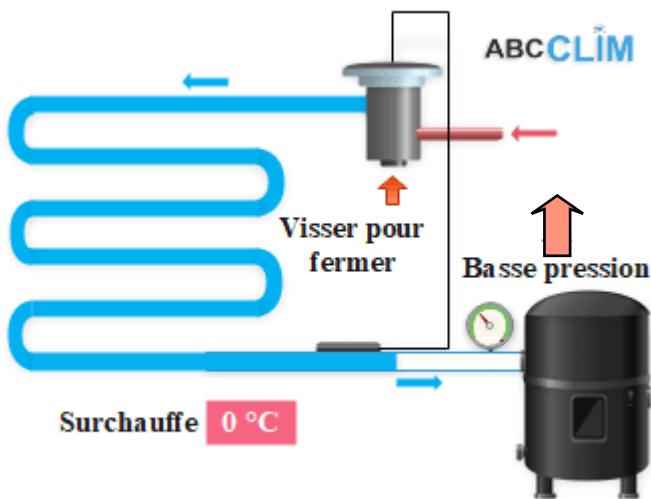
Attendre quelques minutes entre chaque
réglage .



Surchauffe OK !

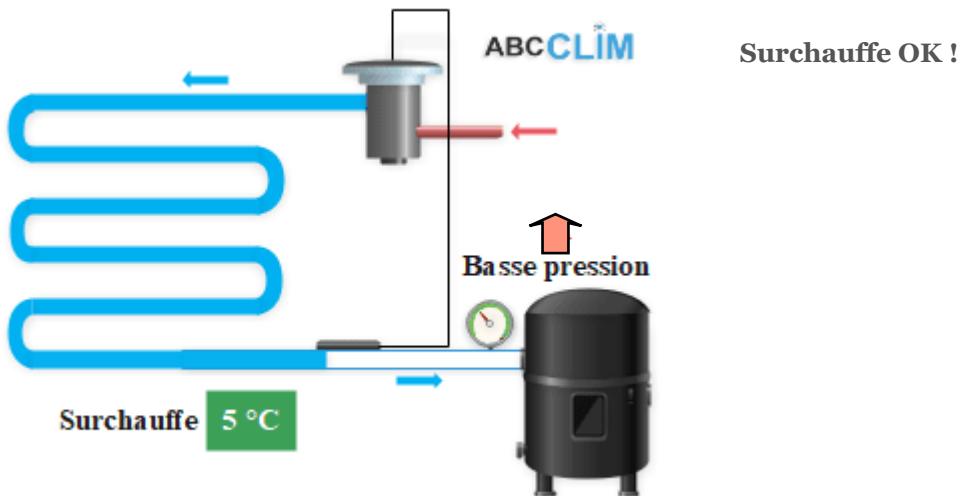
Exemple de surchauffe trop faible

Surchauffe visée 5 °C



Surchauffe trop petite :

Fermer le détendeur ,visser par 1/4 de tour (sens horaire) .



Surchauffe OK !

Charge installation, critères et conseils

Nous verrons ici quels sont les critères permettant de déterminer qu'une installation frigorifique est correctement chargée en fluide frigorigène et qu'elle fonctionne de façon optimale.

Tout d'abord les divers critères et paramètres ci-dessous sont à contrôler en régime établi.

Sous refroidissement et surchauffe

Le sous refroidissement du condenseur est le renseignement qui nous indique que la charge de l'installation est correcte. Il représente la différence entre la température de condensation lue au manomètre HP en utilisant la relation pression, température et la température mesurée au thermomètre à contact à la sortie du condenseur.

La valeur normale du sous refroidissement se situe entre 4 et 7 °C, sachant qu'un faible sous refroidissement nous indique un manque de fluide et à l'inverse un grand sous refroidissement suggère une charge trop importante.

Quant à elle à la surchauffe nous indique que l'évaporateur est correctement alimenté en fluide frigorifique sa valeur normale se situe entre 5 et 8°C suivant les applications.

Valeur de la basse pression.

Ces valeurs sont indiquées en degrés centigrades, et bien entendu il faudra utiliser la relation pression température correspondant au fluide utilisé.

La valeur de la BP sera :

de 8° à 10° plus basse que l'enceinte à refroidir (chambre froide positive, vitrine réfrigérée) pour un évaporateur ventiler. De 10 à 18° plus basse que l'enceinte à refroidir pour un évaporateur statique.

De 5° à 6° plus basse pour évaporateur à eau (schiller).

Valeur de la haute pression

La haute pression doit généralement être plus haute d'environ 13 à 16° que l'air ou que l'eau utilisée pour refroidir le condenseur.

Valeur des températures au niveau condenseur.

Condenseur à air :

L'écart de température entrée et sortie d'air doit être compris entre 3 et 10°.

La différence de température entre l'entrée d'air et la température de condensation doit être comprise entre 12 et 15°

Condenseur à eau perdue :

la différence de température entre l'entrée de l'eau et la sortie de l'eau doit être comprise entre 8 et 15 degrés.

Tours ouvertes :

l'écart de température entre l'entrée de l'eau et la sortie de l'eau doit être égal à 5° degrés.

Valeur des températures au niveau de l'évaporateur.

Évaporateur à air :

La différence de température entre l'entrée et la sortie de l'air doit être comprise de 2 à 5 degrés.

L'écart de température entre l'entrée d'air et l'évaporation doit être d'environ 6 à 10° degrés.

Évaporateur à plaque (eau) :

la différence de température entrée sortie de l'eau doit être approximativement de 4 à 6° degrés.

Écart entre la température d'évaporation et la température de sortie de l'eau = 5°

Autres critères.

Le détendeur ne doit pas pomper c'est-à-dire ouvrir et fermer de façon rapide et ne doit pas émettre de sifflement.

Le voyant liquide ne doit pas bulle de façon trop importante, notamment quand le détendeur s'ouvre.

La conduite liquide doit être légèrement tiède au toucher.

L'intensité prise sur chaque phase du compresseur ne doit pas excéder l'ampérage nominal inscrit sur la plaque signalétique.

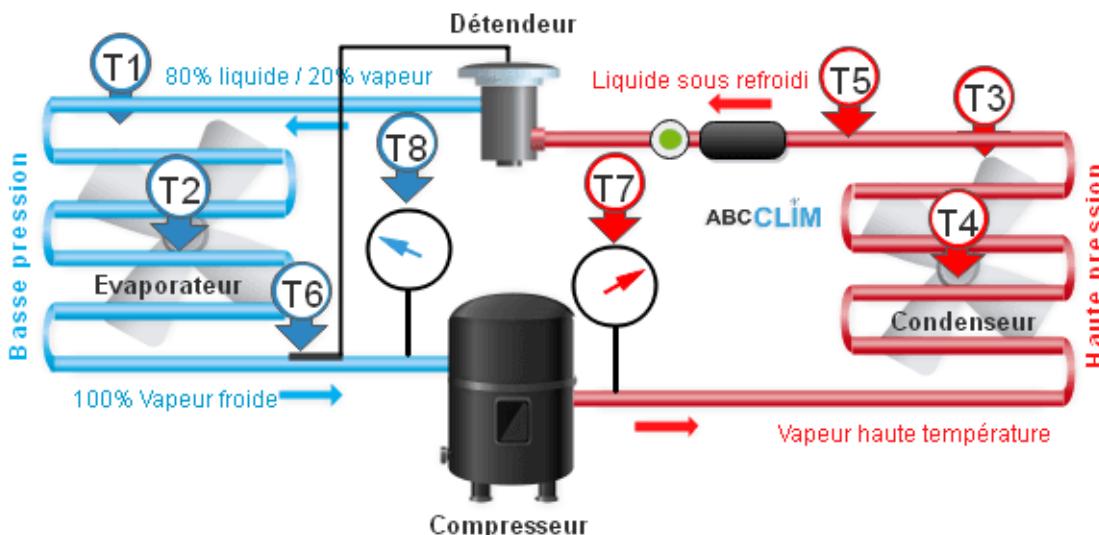
Nota :

Quand on effectue une charge en hiver (condenseur air) afin de vérifier que la charge sera correcte pour l'été on peut positionner un carton à l'aspiration du condenseur afin de faire monter la haute pression.

Tout en vérifiant la montée de la HP (doit être en dessous de la coupure HP) on peut surveiller le voyant liquide qui doit normalement bulle légèrement, l'intensité du compresseur doit monter tout en restant en deçà de l'ampérage nominal. Si le voyant bulle de façon importante c'est qu'il manque du fluide, à l'inverse si le voyant ne bulle pas et que l'intensité excède l'ampérage nominal c'est qu'il y a trop de fluides dans l'installation.

Valeurs températures de références (climatisation)

Évaporateur air/condenseur air



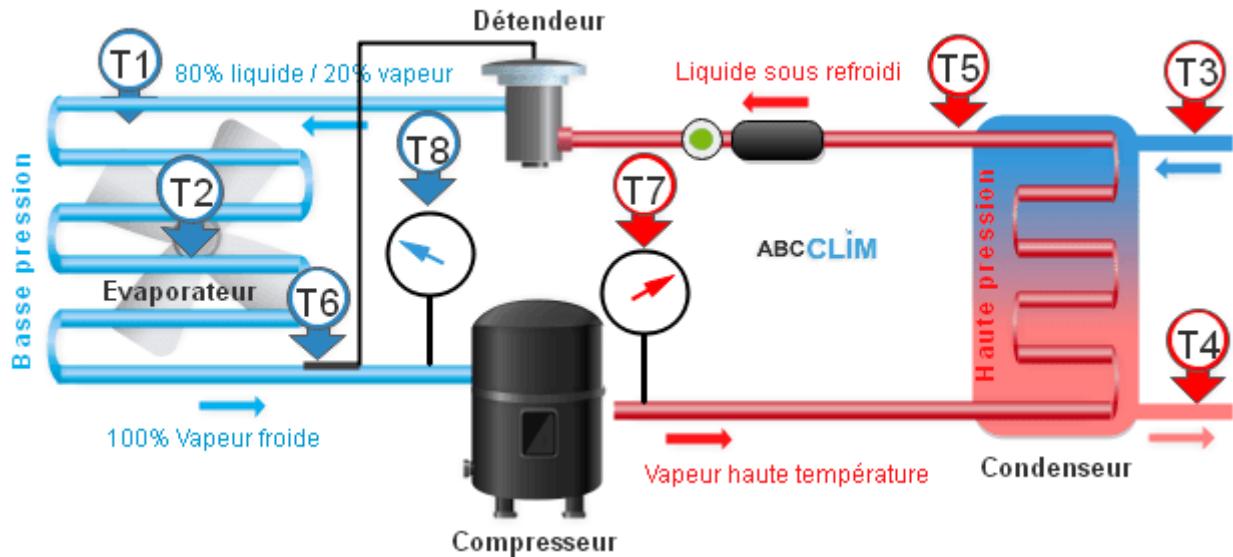
Évaporateur air/condenseur air (valeurs indicatives)

CONDENSEUR	
Écart t° entrée air -sortie air	5-10°C
Écart t° condensation - entrée air	11-15°C
ÉVAPORATEUR	
Écart t° entrée air -sortie air	6-10°C
Écart t° entrée air - T° évaporation	15 -20°C
Surchauffe	4-7°C
Sous-refroidissement	3-5°C

Légende :

- T1:Température d'**air** à l'**entrée** de l'évaporateur
- T2:Température d'**air** à la **sortie** de l'évaporateur
- T3:Température d'**air** à l'**entrée** du condenseur
- T4:Température d'**air** à la **sortie** du condenseur
- T5:Température du **liquide** à la **sortie** du condenseur
- T6:Température du **liquide** au **bulbe** du détendeur
- T7:Température de **condensation**
(Relation pression température donnée par le manomètre)
- T8:Température d'**évaporation**
(Relation pression température donnée par le manomètre)

Évaporateur air/condenseur eau



Évaporateur air/condenseur eau perdue

CONDENSEUR	
Écart t° entrée eau -sortie eau	10-15°C
Écart t° condensation - sortie eau	5 -7°C
ÉVAPORATEUR	
Écart t° entrée air -sortie air	6 -10°C
Écart t° entrée air - T° évaporation	15-20°C
Surchauffe	4-7°C
Sous-refroidissement	3-5°C

Évaporateur air /condenseur tour de refroidissement

CONDENSEUR	
Écart t° entrée eau -sortie eau	5-7°C
Écart t° condensation - sortie eau	5-7 °C
ÉVAPORATEUR	
Écart t° entrée air -sortie air	6-10°C
Écart t° entrée air - T° évaporation	15-20°C
Surchauffe	4-7°C
Sous-refroidissement	3-5°C

Mesure de débit d'air

Rappel :

Pour que le déplacement de l'air s'effectue dans de bonnes conditions, il faut réduire les pertes de charge c'est-à-dire les pertes de pression dues à la résistance que rencontre l'air en mouvement.

Ces forces sont de deux types:

1. le frottement sur les parois des longueurs droites
2. les pertes de charge singulières coudes, té, réduction, etc

Ces pertes de charge ne sont pas négligeables et doivent être calculées pour déterminer la section de la gaine pour un débit et une vitesse donnée et aussi afin d'éviter les surprises, bruit, débit nominal non respecté..etc

Comment mesurer les débits dans une gaine ou un diffuseur

Mesure avec sonde à hélice

La vitesse de l'air fait tourner une hélice, les informations provenant de la rotation de l'hélice sont transformées en impulsions électriques et sont traduites après calcul en valeurs exploitables. Que ce soit niveau d'une bouche d'aspiration, de soufflage, d'extraction la vitesse n'est pas uniformément répartie sur toute la section de passage (frottement sur les parois, turbulences ...).

Il faut donc faire des mesures en balayant uniformément sur toute la section l'hélice. L'axe de l'hélice doit être maintenu parallèlement à l'axe de l'écoulement de l'air.

Si l'on ne dispose pas d'un anémomètre à hélice effectuant lui-même le calcul de la moyenne des mesures, la méthode employée est celle-ci :

Il faudra diviser l'élément à mesurer en quatre parties distinctes pour les petites surfaces et en neuf (ou plus) parties distinctes pour les surfaces plus importantes et procéder à des mesures par points.

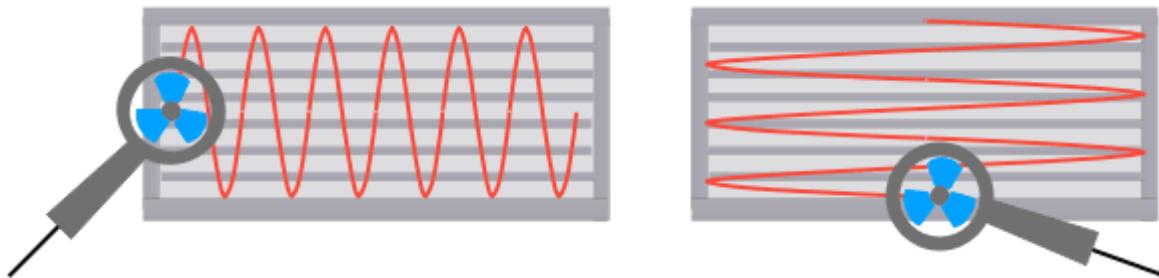
La vitesse moyenne étant donnée en m/s, il faut multiplier celle-ci par la section de passage libre, il suffit de multiplier ce résultat par 3600 pour obtenir le débit en m³/h.

$$\text{Débit en m}^3/\text{h} = \text{Vitesse (m/s)} \times \text{Surface (m)} \times 3600$$

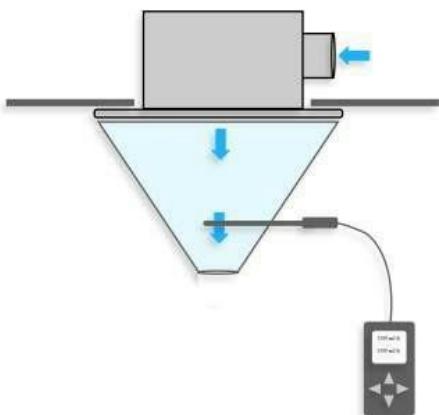
Exemple:

$$\begin{aligned}4 \text{ mesures} &= 2 + 0,9 + 1,4 + 1,9 = 1,55 \text{ m/s} \\ \text{Surface de la bouche} &= 0,30\text{m} \times 0,40\text{m} = 0,12 \text{ m}^2 \\ \text{Débit calculé} &= 1,55 \times 0,12 \times 3600 = 669 \text{ m}^3/\text{h}\end{aligned}$$

Mesure automatique par balayage



Mesure avec sonde à fil chaud



La mesure de débit moyen est calculée à partir de la vitesse d'air mesurée par un élément chauffant placé dans le flux d'air.

L'utilisation d'un cône permet de mesurer les débits de tous types de diffuseurs en canalisant le flux d'air vers la sonde à fil chaud, la difficulté étant de bien balayer uniformément le cône de mesure avec la sonde.

En ce qui concerne les gaines rectangulaires ou ronde de soufflage, de reprise, il faudra effectuer plusieurs points de mesure et en faire la moyenne.

Réglages et technologie d'une vanne à eau pressostatique

Les vannes à eau pressostatique régulent la pression de condensation en agissant sur le débit de l'eau et ceci malgré les variations de charge. En effet une augmentation de la haute pression pénalise le rendement frigorifique et au contraire, un abaissement de la haute pression peut causer l'augmentation de la surchauffe et une réduction de la pression d'aspiration du compresseur. La vanne comprend un corps de vanne côté eau et un soufflet raccordé au circuit frigorifique ainsi que d'un organe de réglage constitué d'un ressort antagoniste.

La poussée exercée par la pression de condensation (HP) ouvrira la vanne et au contraire la poussée exercée par le ressort de réglage fermera la vanne.

Suivant le réglage du ressort, la vanne s'ouvre progressivement avec l'augmentation de la pression de condensation et se ferme lorsque celle-ci diminue. À l'arrêt du compresseur, la vanne doit être fermée.

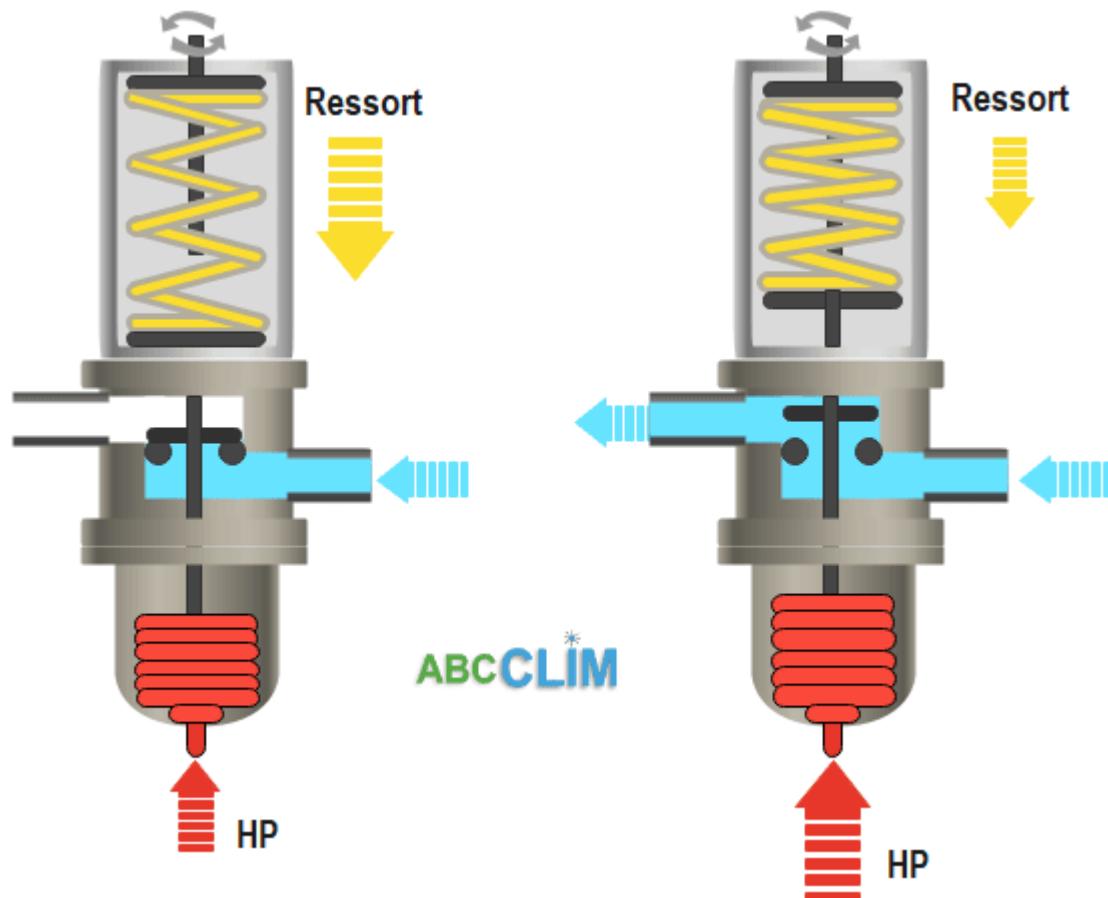
Montage :

Plutôt en amont du condenseur, dans le sens d'écoulement de la vanne indiquée par la flèche (sur le corps).

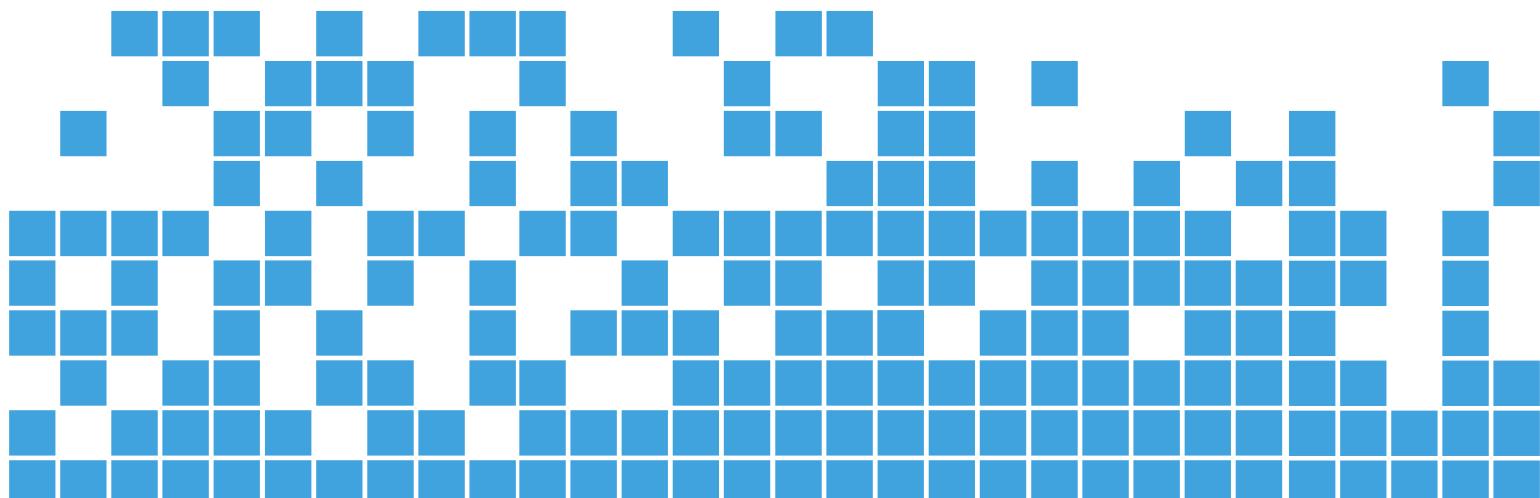
La vanne pressostatique peut être couplée avec une vanne électromagnétique en sécurité afin d'éviter toute fuite d'eau vers l'égout à l'arrêt du compresseur...pensons au prix de l'eau.

Réglage:

1. Ouvrir la vanne en grand en agissant sur le réglage du ressort (desserrer la vis du ressort) .
2. Mettre l'installation en route.
3. Fermer progressivement la vanne pour atteindre le réglage voulu (15 à 20 °C de différence entrée sortie eau).
4. Vérifier la fermeture complète de la vanne à l'arrêt du compresseur.



Fiches pratiques Dépannage



En dépannage il ne faut pas confondre vitesse et précipitation, le remède étend parfois pire que le mal. Pourtant il est difficile d'être serein quand une chambre froide contenant plusieurs milliers d'euros de marchandises est tombée en panne ou qu'un magasin affiche une température de 27°C en pleine période de soldes.

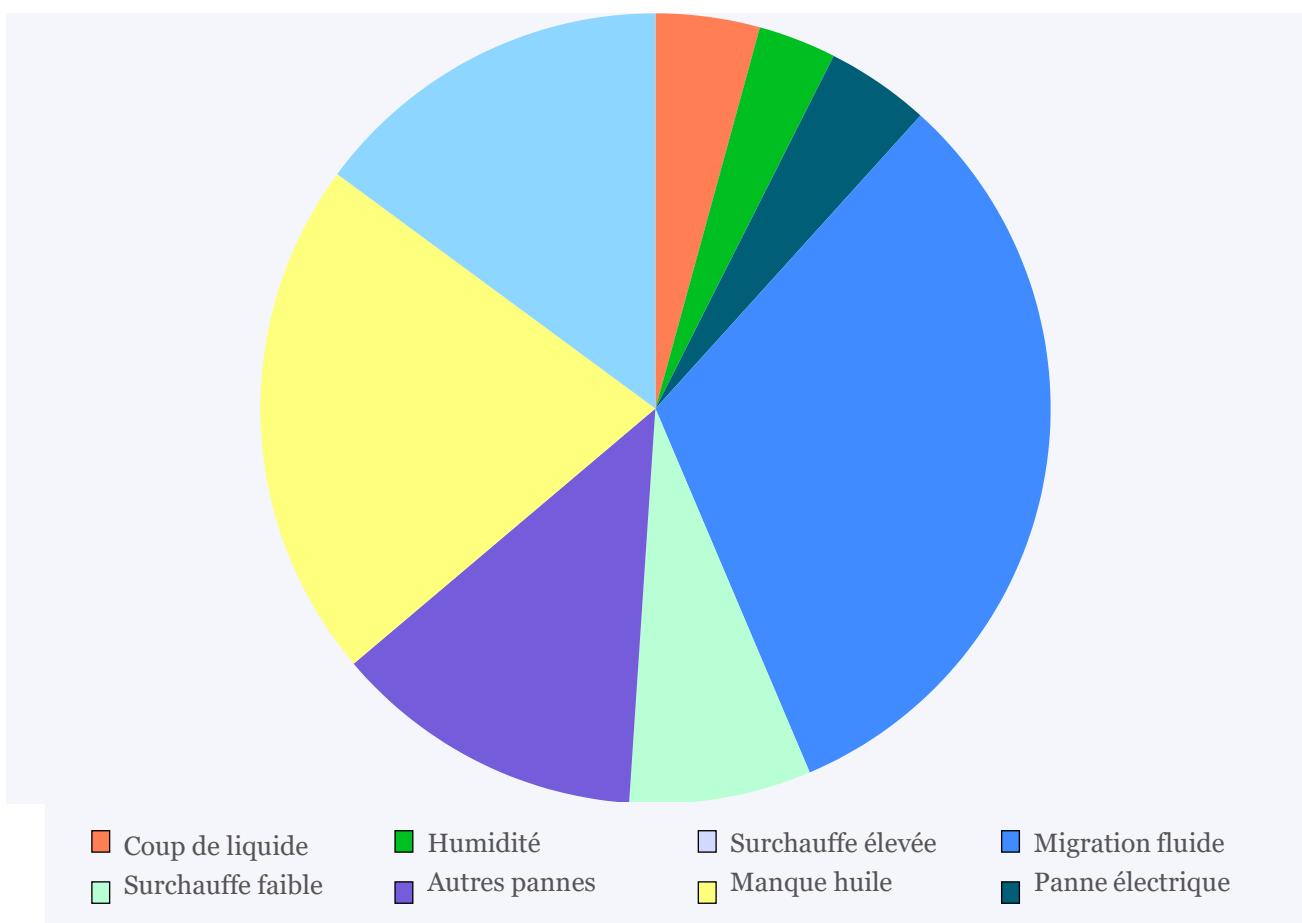
Mais il faut raison garder et la première chose à faire est de questionner le responsable, le client ou la personne qui utilise l'équipement qui même si celui-ci ou celle-ci ne connaît rien en technique peut donner des pistes intéressantes sur les raisons du dysfonctionnement.

Ensuite vos connaissances techniques notamment concernant les éléments composant l'installation ainsi que leurs rôles, permettront de mieux cerner le type d'installation auxquelles vous avez à faire.

L'expérience est bien entendue un avantage car les pannes suivant les installations ont un parfum de déjà-vu, mais l'habitude peut parfois jouer des tours donc ne pas oublier les fondamentaux.

Utiliser tous les moyens de mesure et de contrôle que nous avons à notre disposition pour pouvoir effectuer un diagnostic le plus précis possible, sans oublier tous nos sens la vue, l'ouïe et le toucher.

Répartition par type de pannes compresseur



Utilisons nos sens pour le diagnostic

Cela peut paraître surprenant mais nos sens sont souvent les meilleurs outils pour diagnostiquer ou évaluer un dysfonctionnement et plus particulièrement le toucher. En effet, la nature nous a dotée de ce sens pour nous permettre de connaître la consistance, la texture, la température d'un objet, d'un fluide..etc.

Le toucher est le sens le moins vulnérable contrairement à la vue, l'ouïe et l'odorat. Lorsque l'un de ces sens est altéré le toucher reste le meilleur moyen de garder un contact avec le monde environnant.

Le plus bel exemple reste celui des personnes aveugles qui lisent et communiquent en braille, une écriture en relief qui se lit au toucher.

La vue, l'odorat et l'ouïe sont effectivement inutiles pour déterminer la température de l'air par exemple c'est pour cela que bien avant d'utiliser des instruments de mesure, le technicien frigoriste pourra utiliser le toucher pour faire un premier diagnostic.

Si les appareils de mesure restent tout de même indispensables, les sens et la logique du technicien peuvent être d'une aide précieuse dans la détection de panne.

Pour certains techniciens cette méthode de diagnostic est tout simplement un réflexe. Avant même de sortir un instrument de mesure, celui-ci va par exemple toucher les canalisations du compresseur ou placer sa main devant une bouche de soufflage pour essayer de déterminer la température de l'air.

Si cette technique d'appréciation est surprenante pour certains, elle n'en reste pas moins assez efficace en phase de diagnostic.

Apprécier les différences de température grâce au toucher

Cette technique est relativement simple à apprendre et peut faire gagner du temps dans la plupart des interventions. La première chose à savoir avant d'utiliser cette méthode c'est la température de la paume de la main. Elle varie entre 29 et 33° selon les individus, la température ambiante ou encore l'état de santé. Une fois que l'on sait cela, on peut utiliser la technique de détection de différence de température à l'aide des deux mains.

Grâce à cette méthode et avec un peu d'expérience, on peut assez précisément identifier une différence de température de l'ordre de 3K.

Déceler une température inférieure à celle de la main :

Lorsque la température de l'air ambiant est inférieure à celle de la main il peut être difficile d'apprécier une différence de température. Pour pallier cela on utilise une méthode spécifique qui consiste à placer sa main quelques instants sur un objet dont la température s'approche le plus de celle de la pièce. Si nous saisissons ensuite une conduite froide par exemple la différence de température sera immédiatement perceptible au toucher.

Il en va de même pour les températures plus élevées.

Dans le cas où la conduite est gelée, si on met du givre dans la main que celui-ci dégèle rapidement et que dans le même temps la tuyauterie regèle presque instantanément, cela signifie que la température est beaucoup plus basse que 0°.

Si au contraire la conduite ne regèle pas directement, on peut dire qu'elle est plus ou moins à 0°C. Attention, si nous touchons une conduite à -20°C, notre main se refroidit subitement de plusieurs dizaines de degrés. L'effet sera approximativement le même sur l'épiderme que si nous chauffions la main, gare aux brûlures.

Appréciation de la température des gaz de refoulement :

Selon le type d'installation, l'utilisation du toucher pour déterminer la température des gaz de refoulement sera plus ou moins utile.

Pour les installations on pourra toucher (avec précaution) quelques instants la conduite de refoulement pour en déterminer la température.

Par contre pour les installations dont les conduites sont proches de 100°C. Dans ce cas, il faudra faire couler quelques gouttes d'eau sur la tuyauterie pour déterminer si sa température est supérieure ou inférieure à 100°C.

Appréciation du sous-refroidissement :

La plupart des installations frigorifiques sont refroidies à l'air avec une température de condensation comprise entre 40 et 45°C.

On peut donc évaluer de manière plus ou moins précise le sous-refroidissement à l'aide du toucher.

"Pour éviter tout risques de brûlures il est plus prudent de toucher préalablement la conduite avec le bout du doigt."

S'il est impossible de tenir en main la conduite cela signifie que sa température dépasse les 45°C, si on peut maintenir la tuyauterie et que l'on ressent une chaleur assez forte c'est que la température n'est pas très loin des 40°C.

Lorsque le technicien ressent une légère sensation de chaleur en touchant la conduite, il peut en déduire que la température est de 35°C.

C'est une manière d'évaluer le sous-refroidissement, sans connecter de manomètre au condenseur, d'une main on apprécie la température sur la conduite à mi-chemin du condenseur, et de l'autre main à la sortie du condenseur.

Cette méthode ne peut être utilisée efficacement que sur une installation stabilisée proche des conditions optimales de température. Les différentes conduites de fluide doivent avoir le temps de se mettre à température.

Après la « mesure au toucher » de la température du liquide haute pression , il suffit de lire la haute pression sur le manifold et la température d'un thermomètre placé en sortie de condenseur pour pouvoir estimer précisément le sous-refroidissement.

Comment contrôler la surchauffe de l'évaporateur:

Une surchauffe correcte peut s'évaluer de manière approximative au toucher, si le tube d'aspiration du compresseur est frais et que la carter est légèrement chaud on peut conclure que la surchauffe est vraisemblablement bonne. Par contre si le tube d'aspiration est froid et que le carter compresseur est très froid et que l'huile à travers le voyant semble émulsionner, ici on a de forte chance d'avoir une surchauffe faible.

En conclusion, utiliser le toucher est particulièrement efficace pour déceler un dysfonctionnement et plus précisément dans les cas de sous-refroidissement ou de surchauffe. Cette technique va être améliorée avec l'expérience et pourra être appuyée par l'utilisation d'un thermomètre. Il est souvent inutile d'utiliser tout de suite un instrument de mesure et encore moins un ordinateur. Commencer par observer l'installation avec ses organes sensoriels avant de commencer à mesurer, c'est la clé de cette méthode.

Les appareils de mesures confirmeront ensuite ce que l'on soupçonne ou du moins en donneront une image plus précise. Il va de soi que le technicien doit connaître les températures normales d'une installation en fonctionnement comme pour faire un diagnostic au moyen d'instruments de mesure.

Savoir écouter et observer

Dans un premier temps écouter le client qui vous donnera de précieux renseignements même si celui-ci n'est pas un professionnel. Il ne vous restera qu'à faire le tri pour en faire ressortir les informations vraiment utiles.

Des détails qui peuvent paraître inutiles pour le client peuvent s'avérer être une véritable mine d'or pour le technicien permettant ainsi d'éliminer un certain nombre de causes à l'origine du problème.

Si l'installation n'a pas été réalisée par vos soins, il est aussi intéressant de poser des questions très ciblées afin de comprendre ce qui a été fait et ce qu'il ne l'a pas été.

Si vous intervenez à la suite d'une erreur du précédent technicien il vous faudra être doublement prudent car le client restera sur une mauvaise impression.

Après avoir écouté le client il faut aussi savoir écouter l'installation en elle-même.

Avec l'expérience et les connaissances spécifiques de chaque installation on pourra ainsi rapidement savoir si un bruit est anormal ou pas.

L'ouïe est donc un excellent moyen de savoir si un problème existe, tout comme il est intéressant d'écouter le bruit d'une installation à son démarrage et à son arrêt.

Nous ne terminerons pas le sens de l'observation, Y a-t-il des traces d'huile suspectes ? Y-a-t-il assez d'huile de la carter du compresseur? Bref toutes ses observations peuvent vous mettre sur la piste d'un éventuel problème.

Bien utiliser un multimètre

Comme l'électricien ou tout autre technicien intervenant sur des systèmes électriques, le frigoriste utilise tous les jours cet outil de mesure et de contrôle appelé le multimètre.

Son nom découle d'une logique toute simple, car c'est un outil à usage multiple, voltmètre, ohmmètre, ampèremètre, etc. Ici nous parlerons du multimètre numérique ou électronique, car le multimètre analogique n'est pratiquement plus employé dans nos métiers.

C'est un boîtier ergonomique en ABS, avec un indice de protection IP54 ou IP55, muni de protection antichocs. Tous les multimètres doivent répondre à la norme IEC 601010 qui ce défini en quatre catégories, pour un usage au quotidien la IV catégorie est préconisée.

L'appareil est toujours accompagné de deux cordons de mesure rouge et noir, avec des pointes de touche sécurisée, existants en diverses dimensions suivant l'utilisation.

Présentation d'un multimètre

Description des diverses fonctions :

- Voltsensor : Fonction NCV, contrôle sans contact de présence de tensions, permet de vérifier si une tension parcourt un conducteur qu'ils soit apparent ou non. Avec signal lumineux (voyant rouge)
- Range : Sélecteur de plage, automatique ou manuelle multimeter
- Hold : permet de figer, de garder en mémoire la dernière mesure
- Sélecteur rotatif permettant de sélectionner la fonction désirée .
- V~: Mesure de la tension alternative en volt, en général maximum 750 V.
- V=: Mesure de la tension continue en volt, jusqu'à 1000 V
- Ω : Mesure de résistance en ohm, jusqu'à 60 M.
- onde : Mesure de la continuité.
- Hz : Mesure de la fréquence du courant en Hertz.
- A : Mesure de l'intensité en ampères, maximum 10 A
- C : Mesure de capacité , pour les condensateurs jusqu'à 100 µF.
- COM : Raccordement du cordon noir, commun à toutes les mesures
- 10A : Raccordement cordon rouge, uniquement pour les mesures d'intensité, 10A maxi
- V =~ : Raccordement cordon rouge, pour toutes les mesures sauf les mesures d'intensité

Fonctions complémentaires pour certains multimètres

- Enregistrement des valeurs min-max-moyenne
- Mesures de température avec sonde complémentaire.
- Rétroéclairage
- Mesure de diodes
- Prise en charge automatique de la polarité

Comment effectuer des mesures !

Mesure de la tension (V~)

Pour mesurer la tension entre deux points d'un circuit, c'est-à-dire la différence de potentiel en volt (V), raccorder les deux cordons à leur emplacement respectifs.

Tournez le sélecteur sur la fonction courant alternatif (V~). Sans calibrage auto, placez-le au plus élevé par sécurité, soit 1000 V.

Positionner les pointes de touche afin d'être en contact avec chacun des deux conducteurs ou point à mesurer (branchement en dérivation ou parallèle). Lire directement la valeur.

Repérage phase et neutre :

Cette mesure ce fait sous tension, elle permet de comparer la différence le potentiel entre la terre et un conducteur. Entre terre et neutre, la tension doit être presque nulle.

Entre la phase et la terre, la tension est proche de 240 volts.

Mesure de la tension (V=)

Positionner votre appareil sur la fonction courant continu (V=). Procéder de la même manière que pour la mesure en courant alternatif (branchement en dérivation), en mettant le cordon rouge sur le + et le cordon noir sur le - de l'élément à contrôler. À moins que l'appareil soit muni de la fonction de détection automatique de la polarité.

Mesure de continuité (onde)

Mesure hors tension, permet de contrôler un fusible, l'état d'un contact, d'une masse franche etc..!

Brancher le cordon rouge sur le bornier marqué V et le cordon noir sur COM.

Faire toucher chaque pointe sur l'élément à tester, si l'appareil indique 1 c'est que la continuité est interrompue, s'il indique 0 et que le multimètre émet un bip c'est le contraire la continuité est bonne.

Mesure de la résistance (Ω)

Mesure hors tension, Brancher le cordon rouge sur le bornier marqué V et le cordon noir sur COM. Brancher le cordon rouge sur le bornier marqué V et le cordon noir sur COM. Si le multimètre n'a pas de fonction calibrage automatique choisir le calibre maximum. Tester l'élément, la lecture est direct en Ohm.

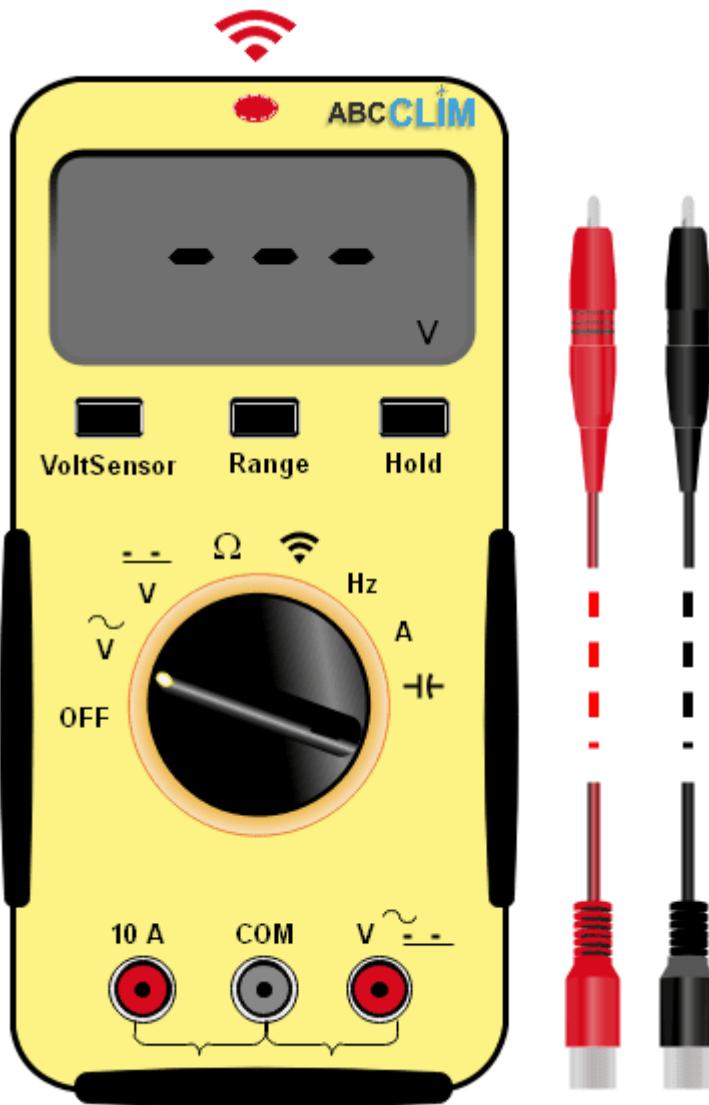
Mesure de l'intensité (10A)

Préférer une mesure à l'aide d'une pince ampèremètre, c'est nettement plus facile et moins intrusif. Un ampèremètre se branche toujours en série avec la charge, le cordon noir sur la borne COM et le cordon rouge sur la borne 10A. Les deux pointes raccordées en série entre la source du courant et la charge.

Mesure de fréquence (Hz) et de capacité (condensateur)

Pour vérifier un condensateur ou contrôler la fréquence du courant les mesures sont identiques en ce qui concerne le positionnement des cordons, le cordon rouge sur le bornier marqué V et le cordon noir sur COM. Il suffit de sélectionner la bonne fonction et la lecture sur l'afficheur est directe.

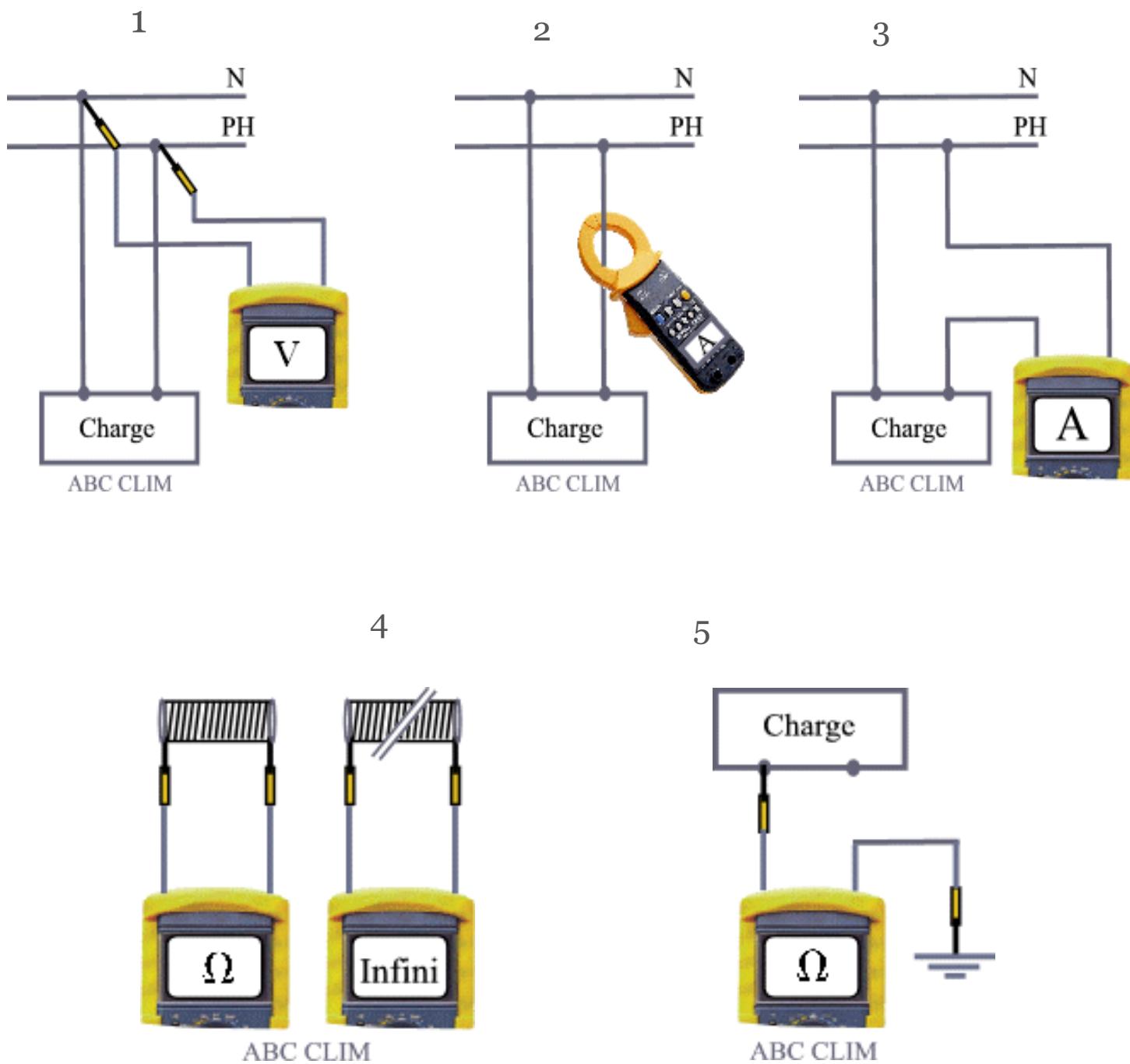
En ce qui concerne le contrôle de la capacité d'un condensateur le résultat lu doit être égale ou supérieur à la capacité en microfarad affiché sur le condensateur.



Mesure électrique, la méthode

Méthode pour mesurer, la tension, l'intensité ou la continuité à l'aide d'un multimètre.

1. Le voltmètre permet de mesurer la tension aux bornes d'un émetteur (réseau) ou d'un récepteur (moteur). Un voltmètre se branche en parallèle sur la charge.
2. L'intensité se mesure à l'aide d'une pince ampèremétrique en plaçant la pince autour d'un des conducteurs de l'élément à mesurer.(cas le plus fonctionnel) ampérage
3. On peut aussi mesurer l'intensité en plaçant l'ampèremètre en série. (difficile , peu pratique)
4. Pour mesurer une continuité (hors tension) nous utiliserons un ohmmètre qui grâce à sa pile interne, va faire circuler un très faible courant dans l'élément à contrôler et mesurera la tension obtenue pour en déduire la résistance, ex: 100 ohm Si la mesure est infinie, c'est que l'élément est coupé
5. Mesure par apport à la terre avec l'ohmmètre ou un contrôleur d'isolement (plus précis) en cas de fuite à la terre .



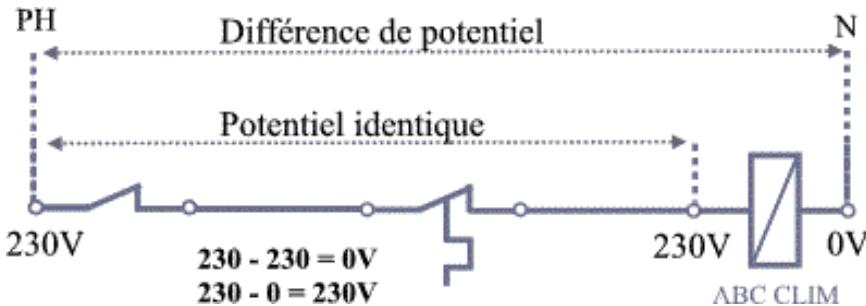
Comment repérer un défaut sur une télécommande ?

La valeur de la tension entre deux points d'un circuit électrique est appelée différence de potentiel (DDP). Chaque point d'un circuit a un potentiel, quand le potentiel entre deux points sont égaux, la tension est nulle, à l'inverse quand le potentiel est différent une tension existe.

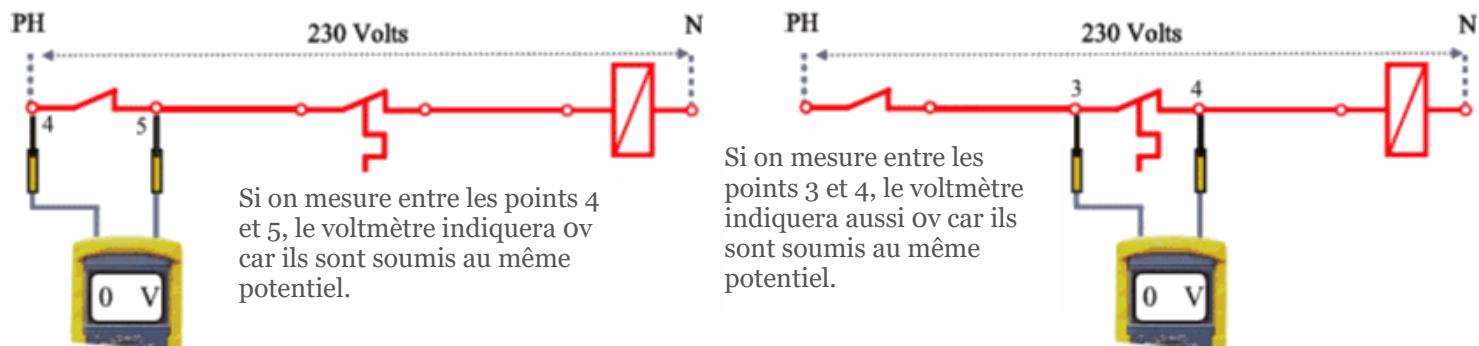
Pour mesurer une tension électrique, on utilise un voltmètre.

Pour mieux comprendre utilisons cette analogie:

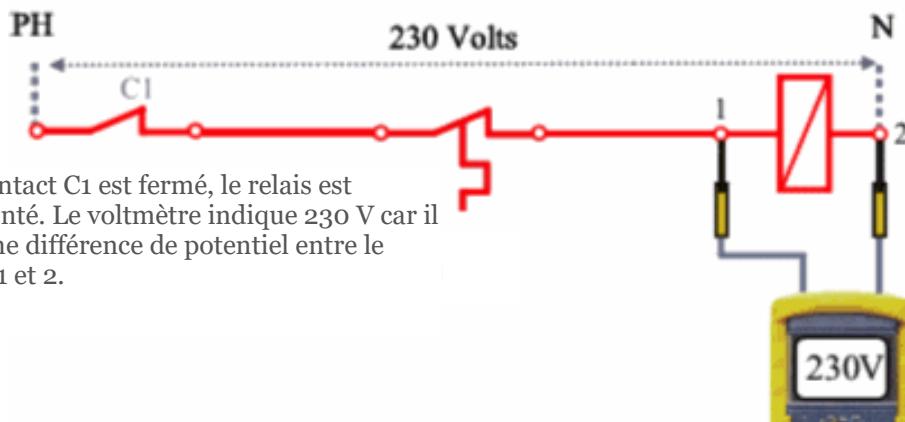
Pour qu'une rivière s'écoule il faut une différence d'altitude entre deux points, pour qu'une tension existe il faut donc aussi une différence entre deux points.



Dans une chaîne de télécommande en fonctionnement on constate que si on mesure de part et d'autre de chaque contact (fermé) il n'y a aucune différence de potentiel.

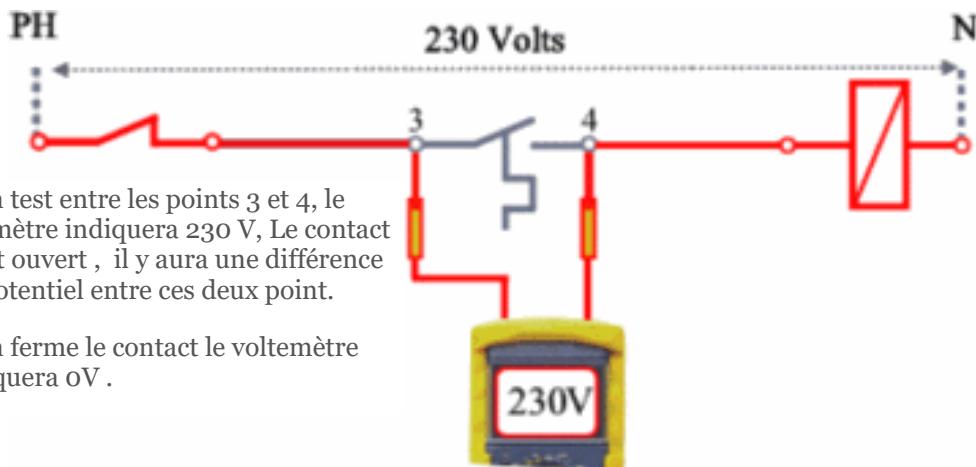


Maintenant si l'on mesure de part et d'autre du récepteur ici une bobine d'un contacteur, une mesure est possible.



La chaîne de sécurité de la télécommande est en défaut, la bobine du contacteur n'est plus alimentée. Mettre un pôle du multimètre sur le neutre tandis que l'autre pôle sera déplacé le long de la chaîne de télécommande. En testant élément par élément, jusqu'à ce qu'une mesure de potentiel soit possible.

On s'aperçoit que si on mesure entre les bornes du contact (3,4) on à bien 230V, cette différence de potentiel indique que le contact est ouvert.



Mesure d'isolation avec un mégohmmètre

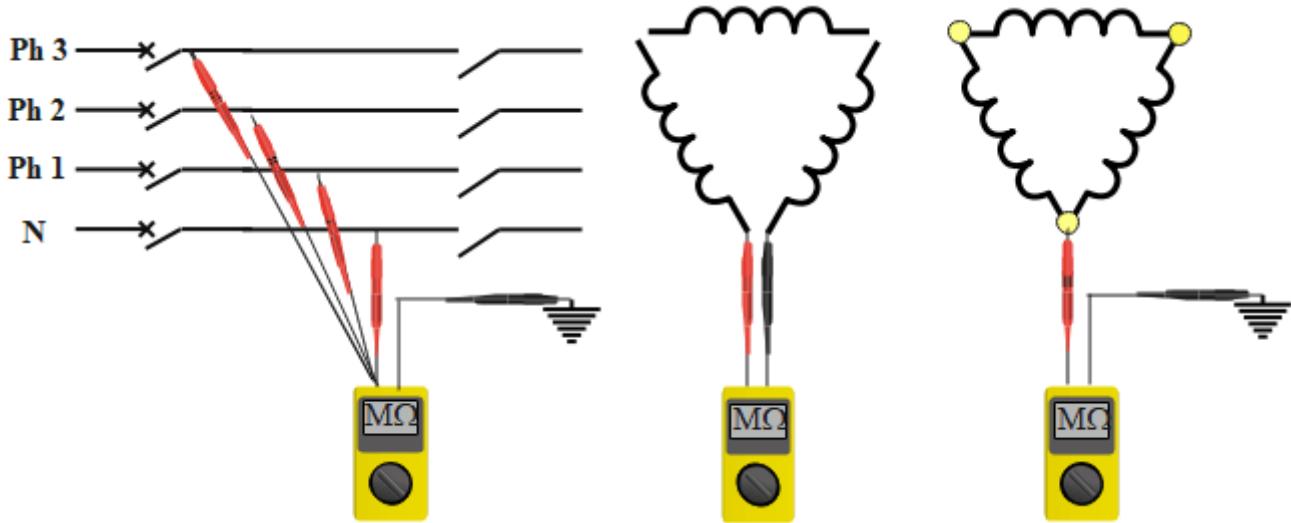
Afin de garantir la sécurité des biens (incendie) et des personnes (électrocution) les équipements électriques, câble d'alimentation, protection, moteur ont des caractéristiques d'isolation qui permettent de limiter la circulation du courant électrique en dehors des conducteurs.

Les matériaux constituant les isolants peuvent au fil du temps perdre de leur qualité , car ils sont soumis à des phénomènes de surtensions ou des chocs répétés ou encore à des contraintes de dilatation due à des températures extrêmes.

Toutes ces causes sont de nature à réduire la résistivité au courant électrique des isolants et permet des courants de fuite, que ce soit en dépannage ou en maintenance préventive la mesure d'isolation à l'aide d'un mégohmmètre permet de détecter d'éventuels défauts de ses isolants.

Comment faire une mesure d'isolation ?

On vérifie tout d'abord que l'installation ou l'appareil soit hors tension puis on mesure l'isolation entre chaque conducteur actif et la terre en appliquant une tension continue à l'élément à tester pendant quelques secondes. Le mégohmmètre en mesurant le courant qui circule sera en mesure de déterminer la qualité de l'isolation. Le mégohmmètre fournira des résultats en KO, MO ou GO. Plus la résistance est élevée plus l'isolant est considéré comme de bonne qualité, mais cette résistance ne doit pas être infinie.



Deux facteurs peuvent faire varier la résistance d'un isolant tout d'abord la température, entre deux mesures si la température monte de plusieurs degrés les résultats seront largement faussés, le deuxième facteur c'est le taux d'humidité, il faudra donc veiller à effectuer des mesures dans des conditions normales de fonctionnement .

La température fait varier la valeur de la résistance d'isolation selon une loi quasi exponentielle. Dans le cadre d'un programme de maintenance préventive il convient d'effectuer des mesures dans des conditions de température similaires, ou dans le cas où cela serait impossible de les corriger pour les ramener à une condition de température de référence. A titre d'exemple et en approximation rapide un accroissement de 10 °C se traduit par une diminution de moitié de la résistance d'isolation et inversement une diminution de 10 °C de la température double la valeur de la résistance d'isolation.

Le taux d'humidité influence l'isolation en fonction du niveau de contamination des surfaces isolantes. Il faut toujours veiller à ne pas effectuer de mesure de résistance d'isolation si la température est inférieure à celle du point de rosée.

Seuils d'isolation suivant tension nominale :

Tension nominale du circuit Inférieur à 50 V	Tension d'essai 250 VDC	Résistance minimale d'isolation 0,25 MΩ
De 50 V à 500 V	500 VDC	0,50 MΩ

Comment tester un moteur ?

En froid et climatisation on utilise plusieurs types de moteurs sous différentes tensions. Généralement les moteurs triphasés sont de types asynchrones alimentés sous 400 Volts et les moteurs monophasés à enroulements en court-circuit à démarrage direct ou à phase auxiliaires sont alimentés sous 240 Volts.

Nous verrons sur cette page comment tester les enroulements de ces différents types de moteurs. On utilise pour faire ces divers contrôles un ohmmètre, calibré sur une échelle de 200 mégohms.

Avant toute chose, petit rappel sur les mesures avec un ohmmètre :

- Une résistance nulle indique un enroulement en court-circuit.
- Une résistance infinie indique un enroulement coupé.

Test des enroulements d'un moteur triphasé.

Contrôle des moteurs de ventilations, de soufflage, d'extraction.

Repérages des enroulements (barrettes de connexion enlevées) :

1er enroulement U1 et U2

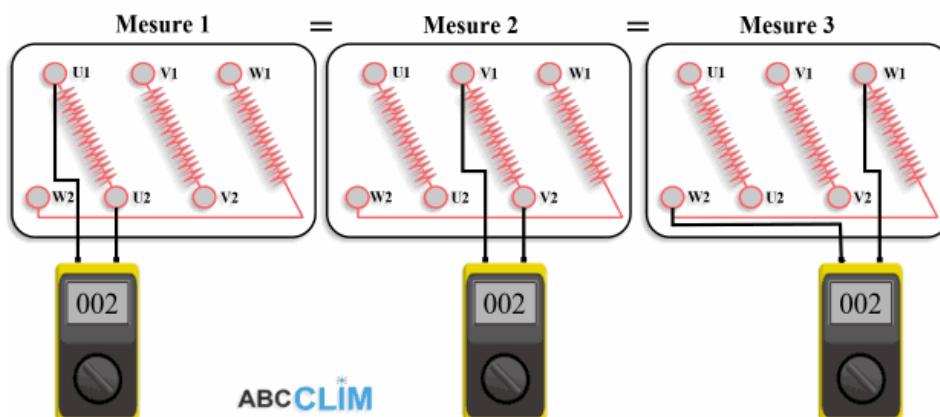
2ème enroulement V1 et V2

3ème enroulement W1 et W2

Tout d'abord entre les 3 enroulements il ne doit pas y avoir de continuité, chaque bobinage ou enroulement étant séparé et isolé entre eux.

La mesure de continuité entre U1 et U2, V1 et V2, W1 et W2 doit indiquer la même valeur (résistance ohmique).

Test moteur asynchrone

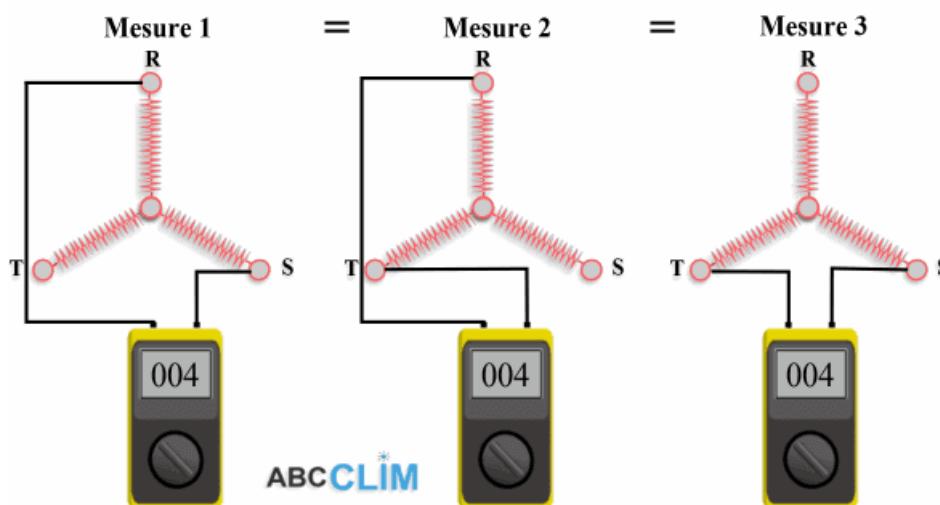


Moteurs de compresseur frigorifique

La procédure est identique aux autres moteurs triphasés, la seule différence c'est qu'ici on va tester deux enroulements par mesure. Puisque le point étoile dans ce cas n'est pas accessible.

La mesure de continuité entre R et S, R et T, S et T doivent être identiques.

On peut aussi vérifier l'isolement des enroulements par rapport à la terre sachant que la mesure indiquera un défaut vraiment flagrant car un ohmmètre ne permet pas une mesure aussi fiable qu'un contrôleur d'isolement ou mégohmmètre.



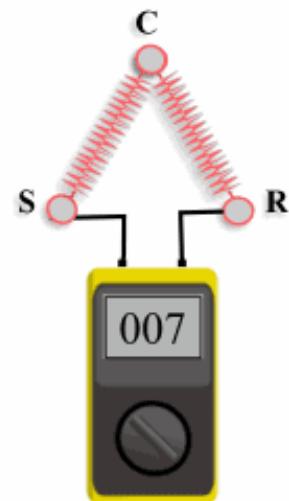
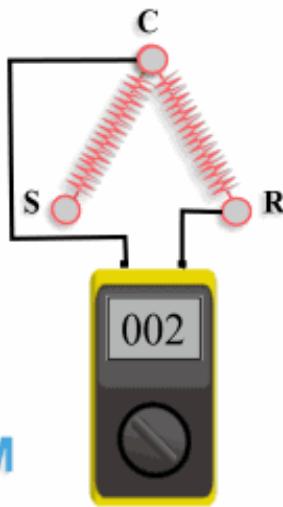
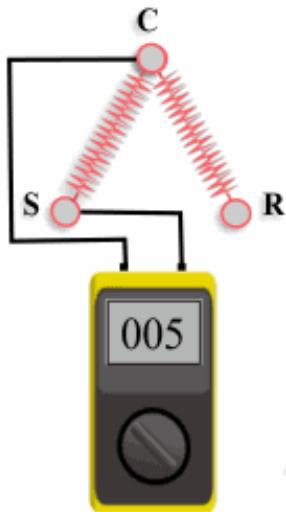
Contrôle d'un moteur monophasé à phase auxiliaire

Ceux-ci sont constitués de deux enroulements :

1. Un enroulement permanent (C-R = run en anglais)
 2. Un enroulement démarrage ou auxiliaire (C-S = start en anglais)
- C étant le commun des deux enroulements.

Ici les mesures indiqueront une valeur plus importante entre C-S qu'entre C-R, ceci s'explique par le fait que l'enroulement de démarrage est plus résistant que le permanent. La mesure entre S-R doit avoir comme valeur la somme des enroulements C-S et C-R.

Enroulement démarrage (CS) + Enroulement permanent (CR) = SR



ABC CLIM*

Test d'une sonde à résistance

Sondes PT 100, PT 1000

Le principe ici est simple on applique à un matériau une tension qui fluctue en fonction de la résistance. Concrètement, une fois chauffé, la résistance du métal augmente et inversement une fois refroidi, elle diminue. Les avantages de ces sondes dont l'élément sensible est constitué de platine (PT=Platinum) sont :

1. Sonde généralement très fiable
2. Une gamme plus large de température
3. Une précision de mesure élevée et une meilleure linéarité

- PT 100 : Leur résistivité est de 100 ohms pour 0 °C
- PT 1000 : Leur résistivité est de 1000 ohms pour 0 °C

Test d'une sonde passive

Mettre le multimètre sur la position ohmmètre, tester la sonde comme sur le dessin. Utiliser un thermomètre pour vérifier la température à l'endroit où la sonde est positionnée.

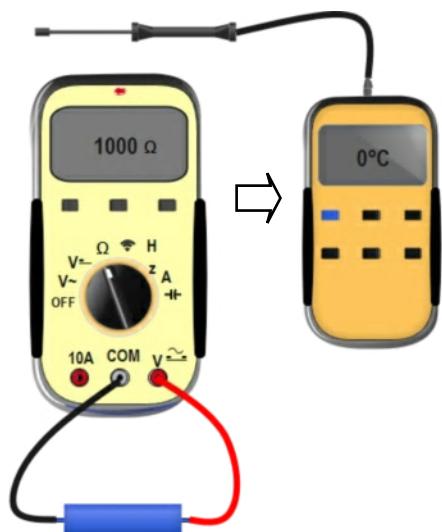


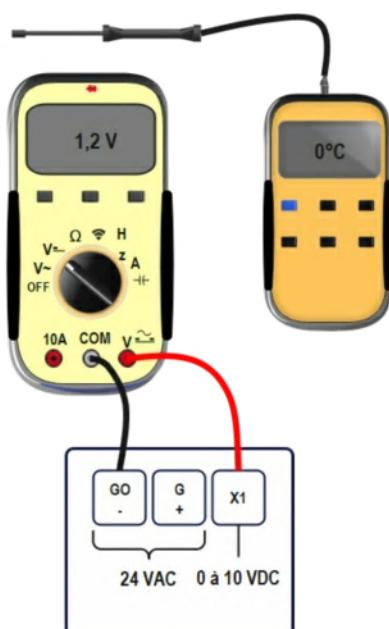
Table valeurs de sonde

°C	Ω	°C	Ω	°C	Ω
-1	7 739,1	34 365,6	99,61	996,09	
0	7 352,8	32 650,0	100,00	1 000,0	
1	6 988,0	31 029,9	100,39	1 003,91	
2	6 643,5	29 499,6	100,78	1 007,81	

Test d'une sonde active (CO2, COV)

Mesurer entre G et GO (alimentation) on doit avoir 24 Volt alternatif.

Mettre le multimètre sur la position voltmètre courant continu, tester la sonde comme sur le dessin, ici on teste la sortie de la sonde. Utiliser un thermomètre pour vérifier la température à l'endroit où la sonde est positionnée.



Résultat à comparer avec les données fournies par le fabricant de la sonde. (Voir tableau des valeurs de sondes dans la partie régulation)

Exemple de mesure :

(valeurs fictives)

Si pour une sonde active dont la plage de mesure est de -20 à 100°C, sa tension varie de 0 à 10 volt.

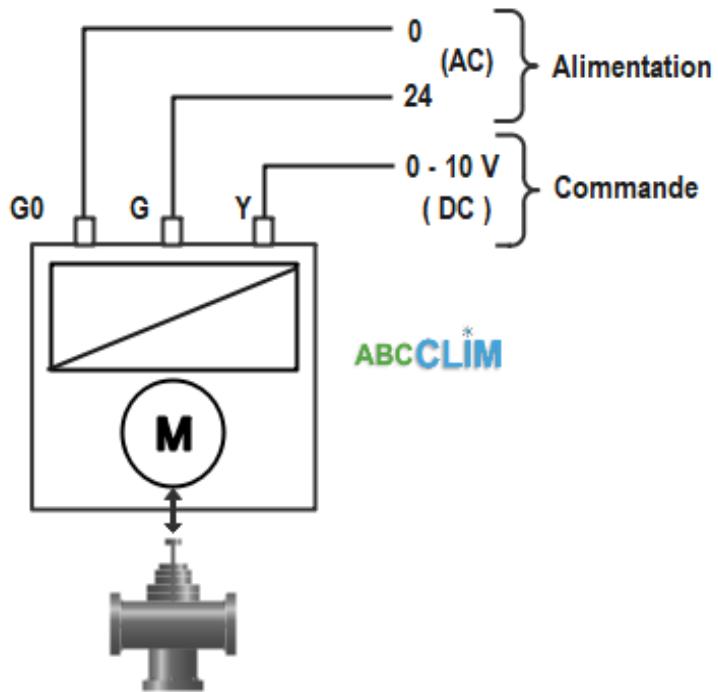
La tension à 0°C doit être approximativement de 1,6 V . Ici le contrôle en sortie de la sonde donne une valeur de 1,2V.... ?

Que peut-on en déduire ?

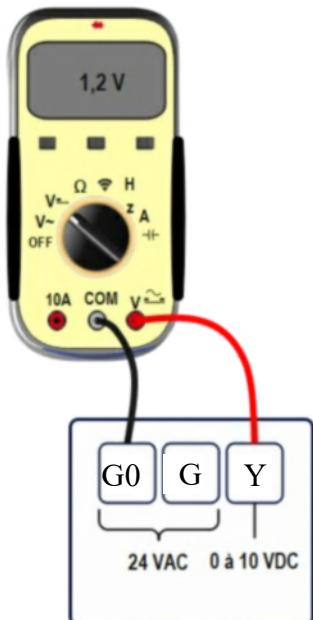
Tester un moteur de vanne à signal proportionnel

Le moteur et l'électronique sont alimentés sous une tension de 24 V alternatif (alimentation) tandis que le signal d'ouverture et de fermeture est délivré sous forme d'une tension continue (commande) de 0 à 10 V.

Pour une tension de commande de 0 V nous aurons une fermeture totale de la vanne tandis que pour 10 volts nous aurons une ouverture totale de la vanne.



Test d'une vanne 3 voies, volet...



Tester d'abord avec le multimètre en position voltmètre alternatif entre G et GO (alimentation) on doit avoir 24 Volt alternatif .

Mettre le multimètre sur la position voltmètre courant continu, tester la sortie comme sur le dessin.

On peut tester de la même manière la sortie du régulateur dédiée à cet actionneur .

De manière générale à 0 V la vanne ou le volet est complètement fermée et à 10 V la vanne ou le volet est complètement ouverte.

Donc que si on applique à cette vanne (volet) un courant de 1 V l'actionneur sera ouverte à 10 %, si on applique un courant de 1,2 il sera ouvert à 12 % et ainsi de suite.

Test d'un condensateur

Un condensateur est constitué de deux plaques conductrices constituant l'armature ces plaques sont séparées par un isolant (papier, alumine, plastique, etc), quand un condensateur est soumis à un courant électrique il accumule l'énergie électrique jusqu'à la limite de sa capacité pour ensuite ce décharger de cette énergie.

Dans nos métiers on rencontre souvent les condensateurs permanents ou de démarriages, pour les compresseurs et les ventilateurs monophasés et il est important de savoir les vérifier. Un contrôle visuel peut déjà donner une indication sur la bonne santé du condensateur, il ne doit pas être gonflé ni sur le dessus ni sur le côté.

Par précaution avant toutes manipulations il faudra décharger le condensateur en shuntant les bornes (voir dessin), si des étincelles apparaissent cela indique qu'apparemment le condensateur prend la charge.



Test de charge d'un condensateur :

Ici on teste avec un multimètre électronique, en positionnant la molette de sélection sur Ohmmètre. Puis raccorder les bornes du condensateur sur les bornes COM et Ω du multimètre. Le condensateur doit (si celui est fonctionnel) se charger, la lecture sur l'écran de l'appareil doit augmenter jusqu'à ce que le multimètre indique l'infini.

Test de capacité :

Un condensateur peut avec l'âge perdre une partie de son pouvoir d'accumuler l'énergie, un test de capacité peut être utile. Certains multimètres possèdent une fonction de mesure pour les condensateurs (capacimètre), la lecture ce fait en directe.. pratique!, mais ce n'est pas toujours le cas.

Une autre solution consiste mettre sous tension de façon brève le condensateur, afin d'évaluer sa capacité. La précision de cette mesure est relative mais suffisante dans la plupart des cas.

Attention :

Une manipulation sous tension représente des risques !

Etapes à suivre :

- Raccorder le condensateur à une source de courant, celle-ci doit être compatible avec la tension maximale supportée par le condensateur !.
- Positionner une pince ampèremétrique sur l'un des conducteurs.
- Mettre sous tension le montage, 2 à 3 secondes !.
- Contrôler l'intensité sur l'écran de la pince, celle-ci doit augmenter rapidement. En 240V il faut multiplier par 15 l'intensité (A) mesurée pour avoir une idée de la capacité du condensateur !



Comment vérifier une platine inverter (check inverter).

Contrairement à un compresseur tout ou rien (on/off) un compresseur inverter est alimenté par un courant continu dont on fait varier la fréquence en fonction de la charge (ou demande) de l'installation.

La vérification électrique de ces compresseurs notamment des enroulements est identique à celle effectuée pour les compresseurs alimentés en courant alternatif. Par contre le contrôle du courant fourni par la carte inverter est plus difficilement mesurable avec un multimètre par exemple.

Afin de faciliter le diagnostic il existe un outil spécifique, le contrôleur de carte inverter ou check inverter, qui permet de vérifier le courant émis par la carte de puissance et de contrôler les informations échangées par la carte de commande.

Contrôle la carte de puissance

Deux solutions sont possibles afin de raccorder le contrôleur sur l'installation, soit en dérivation avec le compresseur, soit en direct sur la carte de puissance, compresseur débranché.

La première solution est souvent la meilleure, car généralement l'absence du compresseur (pas d'intensité) est détectée par l'électronique, est un défaut risque d'apparaître.

Avant toute intervention il faut couper le courant, attendre quelques minutes avant d'effectuer tout branchement.

1. Brancher les trois connecteurs du cordon fourni sur le module de contrôle (1,2,3)
2. Raccorder les extrémités du cordon (pinces crocodiles) sur chaque phase de la carte inverter (U, V, W)
3. Remettre sous tension, mettre en service l'installation.
4. Attendre que le compresseur démarre.
5. Le compresseur en marche, les voyants, rouge, jaune et bleu doivent être allumés, preuve que la carte de puissance est en bon état. Dans le cas où un ou plusieurs voyants reste éteints la carte serait probablement endommagée.
6. Une fois le test fini couper le courant et débrancher le check inverter.

Vérification de la communication

Un flux de données circule en permanence entre la carte de communication de l'unité extérieure et chacune des unités intérieures.

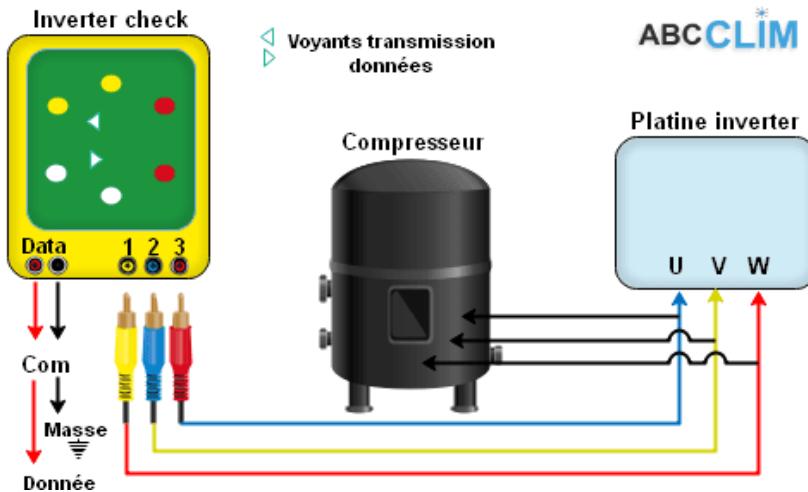
Afin de contrôler ce flux, il faudra raccorder les deux bornes (data) du contrôleur, une à la masse, l'autre sur la communication des unités de la carte de commande du groupe extérieur (voir schéma du groupe suivant le modèle).

Sur les VRV la communication est un bus inter unitées (2 fils), c'est sur ce bus qu'il faudra ce connecter. Par exemple pour les VRV Daikin ce sont les raccordements F1 et F2.

Une fois l'installation en marche, unité intérieure et extérieure, les deux voyants de flux de données doivent clignoter en alternance pour indiquer que les données circulent dans les deux sens. Ce clignotement varie en intensité et en fréquence, en fonction de la quantité de données échangées. Si l'un des voyants ou les deux ne clignotent pas et que les branchements sont corrects, contacter le service technique ou la hotline de la marque en question pour affiner le diagnostic.

Avec cet appareil on peut aussi vérifier la communication sur chaque unité intérieure.

Contrôler une platine inverter : https://youtu.be/8oleNuq7_R4



Pannes diverses froid, climatisation

Pannes	Causes	Remèdes
Haute pression trop élevée Condenseur air	<p>Présence d'air ou possibilité de mélange de fluide.</p> <p>Charge de réfrigérant : trop de fluide.</p> <p>Surface d'échange trop petite.</p> <p>Saletés à la surface du condenseur.</p> <p>Moteur du ventilateur défectueux (HS ou ne tourne pas à sa vitesse nominale).</p> <p>Entrée d'air réduite .</p> <p>Température trop élevée entrée condenseur</p> <p>Hélice défectueuse ou sens de rotation ventilateur non conforme.</p>	<p>Faire le test de incondensable. Récupérer la charge, tirer au vide l'installation, refaire la charge d'origine.</p> <p>Récupérer la charge, peser le quantité retirer. Tirer au vide l'installation, refaire la charge d'origine.</p> <p>Vérifier l'état de propreté du condenseur .</p> <p>Nettoyer le condenseur.</p> <p>Palier, roulement, moteur défectueux.</p> <p>Réglage variateur pressostatique à contrôler.</p> <p>Éliminer tout obstacle gênant.</p> <p>Vérifier si l'air chaud n'est pas repris directement par le ventilateur condenseur.</p> <p>Hélice cassée, manque pâle, hélice à changer Inverser la rotation en modifiant l'ordre des phases Pour les moteurs monophasés vérifier le sens hélice/moteur ou moteur/hélice.</p>
Haute pression trop élevée Condenseur eau.	<p>Débit d'eau insuffisant</p> <p>Condenseur à eau perdue</p> <p>Entartrage du condenseur</p>	<p>Contrôler et nettoyer le filtre à eau. Vérifier le fonctionnement de la pompe de circulation (sens rotation, volute, vitesse si variable).</p> <p>Régler la vanne à eau pressostatique.</p> <p>Faire un détartrage chimique ou mécanique.</p>
Haute pression trop basse Condenseurs air	<p>Température d'air basse (Hiver)</p> <p>Trop de débit d'air</p> <p>Réservoir liquide non isolé placé dans une ambiante trop froide .</p>	<p>Mettre en place une régulation pressostatique de la pression de condensation.</p> <p>Vitesse d'air trop importante, moteur ventilateur trop puissant. Si variateur ou moteur EC contrôler réglage.</p> <p>Isoler thermiquement la bouteille . Déplacer le groupe compresseur (cas extrême)</p>
Haute pression trop basse Condenseurs eau	<p>Débit trop important</p> <p>Température d'eau trop basse.</p>	<p>Vérifier vitesse de la pompe si variateur ou moteur EC</p> <p>Réduire le débit d'eau,</p>
Haute pression instable	<p>Pompage rapide du détendeur thermostatique.</p> <p>Différentiel entre marche/et arrêt du ventilateur du</p> <p>Si régulation de pression de condensation par vanne</p>	<p>Régler la surchauffe de l'évaporateur, afin d'éviter le pompage .</p> <p>Régler le différentiel.</p> <p>Vérifier réglage et sa capacité (pompage vanne).</p>

Pannes	Causes	Remèdes
Basse pression faible	Manque de fluide Conduite de liquide trop longue, dimension tube trop petite. Déshydrateur partiellement bouché, électrovanne partiellement ouverte Détendeur mal réglé. Ventilateur de l'évaporateur (air) défectueux. Évaporateur (air) givre beaucoup Débit d'eau insuffisant au condenseur (eau). Accumulation d'huile dans l'évaporateur. Évaporateur plus bas que le compresseur	Contrôle de la charge en fluide (Fuite ?) Vérifier les pertes de charges Voir la page voyant bulle fortement. Vérifier la surchauffe évaporateur. Remplacer ou réparer le ventilateur. Vérifier le fonctionnement du dégivrage ainsi que le nombres de dégivrage journalier. Contrôler fonctionnement et vitesse pompe, de circulation, vérifier le filtre entrée eau . Vannes partiellement fermées ...etc ! Retour d'huile au compresseur pas suffisant, vitesse des gaz pas propice au retour d'huile. Pas de piège à huile en sortie d'évaporateur
Basse pression trop élevée	Compresseurs. sous puissant Régulation de capacité KVL.défectueuse ou mal réglée. Trop de fluide dans l'installation (HP élevée) .	Installer un compresseur plus puissant. Remplacer, régler le régulateur de capacité. Contrôler la charge en fluide, sous-refroidissement, etc ! Si la quantité est connue, récupérer et recharger en fluide.
Pression d'aspiration instable	Surchauffe détendeur trop faible. Erreur orifice détendeur .	Vérifier la surchauffe évaporateur. Buse détendeur trop grande .
Température des gaz à d'aspiration trop élevée	Charge fluide faible (voir très faible) Défaut sur un élément de la conduite de liquide Surchauffe trop importante .	Contrôler la charge en fluide, sous-refroidissement, etc ! (Fuite ?) Si la quantité est connue, récupérer et recharger en fluide. Voir les sections suivantes : <ul style="list-style-type: none"> • Niveau dans le réservoir, • Déshydrateur bouché,, Bulles dans le voyant • Pression d'aspiration trop basse. Régler la surchauffe de l'évaporateur,
Température des gaz d'aspiration trop basse	Surchauffe trop faible. Bulbe mal placé (ou mauvais contact)	Régler la surchauffe de l'évaporateur, Mettre le bulbe bien en contact avec le tube, isolé si nécessaire. Positionnement en fonction de la dimension du tube à contrôler

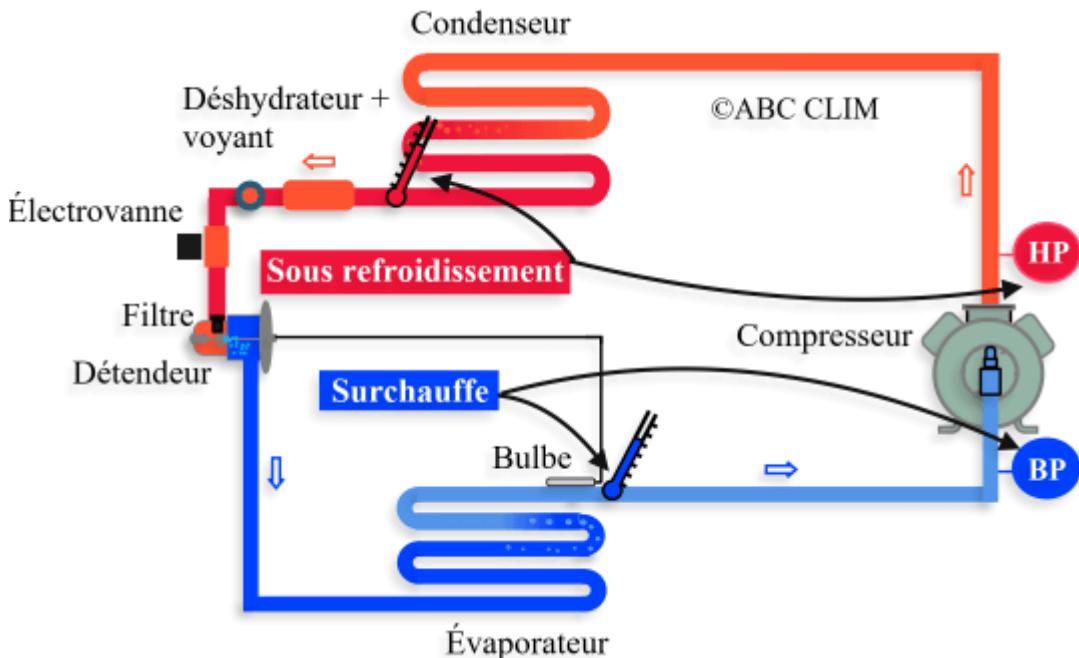
Pannes	Causes	Remèdes
Température trop élevée de la conduite de refoulement	<p>Pression d'aspiration trop basse à cause de :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Manque de fluide, le compresseur n'est pas refroidi par les gaz aspirées 2) Faible charge de l'évaporateur. 3) Température excessive de la conduite d'aspiration. <p>Pression de condensation trop élevée.</p>	<p>Vérifier la charge en fluide. Pour les split et multi-split une sonde généralement calibrée à 120 °C protège le compresseur.</p> <p>Surchauffe mal réglée</p> <p>Isolation de l'aspiration non conforme et traversant un local trop chaud.</p> <p>Voir « Haute pression trop forte »</p>
Température trop basse de la conduite de refoulement	<p>Migration de réfrigérant liquide</p> <p>Pression de condensation trop basse.</p>	<p>Surchauffe faible ou bulle mal positionné sur le tube en fin d'évaporateur.</p> <p>S'Reporter à la section Pression de condensation trop basse.</p>
Niveau trop bas dans le réservoir liquide	<p>Manque de fluide dans le circuit.</p> <p>Détendeur mal réglé, évaporateur mal alimenté</p> <p>Bulbe du détendeur mal placé</p>	<p>Contrôler charge en fluide (sous-refroidissement, ampérage compresseur, etc) .</p> <p>Surchauffe trop petite</p> <p>Mettre le bulbe bien en contact avec le tube, isolé si nécessaire. Positionnement en fonction de la dimension du tube à contrôler</p>
Déshydrateur froid, pré-détente .	Colmatage partiel du filtre déshydrateur	<p>Vérifier si température entrer/sortie du déshydrateur si supérieure à 2 °C. Changer le déshydrateur.</p> <p>Faire un test acidité, s'il y a présence d'acide installer un déshydrateur anti-acide.</p>
Voyant liquide Couleur jaune Fluide de couleur marron	<p>Présence d'humidité dans le circuit</p> <p>Présence d'impuretés dans le circuit.</p>	<p>Faire un test acide et remplacer le déshydrateur plusieurs fois si nécessaire. Il sera peut-être nécessaire de vidanger le réfrigérant et l'huile.</p> <p>Procéder au nettoyage du circuit</p> <ul style="list-style-type: none"> • soit avec déshydrateur cartouche burn-out • soit par produit spécifique(attention bien mesurer les risques pour l'installation).
Voyant bulle fortement	Manque de fluide dans le circuit.	<p>Contrôler le sous -refroidissement condenseur</p> <p>Récupérer la charge et vérifier la quantité de fluide si vous connaissez la charge initiale.</p>

Pannes	Causes	Remèdes
Voyant bulle fortement (Suite)	<p>Perte de charge, conduite trop longue ou diamètre trop faible de la tuyauterie.</p> <p>Électrovanne partiellement fermé ou déshydrateur bouché.(prédétente)</p> <p>Vanne départ liquide partiellement fermée.</p>	<p>Réduire la distance entre le groupe compresseur et L'évaporateur. Changer les tubes.</p> <p>Simplifier le parcours des tubes, éliminer les coudes trop fermés.</p> <p>Remplacer les éléments défectueux.</p> <p>Ouvrir totalement.</p>
Évaporateur givré. (Chambre froide)	<p>Entrée d'air humide parasite</p> <p>Dégivrage inexistant ou inefficace.</p> <p>Produits trop chargés d'humidité</p>	<p>Colmater les fuites. Recommander la fermeture des portes ou mettre un rideau .</p> <p>Vérifier le fonctionnement du dégivrage</p> <p>Emballer les produits</p>
Détendeur thermostatique givré.	<p>Défauts détendeur thermostatique :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Orifice détendeur trop petit. • Surchauffe trop importante • Filtre orifice détendeur bouché. 	Changer la buse, le filtre de la buse ou encore le détendeur.
Coup de liquide.	<p>Trop de fluide</p> <p>Accumulation liquide dans le carter</p> <p>Évaporateur noyé à l'arrêt</p>	<p>Vérifiez charge, détendeur trop ouvert.</p> <p>Résistance carter non alimentée ou HS</p> <p>Vérifiez présence VEM .Défaut VEM sur la ligne liquide (toujours ouverte).</p>
Pressostat d'huile coupe.	<p>Manque huile.</p> <p>Erreur câblage</p> <p>Causes diverses</p>	<p>Contrôler le niveau d'huile (voir la page migration huile)</p> <p>Vérifiez le câblage.</p> <p>Filtre pompe à huile bouché,résistance de carter hors service,déshydrateur bouché.</p>
Pressostat BP déclenche	<p>Manque de fluide.</p> <p>Manque débit évaporateur. (air, eau)</p> <p>Causes diverses.</p>	<p>Contrôlez la charge. Sous refroidissement condenseur.</p> <p>Contrôler débit d'air (ventilation), débit eau pompe circulation,</p> <p>Cartouche ou filtre déshydrateur bouché.</p> <p>Cartouche ou filtre aspiration bouché.</p> <p>Détendeur trop fermé. Électrovanne liquide fermée.</p>
Pressostat HP déclenche	<p>Trop de fluide</p> <p>Manque échange au condenseur(air, eau)</p> <p>Air dans le circuit</p>	<p>Contrôlez la charge. Sous refroidissement condenseur.</p> <p>Contrôler la propreté du condenseur, la vitesse du ventilateur, les pales du ventilateur.</p> <p>Contrôler fonctionnement et vitesse pompe, de circulation, vérifier le filtre entrée eau . Vannes partiellement fermées, tartre ...etc !</p> <p>Faire test des incondensables.</p>

Pannes	Causes	Remèdes
L'électrovanne ne s'ouvre	<p>Bobine hors tension</p> <p>Tension ne correspondant pas à la tension nominale de la bobine</p> <p>Bobine HS</p> <p>Pression différentielle incorrecte</p> <p>Cheminée détériorée .</p> <p>Éléments manquants, lors du remontage la Vanne (après soudure)</p>	<p>Contrôler si la bobine est alimentée</p> <p>Ne jamais enlever une bobine sous tension, elle risque de griller. La cheminée permet de refroidir les enroulements de la bobine.</p> <p>Mesurer la tension appliquée à la bobine, si la tension est de 20% inférieure à la tension nominale de la bobine, la VEM restera fermée</p> <p>Tension incorrecte, court-circuit, bobine mal</p> <p>La vanne pour ouvrir à besoin que la bobine soit alimentée mais aussi que la pression amont /aval régnant dans la tuyauterie soit suffisante . Vérifier que la pression nominale d'ouverture da la vanne soit bonne.Changer la VEM.</p> <p>Cheminée abîmée (coup)</p> <p>Remettre les éléments manquants. Changer la VEM</p>
VEM ouvre partiellement	<p>Tension ne correspondant pas à la tension nominale de la bobine</p> <p>Cheminée détériorée .</p> <p>Pression différentielle trop basse.</p> <p>Impuretés ne permettant pas le fermeture complète de la vanne</p>	<p>Voir électrovanne ne s'ouvre pas</p> <p>Voir électrovanne ne s'ouvre pas</p> <p>Voir électrovanne ne s'ouvre pas</p> <p>Nettoyer le siège de la vanne ou changer la VEM.</p>
VEM bruyante	<p>Défaut d'alimentation</p> <p>Pression dans la ligne liquide fluctuante</p>	<p>Mesurer la tension appliquée à la bobine, si la tension est de 20% inférieure à la tension nominale de la bobine (bruit) corriger le problème,</p> <p>Coupe de bâlier, pompage détendeur, etc .</p>

8 pannes frigorifiques !

Voici un bref récapitulatif des causes et des symptômes de certaines pannes frigorifique.



Le détendeur trop petit

Symptômes :

BP faible, bon sous refroidissement mais grande surchauffe (Surchauffe, sous-refroidissement), production frigorifique à l'évaporateur faible, température aspiration élevée.

Causes possibles

- Buse du détendeur sous dimensionnée par rapport à la puissance de l'évaporateur.
- Filtre du détendeur partiellement bouché.
- Détendeur mal réglé (surchauffe) ou grippé (humidité).
- Température de condensation faible notamment en hiver, pas de système toutes saisons.

Évaporateur trop petit

Symptômes : BP, surchauffe et production frigorifique faible

Causes possibles :

- Puissance évaporateur sous dimensionné.
- Manque de débit à l'évaporateur, filtre eau ou air encrassé, pompe ou ventilateur tournant à l'envers ou pas à leurs vitesses nominales.
- Évaporateur givré de façon anormale.
- Circulation de l'air pas optimale.
- Trop d'huile dans l'évaporateur.

Panne manque de charge

Symptômes : Basse pression, haute pression et sous refroidissement très faible, surchauffe plutôt grande, rendement faible, court cycle compresseur.

Causes possibles :(Charge installation frigorifique, conseils.)

- Fuites

Prédétente sur la ligne liquide

Symptômes : BP faible, grande surchauffe, bon sous refroidissement, différence de température entre l'entrée et la sortie de l'élément en cause (ligne liquide)

Causes possibles :

- Filtre déshydrateur partiellement bouché.
- Vanne électromagnétique ou autre vanne sur la ligne liquide partiellement ouverte
- Mauvaise sélection d'accessoires ligne liquide (sous dimensionné)

Comresseur trop petit

Rappel des symptômes : HP faible, BP plutôt haute, peu de production frigorifique, température de consigne jamais atteinte, compresseur fonctionne en continu.

Causes possibles :

- Clapet aspiration ou refoulement compresseur hors service (Comment tester les clapets d'un compresseur?).
- Pour les compresseurs inverter vitesse de rotation faible.
- By-pass entre haute et basse pression (flotteur du séparateur huile ouvert en permanence, et pour les PAC la vanne 4 voies coincée en position intermédiaire).
- Modification épaisseur joint plaque à clapet (trop épais).

Condenseur trop petit

Symptômes : HP élevée, faible sous refroidissement.

Causes possibles :

- Ailettes encrassées ou endommagées (grêle)
- Ventilateur ou pompe condenseur tourne à l'envers ou pas à la vitesse nominale (variateur).
- Recyclage de l'air rejeté par le condenseur (obstacle, capotage mal positionné)

• Incondensables

Symptômes : HP haute, bon sous refroidissement

Cause possibles :

- Tirage à vide incomplet à la mise en service ou erreur lors d'un dépannage

Excès de charge :

Rappel des symptômes : HP anormalement haute, sous refroidissement élevé, intensité compresseur élevée, test des incondensables négatifs.

Causes possibles :

- Erreur lors de la charge en fluide lors la mise en service

Migration de fluide frigorigène

On parle de migration de fluide frigorigène quand il y a accumulation de fluide dans une section ou un élément du circuit frigorifique. Cette migration est possible à l'arrêt de l'installation, en vertu d'une loi nommée "proie froide de Watt". C'est d'ailleurs un phénomène très présent en thermodynamique.

Celle-ci démontre que dans un circuit fermé, un fluide soumis à une certaine température se déplacera naturellement du point le plus chaud vers le point le plus froid de ce circuit.

Paroi froide de watt, explication simple !

Raccordons deux récipients entre eux en partie haute, un de ses récipients (A) est rempli d'une certaine quantité de liquide l'autre (B) ne contient pas de liquide les deux sont soumis à la même température disons 25° C. La pression est identique dans les deux récipients (relation pression/température), le liquide du récipient (A) reste en lieu et place.

Maintenant refroidissons le récipient (B) ou plaçons le dans une enceinte réfrigérée à 0°C.

Quand celui-ci sera suffisamment froid on constatera après un certain temps que le liquide du récipient (A) aura entièrement migré vers le récipient (B).

Que c'est-il passé ?

Les vapeurs du récipient (A) soumis à la température la plus élevée vont se condenser petite à petit au contact des parois du récipient (B) soumis à la température la plus basse.

Le liquide va s'évaporer au fur et à mesure du récipient (A) jusqu'à la dernière goutte de liquide, pour ce condensait dans le récipient (B).

C'est donc ce phénomène qui pose parfois quelques soucis dans une installation frigorifique.

Migration de fluide dans l'évaporateur

La migration de fluide frigorigène vers l'évaporateur est un phénomène bien connu du frigoriste, même si cette migration n'est pas toujours facile à déceler. En effet l'évaporateur est de nature l'endroit le plus froid une installation frigorifique (dans des conditions normales). De ce fait la migration d'un liquide d'un point plus chaud vers un point plus froid est donc possible. D'ailleurs cela peut être le cas dans une installation d'une chambre froide positive non équipée d'une vanne électromagnétique permettant à l'arrêt de l'installation d'interrompre l'écoulement du liquide ou d'une chambre froide négative dont la vanne électromagnétique serait défectueuse. N'oublions qu'un détendeur est un organe de régulation il n'a pas la vocation de stopper l'écoulement de fluide frigorigène. Le fonctionnement en pump down simple ou amélioré est de toute manière la bonne solution pour éviter ce problème.

Bien entendu la migration de liquide dans l'évaporateur posera le problème au redémarrage de l'installation d'une arrivée massive de liquide au compresseur, ce qui à terme l'endommagera (clapet... etc).

Migration de fluide dans le condenseur

Ici pour qu'il y ai migration il faudra impérativement que le condenseur soit une température très inférieure à celle de l'évaporateur. Typiquement on retrouve ce cas de figure dans les installations de chambre froide positive ou l'environnement extérieur peut descendre très largement en dessous de la température de l'enceinte réfrigérée. Par exemple pour une chambre froide positive à 0 °C avec une température extérieure de -10 quand le compresseur va s'arrêter la température et la pression dans le condenseur vont diminuer. Puis étant donné que la température extérieure est bien inférieure à la température de la chambre froide le fluide va migrer naturellement vers le condenseur.

Ce qui au redémarrage de l'installation causera immanquablement des problèmes de sous-alimentation de l'évaporateur puisque le fluide est entièrement contenu dans le condenseur. Cette sous-alimentation causera des coupures BP (basse pression) à répétition. Le seul remède à ce type de problème et l'installation d'un clapet anti-retour entre la bouteille et de liquide et le condenseur.

Migration vers le carter du compresseur

Une arrivée massive de liquide dans le carter du compresseur est dangereuse car tout liquide est incompressible (bris d'organes). Une arrivée de liquide moins massive dans le carter mais régulière va de fait modifier les propriétés physiques de l'huile de lubrification. Celle-ci sera diluée dans le fluide frigorigène ce qui réduira son pouvoir de lubrification. N'oublions pas qu'un fluide réfrigérant est un très bon dégraissant. Et au redémarrage de l'installation, l'évaporation (émulsion) rapide du fluide contenu dans le carter va entraîner l'huile en dehors du carter, c'est ce qu'on appelle l'effet mayonnaise ou lavage par fluide frigorigène.

Dans ce cas extrême la résistance de carter même si celle-ci fonctionne correctement n'aura pas la puissance calorifique nécessaire pour évaporer le liquide contenu dans l'huile à l'arrêt.

Ce cas de figure se rencontre généralement lorsque la surchauffe de l'évaporateur (en fonctionnement) n'est pas correcte et que le liquide s'accumule dans le carter.

Diagnostic pannes compresseur frigorifique

Défauts, vérification, remèdes

Compresseur ne démarre pas

- Pannes électriques, contrôlez, la tension alimentation générale (+ ou -20%), vérifiez télécommande, fusibles, disjoncteur.
- Pour les compresseur scroll contrôleur de phase en sécurité (sens rotation).
- Sécurité activée, contrôlez pressostats HP,BP, huile, en défaut...etc

Compresseur ne s'arrête pas

- Installation sous puissante.
- Compresseur ou clapet usé,V4V en position intermédiaire,détendeur,évaporateur,compresseur sous puissant.
- Manque de fluide (sans coupure BP), contrôlez la charge,surchauffe, sous refroidissement ,les fuites éventuelles, refaire une charge .
- Excès de fluide (sans coupure HP),contrôler la charge, surchauffe, sous refroidissement, récupérer le fluide, refaire une charge correcte.
- Givre sur échangeur extérieur, cycle de dégivrage à contrôler ,débit d'air échangeur extérieur.
- Débit insuffisant sur échangeur intérieur, voir filtres, batterie encrassée,courroies détendues.

Compresseur en court cycle

- Coupure BP, contrôlez le pressostat BP, la charge en fluide,possibilité bouchon partiel ou total (deshydrateur,VEM ,etc).

Compresseur bruyant

- Manque huile
- Migration de l'huile (résistance de carter HS),retour huile difficile (tracé tuyauterie).
- Ordres des phases, pour les compresseurs scroll sans contrôleur de phase attention au sens de rotation.
- Trop d'huile, supprimez l'excès d'huile.
- Pièces mécaniques usées ou détériorées.
- Dépendant trop ouvert, buse non adaptée

Intensité trop élevée

- HP et BP haute, vérifiez la charge, contrôle débit d'air(eau) côté HP.
- Organe défectueux, détendeur trop ouvert, usure mécanique compresseur, cosses ou fil mal serré, défaut alimentation(sous tension).

Intensité trop faible

- HP et BP basse, vérifiez la charge, contrôlez débit d'air (eau) côté BP, bouchon partiel.

Carter mouillé ou givré

- Présence de liquide dans le carter, défaut résistance de carter, réglage surchauffe.
- Avec système retour d'huile vérifiez le flotteur (prédétente).

Hypsotherme en défaut

- Pannes électriques, défaut alimentation, cosses ou fil mal serré, voir couplage.
- Panne frigorifique, voir déshydrateur, filtre aspiration partiellement bouché, manque fluide, détendeur trop fermé, clapets non étanches ou problème mécanique.

Disjonction protection compresseur

- Erreur câblage, vérifiez couplage compresseur.
- Intensité élevée, contrôlez la charge en fluide, la surchauffe le serrage des cosses et du bornier, les enroulements moteur.
- Calibrage protection, vérifiez intensité(A) réelle puis régler la protection .

Autres causes de pannes compresseurs

Le lavage par fluide frigorigène

L'une des causes les plus fréquentes en matière de panne de compresseur frigorifique est liée à ce que l'on appelle le lavage par fluide frigorigène. Cela peut survenir quand le fluide frigorigène se retrouve en phase liquide dans le carter, présence causée par une surchauffe trop faible dans l'évaporateur. Les parties mobiles du compresseur seront mal lubrifiées provoquant un inévitable serrage.

Curieusement presque aucun échauffement n'est remarqué en général en ouvrant le compresseur, puisque les pièces métalliques sont refroidies par le fluide. En revanche, on remarquera au moment du démontage que le métal des diverses pièces a subi un laminage.

La panne due au défaut d'alimentation ou de connexion

Ce type de panne peut survenir bien souvent lors d'un démarrage quand l'intensité est la plus importante.

Les causes sont en générales, un mauvais serrage des connexions surtout au niveau de la plaque à bornes, manque de phase.. etc. Le problème est relativement simple à identifier une fois le compresseur ouvert, on observera une dégradation du bobinage, particulièrement au niveau des isolants. En revanche, on observera un autre type de dégradation quand il s'agira d'un démarrage fractionné (part-winding). On remarquera que seule une partie du bobinage sera dégradé. Généralement causé bien sûr par un défaut de câblage, lié à ce genre de démarrage.

Le coup de liquide

Il ne faut pas confondre la panne due au coup de liquide à celle que nous avons expliqué un peu plus haut, correspondant au lavage par fluide frigorigène.

Il existe deux types différents de coups de liquide. Le tout premier va correspondre à l'arrivée du fluide à l'état liquide directement au niveau des clapets des compresseurs à pistons ou des spirales des compresseurs scroll. Cela est dû au manque de surchauffe de l'évaporateur ou d'un surdimensionnement du détendeur, casse compresseur garantissant sachant que le liquide est par nature incompressible.

La seconde possibilité est relative à l'huile de lubrification, qui s'accumule par exemple dans l'évaporateur et qui migre de façon soudaine et en quantité, au démarrage en particulier.

La panne par pollution du circuit

Il s'agit de l'une des pannes les plus fréquentes et logiques du compresseur frigorifique, les circuits frigorifiques étant ouverts parfois plus que de raison.

La présence inopinée d'humidité dans les circuits frigorifiques engendre bien sur des problèmes multiples mais au niveau du compresseur on observera tout d'abord une déformation du tamis d'aspiration qui ira même jusqu'à éclater, ce qui aura des effets immédiats sur le bobinage. L'humidité permettra aussi la formation de boues et d'oxydes préjudiciables à la rigidité diélectrique de l'huile de lubrification.

Pour conclure

Notons qu'une panne d'un compresseur frigorifique récent nécessite plus que jamais une expertise, afin de comprendre s'il s'agit d'un défaut de fabrication par exemple, ou pour déterminer les causes exactes de cet incident, afin de ne pas devoir subir une nouvelle panne dans les semaines ou mois à venir après la survenue du premier problème.

Diagnostic clapets compresseur HS

Les clapets d'aspiration et de refoulement d'un compresseur sont des organes relativement fragiles qui peuvent être détériorés par des coups de liquide massif ou par une succession de coups de liquide.

Quand doit-on suspecter que les clapets d'un compresseur sont hors service ou passablement usés.

- La production frigorifique est faible.
- Le temps de fonctionnement du compresseur est élevé
- La basse pression est plutôt haute.
- La haute pression est plutôt basse.
- La température de refoulement est élevée.
- Le point de consigne demandé est difficile à atteindre.

Bien entendu ces quelques points de repère ne sont pas uniquement constatés dans le cas de clapets détériorés mais ils doivent inciter à les vérifiés.

Procédure de vérification des clapets.

Mettre en place les manomètres HP et BP.

Essai des clapets d'aspiration

Fermer sur l'avant la vanne d'aspiration.

Shunter le pressostats basse pression.

Mettre en route le compresseur.

Le compresseur tire au vide très rapidement, les clapets d'aspiration sont fonctionnels.

Le compresseur a beaucoup de mal à tirer au vide, les clapets d'aspiration hors service.

Essai des clapets de refoulement.

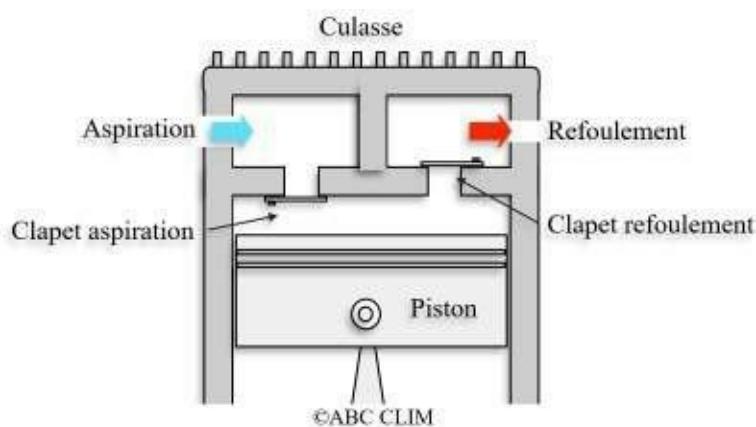
Après avoir fait les essais des clapets d'aspiration et avoir arrêté le compresseur.

Observer le manomètre basse pression, la pression dans le carter ne doit pas remonter rapidement.

Si c'est le cas les clapets de refoulement sont fuyards.

Nb :

Si l'huile contenu dans le carter émulsionne de façon importante, c'est que l'huile contient du fluide frigorigène, ce qui peut être gênant pour le diagnostic. Vérifier que la résistance de carter soit bien en fonctionnement.



Panne compresseur sous-puissant

Les symptômes suivants perte de puissance frigorifique, HP faible, BP élevée voire dans les cas extrêmes HP et BP presque identique, manque évident de puissance frigorifique peuvent donner à penser qu'il y a un problème au niveau du compresseur frigorifique lui-même. Et c'est bien entendu parfois le cas notamment quand des clapets sur un compresseur à piston ne sont pas étanches. Mais parfois une panne peut en cacher une autre et occasionner une erreur de diagnostic.

Voyons ici quelques pannes concernant un manque de puissance frigorifique non imputable à un dysfonctionnement du compresseur.

Vitesse de rotation du compresseur trop faible (Scroll)

Sur les VRV et les multisplits la vitesse de rotation des compresseurs généralement de type scroll sont gérées par un ensemble de platine électronique. Cette platine appelée Inverter agit directement sur la fréquence du courant afin de faire varier la vitesse de rotation du compresseur.

Afin de pouvoir modifier la fréquence du courant l'électronique utilise un certain nombre de capteurs et plus généralement des transducteurs de pressions.

Une erreur de mesure d'un traducteur de pression peut engendrer une vitesse de rotation faible du compresseur, ce qui se traduira par une perte de puissance frigorifique et des valeurs de pression HP et BP non conformes. Donc sur ce type d'appareil il faut donc vérifier à pleine charge que le compresseur fonctionne bien à la fréquence maximale.

À pleine charge, il faut en premier lieu vérifier que le traducteur de pression généralement situé sur la basse pression donne la valeur réelle de la pression BP. Il faudra comparer cette pression mesurée avec celle lue sur les manomètres installés au préalable sur l'installation. Une erreur plus ou moins importante de la pression mesurée par le traducteur sera de nature à engendrer une fréquence (Hz) erronée.

Le signal en sortie des transducteurs est soit un courant de 4-20 mA soit une tension 0/10 V. Pour vérifier leurs bons fonctionnements, il suffit de demander au fabricant du matériel les correspondances entre les pressions et les valeurs mesurées en sorties de transducteur.

Par contre si le compresseur tourne à la fréquence maximale toutes les unités mises en service à la température maximale, il faudra se diriger vers un autre type de panne, by-pass d'un élément par exemple.

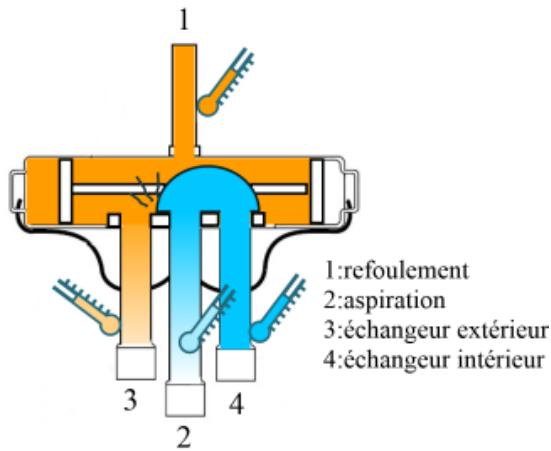
Concernant les compresseurs de type digital scroll il peut arriver (c'est assez rare) que la vanne qui module la puissance du compresseur soit bloquée mécaniquement où maintenue électriquement ouverte. Dans ce cas de figure le mécanisme muni d'un piston soulèvera la spirale fixe par la pression HP et ne permettra ainsi plus aucune compression.

Vanne d'inversion de cycle en position intermédiaire

Cette panne est nettement plus commune car la vanne d'inversion de cycle ou vanne 4 voies est un élément sensible aux corps étrangers parfois présent dans un circuit frigorifique. Une vanne d'inversion de cycle coincé en position intermédiaire établirait de fait une communication entre la HP et la BP plus ou moins importante. Mais les symptômes seraient les mêmes une perte de puissance frigorifique et des valeurs HP et BP presque identiques dans les cas extrêmes.

Vanne d'inversion de cycles non étanche : (ex en mode froid)

Refoulement compresseur	Aspiration compresseur	Échangeur intérieur	Échangeur extérieur	HP et BP
Tiède	Neutre	Neutre $t^o 2 > t^o 4$	Tiède $t^o 1 > t^o 3$	BP = haute / HP = basse



Dysfonctionnement de la vanne de régulation de capacité

Un régulateur de capacité (KVC) permet d'établir un by-pass entre la conduite d'aspiration et de refoulement pour permettre d'adapter la puissance du compresseur à la charge de l'installation.

On comprend aisément qu'un by-pass entre la HP et la BP ne doit pas se faire de manière continue mais il doit être modulé en fonction de la charge du ou des évaporateurs.

Si le régulateur est déréglé ou coincé en position ouverte l'injection de gaz chaud réduira la puissance frigorifique délivrée par le compresseur. Ici pour diagnostiquer ce type de panne un simple toucher sur le tube d'injection permettra de s'assurer que la KVC est ouverte ou fermée. Attention toutefois aux brûlures.

Étanchéité soupape de sécurité interne compresseur

Certains compresseurs Scroll ou encore à pistons possèdent une soupape de sécurité interne reliée au collecteur HP. En cas d'une hausse de pression anormale de la HP, la soupape va limiter la pression en l'évacuant dans le carter du compresseur. Cette soupape est constituée d'un clapet muni d'un ressort taré par le constructeur afin de maintenir le clapet en position fermée en marche normale.

Si par malheur le clapet de la soupape reste en position partiellement où complètement ouverte nous aurons en fonction du débit de fuite et les mêmes symptômes correspondant à la panne du compresseur pas assez puissant.

- Puissance frigorifique faible.
- HP basse
- BP haute
- Sécurité thermique interne compresseur en défaut

Flotteur du séparateur d'huile en position ouverte

Le séparateur d'huile a pour rôle de séparer l'huile contenue dans les vapeurs sortant du compresseur et de permettre sa réinjection dans le carter.

Il se compose d'un corps renfermant un dispositif à action centrifuge et à brusque changement de direction. Un flotteur et parfois même une vanne électromagnétique contrôlent le retour de l'huile ainsi piégé vers le carter du compresseur.

Si par mégarde le flotteur (ou la VEM) reste en position ouverte nous aurons exactement le même type de panne constatée que dans le cas d'un manque d'étanchéité de la soupape de sécurité interne d'un compresseur.

Diagnostic charge fluide

Il paraît évident à tous que diagnostiquer une charge correcte ou incorrecte est nécessaire pour garantir un bon fonctionnement et la fiabilité dans le temps d'une l'installation et c'est dans ce but que voici deux petits tableaux résumant les principales conséquences du manque de fluide et de l'excès de fluide.

Manque de fluide :

Pression aspiration	basse
Température aspiration	élevée
Surchauffe	élevée
Sous refroidissement	faible
Température condensation	basse
Puissance frigorifique	basse
Temps de fonctionnement compresseur	élevé
Voyant liquide	bulles
Pression refoulement	basse

Excès de fluide :

Pression condensation	élevée
Pression évaporation	élevée
Température refoulement	élevée
Sous refroidissement	bon
Surchauffe	petite
Puissance frigorifique	basse
Intensité compresseur	augmente
Pressostat HP	Coupe

Récapitulatif des principaux cas de fuites

Les fuites à répétitions sur un circuit frigorifique sont non seulement préjudiciables au bon fonctionnement et à l'environnement, mais il en va de la crédibilité de l'intervenant sans omettre le prix des interventions qui à coup sûr mécontenteront le client.

D'ailleurs, la nouvelle réglementation F-GAS oblige l'installateur à des vérifications périodiques des installations c'est le confinement ainsi qu'à une traçabilité des fluides frigorigènes, surveiller et garantir l'étanchéité des installations neuves et anciennes en évitant les pertes dans l'ambiance.

Points à vérifiés

Vannes schrader

- Présence de bouchons
- Présence joint intérieur du bouchon

Vannes services

- Bouchons prises manomètres
- Capuchon de vanne
- Presse-étoupe (serrage)

Vannes Rotalock

- Serrage écrou sur vanne HP, BP (vibration)
- Joint téflon des vannes

Détendeur

- Bouchon de la vis de réglage surchauffe
- Dudgeons

Condenseur

- Fuite par cisaillement au niveau entrée, sortie tube
- Fuite par cisaillement entre crosses des tubes et support
- Soudures surchargées

Support

- Collier sans manchon isophonique ou isolant
- Collier non serré
- Support mal fixé

Tube de liaison

- Dudgeons
- Changement de direction, té, piquage (vibrations)
- Usure tube par frottement
- Soudures surchargées

Capillaire

- Usure par frottement entre spires

Évaporateur

- Fuite par cisaillement entre crosses des tubes et support
- Détendeur, écrou égalisation
- Soudures surchargées

Trace d'huile

- Fuite sur soufflets pressostats HP, BP
- Fuite plaque à bornes compresseur
- Carter compresseur, voyant huile
- Eliminateur vibration mal fixé ou sur l'aspiration en froid négatif formation de glace entre tresse et flexible.

Méthodes de récupération du fluide

Voici deux méthodes de récupération :

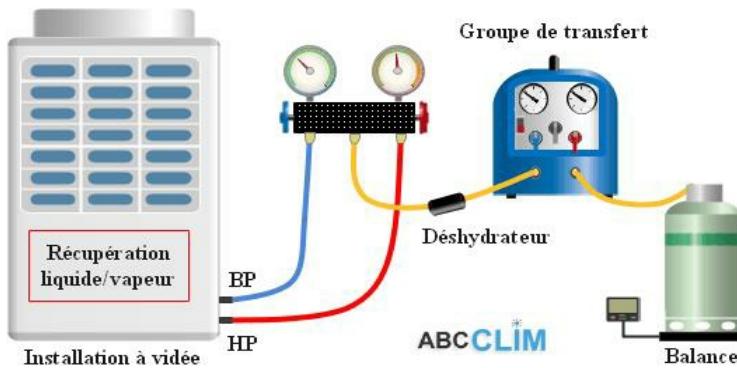
Avant tout propos, bien lire le manuel de la station de récupération (ou groupe de transfert) que vous employez, car chaque fabricant a sa méthode.

Tirez au vide la bouteille de récupération, la station de récupération et les manomètres avant de récupérer le fluide. Ne jamais remplir un récipient avec du réfrigérant liquide à plus de 80% de sa capacité maximale, la balance permet de surveiller le remplissage.

Récupération en liquide/vapeur:

Pas très rapide comme mode de récupération, mais branchement facile

- Mettre à l'arrêt l'installation
- Connecter vos manifolds sur l'installation (HP,BP)
- Raccorder la station de récupération sur la voie centrale du manifold
- Mettre la bouteille de gaz sur une balance et raccordez-la sur la station
- Ouvrir la vanne de la bouteille.
- Ouvrir la vanne de service de l'installation ainsi que les vannes de votre manifold.
- Mettre en route la station suivant le manuel.
- Après récupération, purger la station suivant le procédure indiquée (manuel).
- Remplir la fiche d'identification de la bouteille le travail terminé.

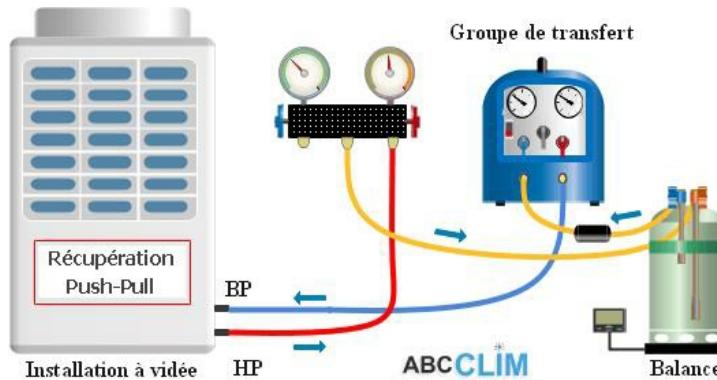


Récupération en surpression (Push-Pull):

Débit beaucoup plus important.

Mettre à l'arrêt l'installation

- Connecter votre flexible HP sur la vanne de service HP(liquide)
- Mettre la bouteille gaz sur une balance
- Connecter la voie centrale du manifold sur l'entrée liquide de la bouteille
- Connecter l'entrée de gaz de la bouteille à l'entrée station
- Connecter la sortie de la station à la vanne de service BP (vapeur)
- Ouvrir les vannes de la bouteille
- Ouvrir les vannes de service de l'installation ainsi que les vannes de votre manifold
- Mettre en route la station suivant le manuel
- Après récupération, purger la station suivant le procédure indiquée (manuel).
- Remplir la fiche d'identification de la bouteille le travail terminé



Pannes HP, BP

1:

- a) Vanne sur la ligne liquide mal ouverte
- b) Filtre déshydrateur partiellement bouché
- c) VEM mal ouverte

2:

- a) Buse détendeur mal sélectionnée
- b) Filtre de la buse partiellement bouchée
- c) Mauvais réglage(surchauffe)
- d) Bulbe mal positionné
- e) Détendeur grippé

3:

- a) Fuites
- b) Charge initiale pas conforme

4:

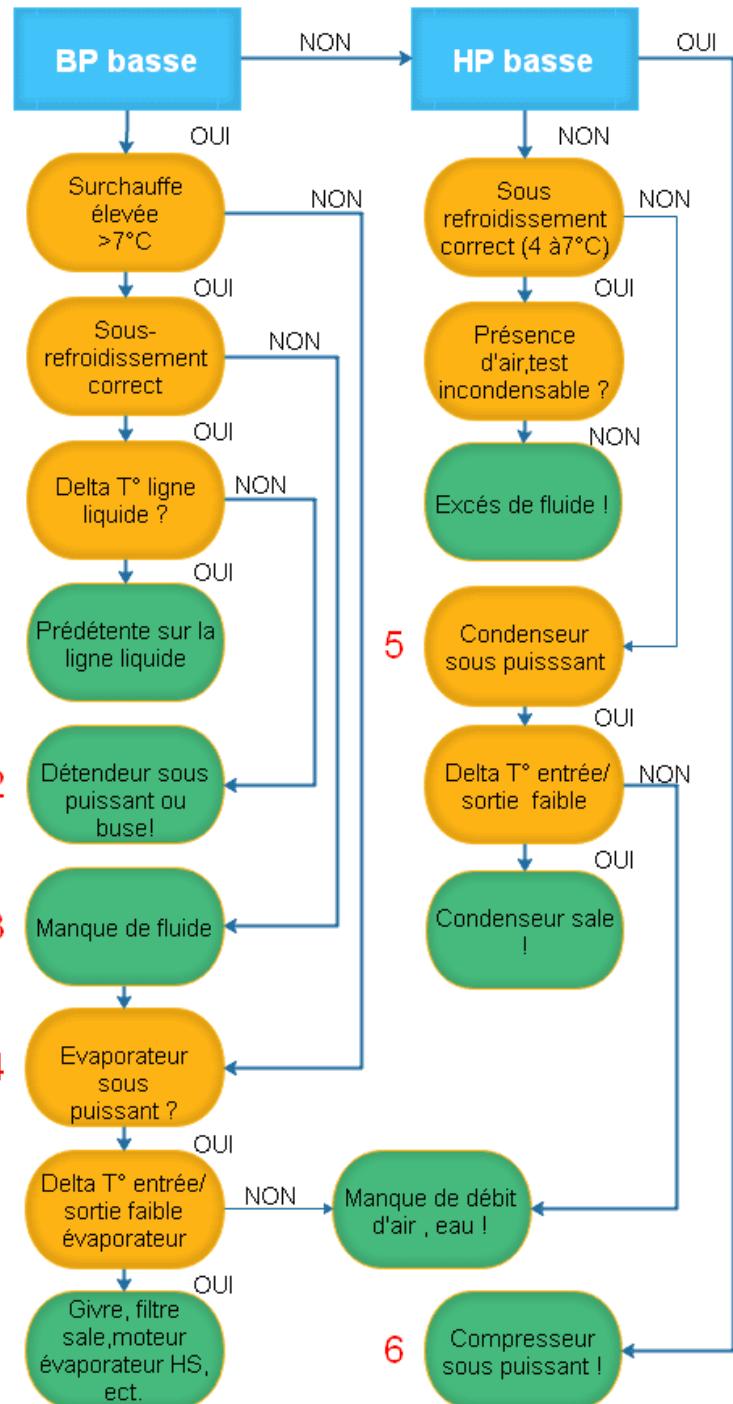
- a) Filtres sales
- b) Evaporateur givré
- c) Bouchon partiel d'huile(migration)
- d) Recyclage (air,eau) entrée,sortie évaporateur
- e) Débit (air,eau) non conforme

5:

- a) Condenseur sale
- b) Débit(air,eau) non conforme
- c) Recyclage entrée ,sortie condenseur

6:

- a) Clapets HS(compresseur piston)
- b) Vanne 4 voies coincée en position intermédiaire
- c) Vanne de réinjection ouverte en permanence(VRV,mult)
- d) Vitesse de rotation faible (inverter)



Panne prédictente ou flash gaz

Le phénomène de la prédictente est une vaporisation partielle dans la ligne liquide (avant détendeur), pour obtenir cette vaporisation il faut un abaissement brusque de la pression, causé soit par colmatage ou dysfonctionnement d'un organe sur le parcours, soit par une perte de charge trop importante d'un organe ou de la tuyauterie.

Ce mélange liquide vapeur ne permet pas au détendeur d'alimenter normalement l'évaporateur, la proportion de liquide étant plus faible la puissance de l'évaporateur baisse, le détendeur sera ouvert en grand et sera sous puissant par apport à l'évaporateur.

Le compresseur ne sera pas suffisamment sous-refroidi par les gaz d'aspiration.

Les principaux symptômes :

- 1) BP basse
- 2) Puissance frigorifique faible
- 3) Grande surchauffe (évaporateur sous-alimenté)
- 4) Température gaz aspiré et refoulement
- 5) Formation de givre ou différence T° (entrée, sortie) au niveau de l'organe en cause.
- 6) Bulles importantes au voyant

Les principales causes:

Déshydrateur:

C'est l'organe le plus souvent en cause, car il possède un filtre à tamis en entrée qui peut se saturer de débris divers, copeaux de cuivre, soudure... Etc..

Une différence de 2 C° entre l'entrée et la sortie du déshydrateur est le signe d'un colmatage.



Vanne électromagnétique:

La VEM peut être partiellement ouverte, par exemple la cheminée de la masselotte est déformée ce qui empêche l'ouverture complète de la vanne. Il est aussi possible que la membrane soit obstruée par un corps étranger.

Tuyauterie:

Ici c'est essentiellement les pertes de charges, longueurs importantes de la ligne liquide, sous dimensionnement des tubes, coudes, changement de direction en grands nombres, qui permettent une baisse de la pression suffisante pour obtenir une prédictente.

Autre cause plus rare c'est une perte de charge très importante sur un organe (mal dimensionné) du parcours

Vanne :

Vanne sur le parcours pas suffisamment ouverte créant un abaissement brusque de la pression.

Panne des incondensables

La panne des incondensables est une panne assez rare finalement, car elle est le fruit d'une ou plusieurs mauvaises manipulations, c'est généralement de l'air ou de l'azote.

Par exemple de l'air emprisonné entre le détendeur et la vanne électromagnétique, non ouverte lors du tirage vide ,ou de l'azote utilisé lors d'une recherche de fuite, ou tout simplement un tirage au vide imparfait.

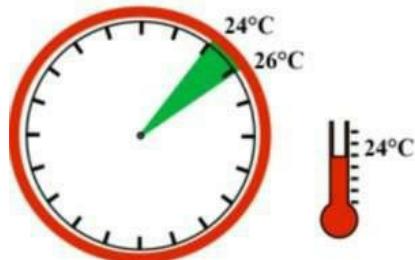
L'air tout comme l'azote se retrouvent piégés en partie haute de l'installation ou dans la bouteille liquide étant tout deux plus légers que les fluides frigorifiques.

Les symptômes:

- HP= haute (coupure HP)
- BP= haute
- Rendement= faible

Méthode simple:

1. Mettre l'installation à l'arrêt.
2. Mettre en place les manomètres
3. Mettre le ou les ventilateurs condenseur en marche forcée attendre quelques minutes.
4. Prendre un thermomètre et mesurer la température entrée et sortie condenseur, les mesures doivent être identiques ce qui indique que toute la chaleur du condenseur est dissipée.
5. Comparer la mesure lue aux manomètres HP avec celle du thermomètre, les mesures doivent être identiques
6. Si la température lue aux manomètres est supérieure (plus de 2°C) à celle du thermomètre il y a présence d'incondensable, plus l'écart est grand plus il y a présence d'incondensable.
7. Récupérer le fluide, faire un tirage au vide et refaire la charge de fluide frigorigène.



Méthode complète :

- Mettre l'installation à l'arrêt , mettre en place les manomètres.
- Fermer la vanne de départ liquide et mettre en route le compresseur jusqu'à la coupure du pressostat BP.
- Suivre les étapes,3,4,5,6,7 de la précédente méthode

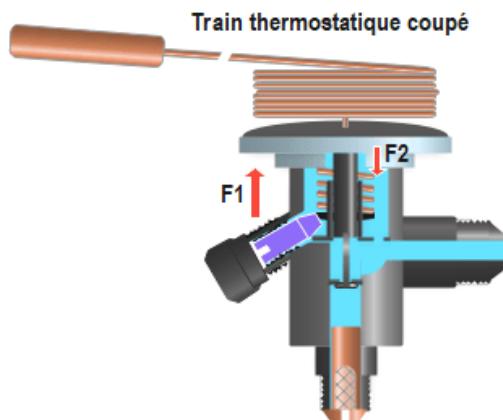
Pannes détendeurs

Bulbe percé ou train thermostatique coupé :

Ce type de panne est souvent la cause de frottements répétés, par exemple si le bulbe est mal fixé sur le tube d'aspiration (attaches mal fixées) ou que les spires du capillaire ne sont pas maintenues fixées entre elles ou encore que le capillaire est laissé sans attaches sur le parcours, ces frottements provoquent une usure ou une rupture du train thermostatique.

Diagnostic:

La pression de fermeture (F1) étant plus importante que la pression d'ouverture (F2) le détendeur reste fermé, la basse pression chute ce qui entraîne une coupure du pressostat basse pression.



Détendeur trop petit :

Cette panne est le résultat d'une mauvaise sélection soit du détendeur, soit de la buse.

Diagnostic:

Puissance frigorifique faible, basse pression faible, température des gaz aspirés haute, surchauffe importante, sous-refroidissement normal.

Détendeur trop grand :

Là aussi c'est le résultat d'une erreur (détendeur ou buse) qui peut avoir des conséquences importantes, car il y risques de coup de liquide au compresseur.

Diagnostic:

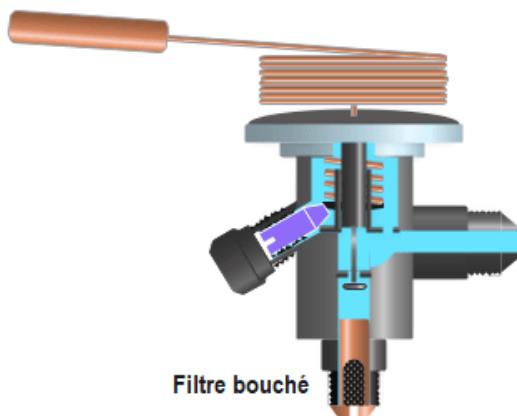
Puissance frigorifique faible, pompage détenteur, basse pression haute, peux ou pas de surchauffe.

Détendeur à égalisations externes : Si le bulbe du détendeur est mal positionné c'est-à-dire si celui-ci est fixé après le raccordement de l'égalisation externe, le détendeur fonctionnera par à-coups (pompage du détendeur) ce qui à terme endommagera le détendeur.

Buse ou filtre bouché:

Cette panne est rencontrée sur des circuits pollués par des impuretés (copeaux de cuivre).

Il faudra alors pousser le diagnostic un petit peu plus loin afin de s'assurer que le circuit n'est pas contaminé entièrement.



Détendeur grippé:

Cette panne mécanique ne permet plus au détendeur de faire son office, plus aucun réglage n'est possible, il faudra donc changer le détendeur.

Attention cela peut être le signe que le circuit n'est pas parfaitement propre ou qu'il y a présence d'humidité.

Changement détendeur

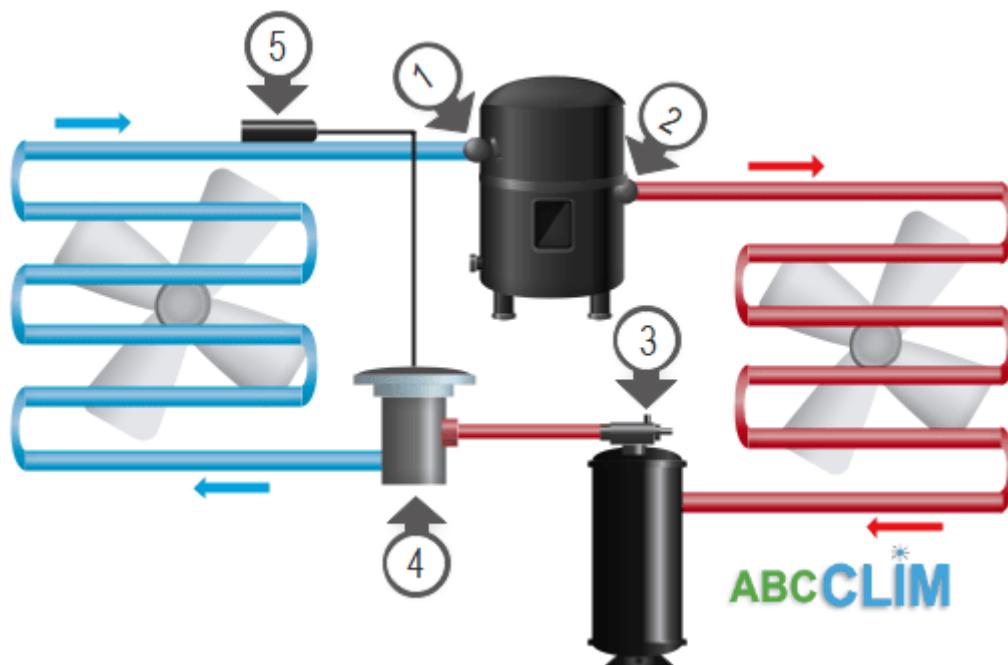
Il arrive parfois que le détendeur d'une installation frigorifique ne fonctionne plus. Il peut être mécaniquement bloqué par un corps étranger par exemple, ou son train thermostatique est coupé ou endommagé. Donc pas d'alternative il faut changer la pièce complète.

Cette méthode est applicable sur tous les organes de la ligne liquide (voyant ,déshydrateur)

En premier, mettre les manifolds (tiré au vide) sur les vannes de service.(1,2)

- Fermer la vanne de départ liquide (3) pour permettre le stockage du fluide dans le condenseur.
- Mettre en route le compresseur jusqu'à que la pression BP soit très légèrement supérieure à la pression atmosphérique.
- Arrêter le compresseur, fermer la vanne de service BP.(1)
- Consigner l'alimentation électrique.
- Démonter le bulbe du détendeur hors service.(5)
- Changer le détendeur(4) en limitant le temps d'intervention et en vérifiant que la nouvelle buse correspond à la buse du détendeur défectueux.
- Si le détendeur est à soudé mettre un chiffon humide autour afin de le refroidir pendant la brasure.
- Repositionner le bulbe du détendeur correctement.
- Vérifier les fuites en introduisant de l'azote sous pression quand c'est possible.
- Tirer l'installation au vide.
- Ouvrir les vannes de service (1 et 3).
- Remettre l'alimentation électrique.
- Mettre l'installation en marche.
- Vérifier la surchauffe et le fonctionnement sur plusieurs cycles.
- Faire un appoint de fluide si c'est nécessaire.

Note: Vous pouvez en même temps à titre préventif changer le déshydrateur (non représenté).



Méthode des 3 vides

Cette opération consiste à introduire de l'azote sec après tirage au vide, en effectuant 3 tirages au vide et deux mises sous pression en cas de présence importante d'humidité voire d'eau (condenseur à eau percé). La mise sous pression d'azote facilitera le décrochage des particules d'humidité piégées ici et là.

Cette méthode peut être accompagnée par l'installation au préalable d'un boîtier démontable du type Burn-out muni de cartouche déshydratante spécifique (efficacité 50% supérieure par rapport à une cartouche traditionnelle).

Méthode des 3 vides

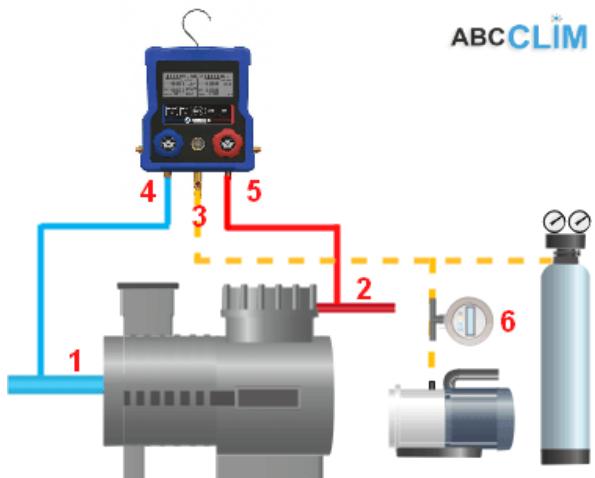
- 1) Première mise au vide, puis mettre sous pression d'azote
- 2) Recommencer une procédure de tirage au vide, remettre sous pression d'azote
- 3) Dernière mise au vide

Détail de la procédure :

Tirage au vide

1: Raccorder les manomètres à l'installation , manomètre BP (repère 4) à la vanne de service basse pression(repère 1) du compresseur et le manomètre HP (repère 5) à la vanne de service haute pression(repère 2) du compresseur. Pendant le tirage au vide, la mesure du niveau de la dépression se fait à l'aide d'un vacuomètre .

Aidez-vous du tableau sur la page « Tirage au vide »



- 2: Raccorder la pompe à vide sur la voie de service des manifolds .(repère 3)
- 3: Ouvrir les vannes HP et BP manomètres et compresseur.
- 4: Faire ouvrir la ou les vannes électromagnétiques en les alimentant ou avec des aimants conçus à cet effet (voir fournisseurs).
- 5: Mettre en route la pompe à vide (vérifiez le niveau d'huile de la pompe à vide avant).
- 6: Laisser fonctionné de 1/2h ,à plusieurs heures suivant la taille de l'installation.
- 7: Quand le tirage au vide est fini ,voir le vacuomètre qui doit indiqué une dépression inférieure à la tension de vapeur correspondant à la température mesurée (tableau ci-dessous),fermer les vannes HP et BP du manifold (repère 4 et 5).

8: Retirer la pompe à vide et le vacuomètre (repère 3).

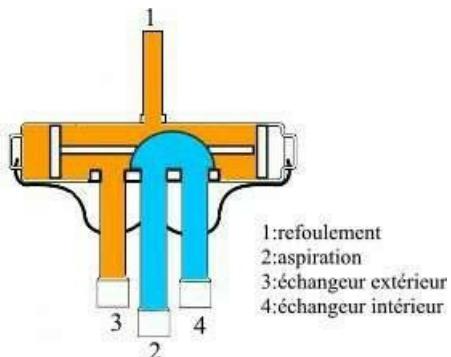
9: Procédure cassage du vide

Cassage du vide:

- 1: Mettre en place la bouteille d'azote (repère3).
- 2: Régler la pression du détendeur à environ 1 bar puis ouvrir la bouteille, purger le flexible et introduire l'azote dans le circuit jusqu'à environ une pression de 0,2 bar.
- 3: Fermer les manomètres HP et BP (repère 4 et 5),abaisser la pression régnant dans le circuit par purge au niveau des manomètres.
- 4: Enlever la bouteille d'azote après l'avoir refermée, raccorder la pompe à vide.
- 5: Commencer la procédure de tirage au vide

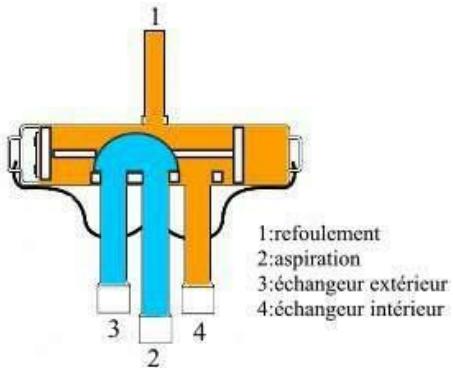
Diagnostic vannes 4 voies

Fonctionnement normal froid:



Refoulement compresseur	Aspiration compresseur	Échangeur intérieur	Échangeur extérieur	HP et BP
Chaud	Froid	Froid $t^o 2=t^o 4$	Chaud $t^o 1=t^o 3$	Normales

Fonctionnement normal chaud:

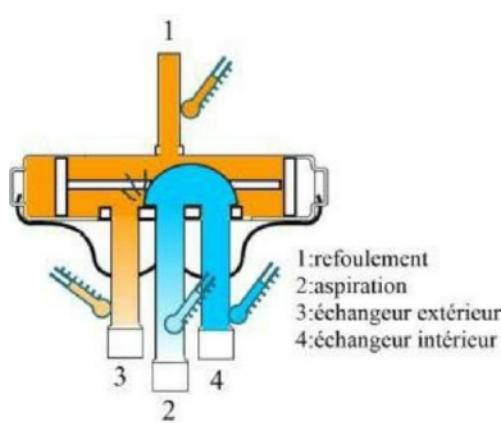


Refoulement compresseur	Aspiration compresseur	Échangeur intérieur	Échangeur extérieur	HP et BP
Chaud	Froid	Chaud $t^o 1=t^o 4$	Froid $t^o 3=t^o 2$	Normales

Vanne d'inversion de cycles non étanche :(ex en mode froid)

$t^o 1 > t^o 3$ et $t^o 2 > t^o 4$

- BP=haute ,
- HP=basse
- Cas extrême HP=BP



Faire un complément d'huile

Complément d'huile par tirage au vide

Cette procédure simple, rapide est valable pour introduire soit un complément d'huile ou effectuer un remplacement d'huile.

- Raccorder les manomètres (manifold) sur les vannes du compresseur.
- Fermer la vanne basse pression (sur l'avant).
- Mettre le compresseur en fonctionnement, stopper le compresseur entre 0,3 et 0,1 bar;
- Couper l'alimentation électrique du compresseur.
- Raccorder la pompe à vide sur le raccordement central du manomètre.
- Mettre en service la pompe à vide.
- Ouvrir la vanne service BP du manomètre.
- Le tirage au vide s'effectue.

Si le compresseur possède une vanne de service ou une vanne shrader en partie basse de carter (prise d'huile) :

- Raccorder un bout du flexible sur cette vanne et l'autre dans le réservoir d'huile.
- Ouvrir un le robinet d'huile. complément-huile
- L'huile est aspirée, contrôler le niveau.
- Le complément d'huile est terminé.
- Laisser fonctionner un moment la pompe à vide.

Si le compresseur ne possède pas de prise d'huile, faire aspirer l'huile par la vanne BP du compresseur, il faudra au préalable bien sûr arrêté la pompe à vide et la débrancher pour pouvoir connecter le flexible de remplissage sur le manomètre. Une fois le remplissage effectué , retirer au vide le compresseur.

Remise en route :

- Le compresseur étant au vide, ouvrir la vanne basse pression sur l'arrière.
- Mettre sous tension le compresseur.
- Mettre en fonctionnement l' installation.
- Vérifier le niveau d'huile.

Remarques :

L'huile doit être visible entre le niveau inférieur et l'axe du voyant.

Les huiles Ester sont très hygroscopiques, il faudra limiter les manipulations et éviter tout contact avec l'air.

Utiliser toujours une huile d'origine ayant les mêmes caractéristiques que celle du compresseur.



Vidange de l'huile d'un compresseur

Vidanger l'huile d'un compresseur frigorifique peut s'avérer nécessaire dans plusieurs cas.

- Dans le cas d'un rétrofit.
- Quand l'huile représente un danger pour les enroulements, généralement en présence d'acidité.
- Quand l'huile semble dégradée par divers contaminants.

Quatre méthodes sont utilisées pour soutirer l'huile des compresseurs frigorifiques.

Soutirage de l'huile par gravité.

C'est sans doute la méthode la plus simple, mais encore faut-il que cela soit possible. Il faut bien entendu que le compresseur dispose d'un bouchon ou d'une vanne de vidange en partie basse du carter.

Si le compresseur peut être isolé par des vannes utilisez-les, dans le cas contraire il faudra transférer la totalité du fluide dans une bouteille.

- Consigner le compresseur.
- Ouvrir en dévissant le bouchon ou en ouvrant la vanne de vidange laisser s'écouler l'huile dans un récipient adapté.
- Revisser le bouchon ou fermer la vanne de vidange, tirer au vide le compresseur (ou l'installation).
- Introduire la quantité d'huile nécessaire, par aspiration directement dans le bidon d'huile .
- Réintroduire le fluide frigorigène.
- Déconsigner le compresseur.
- Remettre en route l'installation.

Vidange de l'huile sous pression.

Cette méthode est applicable efficacement que si le compresseur possède des vannes d'aspiration et de refoulement.

- Consigner le compresseur.
- Fermer les vannes d'aspiration et de refoulement sur l'avant.
- Récupérer le fluide contenu dans le compresseur.
- Ouvrir le bouchon où la vanne de vidange (raccorder un flexible étanche), ou à défaut le voyant d'huile (attention à l'huile au-dessus du voyant).
- Mettre sous pression d'azote le carter du compresseur via la prise basse pression, en maîtrisant bien la pression.
- Laisser s'écouler l'huile dans un récipient prévu à cet effet.
- Refermer le bouchon ou la vanne de vidange etc.
- Tirer au vide le compresseur.
- Procéder au remplissage d'huile neuve par aspiration dans le bidon d'huile.
- Réintroduire le fluide frigorigène.
- Déconsigner le compresseur.
- Remettre en route l'installation.

Soutirage d'huile à l'aide d'une seringue.

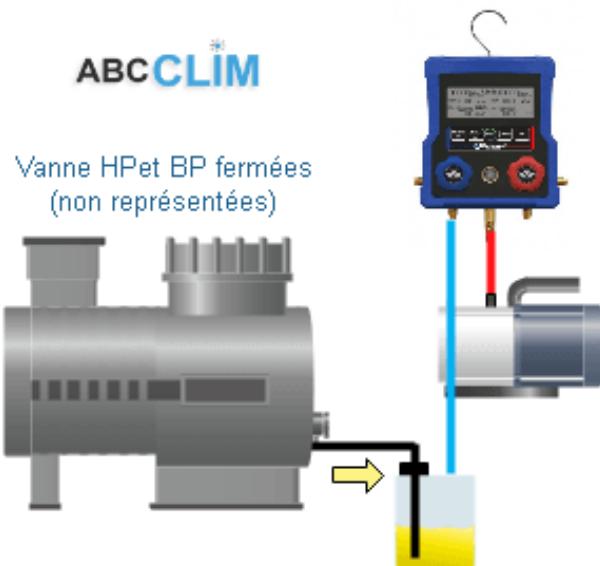
Ici on utilisera le bouchon de remplissage d'huile située en partie haute du compresseur afin d'introduire un tube raccordé à une seringue appropriée. Suivant la quantité d'huile contenue dans le carter du compresseur cette méthode peut être longue.

- Isoler électriquement le compresseur.
- Isoler le compresseur du reste du circuit frigorifique ou retirer la totalité du fluide.
- Introduire un flexible à l'intérieur du compresseur de manière à ce que celui-ci touche le fond du carter.
- Actionner la seringue.
- Tirer au vide, puis introduire la nouvelle huile par aspiration à l'aide d'un flexible directement plongé dans un bidon d'huile, chargé l'installation
- Remettre en service.

Vidange d'huile par dépression.

Cette méthode est assez rapide, mais il faudra confectionner un récipient adapté pour cette opération.
La première partie de l'opération est identique aux autres méthodes, consignation, récupération du fluide.

- Introduire un flexible souple ou à défaut un morceau de cuivre (par le voyant huile par exemple) directement au fond du carter, celui-ci étant raccordé de façon étanche sur un récipient, un autre record étanche étant disponible pour raccorder la pompe à vide.
- Mettre en route la pompe à vide, quand la dépression est suffisante l'huile se trouvera aspirait à l'intérieur du récipient.
- Quand toute l'huile est retirée, revisser le voyant d'huile en prenant garde au joint.
- Procéder à un tirage au vide, introduire l'huile par aspiration directement le bidon via la vanne basse pression.
- Réintroduire la charge du fluide, remettre sous tension le compresseur et mettre en service.



Prélèvement et analyse d'huile

La qualité d'un lubrifiant est importante pour lubrifier les pièces en mouvement, pour améliorer l'étanchéité (compresseurs à spirale) pour évacuer la chaleur ou tout simplement garantir l'intégrité des enroulements du moteur électrique pour les compresseurs hermétiques et semi-hermétiques.

Une analyse périodique d'un lubrifiant permet non seulement de nous donner une idée sur la qualité d'une huile, mais nous renseigne aussi sur l'état général d'une installation.

Analyse en laboratoire :

Cette analyse est la plus complète elle comprend les éléments suivants :

- L'acidité : provenant d'un lubrifiant oxydé ou surchauffé.
- La teneur en eau : favoriser par diverses manipulations sur le circuit frigorifique, contribue à la formation d'acide.
- La rigidité diélectrique : nous renseigne sur la propreté d'un lubrifiant, paramètre essentiel pour les compresseurs hermétiques et semi-hermétiques car la présence de particules conductrices de courant (ex:cuivre) sont dangereuses pour les enroulements.
- Aspect général : couleur, odeur, contaminant.

Analyse sur chantier :

Des kits de tests prêts à l'emploi existent pour chaque type d'huile (fiabilité relative), ce sont essentiellement des tests d'acidité.

Le prélèvement dans le carter du compresseur doit être réalisé après un cycle de fonctionnement (huile chaude), la rapidité dans le prélèvement est essentielle afin de ne pas polluer l'huile par de l'humidité ou autres contaminants.

Méthode prélèvement d'huile:

- Après avoir raccordé les manomètres de service :
- Fermer la vanne basse pression (sur l'avant).
- Mettre en fonctionnement le compresseur, attendre que la basse pression atteigne 0,1 bar puis arrêter le compresseur.
- Faire une consignation électrique du compresseur.
- Brancher un flexible soit directement sur la vanne d'huile, si elle existe, soit introduire une seringue ou pompe (propre) directement dans le carter du compresseur (bouchon de vidange).
- Mettre l'autre côté du flexible dans un récipient propre et sec, puis soutirer la quantité nécessaire.
- Enlever le flexible ou la seringue (si vous avez la possibilité, tirer au vide le carter).
- Ouvrir doucement la vanne BP (sur l'avant)
- Déconsigner électriquement le compresseur.
- Remettre en route l'installation.

Mise en œuvre :

- Effectuer un prélèvement d'huile.
- Ouvrir le flacon et introduire l'huile jusqu'au niveau indiqué.
- Faire le flacon et agiter le mélange.
- Après quelques secondes, observer la couleur obtenue.
- Comparer la couleur obtenue avec les couleurs de référence fabriquant.
- Couleur violette = acidité correcte
- Couleur jaune = acidité élevée

Utilisation d'un réfractomètre

Un réfractomètre est un appareil qui mesure l'indice de réfraction d'une substance, ce qui permet d'analyser un échantillon liquide ou solide afin de déterminer son identité, sa pureté ou sa concentration.

Cette technique appelée la réfractométrie s'appuie sur un phénomène physique, la lumière ne se déplace pas à la même vitesse suivant la substance qu'elle traverse. En effet chaque échantillon pur ou mélange de substance possède un indice spécifique de réfraction de la lumière, ce qui permet d'identifier, de quantifier cette substance.

Technique utilisée en froid et climatisation dans le cadre d'un rétrofit avec deux fluides utilisant deux huiles différentes, afin de mesurer la teneur résiduelle de deux huiles ou pour connaître la concentration en antigel d'un circuit d'eau de chauffage ou de climatisation.

Exemple simple de ce qu'est la réfractométrie:

Prenez un bâton, parfaitement droit, plongez-le partiellement dans l'eau, vous remarquerez que celui-ci ne semble plus aussi droit en dessous de l'eau, en fait c'est la lumière qui traverse l'eau qui est déviée et qui produit cet effet d'optique.

Pressostat d'huile, panne et remède !

Dans cet article nous allons voir les pannes de type manque d'huile les plus répandues, pour les installations équipées de pressostat différentiel d'huile. Ici nous partirons du principe que les raccordements frigorifiques et électriques sont correctement exécutés. (Voir le câblage page 68)

Le pressostat différentiel d'huile protège les compresseurs équipés de pompe à huile contre un éventuel manque d'huile en permettant sa mise à l'arrêt. Ce dispositif mesure la pression différentielle entre le carter du compresseur et le refoulement de la pompe à huile. Quand cette pression descend en dessous du point de consigne préréglé, un contact interrompt la chaîne de sécurité du compresseur.

Un manque d'huile est une conséquence parfois destructrice qui peut avoir un certain nombre de causes, frigorifique, mécanique, de conception... etc.

Le niveau d'huile dans le carter est correct

L'huile est aspirée directement dans le carter par la pompe à huile puis elle est refoulée vers les pièces en mouvements (bielles, paliers, etc.) à travers un circuit de lubrification. Pour éliminer un dysfonctionnement de la pompe elle-même, la première chose à faire est de vérifier que la pression différentielle soit correcte.

À l'aide d'un manomètre frigoriste, contrôler la pression dans le carter du compresseur (basse pression) et au refoulement de la pompe (vanne shrader sur la pompe), la différence de pression doit être égal ou supérieur au réglage. Si ce n'est pas le cas, isoler le compresseur électriquement et frigorifiques. Démonter la pompe et vérifier son filtre d'aspiration. Si le filtre ou crépine est propre, la pompe la pompe peut être défectueuse, difficulté à s'amorcer, usure mécanique. Il est possible aussi que la pompe cavite car elle aspire plus de vapeur de fluide que d'huile, la conduite d'aspiration, du filtre jusqu'à la pompe doit être étanche.

Attention toutefois aux compresseurs pilotés par variateur de fréquence, les constructeurs préconisent une fréquence minimale afin de garantir une lubrification correcte.

Le niveau d'huile dans le carter n'est pas correct

En fonctionnement le niveau d'huile doit être compris entre 1/3 et 2/3 du voyant, l'huile ne doit pas mousser trop fortement.

Dans les installations complexes mais pas que !... Un manque de fluide frigorigène peut entraîner un manque d'huile. Il faudra donc être attentif à toute trace importante d'huile.

La résistance de carter est-elle bien alimentée à l'arrêt du compresseur ? Le carter est-il chaud ?.

L'huile et le fluide frigorigène sont par nature assez miscibles entre eux, la résistance de carter permet en élevant la température de l'huile de réduire ce phénomène. Évitant ainsi une migration trop importante de l'huile dans l'installation. Le retour de l'huile au carter doit être en quantité plus importante que celle qui est entraînée hors de carter.

Le fonctionnement en cours cycle (démarrage et arrêt successifs) du compresseur est de nature à ce que l'huile quitte le carter de manière exagérée. En effet la mise en dépression du carter par cycle rapproché favorise le départ de l'huile, d'autant que la pompe à huile n'aura pas le temps de faire son travail.

Le réglage de la surchauffe du détendeur notamment si celle-ci est trop faible va non seulement provoquer des risques de coup de liquide parfois de faibles ampleurs mais suffisant pour que l'huile soit entraînée. Le fluide frigorigène à l'état liquide se mélangeant plus facilement avec l'huile.

Un manque d'huile peut aussi être causé par un retour au carter difficile, voire impossible. Ci-dessous quelques causes concernant ce problème :

- Défaut de conception ou modification de la tuyauterie le plus souvent d'aspiration non compatible avec des vitesses du fluide favorable au retour de l'huile au compresseur,
- Absence (ou mal conçu) de piège à huile en sortie d'évaporateur, contre-siphon, pente, etc..
- Piège à huile non présent tous les 3 mètres en cas de compresseur placé bien au-dessus de l'évaporateur.
- Flotteur du séparateur à huile bloqué en position fermée ou système de contrôle électronique de retour d'huile défectueux.

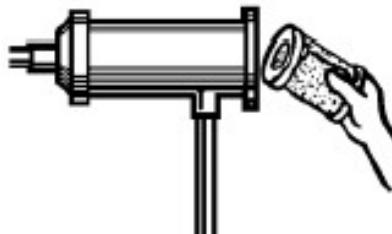
Nettoyage circuit après grillage compresseur

Un compresseur qui a « grillé » c'est-à-dire un compresseur dont les enroulements sont hors services, car le vernis isolant les enroulements est détérioré, suite à un mauvais fonctionnement du style surchauffe trop importante, non-refroidissement du compresseur par les gaz aspirés, haute pression importante, sous-tension du courant d'alimentation ...etc, avant toute chose après le diagnostic du compresseur faire une analyse d'huile pour confirmer que l'huile est bien polluée par les acides formés par la décomposition à haute température de l'huile et du fluide.

À ce stade après avoir consigné l'alimentation électrique, débrancher les câbles, récupérer le fluide , on effectue soit un nettoyage du circuit tronçon par tronçon avec un produit solvant pressurisé soit on rince avec une pompe branchée en recirculation sur installation permettant un nettoyage rapide puis on chasse à l'azote dans un récipient.

Après le nettoyage

- Changer le déshydrateur... mettre plutôt un déshydrateur antiacide.
- Changer l'organe de détente (détendeur ou la buse au minimum).
- Eventuellement mettre un filtre de nettoyage à cartouche sur l'aspiration (burn out)
- On peut maintenant procéder au changement du compresseur, au tirage au vide, à la charge en fluide.
- Prévoir le changement du contacteur et du thermique du compresseur
- Mettre sous tension la résistance de carter.



Mise en route :

Mettre sous tension la résistance de carter.

À la mise en route, effectuez les contrôles de la surchauffe, du sous-refroidissement, de l'intensité du compresseur, sur plusieurs cycles de fonctionnement.

Périodiquement faire des analyses d'huile.

Nettoyage avec huile POE (nouveaux fluides).

À la mise en route, effectuez les contrôles de la surchauffe, du sous-refroidissement, de l'intensité du compresseur, ceci sur plusieurs cycles de fonctionnement. Périodiquement faire des analyses d'huile.

Une autre méthode de nettoyage parfois utilisée plus simple, mais pas sans risque, car si le nettoyage n'est pas correctement exécuté la durée de vie du nouveau compresseur peut être réduite. Cela consiste à changer le compresseur, le déshydrateur ..etc , puis on effectue, le tirage au vide, la charge .Puis on met en marche le compresseur, on laisse en service quelques heures. On stoppe l'installation, puis on change l'huile, on remet en service, puis on recharge l'huile ceci plusieurs fois. A chaque fois on remplace la cartouche anti-acide jusqu'à obtenir une analyse d'huile sans trace d'acidité. Opération à effectuée dans un temps assez cours, car l'acidité du circuit peut attaquer les enroulements assez rapidement.

Réutilisation du fluide frigorigène

L'expérience a montré que le fluide frigorigène recueilli sur un circuit dont le compresseur a grillé peut être réutilisé. Son réemploi est dicté uniquement par des considérations d'ordre économique. Pour les installations de faible puissance, pour lesquelles la charge est inférieure ou égale à 5 kg, il est probable que la vidange supplémentaire de l'huile ou la cartouche du déshydratateur, nécessaires pour épurer le fluide, coûteront plus que la charge elle-même, en particulier lorsque la main d'œuvre a mettre en jeu est importante.

Sur les circuits de forte puissance, il n'y a pas de doute en ce qui concerne l'économie réalisée en réutilisant le fluide. Une expérience de plusieurs années montre que cette réutilisation ne risque pas d'être la cause d'avaries répétées. Il faut en effet se souvenir de ce qui a été dit précédemment, concernant le fait que le fluide n'absorbe qu'une faible proportion d'acide, puisqu'une proportion importante de celui-ci se retrouve dans l'huile. On obtient un nettoyage efficace du circuit et du fluide en remplaçant plusieurs fois l'huile et la cartouche du déshydrateur.

Contaminants des circuits frigorifiques

Les circuits frigorifiques peuvent être contaminés par divers éléments ou corps étrangers, ceux-ci peuvent entraîner des dysfonctionnements plus ou moins importants.

Ces différents contaminants sont généralement introduits dans le circuit frigorifique par négligence ou par manque de formation, lors de l'installation ou des opérations de dépannage et de maintenance.

Les principaux contaminants sont :

- Les incondensables
- L'humidité
- Les acides
- Les corps étrangers
- Les oxydes et les boues

Les incondensables

Il s'agit ici généralement de l'air ou de l'azote introduit dans le circuit frigorifique.

L'air présent dans une installation est le fruit généralement d'une mauvaise manœuvre lors d'un changement d'organes par exemple pendant un dépannage ou encore d'un tirage au vide insuffisant lors de l'installation.

La présence d'incondensable provoque une augmentation anormale de haute pression, une diminution de production frigorifique et la présence d'une certaine quantité d'humidité.

La parade sur ce type de problème est bien sûr la récupération totale de la charge et un tirage au vide poussé.

Sur certaines l'installation de grande puissance on peut aussi dégazer en point haut ces incondensables.

L'humidité

La présence d'humidité dans un circuit frigorifique est généralement causée soit par une mauvaise déshydratation du circuit lors du montage, d'une introduction d'air lors d'une intervention, ou de l'introduction d'huile restait trop longtemps ouvert donc la teneur en humidité est importante.

La présence d'humidité peut entraîner :

- La formation de cristaux de glace dans le détendeur.
- La formation d'acide dangereux pour le vernis des moteurs électriques.
- Une corrosion qui oxyde les métaux.
- La formation de boues préjudiciables à la rigidité diélectrique de l'huile et aux différents organes du circuit.

Les signes qui permettent de diagnostiquer une présence d'humidité sont :

- Le changement de couleur du voyant liquide.
- Le fluide traversant le voyant liquide est visiblement de couleur sombre.
- Un fonctionnement erratique du détendeur.
- voyant-liquide-hygroskopique

Naturellement confirmer le diagnostic avec un test d'acidité s'impose.

Pour supprimer l'humidité dans un circuit il faudra récupérer la charge, changer l'huile du compresseur, changer le déshydrateur (anti-acide), procéder à un tirage au vide suivant la méthode des trois vides, refaire la charge avec un nouveau fluide frigorigène.

Les acides

La formation d'acide est généralement causée par la présence d'humidité ou par réaction chimique entre l'huile et le réfrigérants fonctionnant dans des conditions extrêmes de température ou de pression.

Les autres causes de présence d'acide sont :

- Remplacement d'un compresseur grillé sans rinçage du circuit frigorifique.
- Présence de calamine en quantité mélangée avec du décapant utilisé pour la soudure (soudure surchauffée).

Les corps étrangers

Ceux-ci peuvent être de différentes natures, limaille de cuivre (ébavurage), limaille de fer (abrasion), poussière introduite dans les tubes non bouchonnés avant montage, bouchons plastique non retiré obturant les barres de cuivre, soudure mal maîtrisée boules de soudure présentent dans le circuit, particules déshydratantes s'échappant d'un déshydrateur défectueux.

Les oxydes et les boues

Ce sont des oxydes du cuivre qui se forment lorsqu'on chauffe le cuivre de façon trop importante, et ceci en présence d'air, ils ont la propriété de décomposer huile et le fluide frigorigène.

Les boues quant à elles sont le produit de la décomposition par l'action d'acide sur l'huile ou encore d'un mélange l'huile de composition différente.

Bien entendu pour éliminer ces boues il faudra procéder à un rinçage du circuit avec un produit de nettoyage dédié.

Sources : Aide mémoire: Froid industriel (Jean Desmons) Edition Dunot--L' ABC du froid (Robert Therville) Editions PYC

Nettoyage avec solvant

Le bon fonctionnement d'une installation frigorifique peut-être gravement perturbée, par des impuretés ou des corps étrangers.

Ces contaminants présents dans le circuit sont de plusieurs ordres, citons :

- L'humidité introduite par négligence ou par erreur ce qui engendre des problèmes de fonctionnement (détendeur) et la formation d'acide et d'oxyde.
- Les acides formés par réaction chimique entre l'huile de lubrification et le réfrigérant ou encore en présence d'humidité.
- Les oxydes qui dégradent l'huile
- Les boues
- Débris de soudure (installation)

Dans tous ces cas, un nettoyage du circuit frigorifique doit être effectué à l'aide d'un solvant généralement sous pression d'azote qui a bien entendu possède un fort pouvoir de nettoyage, mais qui doit pouvoir s'évacuer très facilement par tirage au vide (pointe d'ébullition très bas).

Solvant et indice KB

Un solvant est une substance ou un mélange de substances qui ont des propriétés physico-chimiques permettant d'extraire, de dissoudre, de nettoyer une substance ou un matériau.

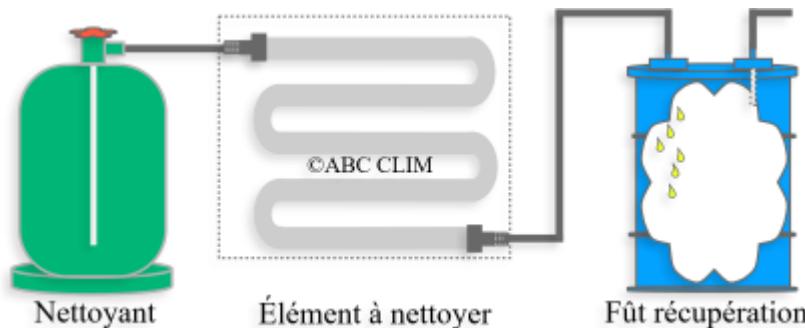
Les solvants ont un indice appelé l'indice Kauri Butanol (KB), cet indice donne une valeur de l'efficacité d'un produit. Cette valeur est déterminée expérimentalement à partir d'une solution de gomme Kauri et de Butanol mélanger avec le solvant. Plus le Kb est élevé plus le solvant est efficace.

Produits réglementés au même titre que les fluides frigorigènes.

Procédure de nettoyage

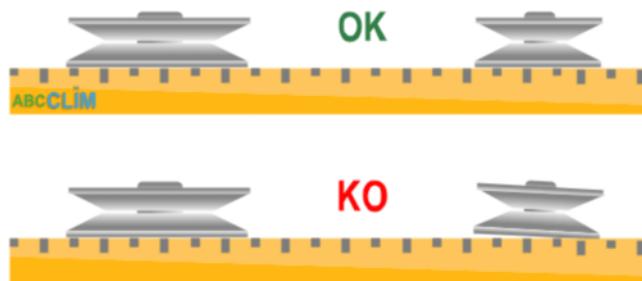
Pour être réellement efficace, ce nettoyage doit être effectué par tronçon. Les compresseurs et les organes comme les détendeurs ne doivent pas être compris dans cette procédure, car ces solvants peuvent détruire certains éléments les constituants.

- Raccorder à la bouteille de solvants liquides sur l'élément à nettoyer.
- Raccorder la fin de l'élément en question par un flexible transparent à un fût de récupération.
- Introduire le produit en activant la circulation en ouvrant et fermant le robinet de la bouteille de manière rapide pour créer des coups de bâlier qui seront de nature à déloger les impuretés.
- L'élément à nettoyer doit être entièrement rempli de liquide pour bien nettoyer tous les coins et recoins (quantité en grammes souvent donnée par le fabricant par dimension de tube.)
- Vérifier par le flexible transparent la propreté de l'élément.
- Une fois le nettoyage accompli faire une chasse d'azote suffisante pour éliminer la plus grande partie du produit.
- Une fois tous les éléments nettoyaient et remis en place un tirage au vide poussé sera nécessaire afin d'évacuer la totalité du solvant.



Problèmes courroies et poulies

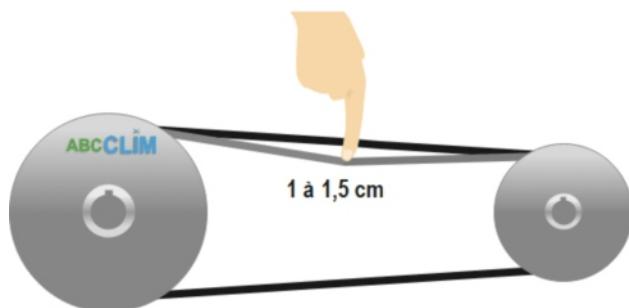
En climatisation à part le moteur à entraînement direct ou le moteur à accouplement, l'entraînement par courroie reste un type de transmission très utilisé , qui présente l'avantage de faciliter la modification de la vitesse de rotation du ventilateur à contrario de l'entraînement direct dont l'inconvénient est que l'on ne peut changer la vitesse du ventilateur qu'avec un variateur électronique.



Vérifications utiles:

Vérification de l'alignement des poulies qui peut par manque d'alignement user prématûrement les courroies.

Contrôle de la tension des courroies, une trop faible tension à pour conséquence un échauffement de la courroie et une usure prématûre, une trop forte tension entraîne une dégradation des paliers ou des roulements. L'utilisation d'un tensiomètre permet une mesure de tension simple et fiable.

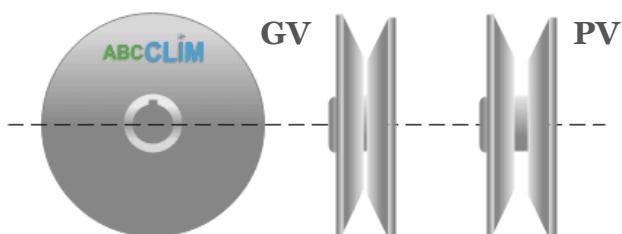


Les courroies sont du type trapézoïdal qui ont un profil en adéquation avec les gorges des poulies qui permettent un rendement supérieur à 90%.

C'est cette forme (en V) qui permet par simple effet géométrique de répartir les forces sur les flancs de la courroie donnant une très bonne adhérence.

Calcul de poulies :

Les poulies moteur sont souvent du type diamètre variable ,rappelons qu'une réglable poulie de ce type possède une joue fixe et une joue mobile ce qui permet en modifiant l'écartement entre les deux joues de faire monter ou descendre la courroie dans la gorge ce qui modifie le diamètre de la poulie donc la vitesse.



Mais si cette manipulation n'est pas suffisante pour obtenir un bon résultat il faudra redimensionner la ou les poulies .

Il vaut mieux calculer la poulie côté ventilateur (volute) afin de garder la poulie réglable (côté moteur ventilateur) qui permettra d'ajuster le débit si nécessaire.

Conseil:

Avant toute modification relever le diamètre des poulies moteur et ventilateur puis mesurer l'intensité du moteur, voir son intensité nominale plaquée sur le moteur afin d'être sur que l'on possède une marge sur l'intensité sachant que l'intensité monte de façon importante par rapport à vitesse.

$$D = (V_m : V) \times D_m$$

D : diamètre poulie a trouvée V_m: vitesse moteur V: vitesse a obtenir D_m : diamètre poulie moteur

Ex: V_m = 1400 t/mm D_m = 120mm

Je cherche le diamètre de poulie me permettant d'atteindre la vitesse de 1650 t/mm
D = (1400 : 1650) x 120 = 100mm

Changement d'un automate, la méthode !

Le changement d'un automate ou d'un régulateur n'est pas une opération tout à fait anodine car l'oubli d'une fonction ou une erreur d'interprétation d'un fonctionnement peut s'avérer problématique. Notamment dans le cas d'une centrale de traitement d'air ou autres dispositifs assurant le chauffage, la climatisation, l'humidification, la déshumidification de certains process dont les contraintes sont sévères.

Dans une moindre mesure il est vrai, il en est de même pour le traitement d'air de confort. Un client s'attendra toujours à retrouver le même niveau de confort après votre intervention, que ce qu'il a connu avant.

Un retour en arrière est parfois coûteux voire impossible, si ce que vous avez proposé ne correspond pas à l'utilisation.

1) Repérage, fonctions, entrées et sorties

Un repérage des fonctions et des divers organes, permettront non seulement d'établir un devis fiable mais permettront aux techniciens d'exécuter ultérieurement ce devis dans de bonnes conditions.

La première chose à faire est de pointer scrupuleusement tous les organes, entrées, sorties raccordées sur la régulation à changer. Et quand cela est possible noter la référence de chaque élément afin de pouvoir déterminer si ceux-ci seront compatibles avec le futur nouveau régulateur. Si certains éléments s'avèrent être compatibles cela réduira d'autant le coût global de l'opération. Ce relevé exhaustif permettra aussi de mieux comprendre le fonctionnement général de l'installation.

Tous les organes et systèmes de sécurité qu'il soit ou non raccordé sur cette régulation doivent être relevés et leurs fonctionnements assimilés.

Si vous disposez du schéma électrique de l'installation vérifier l'ensemble des raccordements pour savoir si ceux-ci sont toujours conformes au schéma que vous possédez. Si des modifications ont été apportées notez les changements. Portez une attention particulière aux éléments shuntés ou débranchés.

Vous ne pourrez peut-être pas vérifier le fonctionnement des divers moteurs actionnant les vannes et les volets, mais dans tous les cas manœuvrer les volets de mélange, de reprise, d'air neuf à la main afin de contrôler leurs états mécaniques.

2) Changement régulation en quelques mots !

Le devis est accepté et vient le temps d'exécuter cette prestation. Mettre hors tension l'armoire et la consignée.

Avant de décâbler quoi que ce soit, le premier réflexe est de repérer physiquement l'ensemble des entrées (sondes actives, sondes passives, contact sec des pressostats par exemple) et des sorties (volets, moteur de vanne 3 voies, etc.).

Si le câblage de l'armoire a été bien effectué vous n'aurez pas trop de soucis puisque chaque fil sera normalement numéroté, et bien identifié sur le schéma de l'armoire. Dans le cas contraire vous serez obligé de numéroter chaque fil de chaque entrée et sortie. Une fois ce travail fait il ne vous restera plus qu'à débrancher l'ensemble des connexions.

Si des sondes, pressostats, capteurs ou tout autre élément sont à remplacer il est temps de le faire. Respecter les consignes des fabricants quant à leur mise en place cela vous évitera des soucis à la mise en service.

Si vous avez un doute sur la destination d'un câble utiliser la méthode décrite dans cette vidéo.

(<https://youtu.be/EavUekVKnD8?t=216>).

Cette méthode appellée « claquer les points » est généralement plutôt employée dans les installations neuves pour éviter les erreurs de câblage.

Ça y est vous êtes en train de câbler, attention toutefois au serrage prenez l'habitude de tirer légèrement sur chaque fil afin de vérifier que celui-ci est bien en place, utilisez de préférence des embouts de câble.

Le câblage est terminé vous avez fait les dernières vérifications, mis à jour le schéma électrique de l'armoire, c'est donc le moment de passer à l'étape programmation.

À ce stade 2 options sont possibles, soit vous êtes en présence d'un automate complexe livré sans programmation, soit c'est un régulateur préprogrammé. Dans le premier cas vous n'aurez pas d'autre option que de faire intervenir un technicien de la marque afin qu'il injecte dans l'automate le programme adéquat. Dans le deuxième cas, il vous sera possible de choisir le programme le mieux adapté à votre installation. En effet de plus en plus de fabricants ont dans leur catalogue des régulateurs ayant un ensemble de programmes préenregistrés qui peuvent s'appliquer à un certain nombre de configurations.

Ici ce sera à vous de bien choisir en fonction des entrées, des sorties et des éléments présents dans l'installation.

Régulateur Siemens syncro !

<https://vimeo.com/584786242/a79c7dc14a>

Quelques formules pratiques

Voici quelques formules simples, pratiques et rapides utilisables en dépannage ,contrôle ,vérification.

1) Calcul puissance d'une batterie chaude:

$$P = 0.34 \times Q \times DT$$

P: puissance en Watts Q: débit en m³/h DT: delta t° entrée ,sortie batterie.

2) Calcul débit sur l'air :

Quand on connaît la vitesse d'air et la surface de la gaine , du diffuseur etc:

$$D=V \times S \times 3600$$

D: débit en m³/h V: vitesse en m/s S: surface en m²

Quand on connaît la puissance en Watts:

Puissance(W)

$$0,34 \times (T_2 - T_1)$$

P: puissance en Watts T₁:T° soufflage T₂: T° reprise

3) Intensité d'un moteur:

En triphasé:

$$I = P / U \times \sqrt{3} \times \text{Cos phi}$$

I: intensité P: puissance U: tension $\sqrt{3}$: 1,732 Cos phi : 0,80 généralement

Ou encore plus rapide mais pas très précis P (W) divisé par 600

En monophasé:

$$I = P / U \times \text{Cos phi}$$

I: intensité U: tension Cos phi : 0,80 généralement

4) Calcul dimension câble :

En monophasé:

$$S = 2 \times R \times L \times (I/1000) \times e$$

En triphasé :

$$S = R \times L \times (I/1000) \times e$$

S: section R: résistance du conducteur (19 pour le cuivre) L: longueur totale

I:intensité de la ligne e:chute de tension en V (3% éclairage à 5% moteur)

5) Calcul simple de la longueur d'une courroie:

$$L = (2 \times DP) + 1,57 \times (D_1 + D_2)$$

L = longueur de la courroie

DP = distance d'axe à axe des poulies

D₁= diamètre de la poulie moteur

D₂ = diamètre de la poulie turbine

6) Calcul diamètre d'une poulie:

$$D = (V_m : V) \times D_m$$

D :diamètre poulie à trouvée V_m:vitesse moteur V :vitesse à obtenir D_m :diamètre poulie moteur

7) Capacité d'un condensateur:

$$C_{cd} = (3 185 \times I) : U$$

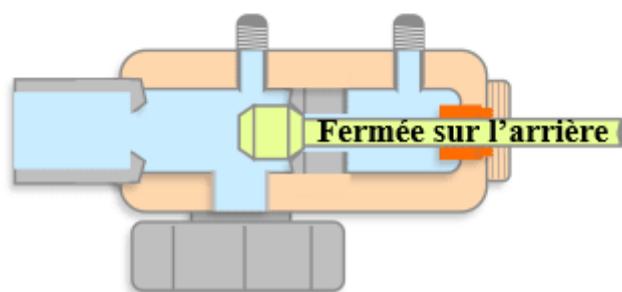
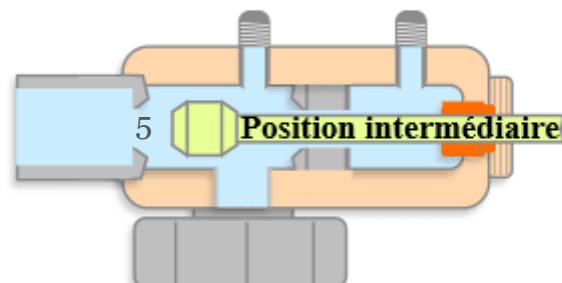
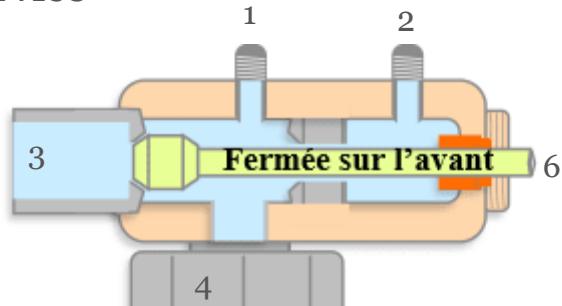
C_{cd} = capacité en μF

I = Intensité absorbée

U = Tension

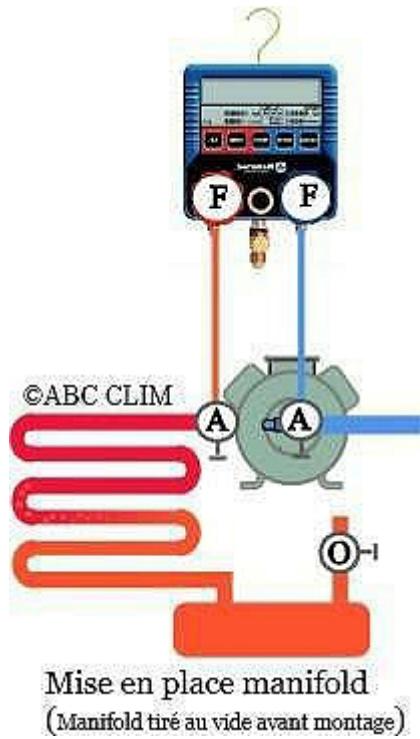
Fiches express

Vannes de service



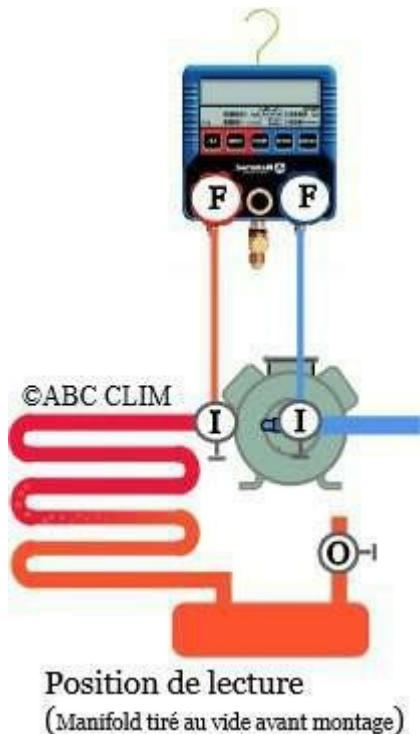
1. Prise permanente (pressostat)
2. Prise manifold (lecture)
3. Raccord à souder (tuyauterie)
4. Écrou de raccordement (compresseur, bouteille liquide..etc)
5. Portées de la vanne
6. Tige de réglage

Mise en place des manifolds



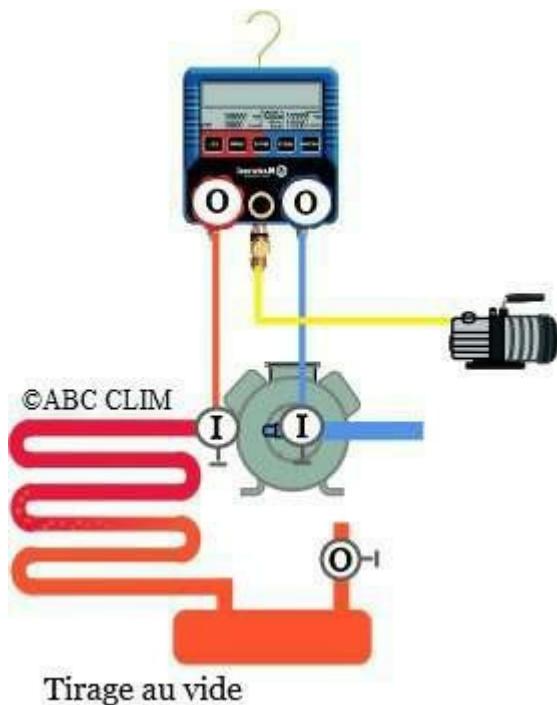
Légende
O = vanne ouverte
F = vanne fermée
A = vanne fermée sur l'arrière
a = vanne fermée sur l'avant
I = position intermédiaire , lecture

Manifold en position de lecture



Légende
O = vanne ouverte
F = vanne fermée
A = vanne fermée sur l'arrière
a = vanne fermée sur l'avant
I = position intermédiaire , lecture

Tirage au vide 1

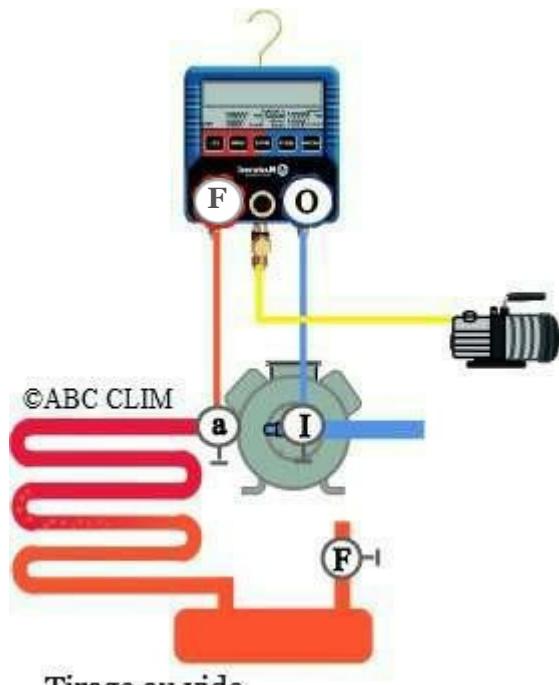


Légende

O = vanne ouverte
F = vanne fermée
A = vanne fermée sur l'arrière
a = vanne fermée sur l'avant
I = position intermédiaire , lecture

Tirage au vide 2

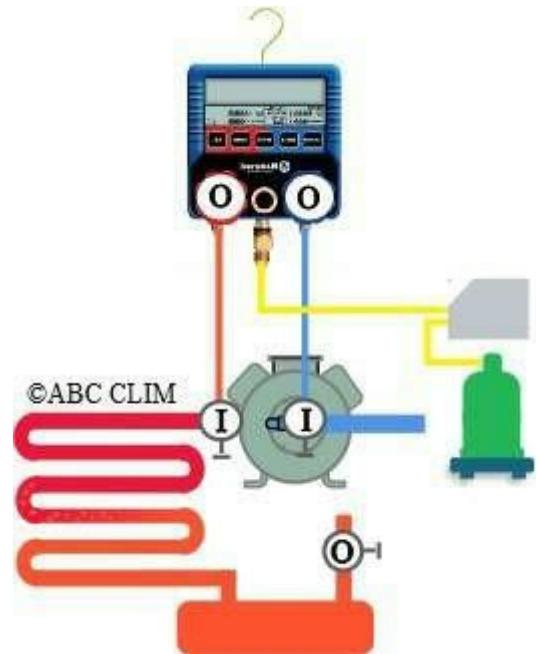
Fluide ramené au préalable au réservoir liquide.



Légende

O = vanne ouverte
F = vanne fermée
A = vanne fermée sur l'arrière
a = vanne fermée sur l'avant
I = position intermédiaire , lecture

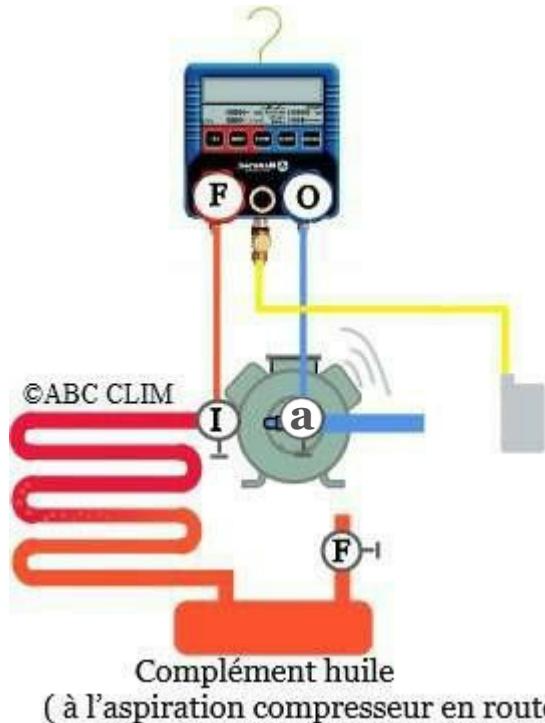
Récupération fluide



Légende

O = vanne ouverte
F = vanne fermée
A = vanne fermée sur l'arrière
a = vanne fermée sur l'avant
I = position intermédiaire , lecture

Appoint d'huile

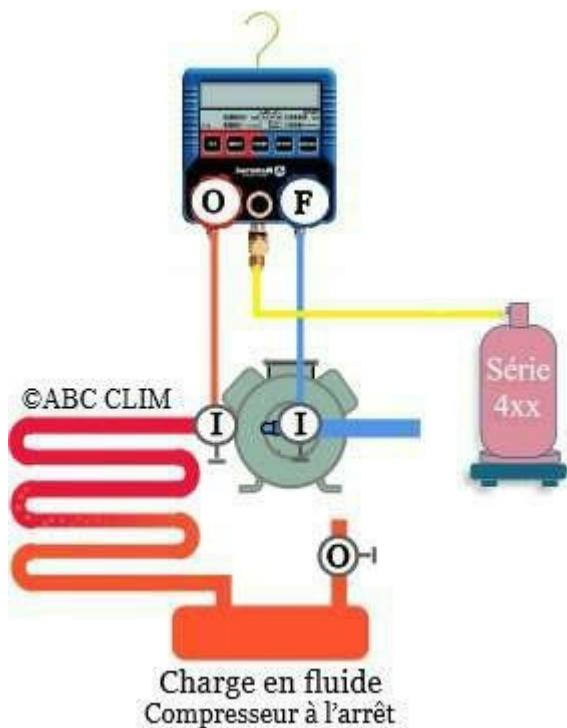


Légende

O = vanne ouverte
F = vanne fermée
A = vanne fermée sur l'arrière
a = vanne fermée sur l'avant
I = position intermédiaire , lecture

Charge en fluide

Compresseur à l'arrêt

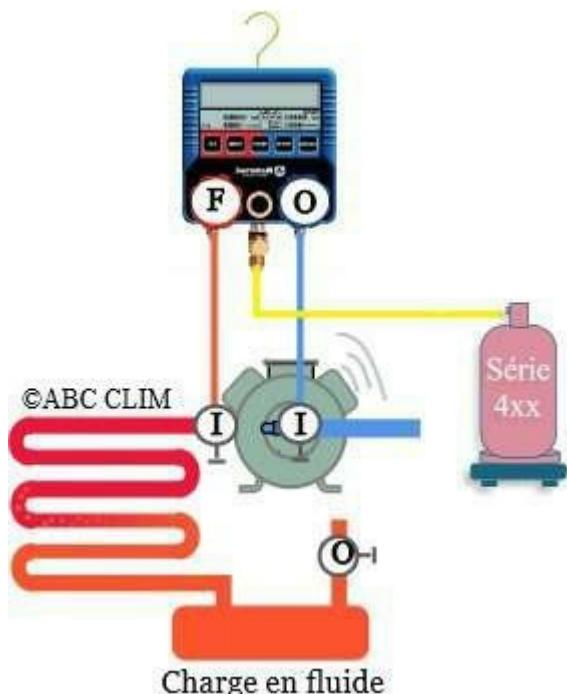


Légende

- O = vanne ouverte
- F = vanne fermée
- A = vanne fermée sur l'arrière
- a = vanne fermée sur l'avant
- I = position intermédiaire , lecture

Complément en fluide liquide

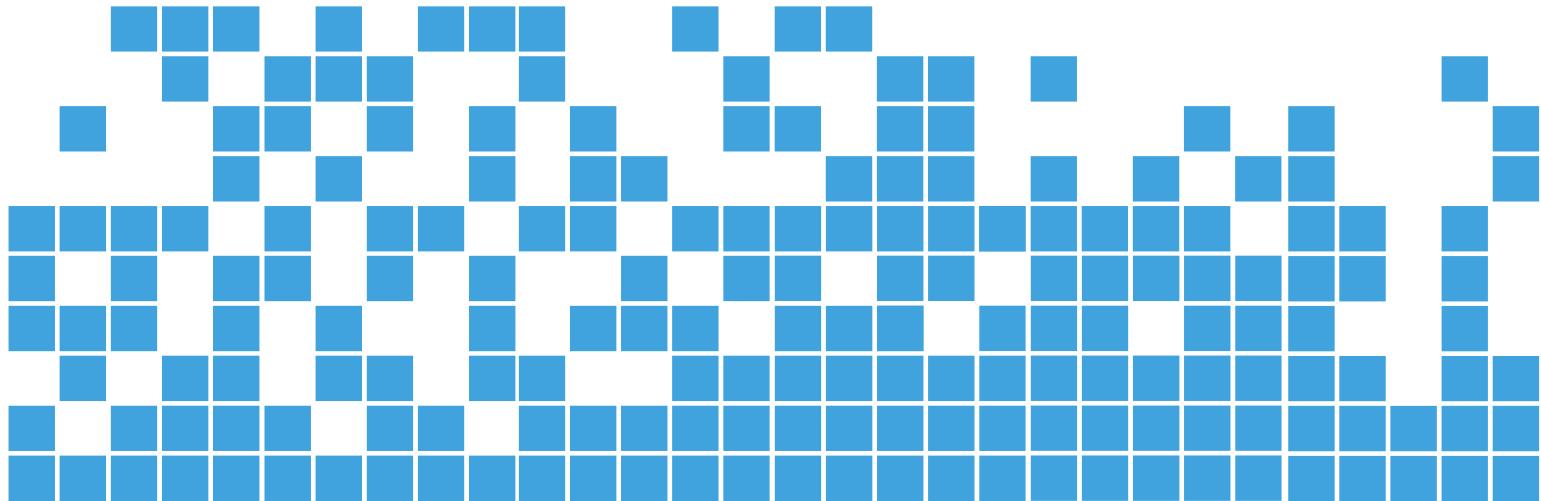
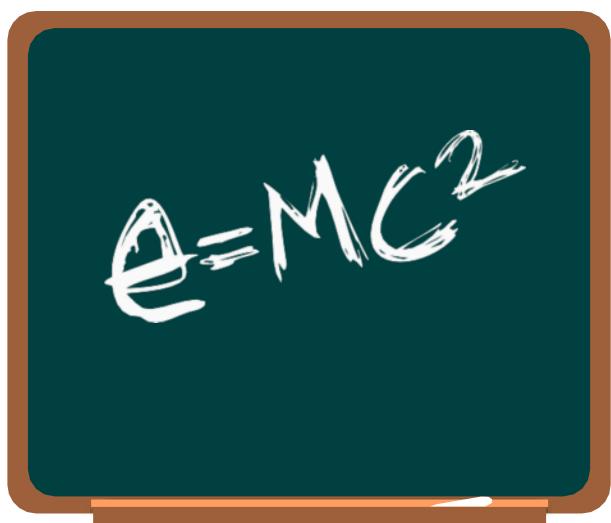
Compresseur en marche



Légende

- O = vanne ouverte
- F = vanne fermée
- A = vanne fermée sur l'arrière
- a = vanne fermée sur l'avant
- I = position intermédiaire , lecture

Annexe, utilitaire



Décrets, arrêtés, circulaires

TEXTES GÉNÉRAUX

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Décret no 2007-737 du 7 mai 2007 relatif à certains fluides frigorigènes utilisés dans les équipements frigorifiques et climatiques

Art. 1er.—Le présent décret réglemente les conditions de mise sur le marché, d'utilisation, de récupération et de destruction des substances mentionnées à l'annexe I lorsqu'elles sont utilisées ou destinées à être utilisées en tant que fluide frigorigène dans des équipements frigorifiques ou climatiques.

Art. 2. — Au sens du présent décret :

Sont considérés comme « équipements » les systèmes et installations de réfrigération, de climatisation, y compris les pompes à chaleur et de climatisation des véhicules, contenant des fluides frigorigènes, seuls ou en mélange.

Sont considérées comme « détenteurs des équipements » les personnes exerçant un pouvoir réel sur le fonctionnement technique des équipements mentionnés à l'alinéa précédent, qu'elles en soient ou non propriétaires.

Sont considérées comme « producteurs de fluides frigorigènes » non seulement les personnes qui produisent des fluides frigorigènes mais également celles qui importent ou introduisent sur le territoire national ces fluides à titre professionnel.

Sont considérées comme « producteurs d'équipements » non seulement les personnes qui produisent des équipements pré-chargés contenant des fluides frigorigènes mais également celles qui importent ou introduisent sur le territoire national ces équipements préchargés à titre professionnel.

Sont considérées comme « distributeurs de fluides frigorigènes » les personnes qui cèdent à titre onéreux ou gratuit, dans le cadre d'une activité professionnelle, des fluides frigorigènes. Ne sont pas considérés comme distributeurs les opérateurs qui procèdent à la récupération des fluides et les cèdent à des distributeurs pour qu'ils les mettent en conformité avec leurs spécifications d'origine ou pour qu'ils les détruisent.

Sont considérés comme « opérateurs » les entreprises et les organismes qui procèdent à titre professionnel à tout ou partie des opérations suivantes :

- la mise en service d'équipements ;
- l'entretien et la réparation d'équipements, dès lors que ces opérations nécessitent une intervention sur le circuit contenant des fluides frigorigènes ;
- le contrôle de l'étanchéité des équipements ;
- le démantèlement des équipements ;
- la récupération et la charge des fluides frigorigènes dans les équipements ;
- toute autre opération réalisée sur des équipements nécessitant la manipulation de fluides frigorigènes.

Les organismes de formation et les concepteurs d'équipements sont aussi considérés comme des opérateurs dès lors que leur personnel manipule des fluides frigorigènes.

Les producteurs d'équipements ne sont pas considérés comme des opérateurs dès lors qu'ils ne réalisent pas d'autres opérations nécessitant la manipulation des fluides frigorigènes que la charge initiale de leurs équipements dans des installations relevant des dispositions du titre Ier du livre V du code de l'environnement.

Art. 3. – Les équipements mis sur le marché comportent de façon lisible et indélébile l'indication de la nature et de la quantité de fluide frigorigène qu'ils contiennent.

Pour les équipements à circuit hermétique, préchargés en fluide frigorigène, dont la mise en service consiste exclusivement en un raccordement à des réseaux électrique, hydraulique, ou aéraulique, les mentions prévues ci-dessus sont apposées par les producteurs de ces équipements. Pour tous les autres équipements, l'indication doit être apposée par les opérateurs réalisant la mise en service des équipements.

Les dispositions du présent article ne s'appliquent pas aux équipements de climatisation des voitures particulières au sens de l'article R. 311-1 du code de la route.

Les dispositions du présent article s'appliquent également aux équipements mis sur le marché à une date postérieure au 8 décembre 1992 et contenant une charge en fluide frigorigène supérieure à deux kilogrammes.

TITRE II

DISPOSITIONS RELATIVES À LA PREVENTION DES FUITES DE FLUIDES FRIGORIGÈNES

Art. 4. – Tout détenteur d'équipement est tenu de faire procéder à sa charge en fluide frigorigène, à sa mise en service ou à toute autre opération réalisée sur cet équipement qui nécessite une intervention sur le circuit contenant des fluides frigorigènes, par un opérateur remplissant les conditions prévues au titre IV du présent décret. Toutefois, le recours à un opérateur n'est pas obligatoire pour la mise en service des équipements à circuit hermétique, préchargés en fluide frigorigène, contenant moins de deux kilogrammes de fluide dès lors que leur mise en service consiste exclusivement en un raccordement à des réseaux électrique, hydraulique ou aéraulique.

Le détenteur d'un équipement dont la charge en fluide frigorigène est supérieure à deux kilogrammes fait en outre procéder, lors de sa mise en service, à un contrôle d'étanchéité des éléments assurant le confinement du fluide frigorigène par un opérateur remplissant les conditions prévues au titre IV du présent décret. Ce contrôle est ensuite périodiquement renouvelé. Il est également renouvelé à chaque fois que des modifications ayant une incidence sur le circuit contenant les fluides frigorigènes sont apportées à l'équipement. Si des fuites de fluides frigorigènes sont constatées lors de ce contrôle, l'opérateur responsable du contrôle en dressera le constat par un document qu'il remet au détenteur de l'équipement, lequel prend toutes mesures pour remédier à la fuite qui a été constatée. Pour les équipements contenant plus de trois cents kilogrammes de fluides frigorigènes, l'opérateur adresse une copie de ce constat au représentant de l'Etat dans le département.

Le détenteur d'un équipement contenant plus de trois kilogrammes de fluide frigorigène conserve pendant au moins cinq ans les documents attestant que les contrôles d'étanchéité ont été réalisés, constatant éventuellement l'existence de fuites et faisant état de ce que les réparations nécessaires ont été réalisées, et les tient à disposition des opérateurs intervenant ultérieurement sur l'équipement et de l'administration.

Un arrêté conjoint des ministres chargés de l'environnement, de l'industrie, de l'équipement et des transports fixe la périodicité et les conditions des contrôles d'étanchéité des équipements.

Art. 5. – L'opérateur établit une fiche d'intervention pour chaque opération nécessitant une manipulation des fluides frigorigènes effectuée sur un équipement.

Cette fiche mentionne les coordonnées de l'opérateur, son numéro d'attestation de capacité prévue à l'article 13 du présent décret, ainsi que la date et la nature de l'intervention effectuée. Elle indique la nature, la quantité et la destination du fluide récupéré ainsi que la quantité de fluide éventuellement réintroduite dans cet équipement.

Pour tout équipement dont la charge en fluide frigorigène est supérieure à trois kilogrammes, cette fiche est signée conjointement par l'opérateur et par le détenteur de l'équipement qui conserve l'original. L'opérateur et le détenteur de l'équipement conservent alors une copie de cette fiche pendant une durée d'au moins cinq ans et la tiennent à disposition des opérateurs intervenant ultérieurement sur l'équipement et de l'administration. Le détenteur tient un registre contenant, par équipement, les fiches d'intervention classées par ordre chronologique. Les documents, fiches et registres prévus aux articles 4 et 5 du présent décret peuvent être établis sous forme électronique.

TITRE III

DISPOSITIONS RELATIVES À LA CESSION, L'ACQUISITION ET LA RÉCUPÉRATION DES FLUIDES FRIGORIGÈNES ET DE LEURS EMBALLAGES

Art. 6. – Les distributeurs ne peuvent céder à titre onéreux ou gratuit des fluides frigorigènes qu'aux opérateurs disposant de l'attestation de capacité prévue à l'article 13 du présent décret ainsi qu'aux personnes produisant, dans des installations relevant des dispositions du titre Ier du livre V du code de l'environnement, des équipements préchargés contenant de tels fluides.

Les distributeurs tiennent en outre un registre mentionnant, pour chaque cession d'un fluide frigorigène, le nom de l'acquéreur, éventuellement le numéro de son attestation de capacité, la nature du fluide et les quantités cédées.

Sont interdites l'importation, la mise sur le marché, la cession à titre onéreux ou gratuit des fluides frigorigènes conditionnés dans des emballages destinés à un usage unique.

Art. 7. – Toute opération de dégazage dans l'atmosphère d'un fluide frigorigène est interdite, sauf si elle est nécessaire pour assurer la sécurité des personnes. Le détenteur de l'équipement prend toute disposition de nature à éviter le renouvellement de cette opération. Les opérations de dégazage ayant entraîné ponctuellement une émission de plus de 20 kilogrammes de fluides frigorigènes ou ayant entraîné au cours de l'année civile des émissions cumulées supérieures à 100 kilogrammes sont portées à la connaissance du représentant de l'Etat dans le département par le détenteur de l'équipement.

Lors de la charge, de la mise en service, de l'entretien ou du contrôle d'étanchéité d'un équipement, s'il est nécessaire de retirer tout ou partie du fluide frigorigène qu'il contient, l'intégralité du fluide ainsi retiré doit être récupérée. Lors du démantèlement d'un équipement, le retrait et la récupération de l'intégralité du fluide frigorigène sont obligatoires.

Sous réserve des dispositions du dernier alinéa du présent article, toute opération de recharge en fluide frigorigène d'équipements présentant des défauts d'étanchéité identifiés est interdite.

Afin de détecter les fuites des climatisations automobiles dont la charge en fluide est inférieure à deux kilogrammes et lorsque la configuration de l'équipement rend difficile cette détection, une unique opération de recharge en fluide frigorigène contenant un traceur fluorescent est tolérée. Dans ce cas, la recharge doit être limitée à la moitié de la charge nominale de l'équipement et la totalité du fluide doit être récupérée dès la détection de la fuite.

Art. 8. – Les distributeurs de fluides frigorigènes sont tenus de mettre à disposition de leurs clients des contenants pour assurer la reprise des fluides usagés et de reprendre sans frais supplémentaires chaque année les fluides frigorigènes qui leur sont rapportés dans ces contenants, dans la limite du tonnage global de fluides frigorigènes qu'ils ont eux-mêmes distribués l'année précédente. Ils sont en outre tenus de reprendre sans frais supplémentaires les emballages ayant contenu des fluides frigorigènes dans la limite des quantités d'emballages qu'ils ont distribuées l'année précédente.

Les dispositions du présent article ne s'appliquent pas aux fluides frigorigènes usagés récupérés soit à l'occasion du démantèlement des véhicules opéré dans les conditions prévues par le décret du 1er août 2003 susvisé, soit dans le cadre de l'élimination des déchets d'équipements électriques et électroniques préchargés effectuée dans les conditions prévues par le décret du 20 juillet 2005 susvisé.

Art. 9. – Les opérateurs doivent :

- soit remettre aux distributeurs les fluides frigorigènes récupérés qui ne peuvent être réintroduits dans les équipements dont ils proviennent ou dont la réutilisation est interdite, ainsi que les emballages ayant contenu des fluides frigorigènes ;
- soit faire traiter sous leur responsabilité ces fluides et emballages.

Les opérateurs ne peuvent réintroduire ou réutiliser les fluides récupérés que s'ils sont conformes à leurs spécifications d'origine.

Art. 10. – Les producteurs de fluides frigorigènes et les producteurs d'équipements préchargés, autres que les véhicules soumis aux dispositions du décret du 1er août 2003 susvisé et les équipements électriques et électroniques soumis aux dispositions du décret du 20 juillet 2005 susvisé, sont tenus de récupérer sans frais supplémentaires chaque année les fluides frigorigènes repris par les distributeurs dans les conditions fixées à l'article 8. Cette obligation de récupération pèse, pour chaque catégorie de fluide, sur les producteurs au prorata des quantités globales qu'ils ont déclaré avoir mises sur le marché l'année précédente en application de l'article 12.

Les producteurs de fluides frigorigènes et d'équipements préchargés sont en outre tenus de traiter ou de faire traiter les fluides frigorigènes qu'ils ont récupérés afin de les mettre en conformité avec leurs spécifications d'origine permettant leur réutilisation lorsqu'elle est autorisée. Si une telle mise en conformité est impossible à réaliser ou si la réutilisation du fluide est interdite, les fluides récupérés doivent être détruits.

La mise en conformité des fluides frigorigènes avec leurs spécifications d'origine ou leur destruction sont effectuées dans des installations relevant des dispositions du titre Ier du livre V du code de l'environnement, ou dans toute autre installation de traitement autorisée à cet effet dans un autre Etat de la Communauté européenne ou dans un pays tiers à la Communauté européenne, dès lors que le transfert transfrontalier des fluides frigorigènes usagés est conforme aux dispositions du règlement du 1er février 1993 susvisé.

Art. 11. – Les producteurs de fluides frigorigènes et d'équipements contenant de tels fluides peuvent créer des organismes afin de remplir collectivement les obligations qui leur incombent en matière de reprise et de traitement de ces fluides.

Art. 12. – Les distributeurs, les producteurs d'équipements préchargés autres que les véhicules soumis aux dispositions du décret susvisé du 1er août 2003 et les équipements électriques et électroniques soumis aux dispositions du décret du 20 juillet 2005 susvisé et les producteurs de fluides frigorigènes sont tenus de transmettre chaque année à l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie les données relatives aux quantités de fluides frigorigènes mises sur le marché, stockées, reprises ou retraitées.

Un arrêté conjoint des ministres chargés de l'environnement et de l'industrie fixe la nature et les modalités de transmission de ces informations.

TITRE IV DISPOSITIONS RELATIVES AUX OPÉRATEURS

Art. 13. – Les opérateurs mentionnés à l'article 2 doivent obtenir une attestation de capacité délivrée par un organisme agréé à cette fin dans les conditions prévues à l'article 15. Dans le cas où un opérateur possède plusieurs établissements, une attestation de capacité doit être obtenue pour chaque établissement.

L'attestation de capacité est délivrée pour une durée maximale de cinq ans après vérification par l'organisme agréé que l'opérateur remplit les conditions de capacité professionnelle prévue à l'article 14 et possède les outillages appropriés. Elle précise les types d'équipements sur lesquels l'opérateur peut intervenir ainsi que les types d'activités qu'il peut exercer.

Les opérateurs adressent chaque année, avant le 31 janvier, à l'organisme qui leur a délivré l'attestation de capacité, une déclaration se rapportant à l'année civile précédente et mentionnant, pour chaque fluide frigorigène, les quantités :

- achetées ;
- chargées dans des équipements ;
- récupérées, en distinguant les quantités conservées pour une réutilisation des quantités remises à un tiers pour être traitées.

Cette déclaration mentionne également l'état des stocks au 1er janvier et au 31 décembre de l'année civile précédente.

Si ces informations ne sont pas transmises à l'échéance prescrite ci-dessus, l'organisme agréé peut, après que l'opérateur a été amené à présenter ses observations, suspendre l'attestation de capacité jusqu'à la transmission de la déclaration.

Après obtention de l'attestation de capacité et pendant toute la durée de sa validité, l'opérateur informe, dans le délai d'un mois, l'organisme qui a émis cette attestation de tout changement susceptible de modifier le respect des conditions de capacité professionnelle et des conditions de détention des outillages appropriés.

L'organisme agréé peut vérifier à tout moment la présence et le bon état de fonctionnement des outillages dont l'opérateur doit disposer.

L'organisme agréé peut retirer à l'opérateur l'attestation de capacité soit lorsqu'il ne remplit plus les conditions au vu desquelles l'attestation a été délivrée, soit lorsqu'il est intervenu sur des équipements ou a réalisé des opérations en dehors des cas prévus par ladite attestation. Le retrait de l'attestation ne peut intervenir qu'après que l'opérateur a été mis à même de présenter ses observations.

Un arrêté conjoint des ministres chargés de l'environnement, de l'industrie, de l'équipement et des transports établit la liste des types d'activités que les opérateurs peuvent effectuer. Il définit également le modèle de l'attestation de capacité, le contenu de la demande d'attestation, les modalités de sa délivrance ainsi que les modalités selon lesquelles elle peut être suspendue ou retirée. Il fixe enfin les conditions relatives à la détention et aux caractéristiques des outillages nécessaires en fonction des types d'activités et des types d'équipements sur lesquels sont réalisées les opérations.

Art. 14. – L'opérateur satisfait aux conditions de capacité professionnelle lorsque les personnes qui procèdent sous sa responsabilité aux opérations décrites à l'article 2 sont titulaires :

- a) Soit d'une attestation d'aptitude, correspondant aux types d'activités exercées et aux types d'équipements utilisés, délivrée par un organisme certifié ;
- b) Soit d'un diplôme, d'un titre professionnel, d'un certificat de qualification professionnelle ou d'une certification enregistrée au répertoire national des certifications professionnelles correspondant aux types d'activités exercées et aux types d'équipements utilisés ;
- c) Soit d'un diplôme, d'un titre, d'un certificat de compétence ou d'une attestation de niveau équivalent aux attestations, titres, diplômes ou certificats visés au a ou au b du présent article, délivré dans un des Etats membres de l'Union européenne et correspondant aux types d'activités exercées et aux types d'équipements utilisés.

Les compétences professionnelles correspondant aux types d'activités exercées et aux types d'équipements utilisés sont décrites dans des référentiels faisant l'objet d'un arrêté conjoint des ministres chargés de l'industrie, de l'équipement, de l'environnement, de l'artisanat et de l'éducation. Cet arrêté précise également les conditions de délivrance de l'attestation d'aptitude mentionnée au a du présent article.

TITRE V DISPOSITIONS RELATIVES AUX ORGANISMES AGRÉÉS

Art. 15. – L'agrément des organismes chargés de délivrer aux opérateurs une attestation de capacité est accordé pour une durée maximale de cinq ans par les ministres chargés de l'environnement et de l'industrie. La décision d'agrément définit les missions pour lesquelles l'organisme est agréé et la durée de l'agrément. A cet agrément est joint un cahier des charges qui mentionne :

- les attestations de capacité pouvant être délivrées en fonction du type d'équipements sur lesquels interviennent les opérateurs et du type d'activités de ces opérateurs ;
- les procédures de délivrance, de suspension ou de retrait des attestations de capacité ;
- les moyens à mettre en œuvre pour procéder à la vérification des opérateurs prévue à l'avant-dernier alinéa de l'article 13.

La délivrance de l'agrément peut être subordonnée au respect de certaines obligations à la charge de ces organismes telles qu'une couverture minimale du territoire national.

Le renouvellement de l'agrément peut être subordonné à la réalisation d'un volume minimal d'activité pendant la période d'agrément précédente.

Un arrêté conjoint des ministres chargés de l'environnement et de l'industrie précise les conditions dans lesquelles l'agrément est délivré, et notamment les critères que doit respecter l'organisme agréé ainsi que les conditions du retrait de cet agrément.

Art. 16. – A la demande d'un opérateur, l'organisme qui lui a délivré une attestation de capacité communique à tout autre organisme agréé les informations qu'il détient se rapportant à cet opérateur. Les organismes agréés tiennent à la disposition du public et des distributeurs une liste à jour des opérateurs titulaires d'une attestation de capacité.

Les organismes agréés adressent chaque année à l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie les données relatives aux quantités de fluides frigorigènes acquises, cédées et stockées par l'ensemble des opérateurs auxquels ils ont délivré une attestation de capacité. Ils y joignent une liste des opérateurs auxquels ils ont suspendu ou retiré l'attestation de capacité ainsi que les motifs de la suspension et du retrait.

L'arrêté mentionné à l'article 12 fixe également la nature et les modalités de transmission de ces Informations.

TITRE VI SANCTIONS PÉNALES

Art. 17. – I. – Est puni de l'amende prévue pour les contraventions de la 3^e classe le fait :

- 10 Pour un détenteur, lorsque les opérations d'entretien ou de réparation nécessitent une intervention quelconque sur le circuit contenant des fluides frigorigènes, de faire charger, mettre en service, entretenir, ou réparer, un équipement sans recourir à un opérateur titulaire d'une attestation de capacité délivrée par un organisme agréé, contrairement aux dispositions du premier alinéa de l'article 4 ;
- 20 Pour un distributeur, de céder à titre onéreux ou gratuit des fluides frigorigènes à un opérateur ne disposant pas de l'attestation de capacité, contrairement aux dispositions du premier alinéa de l'article 6 ;

Pour un opérateur :

- de ne pas établir de fiche d'intervention, contrairement aux dispositions de l'article 5 ;
 - d'acquérir à titre onéreux ou gratuit des fluides frigorigènes sans remplir les conditions prévues à l'article 13, en méconnaissance du premier alinéa de l'article 6 ;
 - de ne pas adresser à l'organisme agréé les informations prévues aux troisième à septième alinéas de l'article 13 ;
 - de ne pas informer l'organisme agréé de tout changement susceptible de modifier le respect des conditions de capacité professionnelle ou les conditions de détention de l'outillage approprié, contrairement aux dispositions du neuvième alinéa de l'article 13 ;
 - de ne pas transmettre à l'organisme agréé auprès duquel il a été enregistré les informations mentionnées au dernier alinéa de l'article 19.
- 40 Pour un producteur de fluides frigorigènes ou d'équipement, un distributeur ou un organisme agréé, de ne pas respecter leurs obligations d'information, contrairement aux dispositions des articles 12 et 16.

II. – Est puni de l'amende prévue pour les contraventions de la 5^e classe le fait :

- 10 Pour les détenteurs d'équipements, de ne pas faire contrôler l'étanchéité des équipements pour lesquels ce contrôle est obligatoire et de ne pas prendre toutes mesures pour mettre fin aux fuites constatées, en méconnaissance du deuxième alinéa de l'article 4 du présent décret ;
 - 20 Pour tout producteur ou distributeur, d'importer, de mettre sur le marché ou de céder à titre onéreux ou gratuit des fluides frigorigènes conditionnés dans des emballages destinés à un usage unique, en méconnaissance du troisième alinéa de l'article 6 ;
 - 30 Pour un opérateur ou un détenteur, de procéder à toute opération de dégazage dans l'atmosphère de fluides frigorigènes, sauf cas de nécessité pour assurer la sécurité des personnes, en méconnaissance du premier alinéa de l'article 7 ;
 - 40 Pour un opérateur, de ne pas procéder à la récupération intégrale des fluides frigorigènes lors de l'installation, de l'entretien, de la réparation ou du démantèlement d'un équipement, en méconnaissance du deuxième alinéa de l'article 7 ;
 - 50 Pour un opérateur, de procéder à toute opération de recharge en fluide frigorigène d'équipements présentant des défauts d'étanchéité, en méconnaissance du troisième alinéa de l'article 7, sauf dans le cas des exceptions prévues au quatrième alinéa de l'article 7 ;
 - 60 Pour un opérateur, de ne pas remettre aux distributeurs les fluides frigorigènes ou leurs emballages non traités sous sa responsabilité, en méconnaissance des dispositions de l'article 9 ;
 - 70 Pour un opérateur, de ne pas faire traiter sous sa responsabilité les fluides et emballages non remis aux distributeurs, contrairement aux dispositions de l'article 9 ;
 - 80 Pour les producteurs de fluides frigorigènes et d'équipements et les distributeurs, de ne pas procéder aux opérations de reprise sans frais supplémentaires, de collecte, de retraitement pour mise en conformité avec leurs spécifications d'origine permettant leur réutilisation ou de destruction intégrale des fluides frigorigènes ou de leurs emballages, contrairement aux dispositions de l'article 10 ;
 - 90 Pour un opérateur de procéder à la mise en service, à l'entretien, la réparation ou la maintenance, lorsque ces opérations nécessitent une intervention quelconque sur le circuit contenant des fluides frigorigènes, au contrôle d'étanchéité ou au démantèlement des équipements, à la récupération et à la charge des fluides frigorigènes ou à toute autre opération nécessitant la manipulation de fluides frigorigènes, sans être titulaire de l'attestation de capacité prévue à l'article 13.
- La récidive des contraventions de 5^e classe du présent décret est réprimée conformément aux articles 132-11 et 132-15 du code pénal.

TITRE VII DISPOSITIONS DIVERSES

Art. 18. – Les entreprises enregistrées conformément aux articles 4, 5 et 6 du décret du 7 décembre 1992 abrogé dans les conditions prévues à l'article 20 du présent décret sont réputées répondre aux dispositions de l'article 13 du présent décret pour la durée de validité du certificat d'inscription qui leur a été délivré et au plus tard jusqu'au 4 juillet 2009. Dans l'hypothèse où la durée du certificat d'inscription expire avant le 4 juillet 2008, ce certificat est automatiquement prorogé jusqu'à cette date.

Art. 19. – Les opérateurs qui, à la date de publication du présent décret, interviennent exclusivement sur des équipements dont la charge en fluide est inférieure ou égale à deux kilogrammes disposent d'un délai expirant le 4 juillet 2009 pour obtenir l'attestation de capacité prévue à l'article 13.

Un enregistrement auprès d'un organisme agréé conformément à l'article 15, assorti d'un engagement sur l'honneur de respecter les obligations des articles 6, 7 et 9 du présent décret et de continuer à n'intervenir que sur des équipements dont la charge en fluide est inférieure ou égale à deux kilogrammes, vaut attestation de capacité jusqu'à expiration de ce délai.

Les opérateurs enregistrés devront en outre, tant qu'ils n'ont pas obtenu l'attestation de capacité prévue à l'article 13, transmettre chaque année avant le 31 janvier aux organismes qui les ont enregistrés, une déclaration précisant, pour chaque fluide frigorigène, les quantités achetées, les quantités chargées dans des équipements, les quantités récupérées au cours de l'année civile, en distinguant celles destinées respectivement à être traitées ou être réutilisées, et l'état des stocks au 1^{er} janvier et au 31 décembre de l'année civile en cours.

Art. 20. – Le décret no 92-1271 du 7 décembre 1992 relatif à certains fluides frigorigènes utilisés dans les équipements frigorifiques et climatiques est abrogé à l'exception des articles 4, 5 et 6 qui continuent de s'appliquer jusqu'au 4 juillet 2008.

Les articles 4, 5 et 6 du décret précité du 7 décembre 1992 sont abrogés à compter du 4 juillet 2008.

Art. 21. – Les dispositions du premier alinéa de l'article 6 entrent en vigueur le 4 juillet 2009.

Les dispositions des articles 8 et 10 entrent en vigueur un an après la publication du présent décret.

Art. 22. – Le décret du 19 décembre 1997 susvisé est modifié comme suit : au 10 du titre II de l'annexe, il est ajouté l'intitulé et le tableau suivants :

« Le décret no 2007-737 du 7 mai 2007 relatif à certains fluides frigorigènes utilisés dans les équipements frigorifiques et climatiques :

1 Agrément d'organismes chargés de délivrer les attestations de capacité aux opérateurs définis à l'article 2.

Art. 23. – Les modalités d'application du présent décret aux activités relevant du secret de la défense nationale font l'objet d'un arrêté conjoint des ministres chargés de la défense, de l'industrie et de l'environnement.

Art. 24. – Il est ajouté à la fin de l'article 4 du décret du 30 mai 2005 susvisé l'alinéa suivant :

« Sont également exclues de ces dispositions les personnes qui remettent des piles et accumulateurs usagés, des déchets d'équipements électriques et électroniques ou des fluides frigorigènes usagés aux personnes tenues de les reprendre en application de l'article 7 du décret no 99-374 du 12 mai 1999 relatif à la mise sur le marché des piles et accumulateurs et à leur élimination, des articles 13 et 18 du décret no 2005-829 du 20 juillet 2005 relatif à la composition des équipements électriques et électroniques et à l'élimination des déchets qui en sont issus et de l'article 10 du décret no 2007-737 du 7 mai 2007 relatif à certains fluides frigorigènes utilisés dans les équipements frigorifiques et climatiques ou aux organismes auxquels ces personnes ont transféré leurs obligations. Dans ce cas, le bordereau est émis par la personne tenue de reprendre les déchets concernés ou par l'organisme auquel cette personne a transféré cette obligation. »

Art. 25. – La ministre de la défense, le ministre de l'économie, des finances et de l'industrie, le ministre de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche, le ministre des transports, de l'équipement, du tourisme et de la mer, la ministre de l'environnement et du développement durable, le ministre des petites et moyennes entreprises, du commerce, de l'artisanat et des professions libérales et le ministre délégué à l'industrie sont, chacun en ce qui le concerne, chargés de l'exécution du présent décret, qui sera publié au Journal officiel de la République française.

Fait à Paris, le 7 mai 2007.

ANNEXE I

Les substances suivantes, qu'elles se présentent isolément ou dans un mélange, qu'elles soient vierges, récupérées, recyclées ou régénérées, sont réglementées par les dispositions du présent décret dès lors qu'elles sont utilisées en tant que fluide frigorigène :

Arrêté Contrôle d'étanchéité

Arrêté du 7 mai 2007 relatif au contrôle d'étanchéité des éléments assurant le confinement des fluides frigorigènes utilisés dans les équipements frigorifiques et climatiques

Le ministre des transports, de l'équipement, du tourisme et de la mer, la ministre de l'environnement, du développement durable et le ministre délégué à l'industrie,
Vu le code de l'environnement, et notamment les titres Ier et II, et le chapitre Ier du titre IV de son livre V ;
Vu le décret no 2007-737 du 7 mai 2007 relatif à certains fluides frigorigènes utilisés dans les équipements frigorifiques et climatiques,

Arrêtent :

Art. 1er. – Le présent arrêté s'applique aux équipements frigorifiques et climatiques soumis aux dispositions du deuxième alinéa de l'article 4 du décret du 7 mai 2007 susvisé.

Art. 2. – Le contrôle d'étanchéité des équipements frigorifiques et climatiques est effectué en déplaçant un détecteur manuel en tout point de l'équipement présentant un risque de fuite.

Si la configuration de l'équipement ne permet pas d'avoir accès à l'ensemble des points pouvant présenter un risque de fuite, il sera procédé à un contrôle d'étanchéité manuel des points accessibles et à un suivi des mesures de valeurs caractéristiques du confinement conformément aux normes EN 378-2 et EN 378-3.

Si l'équipement se trouve dans un espace confiné, l'étanchéité peut être contrôlée par l'utilisation d'un contrôleur d'ambiance multisondes relié à une alarme.

Le détecteur et le contrôleur d'ambiance sont adaptés au fluide frigorigène contenu dans l'équipement à contrôler. Les sondes du contrôleur d'ambiance sont installées aux points d'accumulation potentiels du fluide dans le local où se trouve l'équipement, et, le cas échéant, dans la gaine de ventilation.

Art. 3. – La fréquence des contrôles d'étanchéité des éléments assurant le confinement des fluides frigorigènes dans les équipements frigorifiques et climatiques est la suivante :

- une fois tous les douze mois si la charge en fluide frigorigène de l'équipement est supérieure à deux kilogrammes ;
- une fois tous les six mois si la charge en fluide frigorigène de l'équipement est supérieure à trente kilogrammes ;
- une fois tous les trois mois si la charge en fluide frigorigène de l'équipement est supérieure à trois cents kilogrammes.

Art. 4. – Les détecteurs utilisés doivent avoir une sensibilité d'au moins cinq grammes par an et les contrôleurs d'ambiance une sensibilité d'au moins dix parties par million. Ces sensibilités sont mesurées selon la norme EN 14624.

Elle sont vérifiées au moins une fois tous les douze mois pour garantir qu'elles ne dérivent pas de plus de 10 % par rapport aux valeurs mentionnées à l'alinéa précédent.

Art. 5. – Dans le cas où le contrôle d'étanchéité se fait à l'aide d'un contrôleur d'ambiance :

- seule la sensibilité de ce matériel sera vérifiée lors des contrôles visés à l'article 2 ;
- la fréquence des contrôles pour les équipements de charge en fluide supérieure à trente kilogrammes est réduite de moitié, par rapport aux fréquences fixées à l'article 3.

Art. 6. – Les résultats du contrôle d'étanchéité et les réparations effectuées ou à effectuer sont inscrits sur la fiche d'intervention mentionnée à l'article 5 du décret du 7 mai 2007 susvisé. La fiche d'intervention doit permettre d'identifier en particulier chacun des circuits et des points de l'équipement où une fuite a été détectée.

Les opérateurs qui procèdent au contrôle d'étanchéité apposent un marquage amovible sur les composants de l'équipement nécessitant une réparation.

Directive des équipements sous pression

Texte SNECFA

La Directive relative à l'exploitation des Equipements Sous Pression impose à l'exploitant de faire effectuer conformément à la réglementation.

- Une vérification initiale.
- Des inspections périodiques.
- Des requalifications périodiques.

Vérification Initiale

Lors de sa mise en exploitation l'installation doit subir les contrôles relatifs à la vérification Initiale. Ces contrôles sont réalisés par un intervenant habilité à cet effet par son chef d'entreprise ou son représentant.

Il effectue les contrôles suivants :

- Vérification de la présence du dossier de l'installation et du dossier d'exploitation ;
- Vérifications visuelles extérieures
- Constatation de la possibilité de procéder à la vérification des accessoires de sécurité
- Réalisation d'un compte rendu de première mise en exploitation qui devra être conservé par l'exploitant pendant la durée de vie de l'ensemble frigorifique sous pression et annexé au dossier d'exploitation.

Inspections périodiques

Cette inspection est réalisée, tous les 40 mois, par un technicien habilité à cet effet ; elle comporte, conformément au CTP, les contrôles suivants :

- Vérification des dossiers de l'installation et d'exploitation
- Vérification visuelle, sans démontage des calorifuges, des surfaces externes
- Vérification de l'absence d'encrassement des condenseurs
- Vérification des accessoires de sécurité
- Contrôle direct ou indirect d'absence de gaz incondensables dans le frigorigène gazeux ;
- Consignation, par la personne habilitée ayant réalisé l'Inspection

Périodique, des résultats et observations

Le CR est annexé au dossier d'exploitation de l'ensemble frigorifique sous pression ;

Ce dossier est tenu, par l'exploitant, à disposition des agents chargés de la surveillance des ESP (La préfecture).

L'exploitant est informé, par la personne habilitée, des éventuelles anomalies constatées :

- Les anomalies compromettant la sécurité doivent être corrigées sans délai
- Les autres doivent faire l'objet d'une programmation pour remise à niveau
- Ces corrections sont consignées dans le dossier d'exploitation de l'ensemble frigorifique.

Requalification périodique

Tous les dix ans, devra être effectuée sur l'installation une requalification périodique sous le contrôle d'un organisme habilité (APAVE, ASAP, BUREAU VERITAS ou DEKRA), déclenchée à l'initiative de l'exploitant.

Elle comporte, suivant le CTP, les opérations suivantes :

- Contrôle des dossiers descriptif et d'exploitation
- Contrôle visuel
- Contrôle des accessoires de sécurité : changement des soupapes et réglage des pressostats

Petit glossaire

Air saturé — Air contenant la quantité maximale de vapeur d'eau à l'état gazeux à une pression et une température données.

Azéotrope — Fluides qui se comportent comme des corps purs, sans variation de température lors du changement d'état.

Chaleur de fusion — Chaleur latente nécessaire pour le changement d'état d'une substance solide à liquide.

Chaleur de vaporisation — Chaleur latente nécessaire pour le changement d'état d'une substance liquide à gazeuse.

Chaleur latente — Quantité de chaleur nécessaire pour un changement d'état d'une substance solide à liquide ou liquide à gazeuse (vapeur).

Chaleur latente de vaporisation — Quantité de chaleur requise pour transformer un kilogramme d'eau bouillante en un kilogramme de vapeur à une pression constante.

Chaleur sensible — Quantité de chaleur nécessaire pour le changement de température d'une substance sans changer l'état de celle-ci.

Coefficient d'humidité — Rapport du poids de la vapeur d'eau sur le poids unitaire de l'air sec.

CFC — Chlorofluorocarbures, fluides frigorigènes à base de chlore, de fluor et de carbone, condamnés par le protocole de Montréal car ils détruisent la couche d'ozone. L'arrêt de leur production a été fixé au 31 décembre 1994 par la Communauté européenne.

Condensat — Liquide qui se forme par la condensation de la vapeur contenue dans l'air.

Condensation — Phénomène par lequel la vapeur est changée en liquide par extraction thermique.

Conditionnement de d'air — Procédé de traitement d'air qui règle simultanément la température, l'humidité, la pureté et la distribution de l'air pour satisfaire aux exigences de confort des occupants d'un milieu.

Conductibilité thermique — Taux de transfert de chaleur à travers la surface et l'épaisseur unitaires d'un matériau homogène dans des conditions constantes.

Degré hygrométrique — S'exprime en %. Il exprime la quantité d'eau contenue dans l'air à une température donnée par rapport à la quantité maximale que l'air peut contenir à la même température. La zone de confort se situe environ entre 40 et 60 %.

Détente directe — Évaporation d'un réfrigérant liquide dans un serpentin de refroidissement.

Déshumidification — Action de condenser tout ou partie de l'eau contenue dans l'air afin de diminuer son degré hygrométrique (humidité relative).

Diagramme psychrométrique — Diagramme représentant graphiquement les propriétés d'un mélange air,eau, vapeur en fonction des températures du bulbe sec et humide.

Échangeur de chaleur — Appareil qui transfère de la chaleur entre deux fluides physiquement séparés.

Économiseur — Système de régulation qui assure automatiquement l'utilisation optimale de l'air extérieur pour le refroidissement naturel.

HCFC — Fluides frigorigènes partiellement halogénés, réglementés car ils ont une action néfaste, mais limitée vis-à-vis de la couche d'ozone. Leur abandon est prévu pour l'an 2015.

HFC — Fluides entièrement non destructeur vis-à-vis de la couche d'ozone, utilisés en remplacement des CFC ou des HCFC.

Humidité relative — Rapport, exprimé en pourcentage, entre la masse d'eau contenue dans l'air et celle que contiendrait le même volume d'air, dans les mêmes conditions, s'il était saturé d'eau.

Filtre — Système utilisé pour débarrasser l'air de ses impuretés.

Pression statique — Pression exercée à un angle de 90 degrés de la direction du débit dans un courant d'air.

Refroidissement gratuit ou free cooling— Refroidissement qui utilise l'air extérieur dont la température est inférieure à celle de l'air pulsé pour le refroidissement d'une pièce.

Registre — Appareil qui règle le débit d'air .

Renouvellement d'air— Entrées de débit d'air dans une pièce ou un bâtiment. souvent exprimées en volume d'air renouvelé par heure.

Réversibilité — Capacité pour un climatiseur à inverser son cycle de fonctionnement afin d'assurer économiquement une fonction chauffage, en plus de la fonction de rafraîchissement.

Stratification — Séparation d'un fluide en couches de température et ayant des densités différentes.

Température du bulbe humide — Mesure de la température par un thermomètre dont le bulbe est couvert d'un linge mouillé et exposé à l'écoulement d'air en mouvement. Cette température est utilisée avec un diagramme psychométrique pour déterminer l'humidité relative de l'air.

Température du bulbe sec — mesure de la température de l'air à l'aide d'une sonde sèche de manière à ce qu'elle ne soit pas affectée le refroidissement par évaporation

Thermodynamique — Science qui étudie l'énergie thermique et ses transformations.

Thermostat — Appareil de régulation automatique qui réagit à la température et qui émet un signal de régulation aux appareils de chauffage ou de refroidissement

Vapeur saturée- Vapeur à la température de saturation pour une pression donnée.

Ventilation — Procédé selon lequel de l'air est alimenté dans une pièce ou en est extrait par des moyens naturels ou mécaniques.

Zéotrope — Fluides à glissement de température cours d'un changement d'état condensation ou évaporation.

Tables de conversion utiles

Table de conversion des Unités

Unités d'énergie (travail)

	J (Joule)	Btu (British Thermal Unit)	ft.lbf	kcal	[kgf].m	kWh
1 J	1	9,48.10 ⁻⁴	7,38.10 ⁻¹	2,38.10 ⁻⁴	1,02.10 ⁻¹	2,78.10 ⁻⁷
1 Btu	1,06.10 ³	1	7,79.10 ²	2,51.10 ⁻¹	1,08.10 ²	2,93.10 ⁻⁴
1 ft.lbf	1,36	1,28.10 ⁻³	1	3,22.10 ⁻⁴	1,38.10 ⁻¹	3,76.10 ⁻⁷
1 kcal	4,19.10 ³	3,98	3,1.10 ³	1	4,29.10 ²	1,17.10 ⁻³
1 [kgf].m	9,81	9,29.10 ⁻³	7,24	2,33.10 ⁻³	1	2,73.10 ⁻⁶
1kWh	3,6.10 ⁶	3,41.10 ³	2,65.10 ⁶	8,56.10 ²	3,67.10 ⁵	1

Energies : équivalence du pouvoir calorifique des combustibles

Type de combustible	Densité (kg/m3)	PCI ⁽¹⁾ (MJ/kg)	PCI ⁽¹⁾ (kWh/kg)	PCI ⁽¹⁾ (kWh/unité)	Tep ⁽²⁾
Fuel domestique (gazole)	840	41,83	11,62	9,76 litre	1
Gaz naturel à 15°C	0,719	49,6	13,77	9,9 m ³ (n)	-
Propane à 15°C	1,876	46	12,78	23,98 m ³ (n)	-
Butane à 15°C	2,464	45,50	12,64	31,14 m ³ (n)	-
Charbon	700-800	23,98-27,72	6,66-7,7	4,66-6,16 dm ³	0,66
Bois	350-1100	10,8-21	3 - 5,83	1,5-2,92 dm ³	0,3

1 Tonne vapeur = environ 750 kWh

(1) PCI = pouvoir calorifique inférieur

(2) Tep = Tonne équivalent pétrole

PCI = PCS - chaleur de condensation de l' eau du combustible

PCS = pouvoir calorifique supérieur

Rapport PCS/PCI : Gaz naturel = 1,111 ; Butane, Propane = 1,087 ; FOD = 1,055 ; Charbon = 1,052

Unités de température

°C	0,556 x °F-32	°C	K - 273,15
°F	°C x 1,8 + 32	°F	R - 459,67
K	°C + 273,15	K	0,556 x R
R(Rank)	°F + 459,67	R	1,8 x K

Unités de conductivité thermique

$$1 \text{ BTU(hr°F).ft}^2/\text{ft} \quad 1,73\text{W/(K.m)} \quad 1\text{W/(K.m)} \quad 0,58 \text{ BTU/(hr°F).ft}^2/\text{ft}$$

Résistivité

$$1 \text{ ohm in} \quad 2,54 \times 10^4 \text{ ohm } \mu\text{m} \quad 1 \text{ ohm } \mu\text{m} \quad 3,94 \times 10^{-5} \text{ ohm in}$$

Unités de débit

	m ³ / s	l / s	(US) gal/min	ft ³ / s	ft ³ / min
1 m³/ s	1	10 ³	1,58.10 ⁴	3,53.10 ¹	2,12.10 ³
1l/ s	10 ⁻³	1	1,58.10 ¹	3,53.10 ⁻²	2,12
1 gal/ min	6,31.10 ⁻⁵	6,31.10 ⁻²	1	2,23.10 ⁻³	1,34.10 ⁻¹
1ft³/ s	2,83.10 ⁻⁴	2,83.10 ⁻¹	4,49.10 ²	1	60
1 ft³/ min	4,72.10 ⁻⁴	4,72.10 ⁻¹	7,48	1,67.10 ⁻²	1

Table de conversion des Unités

Unités de masse volumique

	g/ cm³	lb/ ft³	lb/ in³
1 g/ cm³	1	6,24.10 ¹	9,27.10 ³
1 lb/ ft³	1.6.10 ⁻²	1	5,79.10 ⁴
1 lb/ in³	1,08.10 ²	1,73.10 ³	1

Unités de volume

Gallon anglais (UK gal)	4,55 litres	1 dm ³	0,2201 gall anglais
Gallon américain (US gal)	3,785 litres	1 dm ³	0,2642 gall US
Pouce ³	16,39 cm ³	1 cm ³	0,06102 pouce ³
Pied ³	28,32 litres	1 m ³	35,3136 pied ³
Yard ³	0,765 cm ³	1 m ³	1,307 yard ³
Baril pétrole	159 litres	1 l	0,006289 baril pétrole

Unités de force

	N	[kgf]	[dyn]	Ibf	tonf
1N	1	1,02.10 ⁻¹	10 ⁵	2,25.10 ⁻¹	10 ⁻⁴
1 [kgf]	9,81	1	9,81.10 ⁵	2,21	9,83.10 ⁻⁴
1 [dyn]	10 ⁻⁵	1,02.10 ⁻⁶	1	2,25.10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
1Ibf	4,44	2,21	4,44.10 ⁵	1	4,46.10 ⁻⁴
1 tonf	9,96.10 ³	1,02.10 ³	9,97.10 ⁸	2,24.10 ³	1

Unités de couple

	Nm	ozf.in	Ibf.ft	Ibf.in	tonf.ft
1 Nm	1	1.42.10 ²	7,38.10 ⁻¹	8,85	3,29.10 ⁻⁴
1 ozf.in	7,06.10 ⁻³	1	5,2.10 ⁻³	6,23.10 ⁻²	2,32.10 ⁻⁶
1 Ibf.ft	1,36	1,92.10 ²	1	1,2.10 ¹	4,46.10 ⁻⁴
1 Ibf.in	1,13.10 ⁻¹	1,6.10 ¹	8,34.10 ⁻²	1	3,72.10 ⁻⁵
1 tonf.ft	3,04.10 ³	4,32.10 ⁵	2,24.10 ³	2,69.10 ⁴	1

Unités de pression et de contrainte à 0 °C

	bar	Pa (N/m²)	atm (std)	torr	inH₂O	Ibf/in² (psi)	molécule/m³
1 bar	1	10 ⁵	9,87.10 ⁻¹	7,5.10 ²	4,01.10 ²	1,45.10 ¹	2,65.10 ²⁵
1 Pa	10 ⁻⁵	1	9,87.10 ⁻⁶	7,5.10 ⁻³	4,01.10 ⁻³	1,45.10 ⁻⁴	2,65.10 ²⁰
1 atm	1,01	1,01.10 ⁵	1	7,6.10 ²	4,07.10 ²	1,47.10 ¹	2,68.10 ²⁵
1 torr	1,33.10 ⁻³	1,33.10 ²	1,32.10 ⁻³	1	5,35.10 ⁻¹	1,93.10 ⁻²	3,54.10 ²²
1 inH₂O	2,49.10 ⁻³	2,49.10 ²	2,46.10 ⁻³	1,87	1	3,61.10 ⁻²	6,6.10 ²²
1 Ibf/in²	6,89.10 ⁻²	6,89.10 ³	6,8.10 ⁻²	5,17.10 ¹	2,77.10 ¹	1	1,83.10 ²⁴
1 molécule/m³	3,77.10 ⁻²⁶	3,77.10 ⁻²¹	3,72.10 ⁻²⁶	2,83.10 ⁻²³	1,51.10 ⁻²³	5,47.10 ⁻²⁵	1

Table de conversion des Unités

Unités d'énergie (travail)

	J (Joule)	Btu (British Thermal Unit)	ft.lbf	kcal	[kgf].m	kWh
1 J	1	9,48.10 ⁻⁴	7,38.10 ⁻¹	2,38.10 ⁻⁴	1,02.10 ⁻¹	2,78.10 ⁻⁷
1 Btu	1,06.10 ³	1	7,79.10 ²	2,51.10 ⁻¹	1,08.10 ²	2,93.10 ⁻⁴
1 ft.lbf	1,36	1,28.10 ⁻³	1	3,22.10 ⁻⁴	1,38.10 ⁻¹	3,76.10 ⁻⁷
1 kcal	4,19.10 ³	3,98	3,1.10 ³	1	4,29.10 ²	1,17.10 ⁻³
1 [kgf].m	9,81	9,29.10 ⁻³	7,24	2,33.10 ⁻³	1	2,73.10 ⁻⁶
1kWh	3,6.10 ⁶	3,41.10 ³	2,65.10 ⁶	8,56.10 ²	3,67.10 ⁵	1

Energies : équivalence du pouvoir calorifique des combustibles

Type de combustible	Densité (kg/m3)	PCI ⁽¹⁾ (MJ/kg)	PCI ⁽¹⁾ (kWh/kg)	PCI ⁽¹⁾ (kWh/unité)	Tep ⁽²⁾
Fuel domestique (gazole)	840	41,83	11,62	9,76 litre	1
Gaz naturel à 15°C	0,719	49,6	13,77	9,9 m ³ (n)	-
Propane à 15°C	1,876	46	12,78	23,98 m ³ (n)	-
Butane à 15°C	2,464	45,50	12,64	31,14 m ³ (n)	-
Charbon	700-800	23.98-27,72	6,66-7,7	4,66-6,16 dm ³	0,66
Bois	350-1100	10,8-21	3 - 5,83	1,5-2,92 dm ³	0,3

1 Tonne vapeur = environ 750 kWh

(1) PCI = pouvoir calorifique inférieur

(2) Tep = Tonne équivalent pétrole

PCI = PCS - chaleur de condensation de l' eau du combustible

PCS = pouvoir calorifique supérieur

Rapport PCS/PCI : Gaz naturel = 1,111 ; Butane, Propane = 1,087 ; FOD = 1,055 ; Charbon = 1,052

Unités de température

°C	0,556 x °F-32	°C	K - 273,15
°F	°C x 1,8 + 32	°F	R - 459,67
K	°C + 273,15	K	0,556 x R
R(Rank)	°F + 459,67	R	1,8 x K

Unités de conductivité thermique

1 BTU(hr°F).ft ² / ft	1,73W/(K.m)	1W/(K.m)	0,58 BTU/(hr°F).ft ² /ft
----------------------------------	-------------	----------	-------------------------------------

Résitivité

1 ohm in	2,54 x 10 ⁴ ohm µm	1 ohm µm	3,94x 10 ⁻⁵ ohm in
----------	-------------------------------	----------	-------------------------------

Unités de débit

	m ³ / s	l/ s	(US) gal/ min	ft ³ / s	ft ³ / min
1 m³/ s	1	10 ³	1,58.10 ⁴	3,53.10 ¹	2,12.10 ³
1l/ s	10 ⁻³	1	1,58.10 ¹	3,53.10 ⁻²	2,12
1 gal/ min	6,31.10 ⁻⁵	6,31.10 ⁻²	1	2,23.10 ⁻³	1,34.10 ⁻¹
1ft³/ s	2,83.10 ⁻⁴	2,83.10 ⁻¹	4,49.10 ²	1	60
1 ft³/ min	4,72.10 ⁻⁴	4,72.10 ⁻¹	7,48	1,67.10 ⁻²	1

Symboles hydrauliques:

Batterie chaude électrique



Batterie chaude à eau



Batterie froide à eau



Batterie froide à détente directe



Robinet vanne



Robinet à soupape



Robinet à papillon



Robinet
(symbole général)



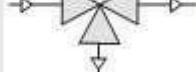
Vanne manuelle



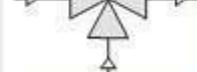
Vanne automatique



Vanne à trois voies : travail en répartition



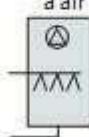
Vanne à trois voies : travail en mélange



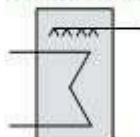
Humidificateur à vapeur



Tour de refroidissement à air



Tour de refroidissement à circuit fermé



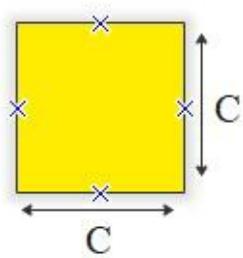
Tour de refroidissement à eau



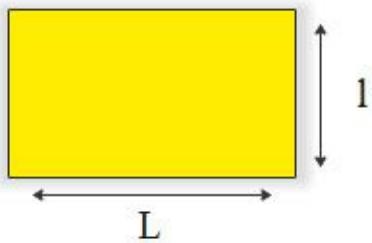
Symboles frigorifiques

Compresseur à piston	Compresseur rotatif	Compresseur à vis	Compresseur centrifuge
Compresseur poly-étage	Compresseur à palette	Moteur	Compresseur hermétique
Robinet de service	Détendeur thermostatique à égalisation de pression interne	Détendeur thermostatique à égalisation de pression externe	Capillaire
Vanne quatre voies	Vanne à trois voies	Vanne isolement (symbole général)	Vanne électrique
Déshydrateur	Déshydrateur anti-acide	Voyant simple	Voyant indicateur d'humidité
Pressostat Haute Pression	Pressostat Combiné BP HP	Pressostat d'huile	Pressostat Basse Pression
Echangeur eau	Echangeur air	Echangeur à plaque	

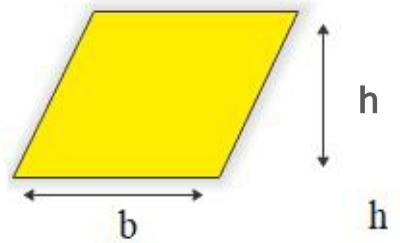
Calcul surfaces



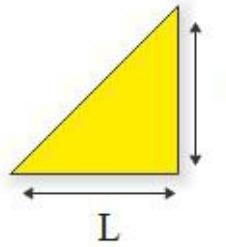
$$S = C \times C$$



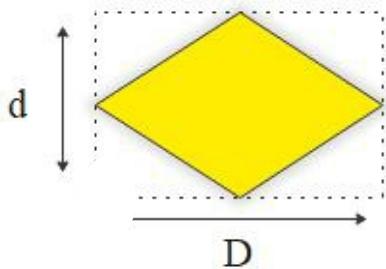
$$S = L \times I$$



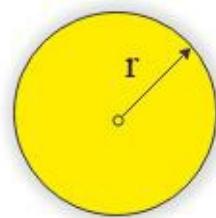
$$S = b \times h$$



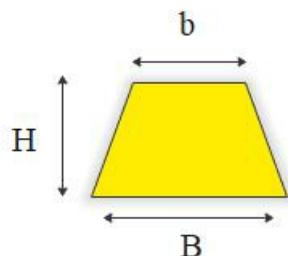
$$S = \frac{(L \times I)}{2}$$



$$S = \frac{(D \times d)}{2}$$



$$S = \pi r^2$$



$$S = \frac{(B + b) \times H}{2}$$

2

Liste des hotlines techniques

Maj le 30 Nov 2020

Airwell :Systemair : 08.91.700.407 et Airwell Residential : 01.76.21.82.94

Atlantic (Fujitsu): 04 72 45 19 45

Carel: 04.72.47.88.88

Carrier: 0810 696 696

Ciat: 0 826 203 502

Daikin: 0820 820 121

Dixell: 01.41.68.20.00

EASYTHERM: 08.92.70.28.08

Eliwell /Teddington: 01.41.47.71.71

ETT: 02 98 48 02 22 ou 0895700145

France Air: 0820 820 626

Froid Seda : 04 90 71 22 03

Hitachi : 04 37 42 00 02 (standard)

Lennox : 0 472 232 000 (SAV)

LG: 0892.56.36.56

Mitsubishi Electric: 0810 407 410

Mitsubishi HEAVY INDUSTRIE/yac: 01.41.73.70.70

Panasonic: 01 70 48 91 73

Sauter régulation : 04 91 16 70 90

Samsung: 0825.88.17.35

Technibel : 0826 020 037

Trane : 04 72 52 28 50

Toshiba : 0810 723 723

Wesper: 05.46.97.60.02

Exemple de contrat de maintenance.

Contrat de Maintenance d'installation de Climatisation

Entre les soussignés

d'une part

Nom ou raison sociale
Adresse :
représenté(e) par
agissant en qualité
de :
ci-après désigné le "**CLIENT**"
il a été convenu ce qui suit :

d'autre part,

l'Entreprise :
n° d'inscription au
registre préfectoral ⁽²⁾
Qualifiée ⁽¹⁾
représenté(e) par
agissant en qualité de :
ci-après désigné le "**PRESTATAIRE**"

1. Objet

Par le présent contrat le **CLIENT** confie au **PRESTATAIRE** la maintenance de l'installation de climatisation désignée ci-contre⁽³⁾⁽⁴⁾.

Unité(s) Intérieure(s)

Marque	Type	situation	N° série	Observation

Unité(s) Extérieure(s)

Marque	Type	situation	N° série	Observation

(1) Précisez la qualification de l'entreprise

(2) Suivant arrêté du 29 février 2016 , modifié le 25 Juillet 2016.

(3) observation: spécifier les particularités ou options de l'appareil

(4) Pour les appareils VRV utiliser le modèle ci-dessus, avec le nombre de ligne correspondant aux nombre d'unités, le joindre en annexe.

2. Obligations du prestataire

INTERVENTION CONTRACTUELLE

Le **PRESTATAIRE** assurera une visite Annuelle de contrôle technique sur les équipements désignés à l'Article 1. les visites seront effectuées par un personnel qualifié, et programmées au cours du (des) mois suivant(s).

Elles comporteront les opérations désignés ci-dessous :

- Vérification et contrôle général des unités intérieure(s) et extérieure(s)
- Vérification des fixations et supports
- Vérification du circuit frigorifique,
- Détection des fuites éventuelles de fluide frigorigène et appoint s'il y a lieu ⁽¹⁾⁽²⁾
- Vérification de la bonne marche des sécurités, de(s) régulation(s) et des automatismes
- Nettoyage du (des) filtre(s) de(s) unité(s) intérieure(s)
- Dépoussiérage et nettoyage des unités intérieure(s) et extérieure(s)
- Vérification du bon fonctionnement de l'humidificateur ⁽³⁾
- Vérification de l'écoulement des eaux de condensas, désinfection et nettoyage des bacs à condensas et des siphons.
- Nettoyage et enlèvement des résidus en fin de visite,
- Etablissement d'un rapport de visite, incluant les travaux réalisés, les réponses aux éventuelles remarques du **CLIENT** ainsi que toute recommandation nécessaire au bon fonctionnement de l'installation ⁽⁴⁾.

En outre, les risques éventuels, qui pourraient découler des interventions du **PRESTATAIRE** et qui relèveraient directement de sa responsabilité, sont couverts par une assurance professionnelle.

INTERVENTION SUR APPEL

En cas de panne, le **PRESTATAIRE** s'engage à intervenir pendant les heures ouvrables, sur simple appel téléphonique du **CLIENT** au numéro suivant.....⁽⁵⁾

Dans un délai de.....⁽⁶⁾

Le coût de ces interventions ⁽⁷⁾:

- Est inclus dans la redevance contractuelle
- Est exclus de la redevance contractuelle à l'exception de(s) visite(s) non facturable(s) ⁽⁸⁾
- Fera l'objet d'une facturation complémentaire, conformément aux dispositions de **l'article V** ci-dessous, partir d'un attachement contradictoire reprenant le ou les déplacements, le temps passé en intervention, la liste des pièces de recharge

fournies par le **PRESTATAIRE** immédiatement ou à commander après accord du **CLIENT** sur devis.

- (1) précisez le nombre
- (2) lors de la visite programmée, seule la fourniture est à la charge du client
- (3) rayer si inutile
- (4) un exemplaire est laissé au client
- (5) précisez le n° de téléphone du service concerné
- (6) précisez le délai d'intervention après l'appel téléphonique, en ne prenant pas en compte les périodes en dehors des heures ouvrables, sauf accord du client
- (7) cocher la casse concernée
- (8) visite d'assistance comprenant la prestation et le déplacement (non curative)

3. Engagement du client:

Le **CLIENT** s'engage à :

- permettre au **PRESTATAIRE** le libre accès et en toute sécurité aux installations (équipements désignés à l'article I),
- assurer la conduite et la surveillance des installations,
- interdire l'accès aux installations à toutes personnes non habilitée,
- n'apporter aucune modification aux installations sans l'avoir notifié au **PRESTATAIRE**,
- fournir les fluides et énergies nécessaires au fonctionnement de l'installation et aux opérations de maintenance,
- prendre à sa charge le remplacement des éventuelles pièces défectueuses fourniture et main d'œuvre jugée nécessaire par le **PRESTATAIRE** sur présentation d'un devis,
- assurer la mise en conformité des installations en fonction de l'évolution des réglementations.

4. Condition de prix

REDEVANCE CONTRACTUELLE

Conformément à l'article II, le montant forfaitaire est de :

- Francs H.T
- Euro H.T
- Francs TTC
- Euro TTC
- TVA ()
- TVA ()

Fournitures et prestations facturées en sus

- Intervention sur appel F.
TTC
- €. TTC
Déplacement forfaitaire F.

- Fournitures
- Les pièces de rechanges, le fluide frigorigène, le(s) filtre(s), les petites fournitures etc (après accord du client)

5. Modalité de facturation

Facturation

- Redevance contractuelle.....⁽¹⁾
Le montant de chaque facture est révisé à la date de facturation, majorée des taxes en vigueur, ce montant étant définitif.
- Fournitures et prestations en sus
Les fournitures et prestations non prévues dans ce contrat seront facturées au fur et à mesure de leur exécution.

Paiement

Toutes les factures sont payables à réception. En cas de non paiement dans un délai de 15 jours, un intérêt égal à une fois et demi le taux d'intérêt légal pourra être appliqué sans formalité ni mise en demeure.

Révision de prix

Sauf disposition légales ou réglementaires contraires, les redevances (contractuelles et autres) seront révisées en fonction de la formule: $P' = P \cdot \bar{S'}$

S'

Avec P' = redevance révisée à la date de facturation

P = redevance contractuelle à la date de signature du contrat; montant précisez ci-dessus

S' = valeur de l'indice du coût de la main-d'œuvre à la date de facturation⁽²⁾

Le métier de frigoriste



Le métier de technicien frigoriste

Le technicien en froid et climatisation ou frigoriste assurera le montage, le dépannage, le réglage, la maintenance préventive et curative des installations frigorifiques et de conditionnements d'air tel que les chambres froides, les pompes à chaleur, les centrales de traitement d'air, les entrepôts frigorifiques, les salles blanches de laboratoire, etc..

Le goût du travail manuel est bien entendu primordiale pour ce métier complet, au multiples facettes. Les possibilités d'évolution et débouchés sont nombreuses, le technicien peut devenir après quelques années d'expériences chef d'atelier ou d'équipe, chef de chantier, metteur au point, technicien en bureau d'étude, assistant chargé d'affaires etc. Le technicien frigoriste a aussi en charge de contacter les clients par exemple pour une intervention de dépannage ou de maintenance. Comme il est de fait l'interlocuteur privilégié face au client, sa capacité d'écoute est un atout.

Suivant son domaine d'activité cela nécessite parfois des déplacements en région ou à l'étranger. La période estivale représente pour le frigoriste un pic d'activité important donc en règle générale en cette période difficile de prendre des vacances. Métier parfois exigeant notamment en ce qui concerne les horaires de travail.

Comme tous les personnels manipulant des fluides frigorigènes, le frigoriste devra être en possession d'une attestation d'aptitude délivrée par un organisme agréé.

Compétences du technicien frigoriste:

Le frigoriste devra effectué non seulement des opérations de maintenance des équipements frigorifiques, remplacement de filtres, vérification des fonctionnements, relevé des intensités des moteurs, contrôle divers des organes , etc... mais aussi assurer la mise en service des installations frigorifiques . Il devra en outre être capable d'établir un diagnostic et remédier aux problèmes de fonctionnements dans le cadre d'un dépannage, et il devra aussi être en mesure d'assurer le montage complet d'une installation de froid ou de climatisation.

Missions et domaines de compétences:

- Maîtriser et interpréter les schémas d'automatismes électriques, fluidiques, aéraulique, hydraulique et mécanique.
- Connaitre parfaitement les éléments des systèmes frigorifiques et leurs fonctions.
- Assurer le raccordement frigorifique et électrique de tous les organes d'une installation .
- Établir un diagnostic et remédier aux dysfonctionnements .
- Maîtriser les problèmes thermodynamiques propres aux installations frigorifiques.
- Avoir une aptitude aux travaux manuels (soudure, montages divers, plomberie, etc.)
- Effectuer le réglage des différents appareils électriques, électronique et organes frigorifiques pour optimiser le fonctionnement.
- Remplir des fiches techniques d'intervention.

Les qualités :

- Sens de l'observation, être curieux
- Être rigoureux et organisé
- Savoir prendre des initiatives
- Être logique avec méthode
- Avoir le sens du contact clientèle

Les diplômes :

- BEP Équipements techniques énergie (ETE) option Froid et climatisation
- Bac Pro énergétique option B (Gestion et maintenance des systèmes énergétiques et climatiques), accessible après un BEP électrotechnique
- Bac Pro énergétique option A2 (Installation froid et climatisation)
- BTS fluides, énergies, environnement option D (Maintenance et gestion des systèmes fluidiques et énergétiques) et C (Génie frigorifique)
- Dut génie thermique

La formation pour adultes offre aussi des possibilités d'apprentissage par des formations courtes ou plus longues suivant le titre professionnel visé.

Diplômes et formations pour le technicien frigoriste

Dans les secteurs du froid et de la climatisation malgré la crise les débouchés restent importants. Les cursus de formations sont nombreux que ce soit par la voie scolaire, par la formation pour adultes ou par la formation en alternance (apprentissage, contrat de qualification). Ces formations permettent d'avoir accès aux métiers de technicien frigoriste, technicien en froid (commercial, industriel), metteur au point, technicien en maintenance, chef de chantier, ingénieur.

Les diplômes :

Chaque diplôme sanctionne des compétences toujours plus élevées qui bien entendu devront être valorisées par l'expérience sur le terrain.

Le CAP est la porte d'entrée des métiers du froid et de la climatisation donnant le strict minimum des connaissances nécessaires, les Bac pro et BTS sont nettement plus recherchés par les entreprises, car le niveau de connaissance des candidats permet une insertion plus rapide dans le monde du travail.

Les diplômes supérieurs permettent d'accéder à des postes à responsabilité comme un chargé d'affaires, ingénieur en bureau d'études, responsable d'agence, etc.

CAP installateur en froid et conditionnement d'air:

Ce diplôme se prépare en deux ans après la troisième, peut-être assorti d'un contrat entreprise qui permet d'avoir une première approche du métier de frigoriste.

BP monteur dépanneur en froid et climatisation:

Le brevet professionnel s'obtient aussi en deux ans uniquement en apprentissage, il faut avoir obtenu le CAP. Permet d'approfondir ses connaissances.

Bac pro technicien du froid et du conditionnement d'air, et des systèmes énergétiques :

Se prépare aussi en deux ans à partir de la seconde, deux options existent.

- Option A : réalisation d'installations de froid et de climatisation, suivi et mise en oeuvre.
- Option B : maintenance, dépannage et surveillance des installations de chauffage, froid, climatisation

BT Équipements Techniques Énergie :

Préparation en trois ans justes après la seconde, constitue un tremplin vers le BTS.

BTS fluides et énergétique avec option génie frigorifique :

Diplôme très apprécié des entreprises, c'est le technicien supérieur par excellence, en bureau d'études ou sur le chantier.

- Option B : génie climatique
- Option C : génie frigorifique
- Option D : gestion des systèmes fluidiques et énergétiques.

DUT (Diplôme Universitaire Technologique):

Obtention soit en deux ans après le BAC ou diplôme équivalent soit en un an après un DEUG. Une autre voie permet à un candidat d'obtenir ce diplôme par la voie de la validation des acquis de l'expérience.

Maitrise, master:

Préparation en deux ans, plutôt en alternance avec stage entreprise après un BTS.

DAE et diplôme ingénieur (frigoriste,thermicien) :

Le DEA se prépare juste après la maîtrise en 1 an, donne accès à des postes de responsabilité en entreprise.

Quant à lui le diplôme d'ingénieur est souvent soumis à sélection, car les places sont chères.

Écoles d'ingénieurs,Polytech, UTC, INSA.

Alternance et formation professionnelle pour adultes.

La formation en alternance permet d'acquérir des connaissances théoriques et pratiques grâce au contrat en entreprise. Accessible dès l'âge de 16 ans il permet d'obtenir des diplômes de type BTS,DUT, etc.

L'AFPA propose un ensemble de formations (adultes)sur plusieurs mois autour du métier de frigoriste, montage, dépannage et maintenance.

Voir : <https://www.afpa.fr/>

Les structures de type Greta organisent aussi des formations et stages pour adultes parfois sanctionnées par un diplôme.

Débouchés, perspectives, salaires !

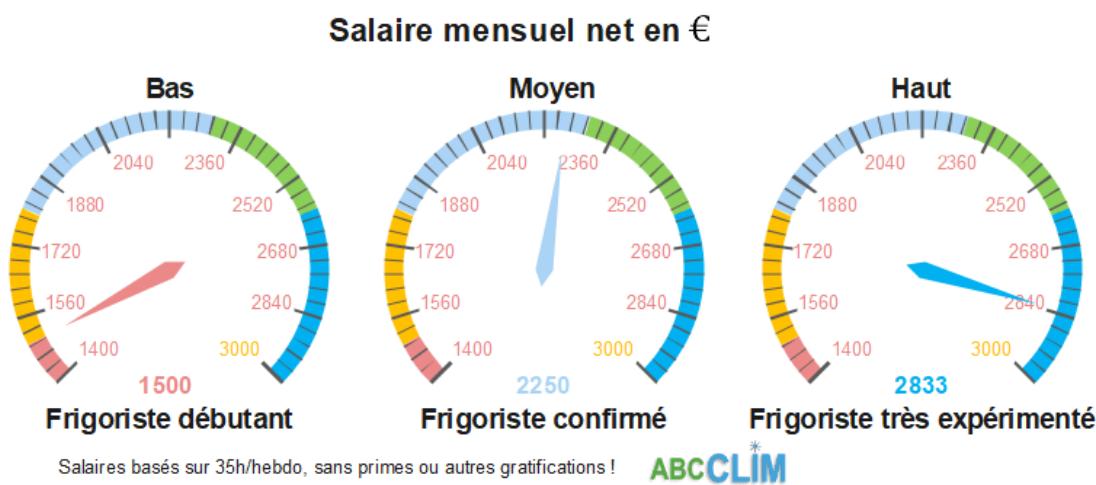
Le secteur est porteur et recherche des ingénieurs, mais surtout des techniciens. Les entreprises ont besoin d'hommes de terrain pour répondre à la demande croissante en maintenance et en dépannage. De plus, c'est une profession où les perspectives d'évolutions de carrières sont multiples.

Si vous êtes technicien et souhaitez rester salarié de votre entreprise, vous pouvez accéder à des promotions internes pour devenir chef de chantier ou responsable de secteur.

Après plusieurs années d'expérience, vous pouvez aussi créer votre propre entreprise en devenant autoentrepreneur par exemple. Le métier de frigoriste fait partie des domaines dits « en tension », c'est-à-dire que la demande est plus importante que l'offre sur le marché du travail. Les opportunités sont donc nombreuses et le taux de recrutement élevé. Chaque jeune diplômé trouve généralement un emploi immédiatement.

D'après Philippe Roy, secrétaire général du SNEFCA [Syndicat National des Entreprises du Froid et du Conditionnement de l'Air] « la filière a connu une croissance de 10 % . C'est un domaine qui ne connaît pas le chômage. » La croissance est toujours aussi importante aujourd'hui.

Salaire basé sur 4000 offres emploi !



L'outillage du frigoriste

L'outillage du frigoriste est assez vaste compte tenu de l'étendue des domaines où il doit intervenir , électricité, plomberie, froid etc...

Notons que conformément à la réglementation l'opérateur devra justifier qu'il détient l'outillage approprié aux opérations et aux équipements sur lesquels il intervient.

Voici une liste ci-dessous donnant l'outillage de base.

- 1 coupe-tube petit modèle
- 1 coupe-tube grand modèle
- 1 dudgeonière complète multimètres
- 1 ébavureur
- 1 clé a cliquet pour vannes compresseur
- 1 jeu de ressorts ou cintreuse
- 1 peigne à ailettes
- 1 pince à emboiture
- 1 démonte vanne schrader
- 1 jeu cliquet à douilles(métrique)
- 1 jeu de clés à pipes
- 1 jeu de clés plates
- 1 jeu clé mixte
- 1 pince multiprise
- 2 clés à molette (petite,grande)
- 1 pince droite à manche isolé
- 1 pince droite à long bec
- 1 coupe câble 2506bis
- 1 pince-étau
- 1 pince à PVC
- 1 pince coupante
- 1 jeu de tournevis étoile (Philips,plat,positriv)
- 1 jeu de tournevis 1000 Volts
- 1 scie à métaux
- 1 jeu de clés à douilles
- 1 jeu de clés hexagonales (Allen métrique et en pouce US)
- 1 thermomètre électronique(sonde ambiance,contact)
- 1 lime plate
- 1 lime ronde
- 1 couteau de poche ou cutter
- 1 briquet
- 1 marteau
- 1 pointeau
- 1 jeu de manomètre et flexibles
- 1 multimètre
- 1 pince ampèremétrique manifold
- 1 anémomètre (hélice , fil chaud)
- 1 balance électronique
- 1 pompe à vide
- 1 chalumeau + buses(160l a 400l)
- 1 DéTECTEUR fuite électronique
- 1 coffret visseuse sans fil avec jeu de mèches acier
- 1 perceuse électropneumatique avec jeu de mèches béton
- 1 disqueuse

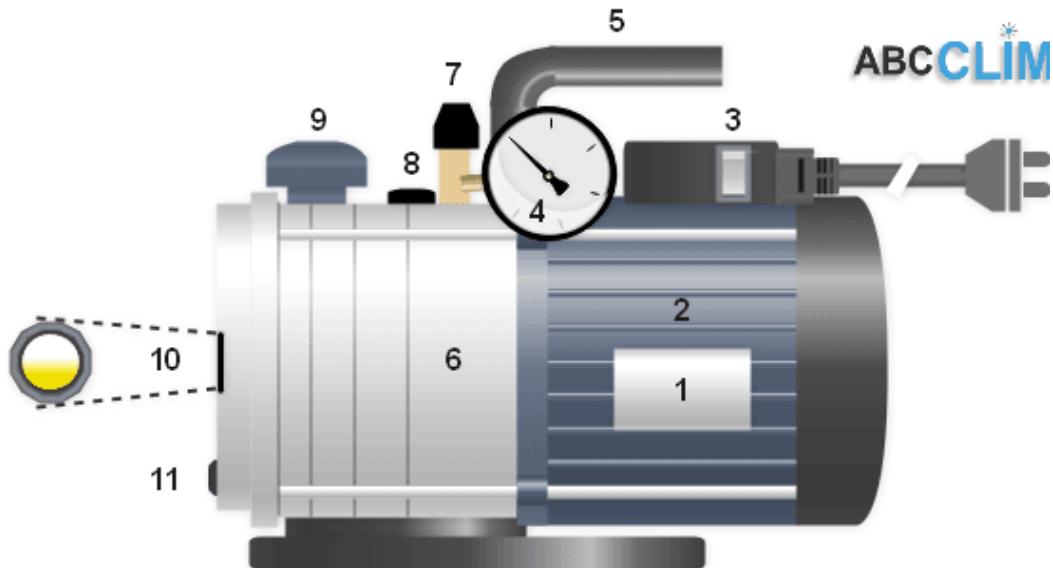
Équipement de protection individuelle

Les EPI regroupent tous les équipements protégeant les individus, casque, gants, lunette, chaussures de sécurité..etc. Les EPI ici sont donnés à titre indicatif et doivent être adaptés en fonction de l'utilisation. Le frigoriste comme tout travailleur doit être protégé contre les risques de son métier. L'entreprise à l'obligation de fournir tous les équipements de protections nécessaires à ses salariés.

Pompe à vide

Constitution d'une pompe à vide

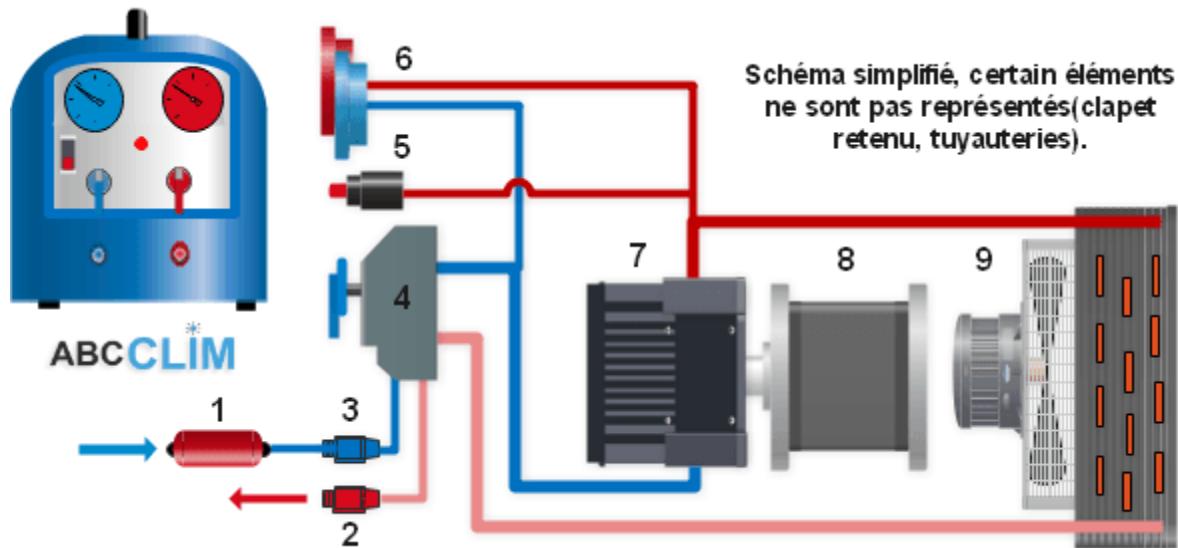
La pompe à vide fait partie des outils indispensables qui caractérise bien le métier de frigoriste.



1. Plaque signalétique
2. Moteur électrique
3. Boîtier raccordement et interrupteur marche/arrêt.
4. Vacuomètre bain huile
5. Poignée de transport
6. Corp de la pompe généralement en aluminium
7. Raccordement (aspiration)
8. Ballast (sur les pompes à deux étages)
9. Rejet (refoulement) et bouchon de remplissage de l'huile
10. Voyant d'huile
11. Purge d'huile

Sur les pompes à deux étages (à palettes ou rotatif par exemple), le ballast sert à modifier la quantité d'air admise dans les premiers étages de la pompe. Son utilisation permet de prévenir la condensation des vapeurs à l'intérieur de la pompe. Ouvrir le ballast permet aussi d'augmenter la dépression pouvant être atteinte par une pompe à vide.

La station de récupération ou groupe de transfert !



1. Déshydrateur
2. Out (vers bouteille transfert ou récupération)
3. In (entrée, venant de l'installation)
4. Boitier contrôle(jeu de vanne)
5. Pressostat HP (tarage 38 bars généralement)
6. Monomètres HP et BP
7. Compresseur (piston sec)
8. Moteur électrique
9. Condenseur à air

DéTECTEUR DE Fuite éLECTRONIQUE

Le détecteur portable de fluide électronique est un outil incontournable dans la boîte à outils du frigoriste. Premièrement parce qu'il y a une obligation réglementaire (F-gas) concernant la recherche et la réparation des fuites dans les installations frigorifiques. Rappelons qu'il est interdit de recharger en fluide une installation sans avoir dûment trouvé et réparé la(es)fuite(s).

Mais surtout les pertes de fluide frigorigène ont des impacts multiples, voir la liste non exhaustive ci-dessous :

- À un impact direct sur l'efficacité globale du système
- Augmente la consommation d'énergie pour atteindre la température souhaitée
- Pour certains fluides le danger pour la santé des hommes est très important.
- 1 kg de fluide perdu dans la nature équivaut au point de vue environnemental à 15 000 km parcourus avec un véhicule léger.
- Les fuites de réfrigérant représentent 15 à 20 % de la quantité totale de fluides utilisée par les professionnels.
- N'oublions pas la satisfaction du client, c'est un aspect à prendre en compte quand même !

Un détecteur électronique s'utilise généralement sur des installations en charges et en service. Mais on peut quand la recherche est particulièrement difficile, mettre sous pression d'azote hydrogéné l'installation et vérifié les fuites avec un détecteur approprié.

Les types de détecteur de fuites frigorigènes

Ici nous nous arrêterons à deux types plus particulièrement :

1. Détecteur électronique à diode chauffée
2. Le détecteur électronique de fuite infrarouge

Détecteur électronique à diode chauffée

Les molécules composant le fluide frigorigène sont mises en contact avec la surface chauffée ($> 400^{\circ}\text{C}$) d'un semi-conducteur (diode/céramique). Les molécules sont dégradées par la chaleur ce qui produit des ions de fluorure, des électrodes polarisées (+/-) mesurent tout changement de conductivité électrique. L'électronique reçoit cette mesure électrique et suivant l'importance de la fuite déclenchera une alerte visuelle et sonore plus ou moins intense.

Cette technologie permet de détecter tous les fluides usuels (CFC, HCFC, HFC, HFO) ainsi que le NH₃. Pour cela il faudra néanmoins utiliser le bon capteur ou sonde. En effet pour le NH₃ la sonde n'est généralement pas la même.

Les sondes ne font pas bon ménage avec l'eau, la vapeur, de l'huile et la poussière, même si certain détecteurs sont munies de système de compensation automatique de la contamination ambiante.

Les sondes (capteurs) doivent être remplacées après un certain nombre d'heures d'utilisation. Le filtre de mousse à l'extrémité de la sonde devrait être remplacé régulièrement. N'oubliez pas de consulter la notice d'utilisation et d'entretien du constructeur de votre appareil, afin de prolonger sa durée de vie.

- À pile ou rechargeable
- Sensibilité inférieure à 5 g/ an.

Le détecteur électronique infrarouge

Le détecteur électronique infrarouge, est beaucoup moins sensible aux contaminants, grâce à une méthode d'analyse plus fine. C'est le détecteur tout fluide par excellence, il permet de détecter les HFO, HFC, HCFC, CFC, NH₃, R-290 et CO₂, hydrogène pressurisé. Il est fiable, possède un temps de réponse rapide, détecte des niveaux de concentration particulièrement faible, mais il est plus onéreux.

Le capteur se compose d'une cellule infrarouge (NDIR), d'un filtre pour les interférences et d'un récepteur. Le récepteur mesure l'intensité lumineuse filtrée émise par l'émetteur après son absorption par les molécules de fluide. Si une certaine quantité de fluide frigorigène est présente cela réduira de manière mesurable l'intensité lumineuse reçue par le récepteur. L'électronique de l'appareil se charge de traduire cette mesure en signal lumineux, sonore, graphique, ou directement en taux de ppm.

- À pile ou rechargeable
- Sensibilité inférieure à 3 g/ an

Détecteur à effet corona

Quelques mots sur ce détecteur, basé sur l'effet corona. Ici le principe c'est de soumettre un gaz à un champ électrique entre deux électrodes. Le gaz étant ionisé* celui-ci forme un nuage d'électrons, ce qui provoque des perturbations, des interférences de courant. Plus il y a d'interférences, plus la tension du courant baisse et plus la concentration du fluide frigorigène est élevée. Moins efficace sur les fluides d'aujourd'hui .

Comment tester le fonctionnement d'un détecteur de fuite

Tester directement votre détecteur en ouvrant doucement une bouteille de fluide n'est pas une option, ce n'est pas très « pro » et cela va saturer la sonde et engendrer des dérives de détection.

Les détecteurs à diode chauffée sont livrés avec un produit de test. Il suffit de mettre en service l'appareil, de placer la sonde de détection à quelques centimètres au-dessus du testeur. Si tout fonctionne bien vous devriez avoir une alarme se déclencher.

Pour les autres détecteurs on utilisera un testeur de fuite calibrée disponible chez certains fournisseurs, pas disponible partout.

Bien utiliser son détecteur c'est facile ?

La recherche de fuite est parfois plus compliquée que prévu. Il faudra procéder avec méthode et surtout avoir de la patience.

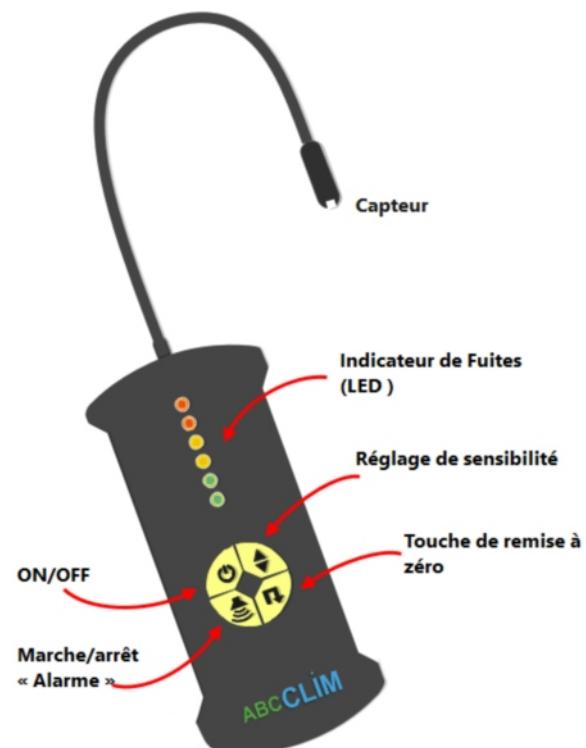
Tout d'abord vous pouvez soit consulter le registre de l'équipement ou les anciens bons d'intervention pour voir si des fuites sur des endroits précis sont récurrentes, cela vous aidera dans votre recherche.

Faites un petit tour de l'installation visuellement, trace d'huile, soudures surchargées, isolation des tubes défaite signe d'une ancienne intervention, supports mal fixés ou inexistant (vibrations), tous ces signes devront vous alerter.

Quelques autres points à vérifier lors d'une recherche de fuites :

- Présence de bouchons et des joints sur les vannes Schrader
- Bouchon de la vis de réglage surchauffe détendeur
- Vérifier les vannes Rotalock (capuchon, presse-étoupe)
- Dudgeons partout sur les divers organes (détendeur, voyant, etc)
- Soufflets pressostats huiles, HP, BP
- Soupapes sécurité
- Changement de direction, té, piquage
- Crosses d'évaporateurs

Etc...



* Ionisation : phénomène physique qui permet sous certaines conditions à un atome ou une molécule neutre de devenir porteur d'une charge électrique positive ou négative.

Le manomètre du frigoriste

Le manomètre nommé aussi manifold ou encore By-pass est certainement l'outil qui caractérise le mieux le métier de frigoriste. Comme le médecin utilise le stéthoscope pour ausculter un patient, le technicien frigoriste utilise un manomètre pour diagnostiquer et intervenir sur une installation frigorifique.

Il est indispensable pour toute intervention sur un circuit frigorifique, voici les principales utilisations de cet instrument :

- Lecture des hautes et basses pressions en fonctionnement
- Charges et complément de charge en fluide frigorigène.
- Mise vide des installations (tirage au vide).
- Mise en pression sous azote (contrôle d'étanchéité).
- Contrôle sous refroidissement condenseur et surchauffe évaporateur.

Avant toute intervention sur un circuit frigorifique, remettre à zéro les manomètres HP et BP et tirer au vide l'appareil.

Quelle pression mesure le manomètre du frigoriste

La pression relative se mesure à partir de la pression atmosphérique, le zéro du manomètre utilisé par le frigoriste correspondant à la pression atmosphérique, de ce fait la pression mesurée par les manomètres est donc la pression relative. Quant à elle la pression absolue est égale à la somme de la pression relative et la pression atmosphérique.

$$\text{Pression absolue} = \text{Pression relative} + 1,013 \text{ bar}$$

Description du manomètre frigoriste.

Le manifold se compose d'un élément central en laiton ou en aluminium constituant le corps du manomètre. Celui-ci sert de collecteur général mettant en relation les divers organes le constituant.

En partie haute deux manomètres (HP, BP) permettent la lecture des pressions et des températures correspondant au fluide utilisé.

Des raccordements filetés en 1/4 SAE appelés voies de service sont disponibles pour raccorder les flexibles d'intervention.

Des vannes de services quarts de tour ou à biseau sont situées de part et d'autre du manomètre permettent la communication des voies entre elles.

Un voyant de contrôle en verre est souvent présent au centre du corps.

Un crochet amovible en métal permet de suspendre le manomètre à toute sorte de support.

Les types et technologies de manomètre.

Deux types de manifold existent :

1. Manomètre mécanique
2. Manomètre digital

Trois technologies sont utilisées :

- À système bourdon
- À bain huile
- Électronique

Manomètre mécanique

Fonctionnement du manomètre à système bourdon

Ce dispositif est très ancien car c'est en 1884 que l'ingénieur français Eugène Bourdon déposa le brevet.

Un tube en métal de petit diamètre de forme circulaire est soumis à la pression à mesurer. Sous l'action de la pression qui augmente ou diminue ce tube se déforme plus ou moins, le diamètre augmente ou ce réduit. Ces mouvements sont transmis mécaniquement par une biellette à une aiguille munie d'un cadran indiquant la pression mesurée.

Manifold à bain d'huile

Pour éviter les phénomènes de vibrations causés par les pulsations des compresseurs alternatifs comme ceux à pistons, ces manomètres sont remplis avec un liquide (glycérine ou silicone).

Ceci permet d'amortir les mouvements de l'aiguille et augmente la durée de vie de l'instrument et facilite la lecture de la pression.

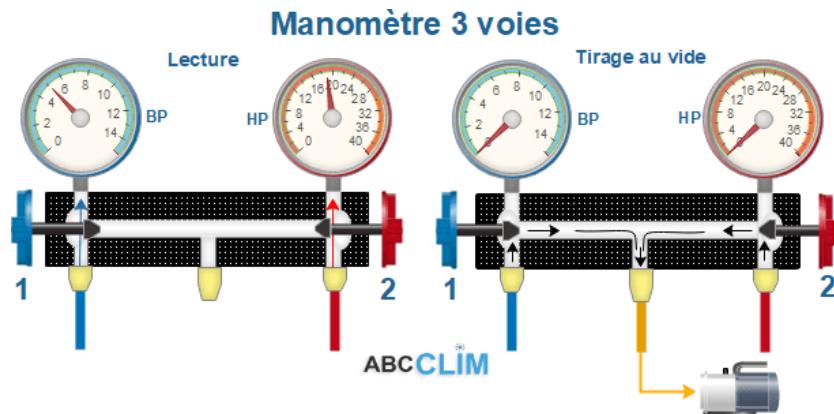
Les échelles de pression (relatives) sont indiquées en bar ou en psi, les températures correspondent à l'état saturé du fluide utilisé.

Tous les manifolds mécaniques ont une vis de remise à zéro, mettre l'instrument directement en contact avec la pression atmosphérique (ouvrir les vannes) remettre l'aiguille sur le zéro.

Certains manomètres sont équipés d'un système appelé zone retard, qui permet d'éviter d'endommager le manomètre en cas de surpression involontaire.

Manomètre 3 voies

Position lecture : vannes 1,2 fermées .
Position tirage au vide : vannes 1 et 2 ouvertes.
Complément de fluide : 1 ouverte,2 fermée.



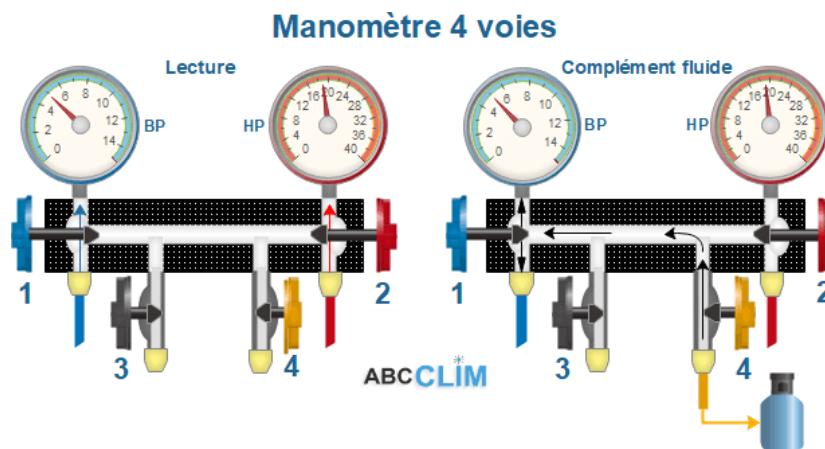
Manomètre 4 voies

Le manomètre 4 voies à l'avantage de pouvoir faire des manipulations plus aisément. Par exemple quand on casse le vide , introduction d'azote par la voie 4, puis tirage au vide par le voie 3 et ceci plusieurs fois .

Position lecture : vannes 1,2,3,4 fermées .

Position tirage au vide : vannes 1 ,2 ,3 ouvertes, 4 fermée

Complément de fluide : 1 et 4 ouvertes ,2 et 3 fermée .



Manomètre électronique

C'est le by-pass du frigoriste d'aujourd'hui, pratique, lecture précise, facile d'utilisation, multiples fonctionnalités. Il a aussi l'avantage de pouvoir être utilisé avec tous les fluides du marché, grâce aux fluides mis en mémoire dans l'instrument. La technologie employée ici est la même que pour les transducteurs de pression. À savoir l'utilisation de capteur piézoélectrique associés à des jauge de contraintes. La pression modifie la résistance au courant de capteur, cette résistance plus ou moins grande est traduite en bar ou psi.

Quelques fonctions :

- Enregistre les données, génère des rapports.
- Mise à jour des fluides frigorigènes, ajout, suppression.
- Sondes de température connectables pour les mesures de surchauffe et de sous-refroidissements en temps réel.
- Mesure fiable du vide.
- Contrôle d'étanchéité par compensation de température.
- Mode pompe à chaleur, lecture sans risque pour l'instrument quand on change de mode de fonctionnement, passage du mode froid au mode chaud.

Outillage de précision

Rappels réglementaires

La réglementation concernant les fluides frigorigènes impose aux opérateurs de détenir des outils appropriés, fiables et étalonnés annuellement.

L'article R. 543-99 du code de l'environnement, leur impose de détenir les outillages suivants :

- Station de récupération conforme à la norme NF EN 35421
- Bouteilles de récupération par type de fluide
- Balance de précision à 5 %
- DéTECTEUR de fuites conforme à la norme NF EN 14624
- Raccords flexibles avec obturateurs
- Manomètres

Vacuomètres

Les vacuomètres s'utilisent pour contrôler la mise au vide des installations frigorifiques. Ils indiquent toujours une pression absolue. Ils ne sont pas adaptés aux fortes pressions, que ceux – ci soient électroniques ou mécaniques (système Bourdon).

Le modèle le plus simple et le moins cher est celui basé sur le principe du système Bourdon. Une échelle comprise entre 0 est 150 mBar permet une meilleure précision de lecture. Ils sont assez fragiles en cas de choc.

Les modèles électroniques sont plus précis et plus résistant, mais plus onéreux.

Avant de démarrer le tirage au vide d'une installation, votre appareil doit impérativement être mis à zéro à la pression ambiante, comme les manomètres.

Unités de vide utilisées : Micron, Torr, mTorr, mmHg, mbar, Pa.

Thermomètres électroniques

Le frigoriste utilise de plus en plus des thermomètres électroniques à affichage digital. Très précis de l'ordre de 0,1°C, ils sont aussi très réactifs aux variations de température. Appareil à étalonner par un organisme certifié. Exemple de sondes à contact, d'ambiance, pour liquide..

Pour les mesures à distance maximum 30 cm, produits surgelés, température de surface il y a le thermomètre infrarouge à visée laser.

Balance électronique du frigoriste

Elle permet de peser le fluide que l'on retire ou que l'on ajoute à une installation.

Privilégier les balances avec le boîtier de commande déportée à fil ou Bluetooth. Concernant la version filaire, les aimants permettant de la fixer sur une machine sont particulièrement pratiques.

Les balances électroniques permettent via une vanne électromagnétique le remplissage automatique et programmé d'une installation est un plus.

Poids max : 50 à 160 Kg

Précision : 5 à 10 g

Unité : kg / lb / oz

DéTECTEUR de fuites

Le détecteur de fuites est utilisé pour la détection rapide des fuites sur les installations frigorifiques et pompes à chaleur. Les concentrations gazeuses même inférieures à 3 g/a sont indiquées de manière optique et acoustique. Certains sont équipés de prises casque audio pour les environnements bruyants.

Les plus polyvalents détectent tous types de fluides CFC, HCFC, HFC, NH₃, HFO, azote hydrogéné.

Le frigoriste et la relation client

Le technicien frigoriste a souvent en charge de contacter les clients avant d'exécuter un devis d'installation, une intervention de maintenance ou de dépannage. Il est aussi le premier interlocuteur physique que rencontre le client. Il représente au quotidien l'entreprise face aux différents clients. Son intervention nécessite également de passer plusieurs heures voire plusieurs jours chez un client lorsque les travaux se prolongent.

Les activités diverses de maintenance, de diagnostic et de dépannage qui leur sont allouées impliquent que le technicien en froid et climatisation accorde de l'importance à une relation professionnelle, respectueuse et courtoise. Il véhicule l'image de marque de la société pour laquelle il travail.

Première rencontre, premières impressions :

Le technicien doit avoir à cœur de connaître le dossier et les attentes de son futur client. Il doit préparer son entrée en matière, en amont, afin de pouvoir repérer les besoins de son client.

- Qui est-il ?
- Quel est le motif de son appel (panne, maintenance, contrôle...) ?
- Est-il dans l'urgence ? Sur quel type de matériel dois-je intervenir ?
- De quels outils dois-je m'équiper ?
- Quel est le sentiment du client (panique, inquiétude, colère...) ?
- Se renseigner sur l'historique du client est également indispensable
- De quel type de matériel est-il équipé ?
- Quel est l'historique des pannes, des interventions ?

Le client apprécie d'être reconnu, lorsque le technicien en froid et climatisation montre un intérêt particulier pour le problème de son client, celui-ci se sent en confiance face à l'intervention à venir. Un accueil rigoureux et professionnel permettra à l'entreprise de se présenter aux yeux de la concurrence comme attentive et respectueuse des besoins de ses clients.

Lors du premier contact, la première impression est primordiale. L'apparence du technicien frigoriste a de l'importance, en effet, la posture, la propreté et la tenue sont des éléments de communication qui ont leurs petites importances. Il convient à l'intervenant de ne pas susciter de sentiments négatifs autant que faire ce peux.

Une communication verbale respectueuse

Après l'aspect physique, la communication verbale caractérise la seconde impression entre l'intervenant et son client. La bonne humeur est conseillée lors d'une intervention, l'irritabilité, le stress, l'impatience et le manque d'écoute sont à proscrire même si c'est parfois difficile, un professionnel reste un être humain.

Le technicien frigoriste doit :

- Utiliser un langage courant, proscrire les mots trop techniques
- Échanger avec le client sur les actions qu'il mène,
- Porter de l'intérêt au client et à ses installations,
- Le client doit se sentir favorisé d'être pris en main. Il paraît donc indispensable au technicien de :
- Se présenter (indiquer son nom, le nom de la société pour laquelle il intervient),
- Faire preuve de courtoisie, de politesse,
- Être franc concernant l'intervention,
- Faire preuve de patience,
- Être à l'écoute des besoins de son client.

Il ne convient pas de critiquer le travail de ses collègues, ni celui des concurrents, ni l'organisation de sa société, car gare au retour de bâton. Il est important de laisser le client s'exprimer et d'être à l'écoute, cela participe au principe de la mise en confiance et facilite l'établissement d'un bon diagnostic.

À la fin de son intervention, le technicien doit expliquer le travail accompli et consigner le tout, de manière lisible sur son bon d'intervention qu'il fait signer à son interlocuteur.

Que faire en cas de situation de tensions ?

Le technicien doit savoir gérer des situations de tensions. Les malentendus peuvent exister dans son domaine. En cas d'agressivité du client, il doit rester le plus possible, neutre, serein et compréhensif.

Lorsque les critiques sont fondées et argumentées, il convient au technicien de les accepter.

En revanche, lorsque celles-ci sont illégitimes, l'intervenant peut répondre à son interlocuteur de façon ferme, courtoise et respectueuse, si besoin dans les cas extrêmes il peut interrompre la conversation si celle-ci n'est pas productive.

La gestion des crises peut être difficile à traiter, l'employeur peut guider son technicien vers de courtes formations liées à la relation client et plus spécialement aux situations complexes.

<http://www.orsys.fr/formation-relation-client-les-fondamentaux.asp>

<http://formation-professionnelle.lemonde.fr/recherche/formation-relation-client>

Avec une relation client de bonne qualité, le technicien comprendra mieux les besoins de son client. Il pourrait être un outil précieux d'information pour le commercial ou l'ingénieur.

Cette relation permet également au client de voir le technicien comme une personne qui répond à un problème dans un domaine où il (le client) n'a aucune expérience.

Le frigoriste, le CV et la lettre de motivation

Le CV parfait !

Comme tout curriculum vitæ celui d'un technicien frigoriste est comme la devanture d'un magasin il doit être attrayant et donner envie d'aller plus loin.

Il doit être lisible, clair, sans surcharge ni de ratures, si vous devez rajouter ou modifier quelque chose refaire votre CV.

Les recruteurs ou les employeurs ont parfois peu de temps à consacrer à la lecture des CV, donc un manque de clarté peut être éliminatoire.

Un curriculum vitæ reflète ce que vous êtes donc ne mentez pas sur vos qualifications , vos différents emplois ou votre niveau technique, car si votre CV a été sélectionné à la première entrevue, si votre interlocuteur s'en aperçoit vous serez irrémédiablement recalé, rien de pire que de passer pour un menteur.

Soyez sincères en mettant l'accent sur vos forces et vos capacités, si vous avez subi des périodes de chômage faites-les apparaître tout en restant positif.

Faites attention à l'orthographe, il faudra choisir avec discernement les mots utilisés, car ils ont un poids, ne pas mettre par exemple « CV frigoriste » en en-tête, votre interlocuteur le sait pertinemment, mettre plutôt le titre de l'emploi visé par exemple « Électromécanicien frigoriste » ou « Frigoriste confirmé ».

Les différentes rubriques de votre curriculum vitæ doivent être clairement identifiées par exemple par une couleur différente et une taille de police plus grande que le reste du texte, vous pouvez aussi utiliser le texte en gras et souligné.

Autant que faire se peut éviter le curriculum vitæ à plusieurs pages, une page doit être suffisante.

Si vous mettez une photo dans votre CV la positionner en partie haute côté droit, ce n'est pas obligatoire mais conseillé, attention à la qualité de la photo.

Présentation et rubrique :

État civil :

C'est la première chose qui sera lue, rapidement certainement alors ne mettre que ce qu'il est nécessaire avec éventuellement une information supplémentaire vous avantageant, par exemple si vous êtes mobile géographiquement.

- Prénom Nom
- Adresse
- CP Ville
- Portable
- Email
- 36 ans - Marié- 2 enfants
- Mobile géographiquement

Expérience et formation :

Vous avez peu d'expérience ou que vous postulez un stage mettre en avant votre formation, les diplômes obtenus, mentionnez les stages effectués en mettant l'accent sur les plus significatifs pour le poste visé.

À l'inverse, si votre parcours professionnel est important mettre en premier vos différents emplois plutôt de manière chronologique, car finalement c'est votre dernier emploi qui aura plus de chance de correspondre à l'emploi visé. Ensuite, mettre votre formation en précisant les diplômes obtenus, il n'est pas nécessaire de mettre l'année d'obtention de chaque diplôme.

Stages :

Pour rester cohérent, listez chronologiquement les différents stages effectués en précisant leur contenu.

Exemple : Sauter : Régulation, gestion technique de la climatisation.

Langues :

Si vous parlez une ou plusieurs langues, mentionnez-le, en indiquant le niveau que vous avez, par exemple : Anglais technique, Anglais courant, etc.

Renseignements complémentaires :

Cette partie est certainement la moins importante au point de vue professionnel, mais donne quelques renseignements sur ce que vous êtes, mentionnez vos loisirs, vos passions, vos centres d'intérêt de manière succincte.

Bien entendu, n'étalez pas vos opinions politiques ou vos engagements syndicaux c'est assez mal vu.

La lettre de motivation

La lettre de motivation accompagne le CV, elle n'a qu'un seul but piqué la curiosité du recruteur et l'inciter à vous rencontrer elle valorise votre candidature.

Ne pas faire l'erreur de répéter point par point votre CV dans cette lettre de motivation, elle doit apporter des précisions complémentaires, pertinentes, qui devront faire la différence et qui inciteront le responsable du recrutement à garder au chaud votre candidature.

Renseignez-vous sur l'entreprise et sur le type d'emploi qu'elle recherche afin de faire correspondre le contenu votre lettre de motivation avec le poste proposé.

Mettre l'accent sur votre personnalité, vos compétences, votre autonomie, vos qualités relationnelles de manière simple, soyez directs et concis.

Soyez imaginatifs même si vous inspirez des nombreuses lettres de motivation que l'on peut trouver ici et là ne faites pas de copier-coller les recruteurs n'aiment pas, copier seulement l'architecture de la lettre exemple, les phrases utilisées doivent être au maximum personnalisé et en rapport à l'emploi que l'entreprise recherche.

Exemple simple et court :

J'ai retenu avec attention votre offre pour le poste d'électromécanicien frigoriste et je vous présente ma candidature.

Mon expérience dans le domaine du génie climatique et mes compétences s'ajoute à mon dynamisme et à ma capacité d'autonomie acquise sur le terrain.

Je suis vivement motivé pour intégrer votre société que je connais de réputation, je nourris l'espoir quant à une réponse encourageante de votre part.

Dans cette attente, je reste à votre disposition pour vous rencontrer, afin d'évoquer ma collaboration et je vous prie d'agrérer, Monsieur, l'expression de mes salutations distinguées.

Exemple pour un débutant :

Titulaire depuis peu d'un BTS option maintenance froid et climatisation, je vous adresse cette lettre, car je pense que mon profil correspond au poste à pourvoir pour la maintenance de vos installations réfrigérées.

Lors de la préparation de mon BTS, j'ai eu l'occasion à travers de stages en entreprises d'étudier plusieurs cas pratiques concernant l'installation et la maintenance préventive et corrective des systèmes frigorigraphiques.

Je partage votre souci de satisfaire les exigences de vos clients, je m'y emploierai si l'occasion de rejoindre votre équipe m'est donnée.

Un entretien me permettra de mieux vous exposer mon expérience et de répondre à vos questions.

Formule de politesse.

Le mot de la fin :

Imprimer votre curriculum vitæ et votre lettre de motivation sur une feuille A4 de bonne qualité. Pour un email le format Word est très utilisé, mais le format PDF a de plus en plus d'adeptes, il a l'avantage d'être non modifiable et d'être lu par tous les ordinateurs.

Des suites bureautiques telles qu'Open Office permettent de réaliser facilement des documents PDF. Relisez et faites le relire le CV et la lettre par un de vos proches, ceci vous permettra de vérifier si ceux-ci sont convaincants.

Attestation d'aptitude, et QCM

Voici des exemples de questions posées lors de l'examen écrit de l'attestation d'aptitude .

Questions générales

L'unité normalisée SI de l'énergie est :

- Kilocalorie/Heure [Kcal/h]
- **joule [J]**
- Watt[W]

L'unité normalisée SI de la pression est :

- bar [bar]
- kilopascal[kPa]
- kilogramme par centimètre au carré [kg/cm²]
- **Pascal [pa]**

L'unité normalisée SI de la masse volumique est :

- **[kg/m³]**
- [m³/kg]
- [kg/dm³]

L'unité normalisée SI de la température est :

- Le Fahrenheit (°F).
- Le degré Celsius (°C).
- **Le kelvin (K)**

L'unité normalisée SI de la masse est :

- Gramme [g]
- **Kilogramme [kg]**

L'unité de la chaleur massique est :

- [KJ]
- [KJ/kg]
- **[KJ/kg K]**

Pendant un changement d'état la chaleur mise en jeu est :

- La chaleur sensible
- La chaleur massique
- **La chaleur latente**

Un mélange de plusieurs fluides frigorigènes qui se comporte comme un corps pur est appellé :

- Zéotrope
- **Azéotrope**
- Un gaz parfait

La charge d'un fluide zéotrope doit être faite:

- En vapeur
- **En liquide**
- Les deux

Questions sur le circuit frigorifique

Mon rôle est de diminuer la pression dans un circuit frigorifique, je suis :

- Un évaporateur
- Un compresseur
- Un condenseur
- **Un détendeur**
- Un régulateur de pression d'évaporation

Mon rôle est d'extraire de la chaleur au fluide frigorigène pour la rejeter à l'extérieur, je suis :

- Un évaporateur
- Un compresseur
- **Un condenseur**
- Un détendeur

Mon rôle est d'échanger de la chaleur dans un circuit frigorifique, je suis :

- **Un évaporateur**
- Un compresseur
- **Un condenseur**
- Un détendeur

Mon rôle est de maintenir une pression constante dans l'évaporateur d'un circuit frigorifique, je suis :

- Un compresseur
- Un condenseur
- Un détendeur
- **Un régulateur de pression d'évaporation**
- Un régulateur de capacité

Mon rôle est d'alimenter en fluide l'évaporateur d'un circuit frigorifique, je suis :

- Un compresseur
- Un condenseur
- **Un détendeur**
- Un régulateur de pression d'évaporation
- Un régulateur de capacité

Dans une pompe à chaleur « air / eau », on récupère l'énergie

- Sur de l'air
- **Sur de l'eau**
- Sur l'eau ou sur l'air

A vous de répondre !

Un détendeur thermostatique à égalisation de pression interne régule le débit d'injection de fluide frigorigène dans l'évaporateur à l'aide

- De l'égalisation de pression
- De la température dans la chambre froide
- De la différence de pression HP - BP
- De la surchauffe mesurée par le bulbe

Le pressostat BP sécurité coupe

- Le ventilateur évaporateur
- Le compresseur
- Le ventilateur condenseur
- L'électrovanne liquide

Le régulation en « pump down » coupe

- Le ventilateur évaporateur
- Le compresseur
- Le ventilateur condenseur
- L'électrovanne liquide

Questions sur la réglementation

Ne sont pas concernés par la réglementation F-gas.

- **L'ammoniac NH₃**
- Les HFC
- Les HFO
- **L'acétylène**
- **L'azote**
- Le R600a isobutane

La fréquence des contrôles d'étanchéité des éléments assurant le confinement des fluides frigorigènes dans les équipements frigorifiques et climatiques est :

- Une fois tous les douze mois si la charge en fluide frigorigène de l'équipement est supérieure à 5 tonnes équivalent CO₂
- Une fois tous les six mois si la charge en fluide frigorigène de l'équipement est supérieure à 50 tonnes équivalent CO₂
- Une fois tous les trois mois si la charge en fluide frigorigène de l'équipement est supérieure à 500 tonnes équivalent CO₂

A vous de répondre

La molécule de chlore :

- Est présente dans les HCFC
- Est présente dans les CFC
- Est présente dans les HFC
- Est présente dans les HFO
- Détruit la couche d'ozone

L'effet de serre est dû

- Au réchauffement de la planète
- Au dioxyde de carbone
- Au rejet de dioxine

Une fuite de 1kg de fluide frigorigène R134a a un effet de serre

- Supérieur à celui produit par l'émission de 1 tonne de CO₂
- Inférieur à celui produit par l'émission de 1 tonne de CO₂
- Égal à celui produit par l'émission de 1 tonne de CO₂

L'indice ODP =1 d'un fluide représente :

- Un impact direct sur l'atmosphère
- Un impact indirect sur l'atmosphère
- Un impact total sur l'effet de serre
- L'indice maximum sur l'effet de serre

Le GWP ou PRP d'un fluide représente :

- Un impact direct sur l'effet de serre
- Un impact indirect sur l'atmosphère
- Un impact total sur l'effet de serre

Le TEWI d'un fluide représente :

- Un impact direct sur l'effet de serre
- Un impact indirect sur l'atmosphère
- Un impact total sur l'effet de serre

Le R134a fait partie des :

- CFC
- HFC
- HCFC

Les essais et contrôles durant l'inspection périodique d'une installation contenant du fluide frigorigène :

- Doivent être consignés sur le registre de suivi de l'équipement
- Ne sont pas obligatoires pour les chambres froides positives
- Sont obligatoires pour justifier de l'entretien de l'équipement

Si des fuites sont constatées lors du contrôle. Le constat est remis au détenteur de l'équipement et une copie de ce constat est adressée par l'opérateur au représentant de l'état.

- Pour une installation contenant plus de trois kilogrammes de fluide frigorigène
- Pour une installation contenant plus de trente kilogrammes de fluide frigorigène
- Pour une installation contenant plus de trois cent kilogrammes de fluide frigorigène
- Pour une installation contenant une charge supérieure à 500 tonnes équivalent CO₂

Autres exemples de questions !

Pour récupérer le fluide frigorigène

- On peut le remettre dans la bouteille de charge
- On peut remplir une bouteille de récupération à 100% en liquide
- On peut remplir une bouteille de récupération à 80% en liquide
- On peut remplir une bouteille de récupération à 70% en liquide

La réglementation sur la manipulation des gaz à effet de serre

- S'applique aux installations, dont la charge est inférieure à 2 kg
- S'applique aux climatisations de véhicules dont la charge est inférieure à 2 kg
- S'applique aux climatiseurs monobloc dont la charge est inférieure à 2 kg

Le frigoriste doit établir une fiche d'intervention

- Pour toute manipulation de fluide frigorigène
- Pour toute intervention sur le circuit d'un équipement
- Pour tous contrôles d'étanchéité
- Quant il récupère du fluide chez un distributeur

Des fuites peuvent survenir à plus ou moins long terme :

- Si l'écrou à l'entrée du détendeur n'est pas visser avec une patte bloquante
- Sur les valves de prise de pression « schraeder »
- Sur les tubes capillaires par frottements
- Si les tubes ne sont pas fixés avec des colliers anti vibration
- Si des vibrations sont transmises aux plaques de garde des échangeurs
- Si des prises en glace des évaporateurs sont fréquentes
- Si l'air ambiant est corrosif
- Sur les brins des distributeurs qui frottent
- Sur un condenseur encrassé
- Sur un condenseur à eau
- Si le compresseur vibre anormalement
- Sur la plaque à bornes du compresseur
- Sur les compresseurs ouverts à la garniture d'étanchéité
- Sur le bas du carter d'un compresseur hermétique présentant des traces de rouille
- Sur les vannes de service
- Sur les stations de récupération
- Sur le manifold

Le carter d'un compresseur à pistons est soumis

- à la BP
- à la HP

Pour réaliser la vidange d'huile d'un compresseur à pistons, je dois :

- Tirer au vide le carter d'huile en fermant la vanne de refoulement puis ouvrir le bouchon de vidange
- Tirer au vide le carter d'huile en fermant la vanne d'aspiration puis ouvrir le bouchon de vidange
- Isoler le compresseur et ouvrir le bouchon de vidange

Si les ailettes d'un condenseur sont encrassées

- La HP baisse
- La HP augmente
- L'énergie absorbée augmente

La régulation de la pression de condensation est réalisée par action

- Sur la vitesse de rotation du ventilateur
- Par bipasse HP et BP
- Par mise en marche et arrêt du ventilateur
- Par mise en marche et arrêt des ventilateurs étages de puissance
- Par un régulateur de pression de condensation qui engorge le condenseur

La puissance d'un évaporateur dépend

- De la pression HP
- Du type de fluide frigorigène
- De la pression BP