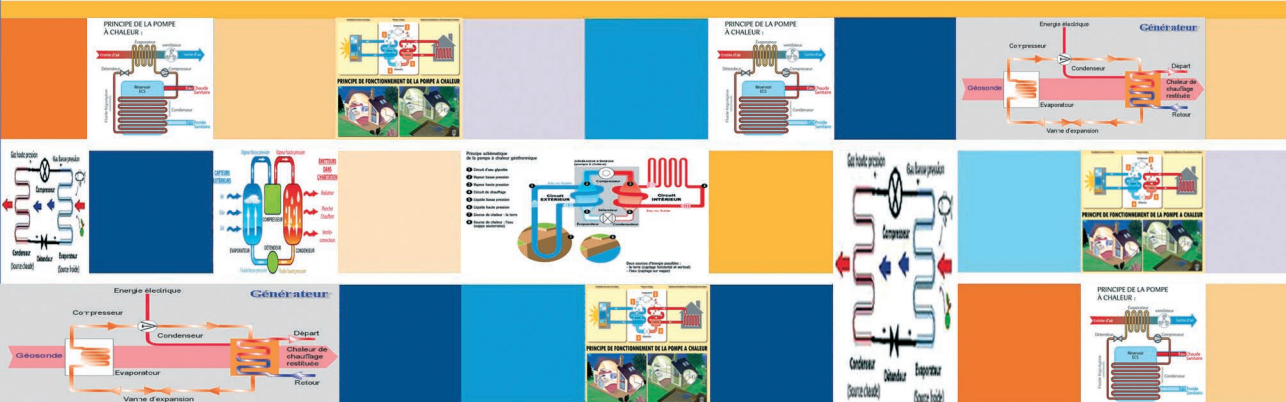
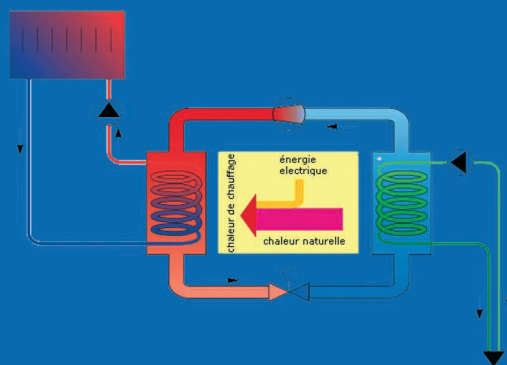




# Guide Technique Installations de Production de Froid



# **GUIDE TECHNIQUE INSTALLATIONS DE PRODUCTION DE FROID**

Diagnostic et optimisation des installations frigorifiques  
en matière d'efficacité énergétique dans les installations  
de production du froid.

# TABLE DES MATIÈRES

|                                                                                               |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Chapitre 1 : Introduction théorique sur le froid</b>                                       | <b>3</b>  |
| 1.1 Grandeurs et unités utilisées dans la production de froid                                 | 3         |
| 1.2 Principe de base du cycle thermodynamique : le diagramme de Mollier                       | 4         |
| 1.3 Principe de base de la qualité de l'air : le diagramme de l'air humide                    | 6         |
| 1.4 Les différentes notions de chaleur                                                        | 7         |
| 1.5 Les enjeux du froid                                                                       | 8         |
| 1.6 La performance énergétique et la consommation d'énergie                                   | 9         |
| 1.7 Les éléments constitutifs d'une installation de production de froid                       | 10        |
| 1.8 Différents types d'installations de production de froid                                   | 15        |
| <b>Chapitre 2 : Méthodes de dimensionnement et formules de calculs</b>                        | <b>21</b> |
| 2.1 En froid                                                                                  | 21        |
| 2.2 Dimensionnement de la puissance installée en conditionnement d'air : outil RatioClim      | 28        |
| <b>Chapitre 3 : Les mesures d'optimisation des systèmes frigorifiques</b>                     | <b>30</b> |
| 3.1 Les moyens utilisables en Froid                                                           | 30        |
| 3.2 Les moyens utilisables en climatisation                                                   | 34        |
| <b>Chapitre 4 : Les éléments d'exploitation et de diagnostic d'une installation existante</b> | <b>35</b> |
| 4.1 Les éléments et les grandeurs à prendre en compte et à diagnostiquer                      | 35        |
| 4.2 Le déroulement de l'expertise en deux phases                                              | 36        |
| <b>Chapitre 5 : La Maintenance</b>                                                            | <b>41</b> |
| <b>Chapitre 6 : Les fiches actions</b>                                                        | <b>42</b> |

# CHAPITRE 1

## Introduction théorique sur le froid

### 1.1 Grandeurs et unités utilisées dans la production de froid

|                                                  |                                                     |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Température                                      | °C                                                  |
| Ecart de température                             | K                                                   |
| Masse                                            | kg                                                  |
| Temps                                            | s, (h, jour)                                        |
| Longueur                                         | m                                                   |
| Surface                                          | m <sup>2</sup>                                      |
| Volume                                           | m <sup>3</sup>                                      |
| Pression absolue ou relative                     | Pa (usuel : bar; 1 bar= 105 Pa)                     |
| Vitesse                                          | m/s                                                 |
| Débit                                            | m <sup>3</sup> /s                                   |
| Masse volumique                                  | kg/ m <sup>3</sup>                                  |
| Volume massique                                  | m <sup>3</sup> /kg                                  |
| Débit volumique (fluide à l'état gaz ou liquide) | m <sup>3</sup> /s                                   |
| Débit massique                                   | kg/s                                                |
| Energie                                          | J (Joule) (usuel : 1 kWh = 3.600.kJ)                |
| Enthalpie massique                               | J/kg                                                |
| Puissance                                        | W (= J/s)                                           |
| Puissance électrique                             | W élect (= J élect /s)                              |
| Puissance frigorifique                           | W frigo (= J frigo /s)                              |
| Temps de fonctionnement                          | h (par 24 heures ou % du nombre d'heures/24 heures  |
| Conductivité thermique                           | W/m.K                                               |
| Coefficient d'échange                            | W/m <sup>2</sup> .K                                 |
| Intensité                                        | A                                                   |
| Tension                                          | V                                                   |
| Hygrométrie ou humidité relative                 | %                                                   |
| Températures de l'air, sèche, humide, rosée      | °C                                                  |
| Masse volumique de l'air                         | m <sup>3</sup> /kg air sec                          |
| Teneur en eau de l'air                           | g d'eau/kg d'air sec                                |
| Taux de brassage                                 | Nombre de volume réfrigéré/h (= débit d'air/volume) |
| Taux de compression au droit du compresseur :    | Haute Pression absolue / Basse Pression absolue     |



## 1.2 Principe de base du cycle thermodynamique : le diagramme de Mollier

Qu'est-ce que le froid ?

Faire du froid est une notion abstraite qui consiste à enlever de la chaleur d'un organisme, d'une matière ou d'un matériau.

Comment fait-on traditionnellement du froid ?

La plupart du temps, on utilise un système fermé composé de plusieurs éléments, et dans lequel circule un fluide. C'est le comportement de ce fluide au travers de ces éléments qui permettra la production de froid. Les fluides utilisés possèdent des caractéristiques particulières. Leur pression et leur température sont intimement liées ; leurs caractéristiques de changement d'état (vapeur ou gaz et liquide) sont parfaitement connues, et répondent à une équation qui se formalise au travers d'une courbe, le diagramme de Mollier. A chaque point, fonction de son état, de sa température et de sa pression, le fluide considéré dispose d'un potentiel énergétique, son enthalpie massique (J/kg).

Coté Basse Pression : Le fluide à l'état liquide et vapeur (6) s'évapore dans un échangeur à une valeur stable de pression BP (ou température d'évaporation) dans un échangeur (évaporateur). Pour permettre cet échange, cette température est toujours inférieure à son environnement (en général en échange avec l'air intérieur d'une chambre froide) et les vapeurs produites sont aspirées en continue par un compresseur. Cette évaporation est l'effet frigorifique, il est proportionnel au débit massique des vapeurs produites et l'écart d'enthalpie des vapeurs à l'entrée et la sortie de l'évaporateur.

Coté Haute Pression : Le compresseur comprime à un niveau de pression HP, ces vapeurs sont alors chauffées (2) et subissent :

- dans un premier échangeur une désurchauffe (2 à 3), sans changement d'état par un échange de chaleur généralement avec de l'eau sanitaire puis,
- dans un second échangeur (condenseur 3 à 4), un changement d'état du fluide de l'état vapeur à l'état de liquide (ou condensation) généralement en échange de chaleur avec l'air extérieur, pour permettre cette échange la température dite de condensation est toujours supérieure à celle de l'air.

La condensation est toujours précédée d'une désurchauffe de vapeurs même dans le cas où le premier échangeur (désurchauffe) n'est pas installé.

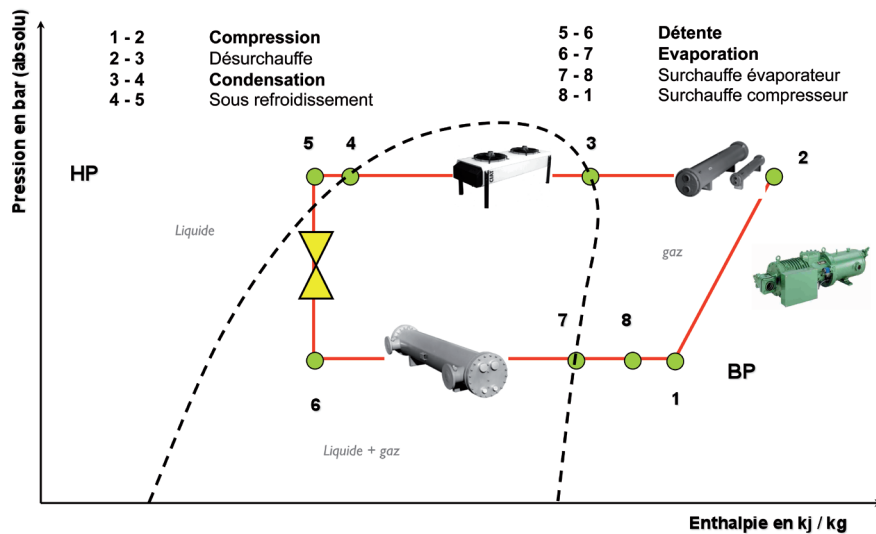
La température du liquide à la sortie du condenseur (4) est généralement d'autant plus basse (5) que l'écart entre la température de condensation et l'air est important.

Le fluide frigorigène ainsi à l'état liquide (5) est transféré vers l'évaporateur (6) via un détendeur qui ajuste le débit de fluide frigorigène dans l'évaporateur, généralement le détendeur ajuste un débit de fluide frigorigène pour assurer une élévation de la température des vapeurs à la sortie de l'évaporateur de 5 à 10K (6 à 7) (surchauffe évaporateur)

Enfin la conduite d'aspiration entre évaporateur et compresseur impose une surchauffe des vapeurs (8 à 1) avant qu'elles soient aspirées par le compresseur.

De manière continue, le fluide s'est ainsi chargé de la chaleur à enlever du premier échangeur (évaporateur) pour la rejeter par un autre échangeur (condenseur). La quantité de chaleur sera donc dépendante de la quantité de fluide en circulation.

Représentation du cycle sur un diagramme de Mollier



## 1.3 Principe de base de la qualité de l'air : le diagramme de l'air humide

L'air comporte toujours une certaine quantité d'humidité, soit d'eau sous forme de vapeur.

Cette quantité d'eau contenue dans l'air associée à sa température confère à celui-ci des caractéristiques particulières, qui auront des conséquences sur l'environnement.

La bonne conservation des aliments se fait dans une ambiance où l'air a été refroidi. Toutefois, selon que cette ambiance est sèche ou humide, la conservation ne se fera pas dans les mêmes conditions.

Pour mesurer cela, on utilise le relevé de 2 types de températures :

Température sèche : Mesurée avec thermomètre ordinaire (mesure brute)

Température humide : Mesurée avec bulbe du thermomètre humidifié (sensation)

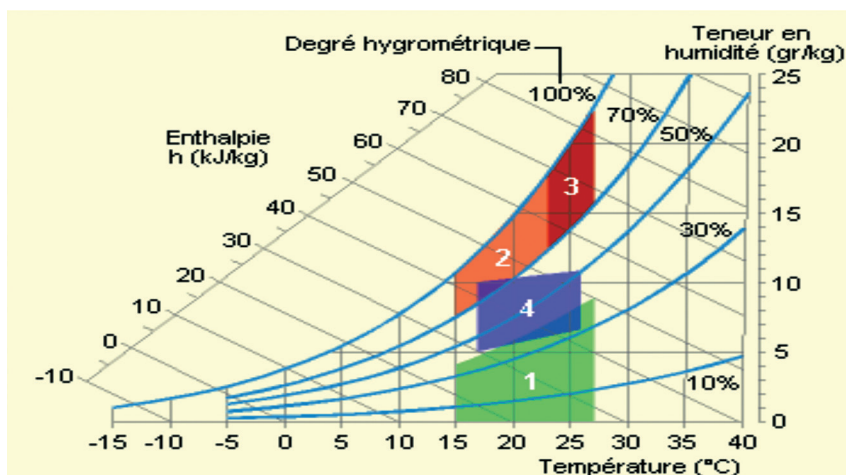
A ceci correspondent 2 autres valeurs :

L'humidité relative : Relation entre T° sèche et T° humide (rapport de densité de la vapeur d'eau contenue dans l'air à la densité saturée, à même température et pression). L'humidité relative est de 100%, quand la T° sèche = T° humide = T° de rosée.

Le poids d'eau : c'est la quantité d'eau en gramme par kg d'air sec

Comme dans le cas des fluides frigorigènes, en fonction des conditions dans lesquelles il se trouve, l'air dispose d'un potentiel d'énergie, son enthalpie. De même, la quantité de chaleur qui sera prélevée ou rejetée dans une ambiance sera fonction de la différence de ces potentiels ainsi que de la quantité d'air circulant.

L'ensemble de ces caractéristiques se trouve transposé dans un diagramme dit psychrométrique ou de l'air humide. Sur le diagramme ci-dessous sont précisées 4 zones, seule la zone 4 est la zone de confort recommandée.



1. Zone à éviter vis-à-vis des problèmes de sécheresse.
2. et 3 : Zones à éviter vis-à-vis des développements de bactéries et de micro-champignons.
3. Zone à éviter vis-à-vis des développements d'acariens.
4. Polygone de confort hygrothermique

## 1.4 Les différentes notions de chaleur

Lors qu'il est en contact avec une ambiance plus froide que la sienne, le fluide frigorigène passe de l'état gazeux à l'état liquide. De même, la vapeur d'eau contenue dans l'air se transforme en eau liquide. A l'inverse, au travers d'une ambiance plus élevée, le fluide frigorigène se vaporise, comme l'eau contenue dans l'air se transforme en vapeur d'eau. Ces phénomènes de condensation et de vaporisation se produisent tout d'abord à température constante. C'est ce que l'on nomme la chaleur latente.

Dès lors que les phénomènes de refroidissement ou de réchauffement se poursuivent, le fluide frigorigène ou l'air changent alors de température. C'est ce que l'on appelle la chaleur sensible.

Chaleur Sensible : Correspond à un changement de température seul. Pour l'air, c'est-à-dire à poids d'eau constant

Chaleur Latente : Correspond à un changement d'état. Dans l'air, cela concerne l'eau:

- Vaporisation :  
Diminution de la quantité d'eau par kg d'air sec  
Diminution de la valeur d'humidité relative à T° constante
- Condensation :  
Augmentation de la quantité d'eau dans l'air  
Augmentation de la valeur d'humidité relative à T° constante

Chaleur Totale :

- $\Sigma$  Chaleur sensible + chaleur latente
- Prends en compte un écart de température ET une différence de poids d'eau
- Pour un débit masse d'air donné
- S'exprime en kJ/s

## 1.5 Les enjeux de l'utilisation du froid

### • Enjeux sanitaires

Le froid préserve :

La santé des populations contre les toxi-infections alimentaires en ralentissant ou inhibant totalement la croissance microbienne et le développement de toxines.

La qualité « organoleptique » des denrées, ainsi que leur qualité nutritionnelles et par voie de conséquence, la valeur marchande des produits...

L'analyse des données sur les causes d'intoxication alimentaire suggère que plus de 90 % des maladies sont au moins partiellement associées à des problèmes de maîtrise de la température, selon un rapport de l'Organisation Mondiale de la Santé.

Le Trépied frigorifique de la chaîne du froid:

Produit sain

Réfrigération précoce

Bon niveau de température de conservation

### • Environnementaux

L'utilisation du froid a des conséquences sur l'environnement essentiellement par l'utilisation des fluides frigorigènes, qui participent à :

Destruction de la couche d'ozone (CFC, HCFC) ==> Protocole de Montréal

Augmentation de l'effet de serre (HFC) ==> Protocole de Tokyo

### • Energétiques

La production de froid nécessite une consommation d'énergie, qu'elle soit électrique (la plupart du temps) ou gaz naturel (méthane). Le développement de l'industrie frigorifique participe grandement à la consommation croissante d'énergie, quel que soit le domaine d'utilisation, transformation et conservation alimentaire, procédés industriels, conditionnement d'air, ...

### • Economiques

Les taux de pertes de produits périssables sont les plus importants dans les pays en voie d'industrialisation, où habite plus de 80% de la population mondiale, et où près du quart de la production est perdu en raison de l'insuffisance ou de l'absence de chaîne du froid.

|                                                               | Monde | Pays fortement industrialisés | Pays en voie d'industrialisation |
|---------------------------------------------------------------|-------|-------------------------------|----------------------------------|
| Population en 2009 (milliard d'habitants)                     | 6,83  | 1,23                          | 5,60                             |
| Population en 2050 (prévision milliards d'habitants)          | 9,15  | 1,28                          | 7,78                             |
| Volume entreposage frigorifique (m³/1000 hab.)                | 52    | 200                           | 19                               |
| Nombre réfrigérateurs domestiques (/1000 hab)                 | 172   | 627                           | 70                               |
| Pertes de denrées alimentaires (tous produits) (%)            | 25%   | 10%                           | 28%                              |
| Pertes fruits et légumes (%)                                  | 35%   | 15%                           | 40%                              |
| Pertes de denrées périssable par non application du froid (%) | 20%   | 9%                            | 23%                              |

## 1.6 La performance énergétique et la consommation d'énergie

Performances équipement

Tient compte de la performance de chacun des équipements (rendement ou COP)

Performance Installation ==> Adéquation

Ensemble des équipements qui fonctionnent **bien**

ET qui fonctionnent bien **ensemble**

Consommation

Liée à la performance de l'installation

ET

Au mode d'utilisation : état de la chambre froide (joints d'étanchéité), utilisation aberrante d'un local (climatisation + fenêtre ouverte)

Ainsi, une installation peut être composée d'éléments performants, mais consommer beaucoup si elle est utilisée mal à propos.

Les coefficients de performances

Terminologie : COP = COefficient de Performance

EER = Energy Efficiency ratio

SEER = Seasonal Energy Efficiency Ratio

ESEER = European Energy Efficiency Ratio

!!! Pas de distinction entre puissance et « **energy** » : il convient de lire Puissance

!!! Traditionnellement COP = en chauffage thermodynamique

EER = en mode froid

### Performance système – COP (ou EER)

Puissance (frigorigique ou thermique) délivrée / puissance énergétique absorbée (électricité ou gaz)

Information instantanée à condition donnée :

- Nominale
- Autre point de fonctionnement (externe et/ou interne)

### Performance saisonnière – COP saisonnier (ou SEER)

Information sur une période donnée (saison ou autre)

- Groupes d'eau glacée – Modèle Eurovent :

ESEER = 0,03 COP100% + 0,33 COP75% + 0,41 COP50% + 0,23 COP25%

- Autres systèmes (DRV) :

Moyenne de la somme des puissances délivrées aux différentes conditions / somme des Pabs à ces mêmes conditions

### Performance installation – COP (ou EER) :

Puissance (frigorigique ou thermique) délivrée / **somme des puissances** absorbée (électricité ou gaz) par **tous les éléments** mis en œuvre (pompes de circulation, ventilateurs, ...)

### Performance énergétique

**Energie** fournie par l'installation / **énergie** consommée par cette même installation dans les mêmes conditions

!!! kWh/kWh

## 1.7 Les éléments constitutifs d'une installation de production de froid

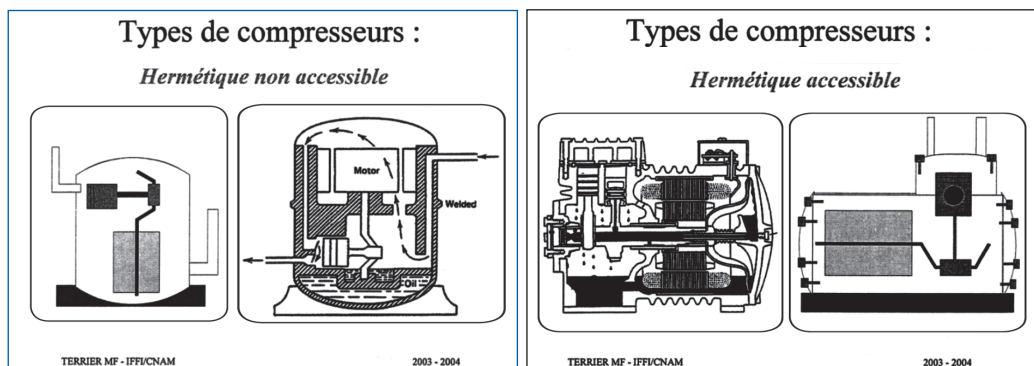
### 1.7.1 - Les compresseurs :

Ils se classifient selon leur technologie :

- **Moto-compresseur à piston**

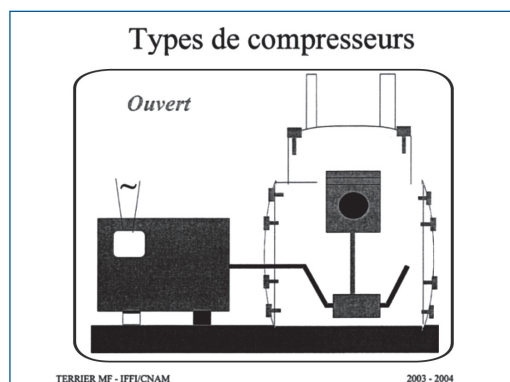
- hermétique non accessible
- hermétique accessible ou semi-hermétique :

Ils constituent l'essentiel du nombre de compresseurs installés, les gaz aspirés refroidissent le moteur.



- Compresseur à piston « ouvert »

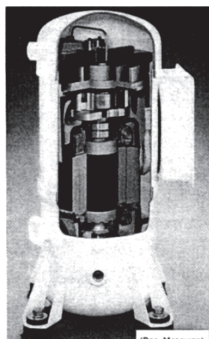
Ces compresseurs acceptent le fluide frigorigène NH<sub>3</sub>. Le moteur est refroidi par air et est extérieur au compresseur.



- **Moto compresseur hermétique non accessible Scroll**

C'est la technologie la plus récente. Le mode de compression impose le déplacement de deux pièces presque identiques en rotation

## Compresseurs spiro-orbitaux

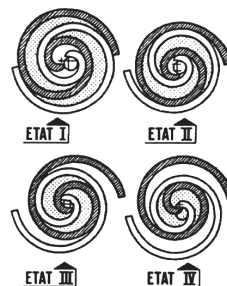


TERRIER MF - IFFI/CNAM

2003 - 2004

## Compresseurs spiro-orbitaux

- Spirale fixe
- ▨ Spirale tournante
- ░ Vapeurs en cours de compression



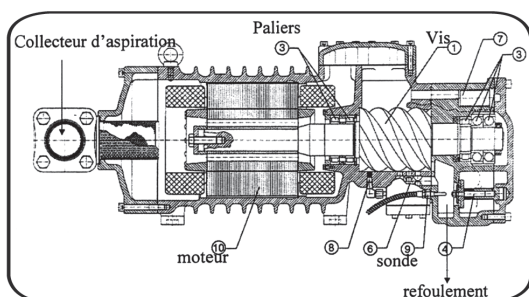
TERRIER MF - IFFI/CNAM

2003 - 2004

### • Compresseur à vis hermétique accessible ou semi-hermétique ou ouvert,

Les compresseurs à vis présentent un intérêt économique pour les grandes puissances, par leur rapport coût / puissance. Le compresseur à vis est une technologie spécifique en ce qui concerne sa lubrification : débit et température d'huile (viscosité). Ils imposent de ce fait une régulation de la température et de la pression spécifique de l'huile. Ils ne sont pas équipés de pompe à huile contrairement au compresseur à piston, et requièrent de veiller au maintien d'une pression différentielle minimale entre pression BP et HP.

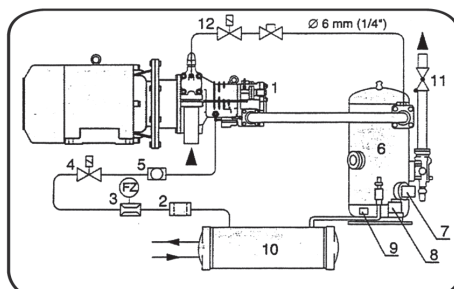
## Compresseurs à vis



TERRIER MF - IFFI/CNAM

2003 - 2004

## Comp à vis : circuit d'huile



TERRIER MF - IFFI/CNAM

2003 - 2004

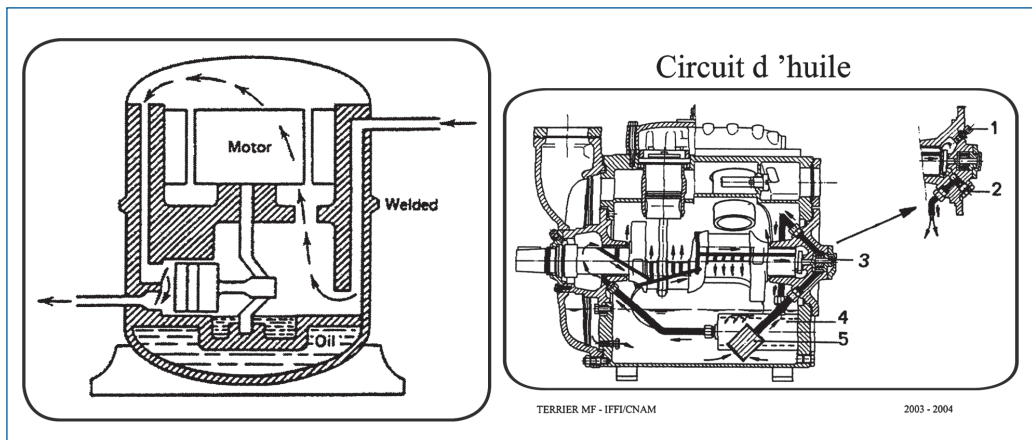
### 1.7.2 – La lubrification des compresseurs, les séparateurs d'huiles

En tant qu'élément mécanique, un compresseur a besoin de lubrification pour fonctionner. Celle-ci peut s'effectuer par barbotage dans la cuve ou par pompage. Dans ce dernier cas, le pompage est réalisé directement au travers de l'arbre du compresseur ou par un dispositif extérieur.

Le phénomène d'entraînement du fait de la vitesse de circulation des gaz de refoulement impose une récupération de l'huile au refoulement, qui s'effectue avec un séparateur d'huile.

Dans ce dernier cas, les vapeurs refoulées et chargées en huile vont circuler au travers d'un tamis qui laissera circuler les vapeurs, mais arrêtera les particules d'huile qui elles, seront retournées au carter du compresseur.





### 1.7.3 - Les échangeurs de chaleur : évaporateurs et condenseurs

Le principe de base du fonctionnement d'échangeur à air repose sur l'équation suivante :

$$\text{Puissance échangée} = K \times S \times \Delta T$$

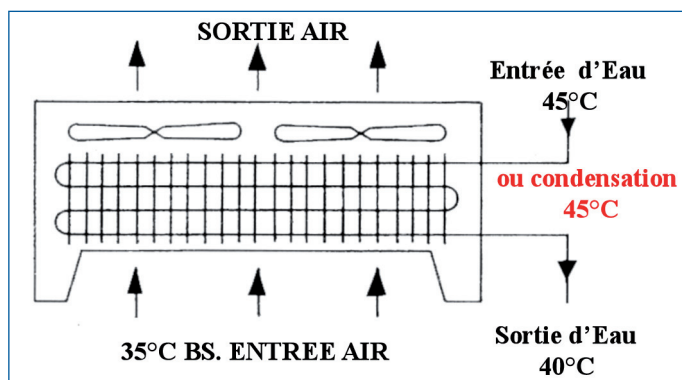
Avec :

- $S$  = surface d'échange, en  $m^2$  impacte l'investissement\*.
- $K$  = Coefficient d'échange global, en  $W/m^2.K$ . Il est constitué de différents coefficients. d'échanges : convection interne, externe, conduction tube, ailette. C'est le plus mauvais qui fixe l'ordre de grandeur de  $K$  et généralement c'est sur la convection forcée sur l'air.
- $\Delta T$  = delta de température en K entre la surface d'échange de la batterie et l'air entrant. ( $\Delta T_{\text{maxi}} - \Delta T_{\text{mini}}$ )/log de ( $\Delta t_{\text{maxi}}/\Delta t_{\text{mini}}$ )

\*Ceci signifie que plus un échangeur sera dimensionné à l'économie, plus le  $\Delta T$  sera grand afin d'assurer la puissance. Une des conséquences est la baisse de température d'évaporation ou la hausse de la température de condensation, donc taux de compression augmenté et avec lui un travail au compresseur et une puissance absorbée plus importante.

Focus sur les condenseurs :

- Aéro-réfrigérant sec et condenseur à air

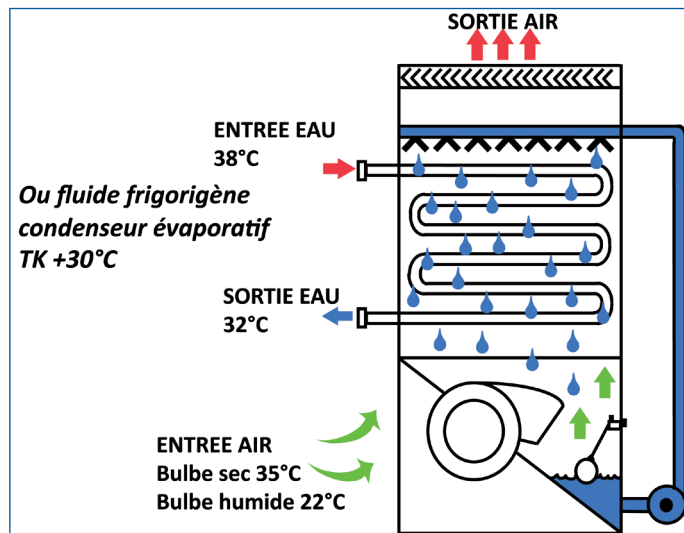


Avantage du système : Pas de consommation d'eau

Inconvénient :

- Température. d'eau ou de condensation élevée ==> augmentation de la puissance absorbée au compresseur
- Débit d'air élevé ==> augmentation de la puissance des moteurs de ventilateurs
- Espace nécessaire à l'installation important

- Aéro-réfrigérant à dispersion d'eau ou condenseur évaporatif (FF)

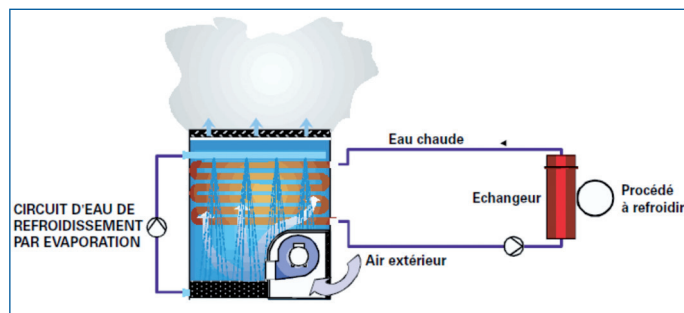


Avantage :

- Permet d'abaisser la température de condensation ==> amélioration des performances de l'installation

Inconvénient :

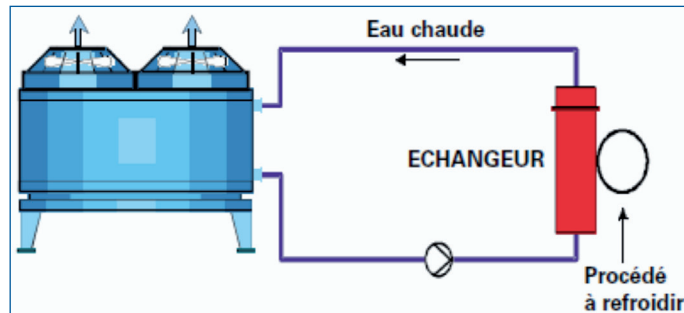
- Consommation d'eau liée à l'évaporation
- Nécessite un entretien très régulier afin d'éviter la propagation dans l'air de légionnelles dangereuses pour la santé humaine



- Réjection de chaleur: Condenseur déporté

Par tour humide :

Par aéro-réfrigérant sec (ou dry-cooler) :



Comparaison de performances entre type de condenseurs :

R717 - Capacité de Refroidissement 1050 kw

|                     | Condenseur Evaporatif | Condenseur à eau+Tour | Condenseur à air |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|
| Temp. Cond. °C      | 30°C                  | 35°C                  | 45°C             |
| Compr. kwe          | 205 kwe               | 236 kwe               | 324 kwe          |
| Rejet chaleur kw    | 1255 kw               | 1286 kw               | 1374 kw          |
| Ventil./Pompe kwe   | 23 kwe                | 32 kwe                | 33 kwe           |
| Puissance total kwe | 228 kwe               | 268 kwe               | 357 kwe          |

#### 1.7.4 - Les bouteilles accumulatrices

Le rôle d'une bouteille accumulatrice de liquide ou (réservoir HP) est d'assurer la bonne alimentation en liquide du ou des détendeur(s) en réduisant le risque de flash gaz\* (\*mélange liquide et de vapeur). Toutefois, le refroidissement complémentaire (ou sous refroidissement) du liquide à la sortie du réservoir est la solution la plus couramment utilisée pour réduire ce risque.

La bouteille accumulatrice a une fonction de stockage du fluide frigorigène non utilisé suite à l'arrêt ponctuel ou continu d'un ou plusieurs évaporateur(s).

#### 1.7.5 - Les détendeurs

Les détendeurs peuvent être de type thermostatique, pressostatique (ou automatique) ou électroniques.

- **Thermostatiques** : Leur rôle est d'alimenter l'évaporateur en regard d'une surchauffe à l'évaporateur. Ils sont dépendants de la pression d'évaporation, du réglage du ressort (surchauffe) et généralement de la pression de condensation, sauf dans le cas particulier des détendeurs à orifice équilibré, dont le mode de fonctionnement permet de s'affranchir de l'influence la pression de condensation. Ceci aura comme conséquence la possibilité de travailler en mode « HP flottante »
- **Détendeurs électroniques** : ils sont de plus en plus couramment utilisés ; leur pilotage se fait par sonde et régulateur, prenant généralement en compte une surchauffe et la température de l'espace à refroidir. L'ouverture et la fermeture de l'orifice de détente sont actionnées par un moteur pas à pas.

## 1.8 Différents types d'installations de production de froid

Circuits mono-étagés avec évaporateur à air ou à eau, en régime noyé

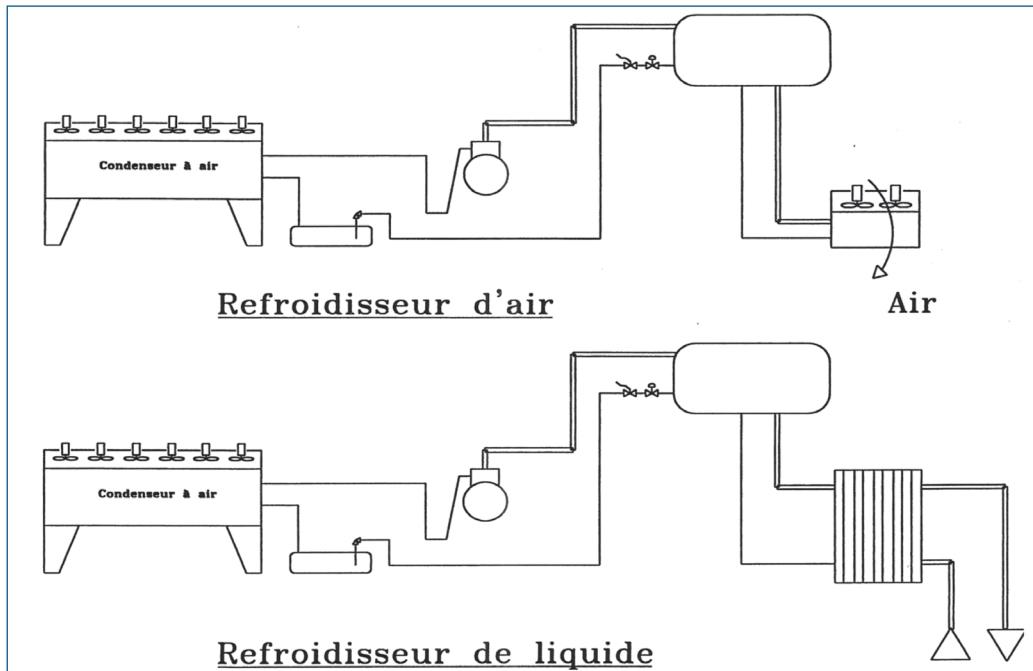
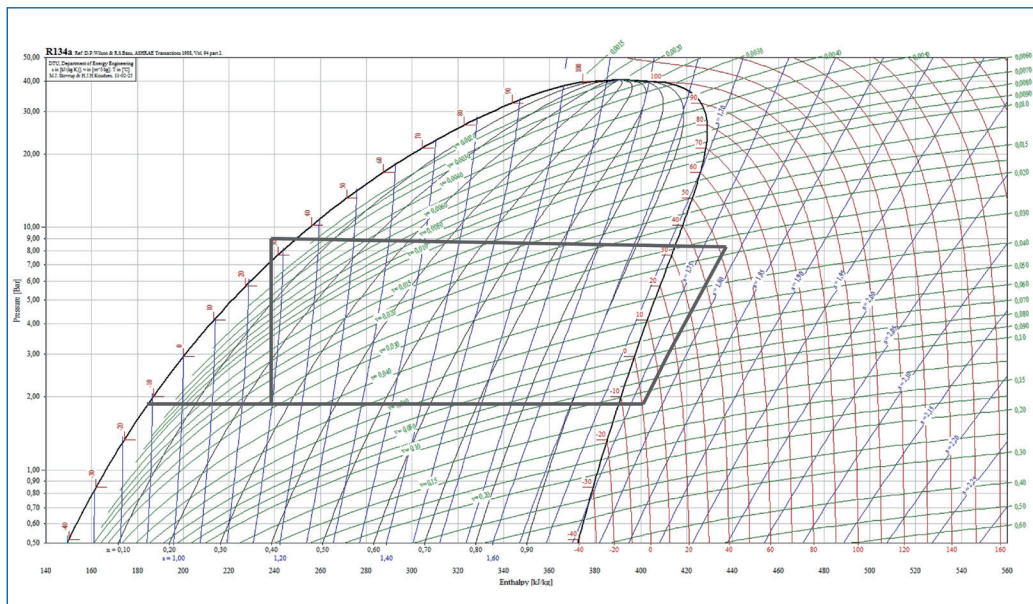


Diagramme associé



Applications :

Industrie agro-alimentaire, process, ...

Avec pompes de circulation de fluide

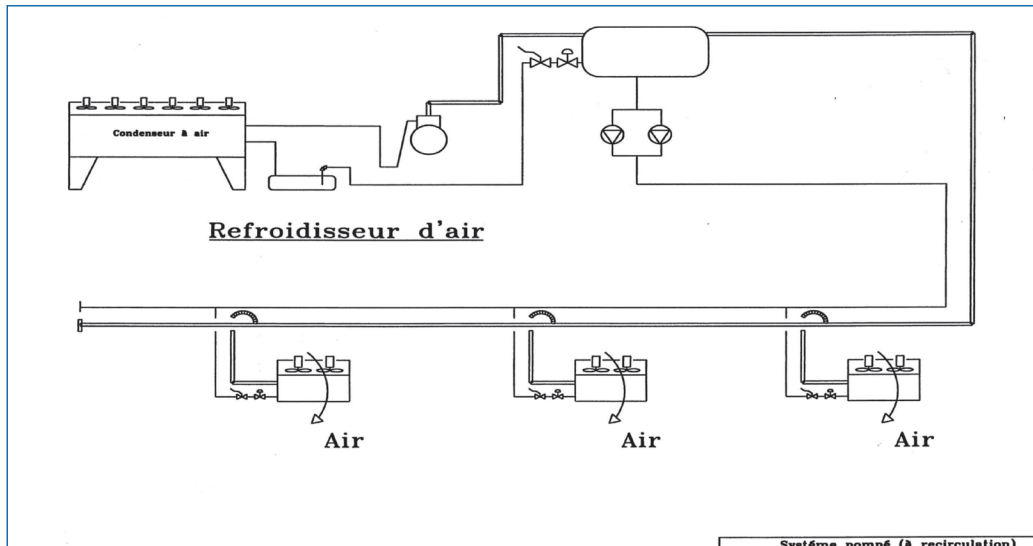
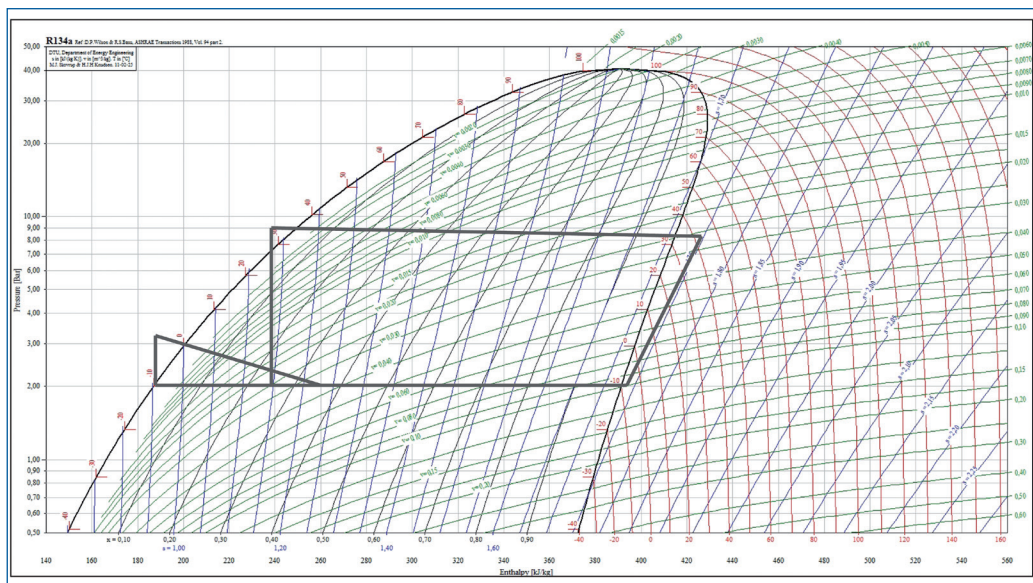


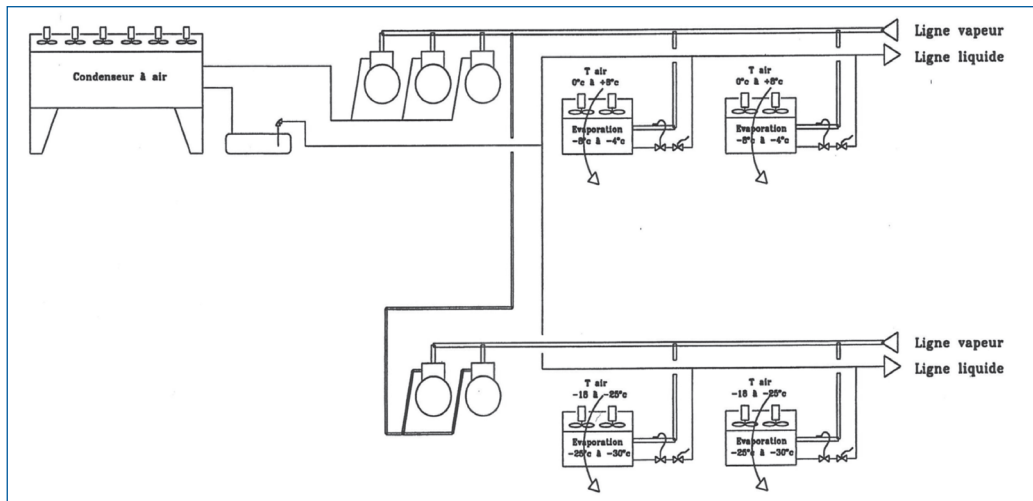
Diagramme associé



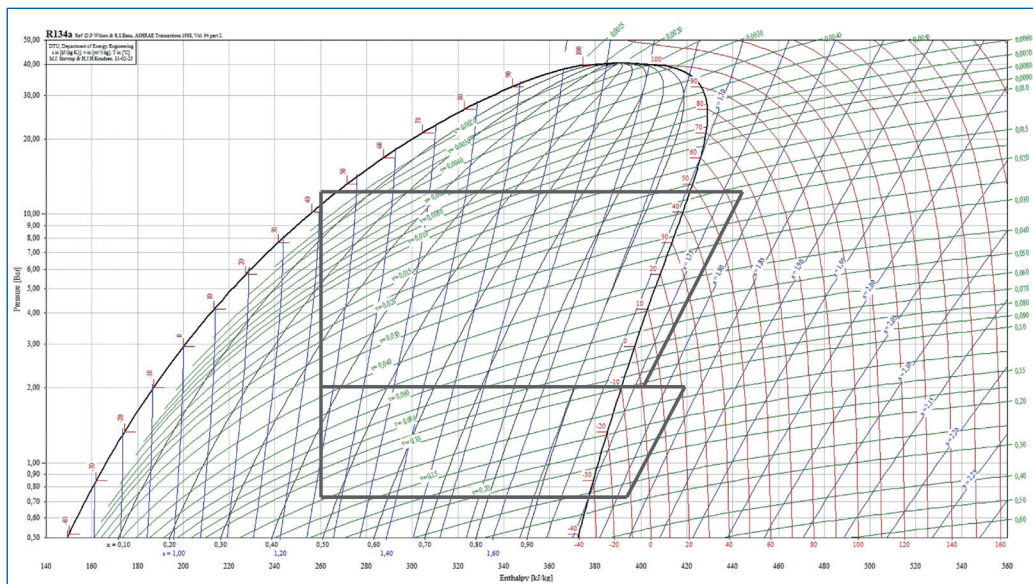
Applications :

Chambres froides, refroidisseurs rapides, surgélateurs, ...

## Chambres froides ou meubles positifs et négatifs à 2 étages de compression



## Diagramme associé



Applications :  
Chambres froides, ...



Le schéma illustre le cycle de réfrigération à compression de vapeur. Le fluide frigorigène circule dans un circuit fermé. Le condenseur, refroidi par l'air ambiant, est relié à un détendeur, puis à un évaporateur qui refroidit l'air à -18 à -25°C. Le fluide retourne ensuite au compresseur. Les températures de l'air sont indiquées à l'entrée et à la sortie de chaque échangeur thermique.

**R134a** Ref: D.P. Wilson & S.C. Beale, *ASHRAE Transactions* 1985, Vol. 94, part 2

17°C: Temperature of Cooling Surface  
 1.5 to 20 kg R134a in 1 m<sup>3</sup> at 17°C, 1 bar (17°C)  
 1.5 to 20 kg R134a in 1 m<sup>3</sup> at 17°C, 1 bar (17°C)

Pressure [bar]

Enthalpy [kJ/kg]

18

Système noyé à condensation par air, avec séparateur et refroidisseur d'huile

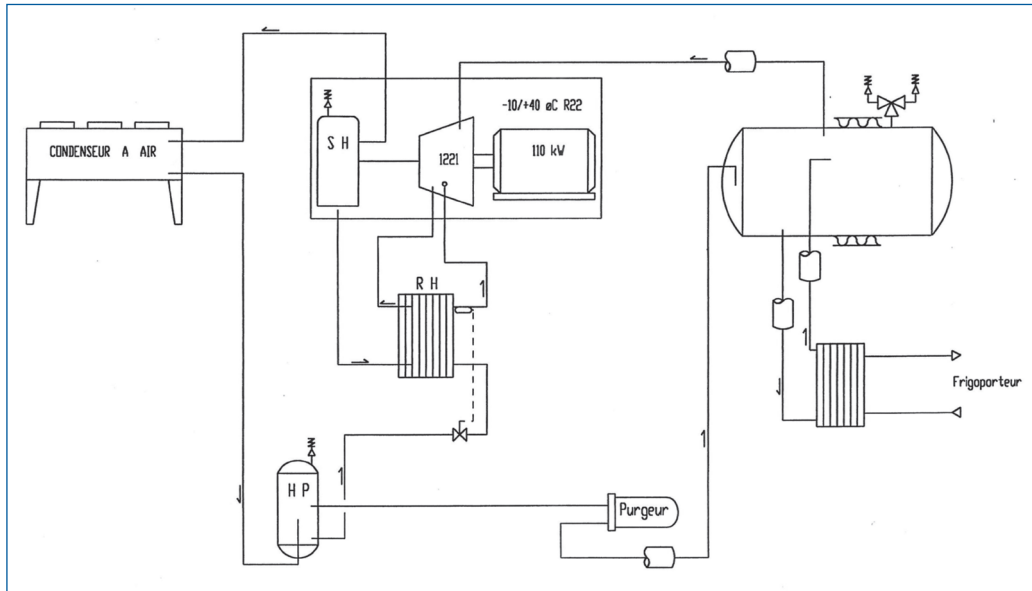
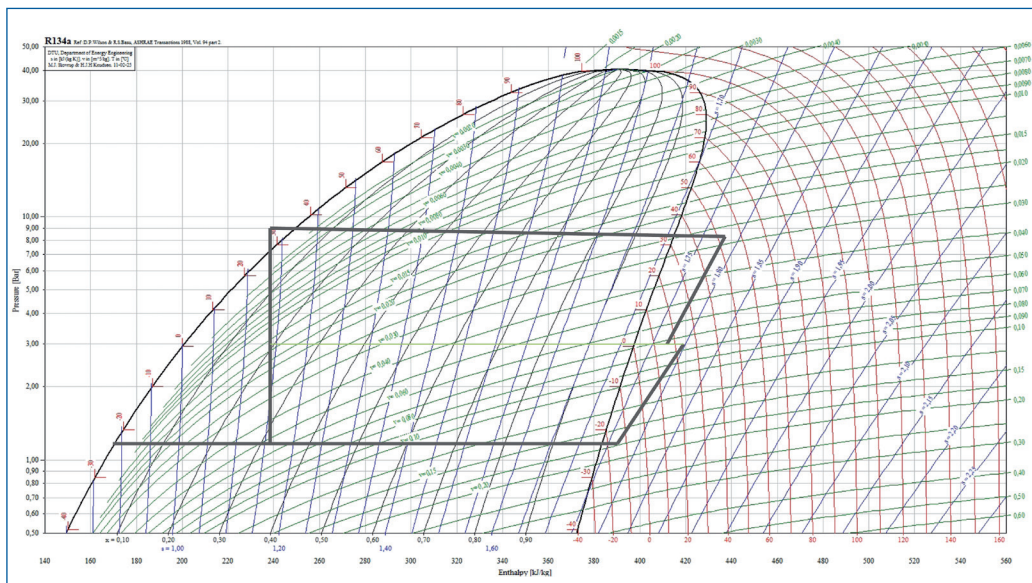


Diagramme associé



Applications :  
Chambres froides, ...



Système noyé à condensation par eau de tour, avec gestion de puissance, et refroidissement d'huile par eau de tour :

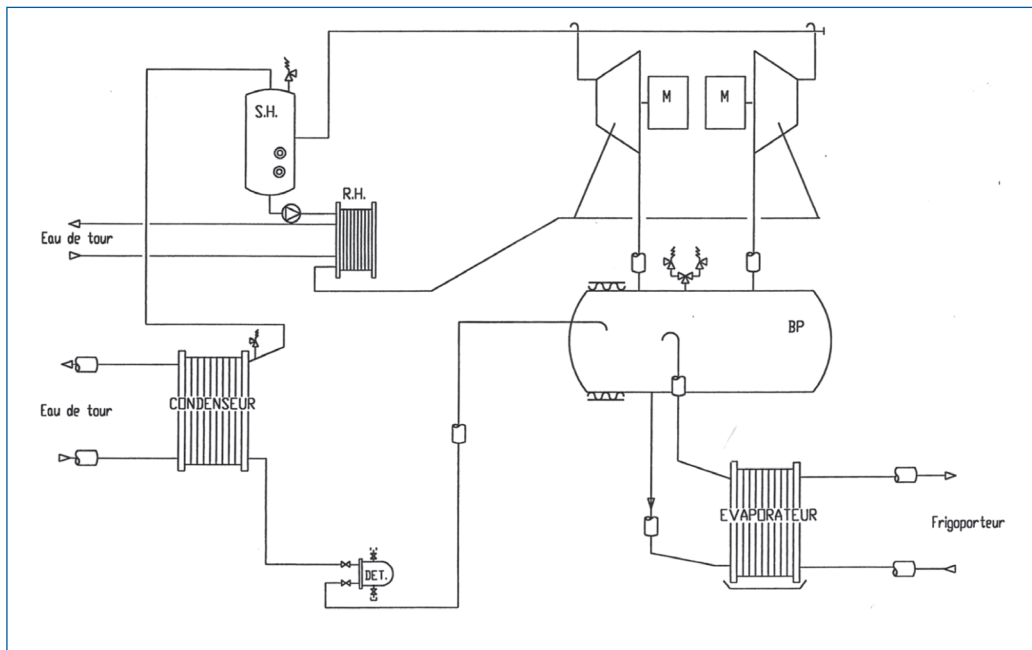
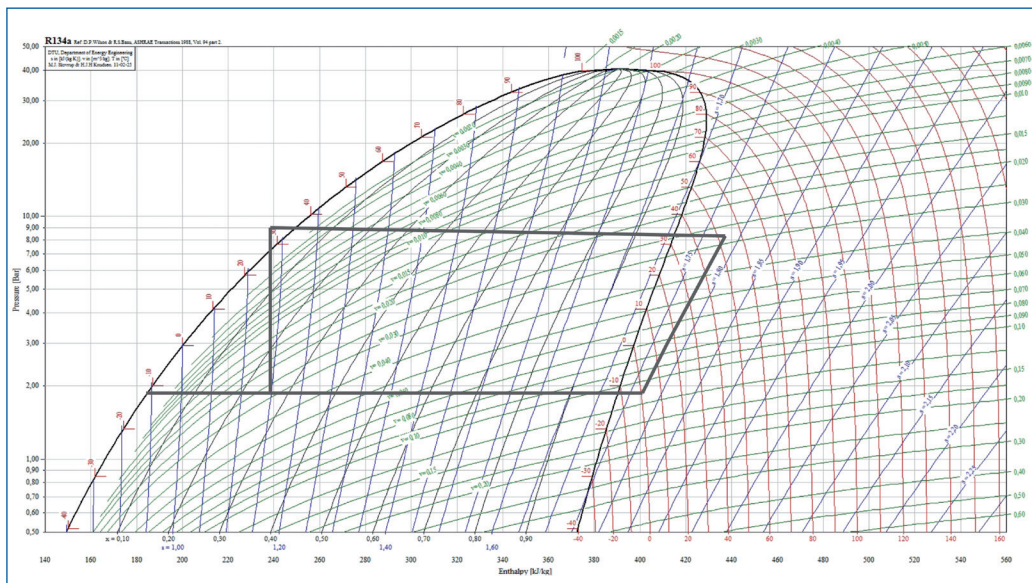


Diagramme associé :



Applications :  
Chambres froides, ...

# CHAPITRE 2

## Méthodes de dimensionnement et formules de calculs

### 2.1 En froid

Le dimensionnement d'un système frigorifique passe d'abord par le calcul de la charge thermique journalière à évacuer dans les conditions les plus défavorables d'utilisation : le bilan thermique.

L'objectif du bilan thermique est le suivant:

- Dimensionner la puissance ou capacité frigorifique et le besoin de puissance électrique adapté
- Dimensionner les matériels et composants, c'est-à-dire le ou les compresseurs, évaporateurs, condenseurs, et la régulation... Il est à noter qu'au travers du dimensionnement de l'évaporateur, c'est aussi la capacité de déshumidification donc le niveau d'humidité relative dans l'espace que l'on définit. Le dimensionnement prend en outre les coûts en considération, à l'investissement mais également à l'exploitation (énergie consommée et maintenance).

Les paramètres d'entrée à prendre en compte:

- Le service rendu (ou attendu), soit la température (°C), l'humidité relative (% HR), homogénéité des conditions à maintenir dans l'espace considéré, que ce soit une chambre froide, un refroidisseur rapide ou un surgélateur.
- Les conditions d'utilisation définies au Cahier des Charges (CCTP) soit, les entrées en masse de produit, les entrées d'air, la ventilation interne, l'éclairage, les process (machine ...)
- L'implantation géographique climatique de l'installation constituant une contraintes sur les espaces : le niveau de température mini et maxi (voire HR% de l'air extérieur), l'altitude, l'ensoleillement, toute contrainte représentant des déperditions par les parois.

Le service rendu, précisé par le Cahier des Charges comporte généralement:

- Température mini/maxi de l'air dans la CF en correspondance avec la nature des produits et éventuellement leur chaleur de respiration (F&L).
- Homogénéité de la température dans la CF (taux de brassage de l'air et vitesse d'air sur le produit)
- Hygrométrie de l'air mini et maxi dans la CF
- Renouvellement d'air neuf dans la CF (par les ouvertures de portes)
- Atmosphère contrôlée : maintien d'un équilibre gazeux dans le volume, notamment pour les pommes...appauvrissement de l'oxygène dans l'air pour réduire le métabolisme et donc le mûrissement, ou ajout de gaz (CO2) spécifique limitant le mûrissement.
- Niveau d'abaissement de la température des produits:
  - Température d'entrée des produits
  - Température de sortie des produits
  - Durée de refroidissement (CF ou RR, SR)

S'y additionnent les charges thermiques liées au personnel, à l'éclairage, la ventilation, ... tous les éléments susceptibles de produire de la chaleur dans le local (process: machines, élévateurs, ...)

Le bilan représente donc le cumul des énergies dégagées en 24 heures, et s'exprime en kJ.

Toutefois, un système frigorifique ne fonctionne pas 100% du temps. Généralement le temps de fonctionnement visé est de 16 heures sur 24, pour tenir compte des temps de dégivrage par exemple.

Puissance frigorifique à installer en kW = Energie produite en 24 heures à retirer en 16 heures, soit :  
= bilan (en kJ/24h) / 16 x 3600, en kW frigo

Une fois l'ensemble des composants de l'installation définis pour fournir la puissance frigorifique nécessaire, la consommation maximale en énergie de l'ensemble peut être approchée.

Il s'agira de relever la puissance absorbée par chacun des constituants de l'installation, et de la rapporter aux 16 heures de fonctionnement.

Energie électrique consommée en kWh =  $\Sigma$  des puissances absorbées x 16\*

\*Ce calcul ne prend pas en compte la fluctuation des apports par les parois ou d'autres éléments changeants du bilan du fait de la variabilité de l'usage de l'équipement. Sur une période annuelle, le plus souvent les conditions sont éloignées de celles du bilan maxi.

L'approche d'un bilan thermique peut être faite à l'aide de l'outil de calcul ANME sous Excel :

### 2.1.1 - La première partie décrit la base des calculs

| Site                                |                |      |
|-------------------------------------|----------------|------|
| Chambre froide négative ou positive |                |      |
| Température intérieure              | °C             | -25  |
| Hygrométrie                         | %              | 50   |
| Volume chambre froide               | m <sup>3</sup> | 1000 |
| Temps fonctionnement compresseur(s) | heures         | 15   |

### 2.1.2 - La deuxième est destinée à la saisie des informations relatives aux apports par les parois

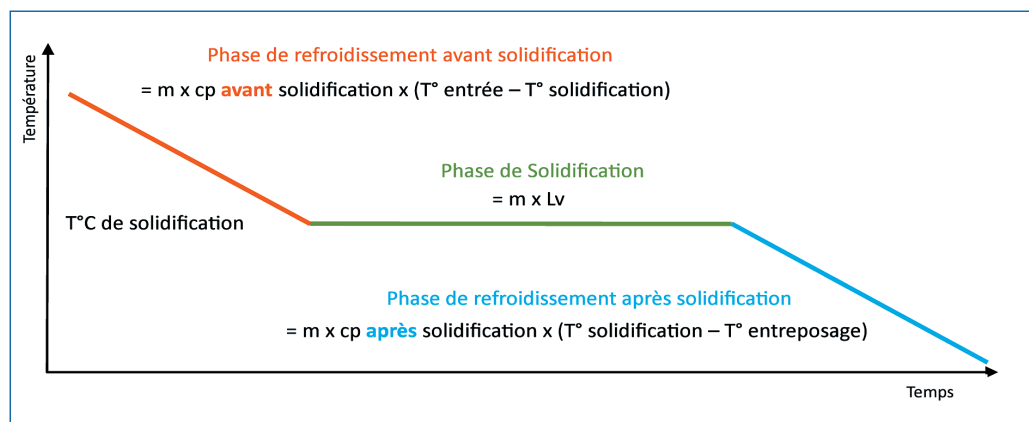
| Apport par les PAROIS |                        |                     |         |
|-----------------------|------------------------|---------------------|---------|
| Murs                  | Longueur               | m                   | 20      |
|                       | Largeur                | m                   | 10      |
|                       | Hauteur                | m                   | 5       |
|                       | Surface                | m <sup>2</sup>      | 295,68  |
|                       | Température extérieure | °C                  | 35      |
|                       | Coef transmission      | w/m <sup>2</sup> .k | 0,133   |
| Porte                 | Surface (totale)       | m <sup>2</sup>      | 4,32    |
|                       | Température extérieure | °C                  | 30      |
|                       | Coef transmission      | w/m <sup>2</sup> .k | 0,2     |
| Plafond               | Surface                | m <sup>2</sup>      | 200,00  |
|                       | Température extérieure | °C                  | 45      |
|                       | Coef transmission      | w/m <sup>2</sup> .k | 0,133   |
| Sol                   | Surface                | m <sup>2</sup>      | 200,00  |
|                       | Température extérieure | °C                  | 15      |
|                       | Coef transmission      | w/m <sup>2</sup> .k | 0,3     |
| Q(kj):                |                        |                     | 576 206 |

NB : les données de coefficient de transmission sont données à titre d'exemple.

### 2.1.3 – Cette troisième partie correspond aux apports par les denrées

elle est constituée de 2 pavés de saisie : refroidissement et surgélation. Seul est à saisir celui répondant à l'usage de la chambre froide, entreposage à température positive, entreposage à température négative, surgélation

Le schéma ci-dessous reprend les différentes phases d'abaissement de température



### Réfrigération

| Apport par les denrées en REFRIGERATION |                                         |         |   |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------|---------|---|
|                                         | Masse (introduite journalièrement)      | kg      | 0 |
|                                         | Cp (avant solidification)               | kJ/kg.k |   |
|                                         | Température d'introduction              | °C      |   |
|                                         | Température de conservation             | °C      |   |
|                                         | Si Fruits-Légumes / Fromage             |         |   |
|                                         | Chaleur de respiration (légumes-fruits) | kJ/kg j |   |
|                                         | Chaleur de fermentation (fromage)       | kJ/kg j |   |
| Q(kj):                                  |                                         |         | 0 |

La partie haute est renseignée dans chaque cas de figure de conservation ; la partie basse dans le cas particulier des fruits & légumes ou du fromage.

Les produits sont introduits à température positive supérieure à leur température de solidification et supérieure à la température d'entreposage, c'est le cas des CF positive ou du refroidissement rapide. Seul est à prendre en compte le calcul « la Phase de refroidissement avant solidification » , soit

$$m \times c_p \text{ avant solidification} \times (T^{\circ} \text{ d'introduction} - T^{\circ} \text{ entreposage})$$

## Froid négatif et Surgélation

| Apport par les denrées en CONGELATION |                                    |         |        |
|---------------------------------------|------------------------------------|---------|--------|
|                                       | Masse (introduite journalièrement) | kg      | 500    |
|                                       | Température d'introduction         | °C      | -10    |
|                                       | Température d'entreposage          | °C      | -25    |
|                                       | Point de congélation               | °C      | 0      |
|                                       | Cp avant solidification            | kJ/kg.k | 3,6    |
|                                       | Cp après solidification            | kJ/kg.k | 1,8    |
|                                       | Lv                                 | kJ/kg   | 2      |
| Q(kJ):                                |                                    |         | 13 500 |

Le phénomène de congélation peut se dérouler sous différentes phases, en fonction de l'état dans lequel les produits arrivent. !!! La formule de calcul sera à adapter à chacun des cas rencontrés.

*Les produits sont introduits à température négative inférieure à leur température de solidification mais supérieure à la température d'entreposage, c'est cas des CF négatives.*

*Seul est à prendre en compte le calcul « la Phase de refroidissement après solidification », soit :*

$$m \times c_p \text{ après solidification} \times (T^{\circ} \text{ d'introduction} - T^{\circ} \text{ entreposage})$$

*Les produits sont introduits à température positive et doivent être surgelés (le point de congélation n'est pas forcément 0°C cf. annexe) jusqu'à une valeur finale souhaitée : cas des surgélateurs rapides, (une chambre froide assure une congélation dont la durée n'est pas maîtrisée ...)*

*Le calcul est alors :*

$$m \times ((C_p \text{ avant solidification} \times (T^{\circ} \text{ d'introduction} - T^{\circ} \text{ de solidification}) + L_v + (C_p \text{ après solidification} \times (T^{\circ} \text{ solidification} - T^{\circ} \text{ finale souhaitée})))$$

Les données relatives aux produits courants peuvent être consultées dans l'annexe 4 du fichier Excel Extrait :

| Denrées            | Température d'entreposage (°C) | Humidité relative (%) | Durée d'entreposage | point de congélation (°C) | Chaleur massique avant la solidification (kJ/kg k) | Chaleur massique après la solidification (kJ/kg k) | Chaleur de congélation (kJ/kg) | Chaleur de respiration (kJ/kg jour) | observations  |
|--------------------|--------------------------------|-----------------------|---------------------|---------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|---------------|
| Légumes            |                                |                       |                     |                           |                                                    |                                                    |                                |                                     |               |
| Artichauts         | -1/0                           | 90-95                 | 1-2 sem             | +1                        | 3,64                                               | 1,88                                               | 280                            |                                     |               |
| Asperges           | 0/+2                           | 95                    | 2-3 sem             | -0,5                      | 3,94                                               | 2,00                                               | 312                            | 11,1                                | très sensible |
| Haricots verts     | +4/+7                          | 90-95                 | 7-10 jours          | -0,7                      | 3,81                                               | 1,97                                               | 298                            | 11,6                                |               |
| Betteraves rouges  | 0                              | 95                    | 3-5 mois            | -1                        | 3,77                                               | 1,92                                               | 293                            | 3,1                                 |               |
| Brocolis           | 0                              | 90-95                 | 10-14 jours         | -0,6                      | 3,85                                               | 1,97                                               | 302                            | 8,7                                 | peu sensible  |
| Choux de Bruxelles | 0                              | 90-95                 | 3-5 sem             | -0,8                      | 3,68                                               | 1,93                                               | 284                            | 6,7                                 |               |
| Choux              | 0                              | 90-95                 | 3-4 mois            | -0,9                      | 3,94                                               | 3,97                                               | 207                            | 1,4                                 |               |
| Carottes           | 0                              | 90-95                 | 4-5 mois            | -1,4                      | 3,75                                               | 1,93                                               | 293                            | 2,4                                 |               |

## 2.1.4 – Apports dus à l'air neuf

| Apport dû au service (renouvellement d'air) |                                                                                  |       |         |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------|---------|
|                                             | Nombre de renouvellement d'air / jour                                            |       | 1,900   |
|                                             | $\Delta h$ de l'air entre l'intérieur et l'extérieur (diagramme de l'air humide) | kJ/kg | 76      |
|                                             | Volume massique de l'air extérieur                                               | m³/kg | 0,85    |
| <b>Q(kJ):</b>                               |                                                                                  |       | 169,882 |

La quantité d'air neuf dans une chambre froide aura d'autant plus d'importance que le volume de celle-ci sera petit. Pour approcher ce volume d'air entrant, 2 approches peuvent être abordées :

- Prendre directement les valeurs de nombre de renouvellement dans le tableau situé en annexe
- Prendre le coefficient relatif au service, en fonction du taux d'ouverture de porte.

Ces données se trouvent de façon indicative en annexe 1 du fichier Excel :

| Annexe 1 : NRA ou apports Air extérieure |                |    |           |                |     |                                           |      |
|------------------------------------------|----------------|----|-----------|----------------|-----|-------------------------------------------|------|
| V CF (m³)                                | Nbre de RA/vol |    | V CF (m³) | Nbre de RA/vol |     | Pour service (nbre d'ouverture de porte): |      |
|                                          | -              | +  |           | -              | +   | faible                                    | x0,6 |
| 2,5                                      | 52             | 70 | 100       | 6,8            | 9   | fort                                      | x1,5 |
| 3                                        | 47             | 63 | 150       | 5,4            | 7   | très fort                                 | x2   |
| 4                                        | 40             | 53 | 200       | 4,6            | 6   |                                           |      |
| 5                                        | 35             | 47 | 250       | 4,1            | 5,3 |                                           |      |

Le calcul ci-dessus se rapporte au volume de la chambre froide renseigné en préambule.

L'écart d'enthalpie est relevé dans le diagramme de l'air humide, ainsi que le volume massique de l'air.

## 2.1.5 – Les apports internes

### Les apports par les personnes

| Apport par les personnels |                                    |        |   |
|---------------------------|------------------------------------|--------|---|
|                           | Nombre de personnes                |        | 0 |
|                           | Puissance dégagée par une personne | w      | 0 |
|                           | Temps de travail                   | heures | 0 |
| <b>Q(kJ):</b>             |                                    |        | 0 |

Ces apports sont relatifs au nombre de personnes présentes, à leur temps de présence et aux conditions de température dans la chambre froide. Ces valeurs se relèvent dans le tableau joint dans l'annexe 2 du fichier Excel :

| Annexe 2 |        |
|----------|--------|
| TCF      | w/pers |
| 10       | 210    |
| 5        | 240    |
| 0        | 270    |
| -5       | 300    |

## Apports par la ventilation

| Apport les ventilateurs |                                              |        |         |
|-------------------------|----------------------------------------------|--------|---------|
|                         | Taux de brassage requis                      |        | 50      |
|                         | Débit volumique requis ventilateurs (totale) | m³/h   | 50000   |
|                         | Pression totale ventilateur                  | Pa     | 250     |
|                         | Puissance d'un ventilateur                   | W      | 5787,04 |
|                         | Temps de fonctionnement                      | heures | 13      |
| <b>Q(kJ):</b>           |                                              |        | 270 833 |

Ce sont les quantités de chaleur apportées par les moteurs de ventilation de l'évaporateur. Elles se basent sur :

le taux de brassage requis, qui rapporté au volume de l'espace calcule le volume

la pression du ventilateur, qui permet de calculer la puissance dégagée.

Les données relatives au taux de brassage et à la pression du ventilateur se trouvent en annexe 3 du fichier Excel :

| Annexe 3 : ventilation interne                               |                  |                      |
|--------------------------------------------------------------|------------------|----------------------|
| Local                                                        | Taux de brassage | Pression totale (Pa) |
| Cf de réfrigération ou de conservation des produits surgelés | 30 à 80          | 200 à 400            |
| Tunnel de péréfrigération                                    | 80 à 100         | 400 à 500            |
| Tunnel de congélation                                        | 150 à 200        | 400 à 600            |
| CF de stockage +                                             | 15 à 30          | 200 à 400            |
| CF de stockage -                                             | 10 à 20          | 200 à 400            |

## Apports par l'éclairage :

| Apport par l'éclairage |                       |        |        |
|------------------------|-----------------------|--------|--------|
|                        | Puissance d'éclairage | w/m²   | 10     |
|                        | Temps                 | heures | 4      |
| <b>Q(kJ):</b>          |                       |        | 28 800 |

## Apports liés au dégivrage par résistance électrique :

| Apport dûs aux dégivrages |                            |        |        |
|---------------------------|----------------------------|--------|--------|
|                           | Puissance d'une résistance | kw     | 3      |
|                           | Nombre de résistance       |        | 1      |
|                           | Temps                      | heures | 3      |
| <b>Q(kJ):</b>             |                            |        | 32 400 |

## Apports par les machines :

| Apport par les machines (chariots électriques, process...) |                     |        |   |
|------------------------------------------------------------|---------------------|--------|---|
|                                                            | Machines            | kw     | 0 |
|                                                            | Coef d'utilisation  | %      | 0 |
|                                                            | Temps d'utilisation | heures | 0 |
| <b>Q(kJ):</b>                                              |                     |        | 0 |

## Apports divers :

Cette ligne permet d'intégrer tout type d'apport supplémentaire qui ne serait pas identifié dans le support.

### 2.1.6 – Le bilan thermique

| BILAN THERMIQUE                             |                 |           |
|---------------------------------------------|-----------------|-----------|
| besoin energie frigorifique total maxi/jour | Q (kj/j):       | 1 091 621 |
|                                             | Q (kwh frigo/j) | 303       |

C'est le total de tous les apports listés ci-dessus. Il donc est exprimé en kilo Joule par jour.

Afin de déterminer la puissance de l'installation sur une durée de fonctionnement choisie, ce bilan est transformé en kWh par jour, soit divisé par 3600 (s/h).

### 2.1.7 – La puissance frigorifique du système

| CALCUL DE CAPACITE OU PUISSANCE FRIGO |                      |    |
|---------------------------------------|----------------------|----|
| Puissance Frigorifique installée      | P frigo (kw frigo) : | 20 |

Elle est l'expression du bilan rapporté au nombre d'heures de fonctionnement choisi, dans l'exemple,  $303 \text{ (kWh/j)} / (15\text{h/j}) = 20 \text{ kW}$

### 2.1.8 – Puissances et énergies consommées

| CALCUL DE CAPACITE OU PUISSANCE FRIGO                                                   |                      |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----|
| Puissance Frigorifique installée                                                        | P frigo (kw frigo) : | 20 |
| Puissance électrique consommée par le compresseur (seul) avec un COP ou EER à midi de : | P electr kw (elect)  | 18 |

1,1

|                                                                                           |                    |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|----|
| Puissance électrique consommée par le compresseur (seul) avec un COP ou EER à minuit de : | P elect (kw elect) | 16 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|----|

1,3

|                                                                                                        |                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----|
| énergie électrique consommée par le compresseur maxi/jour avec un COP ou EER moyen journalier de : 1,2 | énergie elect/j (kwh électrique/j) | 253 |
| Période dans la journée ou le COP est mini                                                             | % h/24h                            | 0,5 |
| Période dans la journée ou le COP est maxi                                                             | % h24h                             | 0,5 |
| chaque jour de l'année voit le COP évolué                                                              |                                    |     |

La puissance électrique consommée est la somme des puissances électriques absorbée par l'ensemble des composants. Celle-ci sera fixe pour les composants électriques ne dépendant pas du régime du fluide, mais sera variable pour le compresseur qui en dépend.

En effet, en fonction des conditions extérieures, le régime de fonctionnement varie, et le COP du compresseur sera également amené à varier.

Le COP énergétique est le rapport de l'énergie frigorifique produite rapporté à la somme des énergies électriques consommées.

On peut approcher cette valeur en prenant en compte l'énergie frigorifique journalière consommée (issue du bilan thermique, en kWh par jour) et en la rapportant au COP moyen estimé dans la journée.

Ce calcul de COP moyen peut être lui-même approché en rapportant les périodes d'utilisation au COP instantané :  $\text{COP maxi} \times \% \text{ temps de fonctionnement maxi} + \text{COP mini} \times \% \text{ temps de fonctionnement mini}$ .



## 2.2 Dimensionnement de la puissance installée en conditionnement d'air : outil RatioClim

Comme en froid, le dimensionnement d'un système passe d'abord par le calcul de la charge thermique à évacuer, **au moment** le plus défavorable : le bilan thermique.

Ceci a pour conséquence, que c'est directement la puissance à mettre en œuvre qui est définie.

L'objectif du bilan thermique est le suivant:

- Dimensionner la puissance de rafraîchissement et le besoin de puissance électrique adapté
- Dimensionner les matériels, c'est-à-dire la production de froid (et/ou de chaud), le système de distribution, le système de diffusion, et la régulation.

Le dimensionnement prend également en compte les coûts à l'investissement et à l'exploitation (énergie consommée et maintenance).

Les paramètres d'entrée à prendre en compte:

- Le service rendu soit la température à maintenir (°C), éventuellement l'humidité relative (% HR), ainsi que l'homogénéité des conditions à maintenir dans l'espace considéré.
- Les conditions d'utilisation définies au Cahier des Charges (CCTP) soit, la structure du bâtiment (parois opaques et vitrages), sa position géographique, l'ensoleillement par les vitrages, le personnel, les charges internes (éclairage, ordinateurs, ...) et enfin, les apports liés à l'introduction d'air neuf hygiénique.

Le bilan représente donc le cumul des puissances émises à un instant donné, et s'exprime en W ou kW.

Le temps de fonctionnement du système sera lié à son mode d'utilisation et la programmation associée. Par exemple, la climatisation d'un immeuble de bureau peut être soumise à une programmation la faisant fonctionner de 8h à 19h, celle d'un cinéma, de 12h à 23h.

Une fois l'ensemble des composants de l'installation définis pour fournir la puissance frigorifique nécessaire, la consommation en énergie de l'ensemble peut être approchée.

Il s'agira de relever la puissance absorbée par chacun des constituants de l'installation, et de la rapporter au temps de fonctionnement.

Energie électrique consommée en kWh =  $\Sigma$  des puissances absorbées x temps de fonctionnement

La vérification d'un bilan thermique peut être approchée de façon simple et synthétique au travers de l'outil informatique : « RatioClim »

Cet outil prend en considération :

- La structure du bâtiment : lourde ou légère
- Le type de vitrage : simple ou double
- Le nombre de façade vitrée : 1, 2 ou 4
- La zone géographique.

\* Sur ce point, il s'agira en Tunisie de choisir systématiquement la zone C.

- L'orientation des façades : chacune des 4 orientations est proposée ; toutefois, pour les cas où 2 façades sont vitrées, le double choix Nord/Sud ou Est/Ouest est à faire. Enfin, dans le cas de 4 façades vitrées, le choix « 4 orientations » est à prendre.
- Le type de vitre : claire, teintée, réfléchissante
- La présence de store : avec ou sans
- L'estimation de la proportion de vitrage sur la paroi opaque : 1/3, 2/3, ou l'ensemble du Mur Extérieur (ME)
- La charge interne du bâtiment : Cette valeur comporte l'ensemble des charges internes, réparties par m<sup>2</sup> de surface climatisée. Cela comprend a minima l'éclairage, les personnes y compris l'air neuf ainsi que tout autre élément générateur de chaleur dans l'ambiance. Par défaut, un minimum de 25 W/m<sup>2</sup> est conseillé.

Lorsque l'ensemble des valeurs a été renseigné, il suffit de cliquer sur le bouton « calculer la charge thermique » pour obtenir un résultat, en W/m<sup>2</sup> de surface considérée.

!!! L'on constate aisément que cet outil est simplifié. Il permet d'avoir un point de vue quant au bilan réalisé lors du dimensionnement et la manière dont a évolué du bâtiment. Un écart conduisant à une anomalie doit par conséquent être suffisamment important, et de 20% minimum.

Exemple de saisie :

|                                                                                          |                |                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|------------------------------|
| Structure du bâtiment                                                                    | lourde         |                              |
| Type de vitrage                                                                          | double         |                              |
| Nombre de façades vitrées                                                                | 2              |                              |
| Zone géographique                                                                        | c              |                              |
| Orientation des façades                                                                  | Est/Ouest      |                              |
| Type de vitre                                                                            | réfléchissante |                              |
| Stores                                                                                   | avec           |                              |
| Estimation de la part de la surface de vitrage par rapport à la surface de mur extérieur | 2/3 ME         |                              |
| Charge interne du bâtiment                                                               | 35             | w/m <sup>2</sup> .k          |
| Charge thermique                                                                         | 84             | w/m <sup>2</sup> de plancher |
| Calculer la charge thermique                                                             |                |                              |

!!! La charge interne se lit en W/m<sup>2</sup>

## CHAPITRE 3

# Les mesures d'optimisation des systèmes frigorifiques

### 3.1 Les moyens utilisables en Froid

Hormis les éléments défaillants générant une surconsommation d'énergie, et dont la réparation a un résultat immédiat, la modification de certains paramètres de fonctionnement peut avoir une conséquence importante sur cette consommation puisque son action s'inscrit dans le temps.

Il s'agit essentiellement de :

- HP flottante
- BP flottante
- variation de vitesse compresseurs, des ventilateurs, des pompes
- moteurs à commutation électronique pour ventilateurs
- compresseurs performants
- systèmes Economiseur (injection partielle...)
- sous refroidissement du liquide
- échangeurs surdimensionnés
- gestion du fonctionnement à charge partielle
- Et aussi récupération de chaleur

#### 3.1.1 – La HP Flottante

Il s'agit d'adapter la pression de condensation en fonction de l'évolution des températures du médium de refroidissement, c'est-à-dire en général la température de l'air.

En effet, la réduction du taux de compression entraîne une réduction très sensible de la puissance absorbée. Cette application aura sa raison d'être essentiellement en hiver, en mi-saison voire la nuit en été.

#### ENTRE + 45°C ET + 20°C, LE COP DOUBLE

Avantages généraux du système :

- -1°C gain sur condensation ==> gain de 2.5% de kWh environ
- gain varie de 15% à 35% selon amplitude variation de température d'air
- 30% sur compresseur ==> 20% sur installation

Application au travers de l'outil de dimensionnement sur le fichier Excel :

A partir du logiciel de sélection du fabricant de compresseur, les paramètres de fonctionnement de l'installation sont renseignés. Le logiciel donne les caractéristiques de puissance fournie et absorbée, en fonction des pressions de condensation.

Ces paramètres sont renseignés sur les lignes 123, 124 et 125. Il s'agit de la configuration avant mis en place du procédé.

| système frigorifique | saison de 4 mois | température moyenne de l'air | température de condensation   | température d'évaporation | température liquide avant détendeur |
|----------------------|------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
|                      | saison           | °C                           | °C saturante lue au manomètre |                           | °C mesurée                          |
| système ref 1        | été              | 35°C                         | 45°C                          | -15°C                     | 40                                  |
|                      | mi-saison        | 20°C                         | 35°C                          | -15°C                     | 30                                  |
|                      | hiver            | 10°C                         | 35°C                          | -15°C                     | 30                                  |
| global annuel        | année            |                              |                               |                           |                                     |

| COP froid<br>ou E (E) R | temps de<br>fonctionnement<br>du compresseur | temps de<br>fonctionnement<br>du compresseur | calcul du<br>nombre<br>d'heure de<br>fonctionnement | puissance<br>ou capacité<br>frigo | energie<br>frigorigique<br>produite (et<br>utilisée ou<br>gaspillée) |
|-------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
|                         | % heure/jour                                 | % fonct/an                                   | heures/saison                                       | kw frigo                          | kwh frigo/saison                                                     |
| 1,79                    | 66%                                          | 45%                                          | 1900,8                                              | 20,6                              | 39159                                                                |
| 2,38                    | 50%                                          | 34%                                          | 1440                                                | 25,6                              | 36864                                                                |
| 2,38                    | 30%                                          | 21%                                          | 864                                                 | 25,6                              | 22118,4                                                              |
| <b>2,11</b>             |                                              |                                              | <b>4204,8</b>                                       |                                   | <b>98139</b>                                                         |

| puissance électrique<br>consommée par le<br>compresseur | énergie électrique<br>par saison | performance<br>énergétique par<br>saison | cout d'exploitation |        |
|---------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------|---------------------|--------|
| kw elect                                                | kwh elec                         | kwh frigo/kwh elect                      | Dinars/kwh          | Dinars |
| 11,53                                                   | 21 916                           | 1,79                                     | 0,12                | 2,630  |
| 10,78                                                   | 15 523                           | 2,37                                     | 0,12                | 1 863  |
| 10,78                                                   | 9 314                            | 2,37                                     | 0,12                | 1 118  |
|                                                         | 46 753                           | 2,10                                     |                     | 5 610  |

L'opération suivante consiste à modifier ces paramètres en prenant en compte l'installation d'un système de HP Flottante (lignes 140, 141 et 142) :

| système<br>frigorigique | saison de 4 mois | température<br>moyenne de l'air | température de<br>condensation | température<br>d'évaporation | température liquide<br>avant détendeur |
|-------------------------|------------------|---------------------------------|--------------------------------|------------------------------|----------------------------------------|
|                         | saison           | °C                              | °C saturante lue au manomètre  |                              | °C mesurée                             |
| système ref 1           | été              | 35°C                            | 45°C                           | -15°C                        | 40                                     |
|                         | mi-saison        | 20°C                            | 30°C                           | -15°C                        | 25                                     |
|                         | hiver            | 10°C                            | 20°C                           | -15°C                        | 15                                     |
| global annuel           | année            |                                 |                                |                              |                                        |

| COP froid<br>ou E (E) R | temps de<br>fonctionnement<br>du compresseur | temps de<br>fonctionnement<br>du compresseur | calcul du<br>nombre<br>d'heure de<br>fonctionnement | puissance<br>ou capacité<br>frigo | energie<br>frigorigique<br>produite (et<br>utilisée ou<br>gaspillée) |
|-------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
|                         | % heure/jour                                 | % fonct/an                                   | heures/saison                                       | kw frigo                          | kwh frigo/saison                                                     |
| 1,79                    | 59%                                          | 47%                                          | 1711                                                | 20,6                              | 35241                                                                |
| 2,73                    | 43%                                          | 34%                                          | 1246                                                | 28,1                              | 35020,8                                                              |
| 3,66                    | 23%                                          | 18%                                          | 668                                                 | 33,1                              | 22118,4                                                              |
| <b>2,46</b>             |                                              |                                              | <b>3625</b>                                         |                                   | <b>92380</b>                                                         |

| puissance électrique consommée par le compresseur | énergie électrique par saison | performance énergétique par saison | cout d'exploitation |        |
|---------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|---------------------|--------|
| kw elect                                          | kwh elec                      | kwh frigo/kwh elect                | Dinars ou €/kwh     | Dinars |
| 11,53                                             | 19 725                        | 1,79                               | 0,12                | 2 367  |
| 10,30                                             | 12 837                        | 2,73                               | 0,12                | 1 540  |
| 9,04                                              | 6 041                         | 3,66                               | 0,12                | 725    |
|                                                   | 38 602                        | 2,39                               |                     | 4 632  |

Dans ce cas de figure, l'économie d'énergie se porte à 17% sur l'année.

Sa mise en place pratique nécessite l'installation :

- une sonde de pression,
- une sonde de température extérieure et de température de liquide HP,
- un régulateur et des lois de régulation.

A partir de la sonde extérieure on calcule la température de condensation et on compare à la valeur de la sonde de pression (recherche d'un  $\Delta T$  de l'ordre de 8K).

Il sera nécessaire de contrôler le débit du détendeur (débit volumique varie avec  $dp^{1/2}$ ...)

Son prix varie de 3000 à 10000 euros, le temps d'amortissement peut être inférieur à 2 ans selon la taille de l'installation.

**La même opération de calcul peut se faire en modifiant les paramètres relatifs à toute opération envisagée et ainsi mesurer la portée et la rentabilité qu'aura la mise en place de cette opération.**

#### Autres opérations conduisant à une meilleure gestion de la pression de condensation :

- Réduction de la température de consigne de condensation
- Ajout d'un condenseur sec ou remplacement du condenseur par un condenseur plus grand
- Remplacement du condenseur à air par un condenseur évaporatif

### 3.1.2 – La BP flottante

Dans ce cas, c'est la basse pression qui est laissée « libre » à l'adaptation du process. Il s'agit donc de permettre une remontée de la température d'évaporation, donc réduire le taux de compression et améliorer le COP

- 1°C de gain en évaporation ==> 2.5 à 4% de gain de consommation

Mais il doit être pris en compte les postes les plus sensibles sur un système centralisé et la nécessité des remontées d'information depuis les postes de froid. De plus, l'amplitude de variation de température est limitée (2 à 4°C max.) et la relation avec les besoins de froid par exemple Jour/Nuit peut être appliquée.

#### Autres opérations conduisant à une meilleure gestion de la pression d'évaporation:

- Si BP fixe relèvement de la température d'évaporation 1K par 1K en situation de besoin maxi
- Relèvement de la température de consigne de 1K

### 3.1.3 – Opérations portant sur le sous-refroidissement :

Le sous-refroidissement, non seulement assure la bonne alimentation du détendeur en liquide, mais participe à augmenter l'efficacité frigorifique. Ceci peut être amélioré par :

- La mise en place d'un sous refroidisseur de liquide pour les CF négatives (le sous refroidissement est alors assuré par une production frigo positive)
- L'isolation éventuelle des conduites de liquide si celles-ci sont installées dans des combles

### 3.1.4 – La variation de vitesse

Sur de nombreuses machines, la variation de vitesse par variation de fréquence permet d'améliorer les performances en charge thermique partielle, ce qui est le cas de toutes les installations.

- Le gain énergétique varie de 10 à 25%
- Le variateur de vitesse sert à un démarrage progressif (intensité de démarrage réduite)
- Les régimes transitoires et vibratoires sont éliminés au maximum
- Le coût est d'environ 200 euros par kW électrique (en fonction de la puissance du moteur).

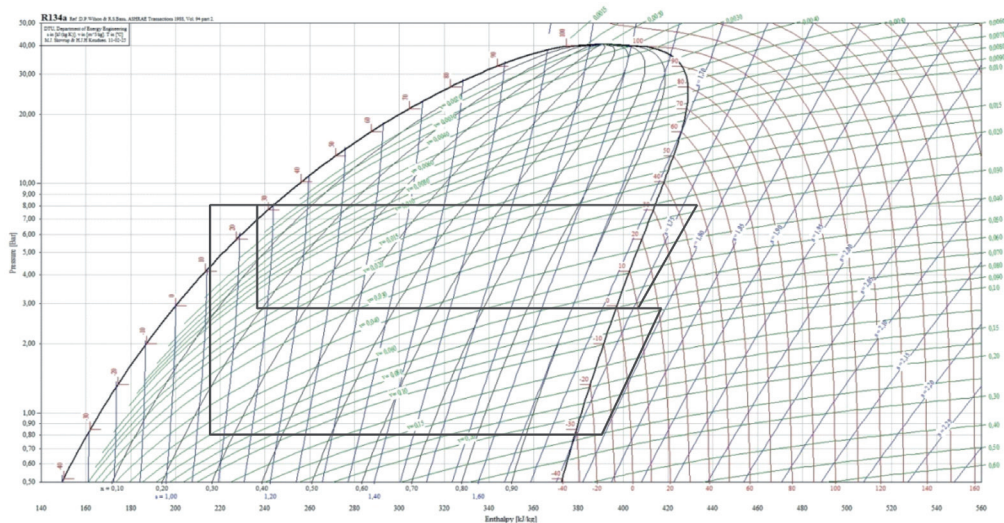
Si le système est d'ores et déjà équipé de réduction de puissance, vérifier la performance du compresseur au régime de fonctionnement (vis, piston).

### 3.1.5 - Système économiseur

Il permet d'augmenter la puissance frigorifique de 10 à 50% selon le fluide et le taux de compression, et limite dans le même temps les puissances absorbées.

- Le gain de COP va de 8 à 35%
- Il s'utilise souvent en régime basse température mais le gain énergétique mérite une installation systématique
- Il est courant sur les compresseurs à vis

**Schématisation :**



### 3.1.6 – Récupération de chaleur de réjection

La quantité de chaleur récupérable, comme la puissance peuvent représenter tout ou partie de la chaleur de condensation (chaleur latente de condensation = 80% de la chaleur rejetée ; désurchauffe = 20%).

Son niveau de Température sera toutefois variable.

En effet, elle sera faible, si la récupération se fait sur la chaleur latente de condensation, mais élevée, si elle est réalisée sur la désurchauffe des gaz de refoulement.

Si les besoins de chaleur sont discontinus, il est intéressant de prévoir un stockage sensible, par l'usage de réserve d'eau.

## 3.2 Les moyens utilisables en climatisation

Hormis les éléments défaillants générant une surconsommation d'énergie, et dont la réparation a un résultat immédiat, la modification de certains paramètres de fonctionnement peuvent avoir une conséquence importante sur cette consommation.

Il s'agit essentiellement de :

- Les températures de soufflage ou de production d'eau glacée. Les bénéfices seront les mêmes qu'un relèvement de BP.
- Paramétrage de la GTC ==> Gestion des temps de fonctionnement ainsi que des paramètres généraux de consigne.
- Paramétrage des commandes individuelles
- Positionnement des sondes de reprise et/ou d'ambiance
- Traitement d'air neuf avec un échangeur double flux
- Contacts de feuilures sur les ouvrants
- Détecteurs de présence

## CHAPITRE 4

# Les éléments d'exploitation et de diagnostic d'une installation existante

### 4.1 Les éléments et les grandeurs à prendre en compte et à diagnostiquer

Ce seront tous les éléments qui permettront de constater le bon ou mauvais fonctionnement de l'installation.

- Nature du fluide frigorigène utilisé
- Températures et pressions d'utilisation
- Mode de régulation
- Intensités et puissances consommées par les moteurs (en regard des données constructeurs)

Pour cela, il sera nécessaire avant toute chose de connaître la finalité de l'installation, son concept, sa puissance et ses conditions de fonctionnement.

C'est de ce point de départ théorique que les points de fonctionnement optimaux seront déduits.

A la suite de cette approche préalable, une visite du site est envisagée afin de vérifier les éventuels écarts avec l'approche théorique. C'est également à ce moment là que les points d'amélioration potentielle sont recherchés :

- Examen visuel des équipements de production, de distribution et de diffusion du froid
- Examen des moyens de mesure, de contrôle et d'alarme dont est équipé le système
- Recueil des suivis de maintenance

#### L'examen visuel

Il porte sur l'ensemble des éléments constitutifs de l'installation, quant à leur état et leur mode d'utilisation. Par exemple, ce pourra être l'état de l'isolation des tuyauteries, l'encrassement du condenseur, le dimensionnement d'un évaporateur, le niveau des pressions réelles de fonctionnement, le paramétrage des plages de fonctionnement en conditionnement d'air, ...



## 4.2 Le déroulement de l'expertise en 2 phases :

- Etats des lieux sur site
- Rapport d'expertise

### • Phase 1. Etat des lieux :

Avant toute chose, il est nécessaire d'obtenir des renseignements préalables au déplacement.

Ces éléments permettront :

- \* d'évaluer le temps ouvré de la visite sur site, qui peut être de ½ jour à plusieurs jours selon la taille du site et de la complexité de l'installation et de son ancienneté,
- \* de connaître la typologie du matériel :
  - taille de l'installation,
  - architecture (DD, froid indirect),
  - présence d'une GTC (traçabilité),
  - mode de compression et nombre de compresseur (vis, piston)

Pour ce faire, l'expert adresse le questionnaire préalable à son référent technique avant l'expertise sur site : l'outil Froid – questionnaire préalable fourni dans le CDRom

| ANME                                                                                                                           | Questionnaire premier niveau Etat des lieux                         | Ex C Mise à jour<br>le 10 novembre<br>2011 page 1/1 |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------|
| Question                                                                                                                       | aide à la formalisation de la réponse                               | Réponse                                             |       |
| Localisation du site                                                                                                           | cocher la localisation ou outre préciser                            | ZI, ZA/<br>centre<br>ville                          | Rural |
| fiches de contrôle d'étanchéité pour chaque installation                                                                       | copie des documents avec indication recharges réalisées sur l'année | doc réglementaire                                   |       |
| quantité de fluide achetée par an en moyenne                                                                                   | kg                                                                  |                                                     |       |
| nature des conduites de fluide frigorigène                                                                                     | cuivre/acier                                                        |                                                     |       |
| <b>si production du froid centralisé</b>                                                                                       |                                                                     |                                                     |       |
| Nature du fluide                                                                                                               | R... et Qte dans l'installation en Kg                               |                                                     |       |
| type compression                                                                                                               | cocher le type                                                      | piston                                              | vis   |
| marque des compresseurs                                                                                                        | exemple : Copeland, Bitzer, Sabroe, Grasso...                       |                                                     |       |
| nombre de compresseur                                                                                                          | 1,2,3,4...                                                          |                                                     |       |
| modèle du ou des compresseurs                                                                                                  | ref. constructeur lire plaque signalétique sur compresseur          |                                                     |       |
| <b>Decriptif chambre froide</b>                                                                                                |                                                                     | m³                                                  | °C    |
| volume réfrigéré                                                                                                               | m³ et °T de conservation                                            |                                                     |       |
| nombre d'évaporateur dans la chambre froide                                                                                    | 1,2,3,4...                                                          |                                                     |       |
| volume réfrigéré                                                                                                               | m³ et T° de conservation                                            |                                                     |       |
| <b>si production du froid décentralisée une production du froid par volume réfrigéré (chambre froide positive ou négative)</b> |                                                                     |                                                     |       |
| type compression                                                                                                               | cocher le type                                                      | piston                                              | vis   |
| marque des compresseurs                                                                                                        | exemple : Copeland Bitzer...                                        |                                                     |       |
| modèle du ou des compresseurs                                                                                                  | ref. constructeur lire plaque signalétique sur compresseur          |                                                     |       |
| volume réfrigéré                                                                                                               | m³ et °T de conservation                                            |                                                     |       |
| Nature de fluide                                                                                                               | R... Ex R22 et Qté dans l'installation en kilogramme                |                                                     |       |
| nombre d'évaporateur dans la chambre froide                                                                                    | 1,2,3,4...                                                          |                                                     |       |
| type compression                                                                                                               | cocher le type                                                      | piston                                              | vis   |
| marque des compresseurs                                                                                                        | exemple : Copeland Bitzer                                           |                                                     |       |
| modèle du ou des compresseurs                                                                                                  | ref. constructeur lire plaque signalétique sur compresseur          |                                                     |       |
| volume réfrigéré                                                                                                               | m³ et °T de conservation                                            |                                                     |       |
| nature du fluide                                                                                                               | R... Ex R22 et Qté dans l'installation en kilogramme                |                                                     |       |
| nombre d'évaporateur dans la chambre froide                                                                                    | 1,2,3,4...                                                          |                                                     |       |

Il est indispensable d'indiquer au préalable au référent technique désigné par l'entreprise, les 2 étapes suivantes pour s'assurer de l'accès aux données d'entrées.

La visite sur site se déroule en 2 étapes, l'une à la suite de l'autre:

- Première étape (1/2 j à minima):

Visite globale du site et **prise en compte des services rendus et des conditions** l'exploitation, demander la facture d'électricité.

- Seconde étape (1/2 j à minima):

- Procéder aux constats fonctionnels sur les équipements en fonctionnement :
  - \* Visite de la salle des machines
  - \* Des condenseurs en place en terrasse généralement
  - \* Des chambres froides
- Demander à lire les fiches d'intervention de maintenance (elles contiennent parfois des informations qui éclairent sur les conditions fonctionnelles)
- Procéder à la lecture des éléments de traçabilité de la GTC pour connaître :
  - \* Les conditions de fonctionnement des installations et les temps de fonctionnement pour les conditions maximales et minimales (été, mi-saison, hiver);
  - \* si nécessaire prendre des copies écran pour permettre l'analyse à posteriori.

**Nota important** : lors de votre état des lieux, il est préférable de ne pas porter un jugement de valeur, l'état des lieux impose de poser des questions et non d'apporter des réponses « à chaud » sans le recul de la réflexion. Le rapport d'expertise est la pour cela.

Si les données de temps de fonctionnement sont inexistantes, il sera nécessaire de mettre en place une lecture des compteurs horaires avec le référent technique. Toutefois ces données restent une photo de situation et non une indication sur les périodes passées.

Les matériels nécessaires à l'expert sont à minima : l'appareil photo numérique, une clef USB, thermomètre, manomètres (si l'installation n'est pas équipée), selon le contexte : pince ampère-métrique, et dans certains cas un Wattmètre peut être envisagé avec toutefois ses limites d'usage.

Usages des équipements de mesure de l'expert :

- **L'appareil photo numérique**, permet d'apporter la preuve de certains constats et d'inclure des photos dans le rapport
- **Une clef USB**, permet de collecter les données issues de la GTC ou de copie écran de situation pour apporter la preuve du constat
- **Thermomètre**, celui-ci devra être étalonné (glace fondante pour les applications en température positive) permet de vérifier les indications de température des chambres froides ou de certains paramètres de fonctionnement en terme de constat sur l'installation : surchauffe d'aspiration du compresseur, sous refroidissement,
- **Manomètres**, permet de mesurer le régime de fonctionnement du compresseur, dans la mesure où l'installation n'en est pas équipée. Il existe des dispositifs capables d'enregistrer les valeurs de pression sur une période 24 heures ou plus.

- **Pince ampère-métrique**, elle permet de mesurer l'intensité consommée d'un compresseur ou d'une pompe
- **Wattmètre**, au même titre que la pince ampère-métrique il permet la mesure réelle d'une puissance électrique consommée voire d'une consommation sur 24 ou 48 h. Une telle procédure est envisageable après la livraison du rapport d'expertise au moment de la mise en place des recommandations (mesure avant et après la mise en place des recommandations)
- **Sécurité** : L'utilisation d'une pince ampère-métrique et d'un Wattmètre impose à l'expert de posséder une habilitation électrique et d'être désigné par le chef d'établissement.

## • Phase 2: le RAPPORT d'expertise - Analyse et Diagnostic

Il se base sur les données collectées et l'état des lieux pour établir les dossiers suivants, distincts les uns des autres.

### Contenu du rapport d'expertise

Il comporte

#### En introduction

- La présentation de l'entreprise,
- Le rappel de la demande et des objectifs visés en Economie d'Energie
- Indication du nom du référent technique désigné par l'entreprise
- La méthode initialement envisagée, les moyens mis en œuvre et le nom de l'expert

### Chapitre 1 : Etat des lieux

- le déroulement de la visite sur site :
  - Date de la visite sur site
  - Lieux
  - Personnes rencontrées
- Description de l'installation sur la base de l'état des lieux, en terme :
  - De services rendus
  - D'architecture des circuits
  - De nomenclature des installations (compléter le listing reçu)
  - De synoptique des installations (le cas échéant notamment pour les IAA)
  - Les photographies précisant les constats
  - Les indications des valeurs lues sur la GTC

Le contenu de ce chapitre ne doit pas apporter de jugement.

### Chapitre 2 : Analyse et Diagnostic

Reprenant chaque point du chapitre précédant l'expert analyse la situation existante, argumente ses avis, et propose les solutions applicables visant les EE.

Celles-ci concernent :

- Les équipements,
- La régulation en termes de réglage ou de modification
  - HP flottante,
  - BP flottante...,
- Ou des pratiques de travail du personnel d'exploitation.

Cela peut prendre la forme d'un tableau de synthèse comportant les informations suivantes :

| Description de l'installation |          |             |                 |
|-------------------------------|----------|-------------|-----------------|
| Utilisation                   |          |             |                 |
| Architecture                  |          |             |                 |
| Capacité frigo                |          |             |                 |
| Éléments                      | Constats | Explication | Recommandations |
| Régulation Cp 1               |          |             |                 |
| Régulation Cp 2               |          |             |                 |
| Régulation Cp 3               |          |             |                 |
| Régulation Cp 4               |          |             |                 |
| HP                            |          |             |                 |
| BP Evap 1                     |          |             |                 |
| BP Evap 2                     |          |             |                 |
| BP Evap 3                     |          |             |                 |
| BP Evap 4                     |          |             |                 |
| $\tau$ de compression         |          |             |                 |
| Désurchauffe                  |          |             |                 |
| Sous-refroidissement          |          |             |                 |
| ...                           |          |             |                 |

### Chapitre 3 : Calculs des EE

Il s'agit de prendre en compte les solutions proposées au chapitre 2, d'évaluer les économies réalisables, et d'estimer les dépenses nécessaires à leur mise en place.

Le temps de retour sur investissements est appréhendé.

Un tableau indique pour l'installation concernée :

| Description de l'installation |                 |                         |                 |                                     |
|-------------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|-------------------------------------|
| Utilisation                   |                 |                         |                 |                                     |
| Architecture                  |                 |                         |                 |                                     |
| Capacité frigo                |                 |                         |                 |                                     |
| Éléments                      | Recommandations | Economies envisageables | Investissements | Temps de retour sur investissements |
| Régulation Cp 1               |                 |                         |                 |                                     |
| Régulation Cp 2               |                 |                         |                 |                                     |
| Régulation Cp 3               |                 |                         |                 |                                     |
| Régulation Cp 4               |                 |                         |                 |                                     |
| HP                            |                 |                         |                 |                                     |
| BP Evap 1                     |                 |                         |                 |                                     |
| BP Evap 2                     |                 |                         |                 |                                     |
| BP Evap 3                     |                 |                         |                 |                                     |
| BP Evap 4                     |                 |                         |                 |                                     |
| $\tau$ de compression         |                 |                         |                 |                                     |
| Désurchauffe                  |                 |                         |                 |                                     |
| Sous-refroidissement          |                 |                         |                 |                                     |
| ...                           |                 |                         |                 |                                     |

**Conclusion :**

Formuler **une conclusion à destination du chef d'établissement** qui reprend en synthèse l'état des lieux, l'analyse, les propositions, les dépenses, le temps de retour.

Déroulé :

- Rédaction du rapport provisoire
- Présentation du rapport d'expertise provisoire
- Rédaction du rapport d'expertise définitif

## CHAPITRE 5

### La Maintenance

La maintenance est normalement réalisée sur la base d'un référentiel de fonctionnement. Elle peut être de trois types.

#### Type 1 : Entretien courants

Ce sont les actions ou contrôles prévues à intervalles prédéfinies, tels :

- Dépoussiérage des échangeurs de chaleur :
  - condenseur à air,
  - évaporateurs,
  - frigorifères,
- Le resserrages des cosses électriques...

#### Type 2 : Entretien préventif, d'ordre

- Réglementaires:
- Contrôle d'étanchéité du circuit,
- DESP
- Fonctionnelles:
- Lecture des traçabilités fonctionnelles
  - du service rendu (T,HR..)
  - des régimes de fonctionnement (Tk, TO..),
- mesure de l'acidité de l'huile dans le circuit,
- corrosion,
- bruit,
- étalonnage des sondes.

#### Type 3 : Entretien curatif (dépannage)

Ce sont les actions déclenchées par la survenance d'un événement ou d'une alarme, comme déclenchement d'un seuil de détection de fuite de fluide, d'un pressostat de sécurité etc....

La maintenance suppose un certain nombre préalable d'éléments connus, et des suivis dans le temps. Ce sont les documents joints dans le CDRom « fiches carnet d'entretien maintenance ».

# CHAPITRE 6

## Les fiches actions

Un potentiel de 10%  
d'économies d'énergie



FICHE ACTION ANME

### La variation de pression de condensation :

### Le concept HP FLOTTANTE

#### Domaines d'application

IAA, GMS, Réfrigération positive ou négative ou refroidisseur rapide à condensation par air

#### Type de modification

Pose d'une régulation de la pression condensation par la commande des ventilateurs, en mi-saison ou en hiver ajuste un écart de température de 8K entre l'air extérieur et le fluide frigorigène . Pas d'action en été.

#### Coût:

1000 € à 3000€ selon la nombre de ventilateurs:

#### Temps de retour:

Selon la puissance de l'installation et la situation initiale : de quelques mois à 2 années.



Fiche ACTION n°1

#### Objectifs

- Réduction de la consommation électrique de l'installation frigorifique en mi-saison et en hiver. Pas d'action en été.

#### Résultats

- Diminution de la pression de refoulement du compresseur et donc de son taux de compression.
- Diminution de la puissance nécessaire au compresseur
- Augmentation de la puissance frigorifique disponible et réduction du temps de marche du compresseur.
- Une réduction 1 K de la température condensation = 2,5% kWh elect.
- Augmentation du coefficient de performance frigorifique COP froid ou EER (instantané) .
- Réduction de l'énergie consommée en mi-saison et en hiver grâce à la réduction des temps de marche du ou des compresseurs.

#### Modalité de suivi

- Traçabilité GTC, suivi des consommations électrique

#### Freins à la mise en place

- Remise en question d'habitudes

Un potentiel de 15%  
d'économies d'énergie

## La variation de pression d'évaporation : Le concept BP FLOTTANTE

### Domaines d'application

IAA, GMS, Réfrigération positive ou négative

### Type de modification

Pose d'un automate pour la mesure de la pression d'évaporation qui commande la marche des compresseurs en vitesse fixe. Relèvement continu ou ponctuel de 2 à 4 K au dessus de la pression initiale de fonctionnement.

### Coût:

1000 € à 3000€ selon le nombre de compresseurs

### Temps de retour:

Selon la puissance de l'installation et la situation initiale : de quelques mois à 2 années.



Fiche ACTION n°2

### Objectifs

- Réduction de la consommation ponctuelle ou continue sur toute l'année de l'installation frigorifique.

### Résultats

- Augmentation de la pression d'évaporation du compresseur et donc de son taux de compression.
- Diminution de la puissance nécessaire au compresseur.
- Augmentation de la puissance frigorifique disponible et réduction du temps de marche du compresseur.
- une augmentation 1 K de la température de = 2,5 à 4% kWh elect.
- Augmentation du coefficient de performance frigorifique COP froid ou EER (instantané) .

### Modalité de suivi

- Traçabilité GTC, suivi des consommations électrique

### Freins à la mise en place

- Remise en question d'habitudes





Un potentiel de 5 à 10 %  
d'économies d'énergie

FICHE ACTION ANME

## La variation de vitesse des moteurs Électriques : compresseurs, pompes

### Domaines d'application

IAA, GMS, Réfrigération positive ou négative en froid indirect utilisant un frigoporteur

### Type de modification

- Raccordement de variateurs électroniques de fréquence pour ajuster la vitesse de rotation du moteur.
- Compresseur : ajuste la puissance frigorifique aux besoins, peut être associée à la BP flottante.
- Pompe : la commande de vitesse ajuste le delta Aller-retour du frigoporteur à une valeur minimale
- Ventilateur : la commande de vitesse ajuste le delta T, peut être associée à la HP flottante.

### Coût :

- 200 €/kW élec.
- Temps de retour, de 6 mois à 2 années sur la situation initiale et l'application compresseur, pompe, ventilateur

### Objectifs

- Réduction de la consommation ponctuelle ou continue sur toute l'année de l'installation frigorifique.

### Résultats

- Diminution de l'énergie absorbée par le moteur lorsque la vitesse de rotation est réduite
- A mettre en place lorsqu'il y a des écarts de besoin frigorifiques important par exemple hors période de travail dans les chambres froides.



### Modalité de suivi

- Traçabilité GTC

### Freins à la mise en place

- Remise en question d'habitudes

Fiche ACTION n°3

Un potentiel de 50%  
d'économies d'énergie

## Maîtrise du temps de fonctionnement: La programmation journalière

### Type de modification

Si la machine n'est pas  
équipée :

- Une Gestion Technique Centralisée (GTC)
- Un programmeur M/A.

Si la machine possède déjà les  
équipements :

- Un simple paramétrage du régulateur électronique en fonction des plages d'utilisation du bâtiment.

### Coût

- Si GTC, sans frais



### Objectifs

- Adaptation de la production de froid ou de chaud aux plages de temps d'utilisation

### Résultats

- Diminution des temps de marche de la machine.
- Réduction de l'énergie consommée grâce à la réduction des temps de marche.

### Modalité de suivi

- Facture d'énergie

### Freins à la mise en place

- Programmation

Un potentiel de 3%  
d'économies d'énergie /°C



FICHE ACTION ANME

## La modification du point de consigne: Gestion des températures d'eau froide

### Type de modification

Contrôle de la température de sortie d'eau:

- Paramétrage du point de consigne.

Si la machine possède déjà les équipements :

- Un simple réglage de l'automate ou du régulateur électronique

### Coût

- Inclus dans le contrat de maintenance

### Objectifs

- Améliorer la performance
- Limiter l'utilisation de chaleur latente.
- Diminuer la puissance totale fournie par le système.

### Résultats

- Diminution de l'énergie nécessaire à la production de froid.
- Augmentation de la température d'évaporation
- Diminution de la puissance absorbée au compresseur
- Augmentation du coefficient de performance frigorifique.
- Réduction de l'énergie consommée grâce à la meilleure exploitation du système.

### Modalité de suivi

- Traçabilité GTC

### Freins à la mise en place

- Remise en question d'habitudes

Fiche action CA n°2

Un potentiel de 7%  
d'économies d'énergie /°C

## La modification du point de consigne en détente directe, mode froid

### Type de modification

Relève du point de consigne:

- Réglage du thermostat

### Coût

- Aucun



### Objectifs

- Diminuer l'ouverture du détendeur (DRV)
- Diminuer le débit de fluide en circulation dans le système (DRV).
- Diminuer la puissance fournie par le système.

### Résultats

- Diminution de l'énergie nécessaire à la production de froid.
- Augmentation de la température d'évaporation
- Diminution de la puissance absorbée au compresseur
- Augmentation du coefficient de performance frigorifique.
- Réduction de l'énergie consommée grâce à la meilleure exploitation du système.

### Modalité de suivi

- Facture énergie

### Freins à la mise en place

- Remise en question d'habitudes

Un potentiel de 3%  
d'économies d'énergie /°C

## La modification du point de consigne: Loi d'eau en mode chauffage

### Type de modification

Laisser varier la température de sortie d'eau chaude en fonction de la température extérieure:

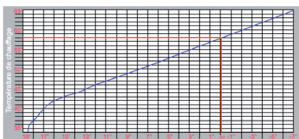
- Paramétrage du point de consigne.

Si la machine possède déjà les équipements :

- Un simple réglage de l'automate ou du régulateur électronique

### Coût

- Thermostat, sonde, régulateur



### Objectifs

- Lier la température de production d'eau chaude à la température extérieure.
- Diminuer la puissance totale fournie par le système.

### Résultats

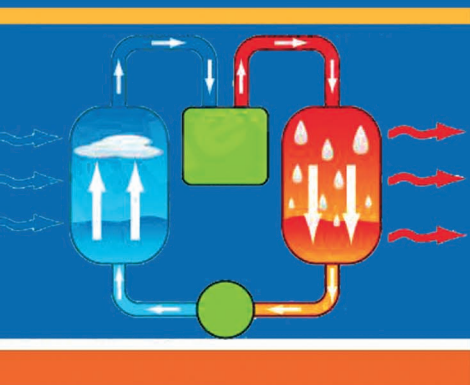
- Diminution de l'énergie nécessaire à la production de chaud.
- Réduction des démarrages et redémarrages
- Augmentation du coefficient de performance frigorifique.
- Réduction de l'énergie consommée grâce à la meilleure exploitation du système.

### Modalité de suivi

- Facture énergie

### Freins à la mise en place

- Réglage de la courbe de confort



BANQUE MONDIALE

## Agence Nationale pour la Maîtrise de l'Energie

3 rue Chott Mariem Montplaisir 1073 Tunis – B.P. 213

Tél : (216) 71 906 900 – (216) 71 908 305 - Fax : (216) 71 904 624

Direction de l'Efficacité Energétique dans l'Industrie

E-mail : [ugp\\_pee@anme.nat.tn](mailto:ugp_pee@anme.nat.tn)

Site web : [www.anme.nat.tn](http://www.anme.nat.tn)

