

# Technique du froid & composants frigorifiques

Mohammed YOUNI-IDRISSI  
Chargé de Recherche, Cemagref



LICENCE PROFESSIONNELLE  
MANAGEMENT DE LA CHAÎNE DU FROID - TRANSPORT ET LOGISTIQUE



# ► Technologie des compresseurs



Sur la base de leur fonctionnement, on distingue deux groupes principaux :

- Les compresseurs volumétriques ; où la compression du fluide frigorigène se fait par réduction du volume de la chambre de compression :

- \* compresseurs à pistons (alternatifs)
- \* compresseurs à palettes (rotatifs)
- \* compresseurs hélicoïdaux ou à vis (rotatifs)
- \* compresseurs spiroïdaux ou scroll (rotatifs)

- Les compresseur centrifuges (compresseurs à impulsion) ; où la compression du fluide est créée par la force centrifuge générée par une roue à aubes. On parle de turbocompresseur.

On les distingue également par l'association moteur-compresseur



# ► Technologie des compresseurs

**Le compresseur ouvert**, où le moteur est dissocié du compresseur et raccordé par un manchon ou une courroie. L'accès aux différents éléments est possible pour réparation et la vitesse de rotation est modifiable en changeant la poulie du moteur. Mais ces deux avantages (fort théoriques...) ne compensent pas le défaut majeur de l'existence d'un joint d'étanchéité rotatif à la traversée du carter par l'arbre. Ce joint, qui doit être lubrifié pour assurer l'étanchéité, est source de fuites... inacceptables aujourd'hui dans un contexte "zéro-fuite".



# ► Technologie des compresseurs

**Le compresseur hermétique**, où moteur et compresseur sont enfermés dans une même enveloppe. Le joint tournant disparaît et avec lui le risque de fuite. Mais des contraintes nouvelles apparaissent, dont le fait que le refroidissement du moteur est réalisé par le fluide frigorigène lui-même. Le compresseur hermétique est couramment utilisé pour les petites et moyennes puissances : froid domestique, climatiseurs, armoires de climatisation, pompes à chaleur, ...

L'échauffement du compresseur hermétique est préjudiciable au cycle frigorifique puisque la température à l'aspiration du compresseur augmente. De plus, si le moteur vient à griller, c'est l'ensemble du circuit frigorifique qui sera pollué : un nettoyage complet du circuit doit être réalisé si l'on veut éviter de nouveaux ennuis. En cas de problème, il n'est plus possible de réparer



## ► Technologie des compresseurs

**Le compresseur semi-hermétique**, qui réalise un compromis entre les deux produits précédents. Il tente de bénéficier des avantages du groupe ouvert (accès aux mécanismes) et du groupe hermétique (limitation des fuites). Mais l'étanchéité reste imparfaite (nombre de joints non négligeable) et le prix est sensiblement plus élevé que pour le compresseur hermétique. Le compresseur semi-hermétique est utilisé pour les moyennes puissances.

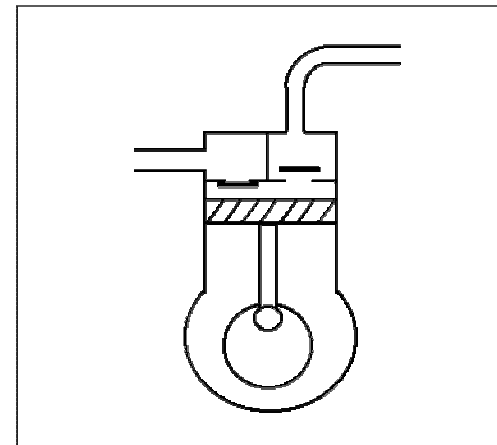


# ► Technologie des compresseurs

## Compresseurs à pistons

❖ Le compresseur à pistons a besoin d'être lubrifié en permanence. La partie inférieure du carter forme réserve d'huile. La pression régnant dans le carter est la pression d'aspiration. La pompe à huile délivre une pression supérieure de 0.5 à 4 bars à la pression régnant dans le carter.

❖ Le compresseur à piston est très sensible à l'arrivée de fluide liquide : si quelques gouttes de liquide pénètrent au niveau des soupapes, elles en provoquent une usure lente. Si du fluide liquide pénètre en grande quantité, la destruction des clapets est immédiate. De là, les protections anti-coups de liquide adoptées (ressort puissant sur le chapeau de cylindre, capable de se soulever en cas d'arrivée de liquide).

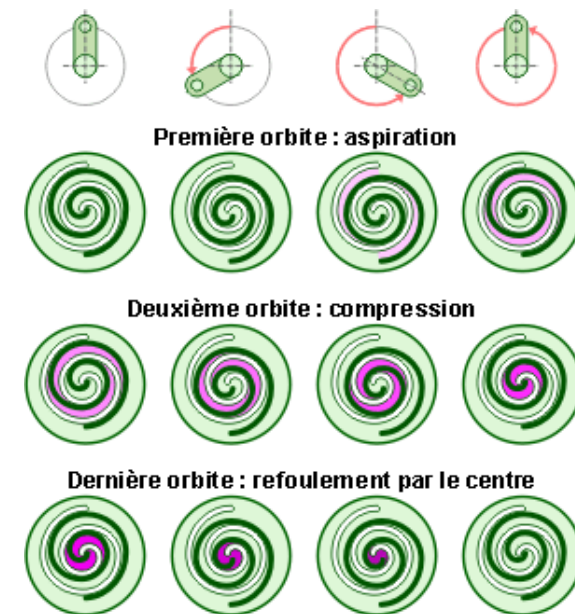
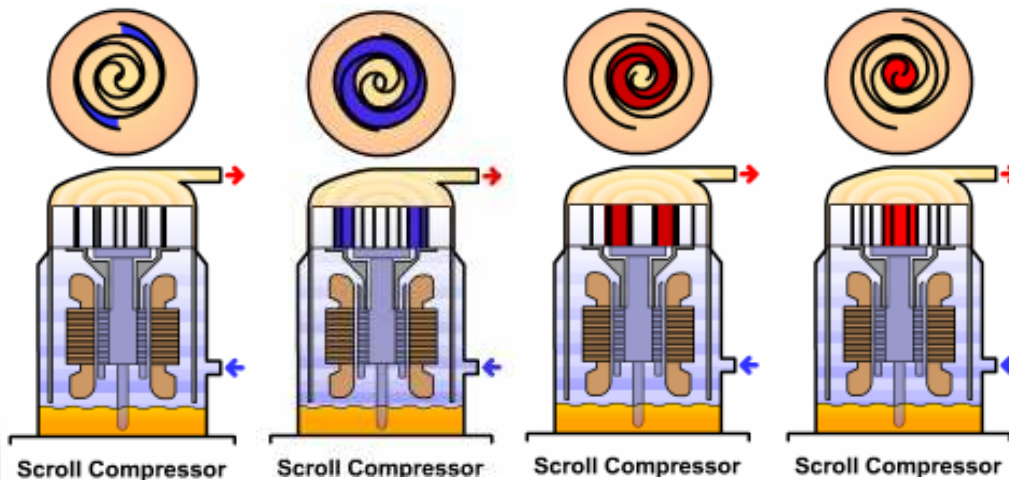


# ► Technologie des compresseurs

## Compresseur spiro-orbital, dit "scroll"

❖ Le compresseur SCROLL est composé de deux rouleaux identiques en forme de spirale. Le premier est fixe, le second décrit un mouvement circulaire continu sans tourner sur lui-même. Les spirales sont déphasées de  $180^\circ$ .

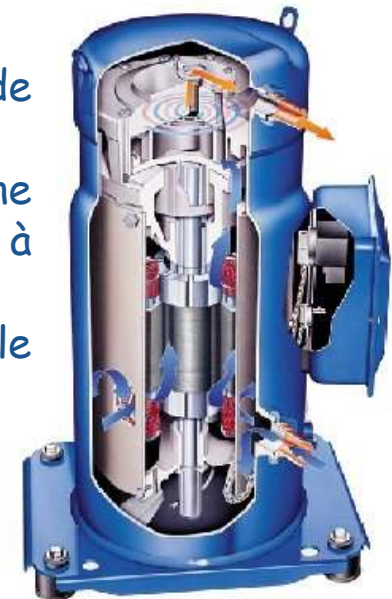
❖ Le mouvement orbital entraîne le déplacement vers le centre des poches de gaz, ce déplacement est accompagné d'une réduction progressive de leur volume jusqu'à disparition totale.



# ► Technologie des compresseurs

## Avantages et inconvénients du compresseur "scroll"

- ❖ une réduction des pièces mécaniques en mouvement (suppression des clapets) et donc une plus grande fiabilité,
  - ❖ un rendement volumétrique d'un compresseur assez bon grâce à l'absence d'espaces morts, comme dans les compresseurs à pistons,
  - ❖ une meilleure modulation de puissance,
  - ❖ une plus grande longévité,
  - ❖ un niveau sonore nettement plus favorable (moins de vibrations), surtout pour les appareils hermétiques,
  - ❖ une moindre sensibilité aux entrées de fluide frigorigène liquide ("coups de liquide" destructeurs des compresseurs à pistons),
  - ❖ un coût de maintenance également plus faible, puisque le risque de panne est diminué.
- 
- ❖ un coût élevé
  - ❖ puissance limitée (<50kW)

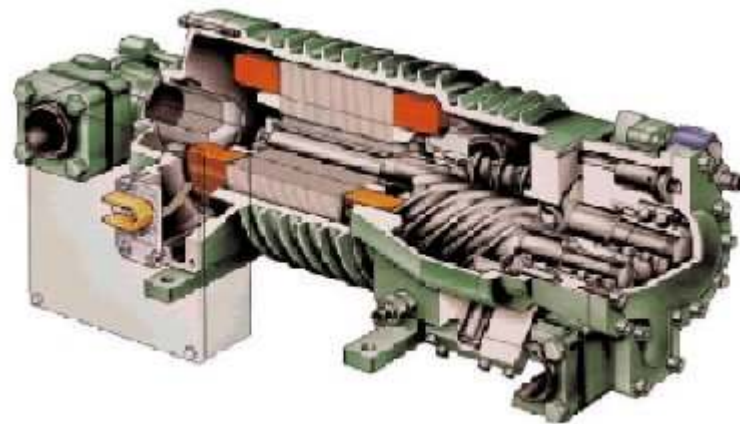




# ► Technologie des compresseurs

## Compresseur à vis

- ❖ le fluide frigorigène gazeux est comprimé par une vis hélicoïdale (un peu comme dans un hache-viande) tournant à grande vitesse. Le compresseur est entraîné par un moteur électrique.
- ❖ Le rendement volumétrique d'un compresseur à vis est bon grâce à l'absence d'espaces morts, comme dans les compresseurs à pistons. Cette propriété permet d'assurer des taux de compression élevés avec un bon rendement volumétrique.
- ❖ Le compresseur à vis doit être abondamment lubrifié, pour assurer l'étanchéité entre les pièces en mouvement et pour réduire le niveau sonore, mais aussi pour refroidir le fluide frigorigène : on peut alors atteindre des taux de compression élevés (jusqu'à 20) sans altérer le fluide frigorigène.



# ► Technologie des compresseurs

Type de compresseur	Plages de puissance (kW frigorifiques)	Régulation adaptée
<b>Compresseur rotatif</b>	10 W maximum (climatiseurs individuels, petits refroidisseurs d'eau)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variation de la vitesse de rotation</li> <li>• Régulation admission gaz à l'aspiration</li> <li>• La tendance est d'associer deux ou plusieurs compresseurs sur une même machine</li> </ul> <p>(*)</p>
<b>Compresseur scroll</b>	de 3 à 40 kW par compresseur (mais possibilité de puissance supérieure par mise en parallèle de compresseurs)	Modulation de puissance optimale, par variation de la vitesse de rotation ou par mise en "centrale"
<b>Compresseur à piston</b>		
Ouvert	quelques dizaines de kW à plus de 1 000 kW	Étanchéité aux fluides frigorigènes insuffisante aujourd'hui
Semi-hermétique	de quelques dizaines de kW à quelque centaines de kW	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Un compresseur à plusieurs étages ou plusieurs compresseurs en cascade ("centrale")</li> <li>• Variation de la vitesse de rotation</li> </ul>
Hermétique	de quelques kW à plusieurs dizaines de kW	<p>Régulation type "marche/arrêt" commandée par thermostat d'ambiance ou sur circuit d'eau.</p> <p>Tendance actuelle : plusieurs compresseurs en cascade ("centrale")</p>
<b>Compresseur à vis</b>	de (20) 100 à 1 200 kW	<p>Excellente fiabilité et longévité</p> <p>Modulation de puissance par "tiroirs" très souple, de 100 à 10 %, avec une très faible dégradation du COP par la régulation "par tiroirs", du moins au-dessus de 50 % de la puissance.</p>

# ► Lubrification et lubrifiants



Hormis les compresseurs secs, toutes les catégories de compresseurs évoquées auparavant ont besoin d'une lubrification

## Rôles de l'huile de lubrification

- ❖ La lubrification des pièces mécaniques en mouvement du compresseur : pistons, bielle-manivelle, clapets, ...
- ❖ Élément d'étanchéité : cylindre / piston ou inter-lobes des vis
- ❖ Refroidissement
- ❖ Évacuation des dépôts
- ❖ Réduction du bruit

## Types d'huile

- ❖ Les huiles minérales : utilisées avec les CFC et les fluides naturels
- ❖ Les huiles AB : utilisées avec les HCFC
- ❖ Les huiles synthétiques (POE, PAG, PVE) : utilisées avec les HFC



# ► Lubrification et lubrifiants

## Caractéristiques principales

- ❖ La miscibilité avec le fluide frigorigène utilisé dans le circuit
- ❖ Viscosité pour assurer un film d'huile suffisant pour la lubrification
- ❖ Le point de figeage : la température à laquelle l'huile coule encore
- ❖ Indice de désémulsion : pour pallier les problèmes de moussage

## Choix de l'huile

Il résulte d'un compromis de plusieurs paramètres

- ❖ Température de figeage basse ;
- ❖ Huile non hygroscopique ;
- ❖ Viscosité suffisante en haute température et faible en basse température ;
- ❖ Faible solubilité du frigorigène dans l'huile

# ► Lubrification et lubrifiants

## Entraînement d'huile : comment ?

### A l'arrêt de la machine :

- ❖ la température dans l'évaporateur augmente : désorption du frigorigène
- ❖ la température dans le carter diminue : absorption du frigorigène
- ❖ équivalence de pression : niveau du liquide dans le carter augmente (d'autant plus) :
  - si la température du carter est plus froide
  - si l'arrêt est plus long
  - si le rapport de la masse volumique frigorigène/huile  $> 1$

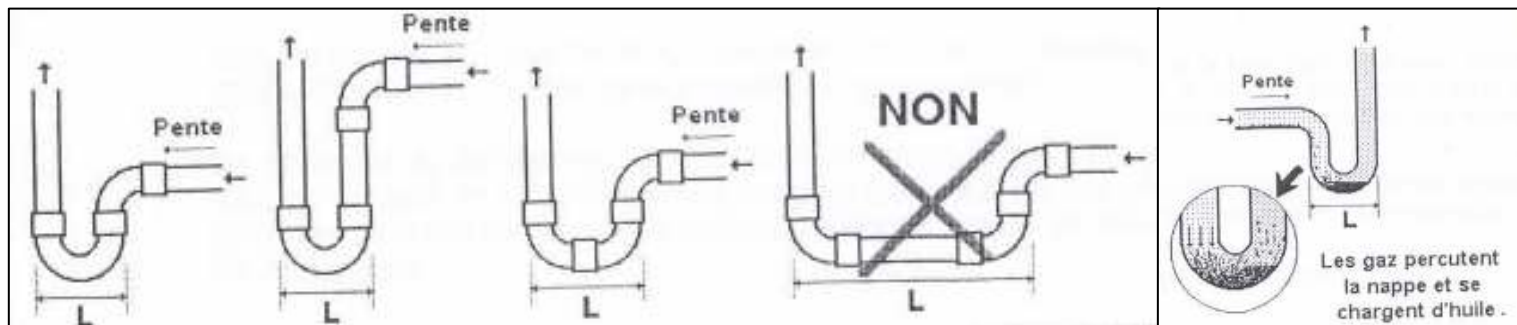
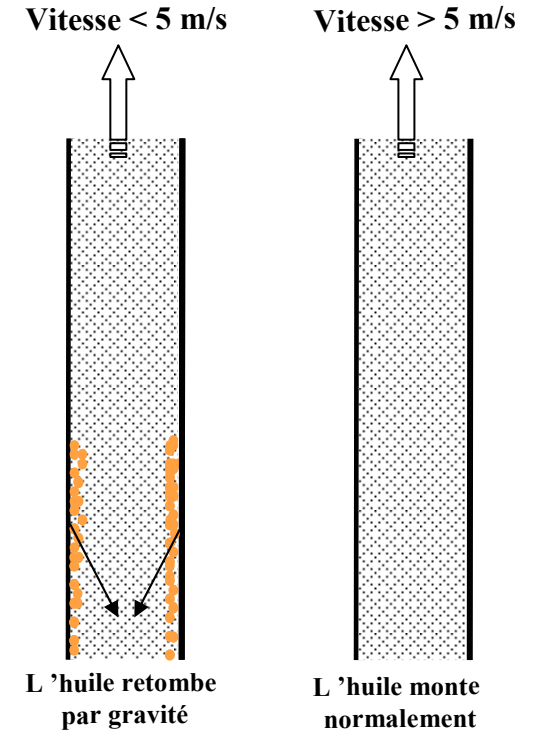
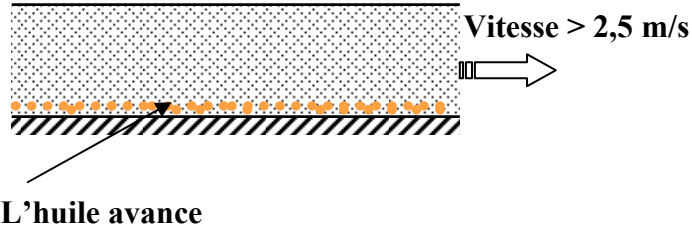
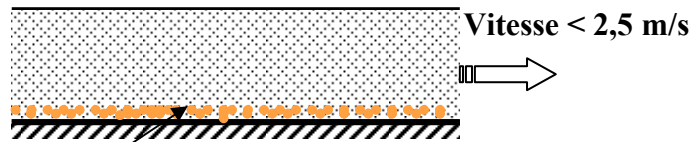
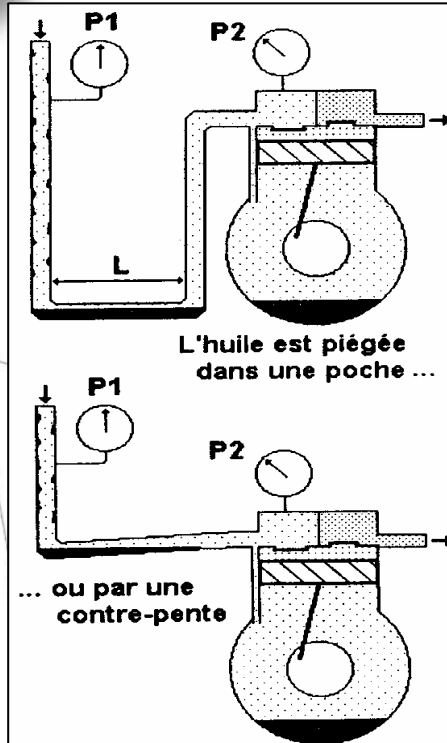
### A la mise en marche

- ❖ chute rapide de pression dans le carter
- ❖ désorption du frigorigène et moussage intense
- ❖ départ de l'huile dans le circuit : coup d'huile

**Recommandation :** chauffage pendant l'arrêt ou isolement du compresseur

# ► Lubrification et lubrifiants

## Retour d'huile : recommandations



# ► Sélection du compresseur

La sélection du compresseur est une étape importante dans le dimensionnement d'une machine frigorifique

## Généralement

Le cahier de charge est défini pour un point nominal de fonctionnement :

- ❖ puissance frigorifique requise ;
- ❖ température d'évaporation ;
- ❖ température de condensation ;
- ❖ données du cycle frigorifique ;
- ❖ fluide frigorigène.

La démarche consiste à choisir le compresseur adéquat à partir des catalogues de compressoristes

# ► Sélection du compresseur

## Données constructeur

- ❖ Fluide frigorigène : défini
- ❖ Conditions du cycle frigorifique : 20°C à l'aspiration du compresseur et sans sous-refroidissement
- ❖ Données techniques : volume balayé, poids, charge en huile, raccord HP et BP, niveau sonore, ...
- ❖ Performances

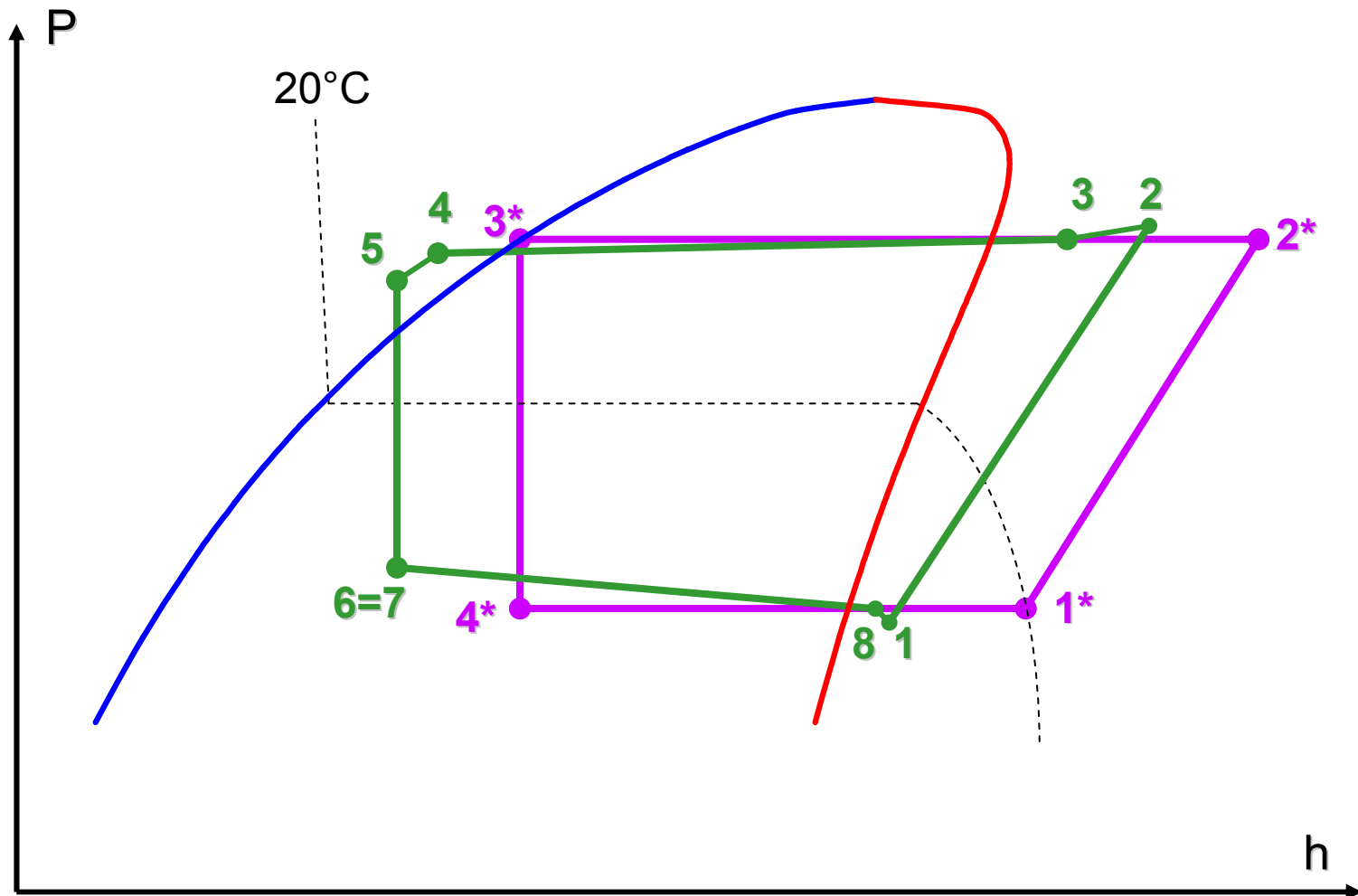
	Performance	Mécanique	Electrique	Accessoires	Dessins					
Puiss. frigo. (kW). <a href="#">Cliquer ici pour afficher la puissance absorbée</a>										
<a href="#">Voir modèle précédent ▲</a>										
Temp. Cond. (°C)	Température d'évaporation (°C)									
	-30.0	-25.0	-20.0	-15.0	-10.0	-5.0	0.0	5.0	7.0	
ZS21K4E-TFD	30.0	1.35	1.72	2.18	2.72	3.35	4.15	5.00	6.05	6.50
	40.0		1.56	1.97	2.47	3.05	3.75	4.55	5.50	5.90
	50.0			1.76	2.21	2.74	3.35	4.10	4.95	5.30
Température des gaz aspirés: 20.00 °C										

	Performance	Mécanique	Electrique	Accessoires	Dessins					
Puissance absorbée. <a href="#">Cliquer ici pour afficher la puissance frigorifique</a>										
<a href="#">Voir modèle précédent ▲</a>										
Temp. Cond. (°C)	Température d'évaporation (°C)									
	-30.0	-25.0	-20.0	-15.0	-10.0	-5.0	0.0	5.0	7.0	
ZS21K4E-TFD	30.0	0.76	0.81	0.86	0.91	0.97	1.03	1.12	1.22	1.26
	40.0		0.94	0.99	1.05	1.11	1.17	1.25	1.34	1.38
	50.0			1.16	1.23	1.29	1.36	1.43	1.52	1.55
Température des gaz aspirés: 20.00 °C										



# ► Sélection du compresseur

Cycle constructeur, cycle réel



## ► Sélection du compresseur

Cycle réel

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{Q}_o = \dot{m} \Delta h_{8,6} \\ \dot{V}_{asp} = \dot{m} v_1'' \\ \eta_v = \frac{\dot{V}_{asp}}{\dot{V}_{bal}} \end{array} \right.$$

Hypothèse : le rendement volumétrique ne dépend que du taux de compression

c.à.d.

$$\eta_v = \eta_v^*$$

$$\dot{V}_{asp}^* = \dot{V}_{asp}$$

$$\dot{m}^* v_{1*}'' = \dot{m} v_1''$$

$$\dot{Q}_o^* = \dot{Q}_o \left( \frac{\Delta h_{1*,4*}}{\Delta h_{8,6}} \right) \left( \frac{v_1''}{v_{1*}''} \right)$$

## ► Sélection du compresseur

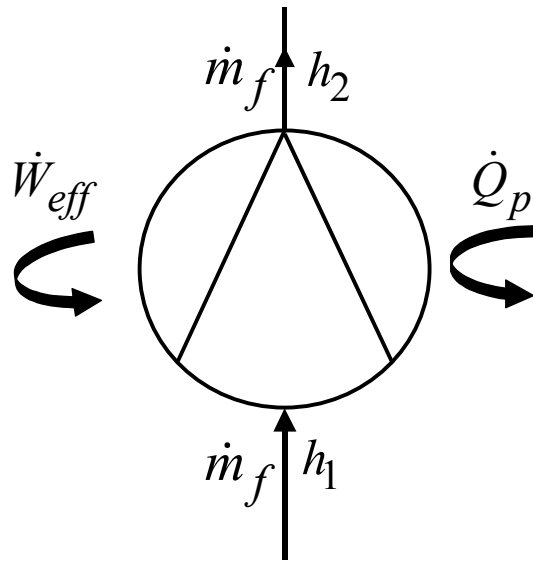
Le choix du compresseur (volume balayé) se fait donc dans les tables données par le constructeur à partir de :  $T_o$  et  $T_k$  pour avoir une puissance frigorifique la plus proche de :  $\dot{Q}_o^*$

Le compresseur étant sélectionné, quelle est la puissance frigorifique réellement fournie ?

$$\dot{Q}_o = \dot{Q}_o^* \left( \frac{\Delta h_{8,6}}{\Delta h_{1^*,4^*}} \right) \left( \frac{v_{1^*}''}{v_1''} \right)$$

# ► Température réelle de refoulement

Bilan compresseur



$$\dot{W}_{eff} - \dot{Q}_p = \dot{m}(h_2 - h_1)$$

$$\dot{Q}_p = \xi \dot{W}_{eff}$$

$$(1 - \xi) \dot{W}_{eff} = \dot{m}(h_2 - h_1)$$

$$\dot{W}_{eff} = \frac{\dot{m}(h_2^{is} - h_1)}{\eta_{eff}}$$

$$h_2 = h_1 + \frac{1 - \xi}{\eta_{eff}} (h_2^{is} - h_1)$$

La température réelle de refoulement est calculée à partir de HP et h2

# ► Composants frigorifiques annexes

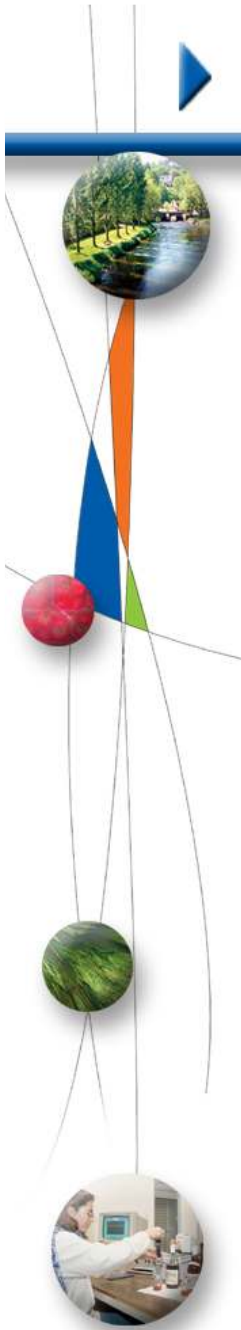
Les composants suivants ont pour rôle d'assurer un fonctionnement correct du circuit frigorifique

## **Circuit Haute pression**

- ❖ Séparateur d'huile
- ❖ Réservoir liquide
- ❖ Déshydrateur
- ❖ Filtre
- ❖ Amortisseurs de vibration

## ❖ **Circuit basse pression**

- ❖ Filtre
- ❖ Séparateur liquide
- ❖ Bouteille d'aspiration (anti-coup de liquide)



# ► Composants frigorifiques annexes

## Séparateur d'huile

### Rôle

Empêcher au maximum la circulation de cette huile dans le circuit frigorifique, la piéger et la renvoyer au carter du compresseur

### Description

Le séparateur se décompose en deux parties :

- la partie haute sert à séparer l'huile du fluide frigorigène.
- la partie basse sert de réservoir d'huile.

### Procédés de séparation

- par changement brusque de direction et de vitesse
- par choc sur les parois
- par force centrifuge

### Montage

Vertical, au plus près du compresseur, favoriser l'élévation de température

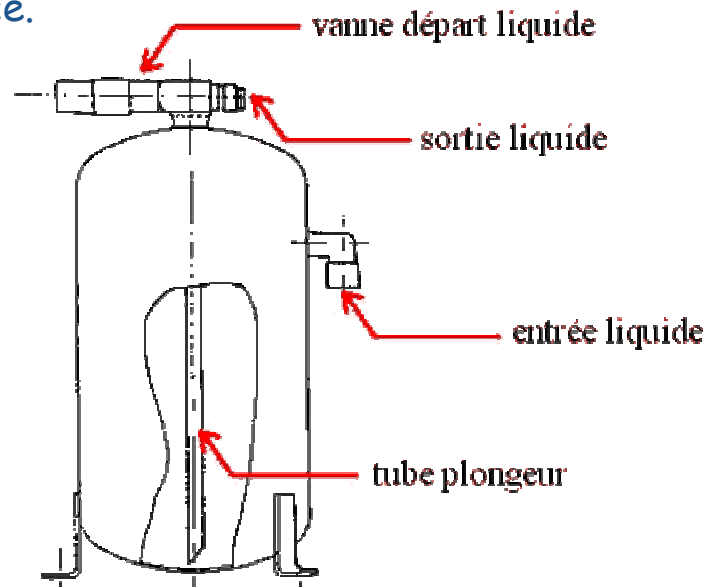


# ► Composants frigorifiques annexes

## Réservoir de liquide

### Rôle

- ❖ alimenter le détendeur en liquide de façon permanente à l'aide de son tube plongeur ;
- ❖ compenser les variations de demande en liquide au détendeur ;
- ❖ stocker le fluide frigorifique en cas d'intervention sur le circuit BP grâce à sa vanne de service.



### Sélection

La capacité de la bouteille doit permettre de stocker la charge totale en f.f.  $\pm 20\%$

# ► Lubrification et lubrifiants

## Déshydrateur

**Rôle :** Il élimine efficacement

- ❖ L'humidité: elle est absorbée et emmagasinée. Le déshydrateur empêche ainsi la formation de glace au détendeur.
- ❖ Les acides nuisibles. Il emmagasine les acides nuisibles se produisant dans le circuit frigorifique empêchant ainsi toute corrosion.
- ❖ Les particules étrangères: ce sont les boues et produits de décomposition de l'huile.



## Montage

Sur la tuyauterie liquide, verticalement de préférence

Il faut tenir le déshydrateur obturé jusqu'au moment du montage



# ► Composants frigorifiques annexes

## Voyant liquide

### Rôle

- ❖ Détecter la présence de bulle dans la ligne liquide de l'installation
- ❖ Vérifier le bon fonctionnement du retour d'huile
- ❖ Indiquer le niveau dans les bouteilles
- ❖ Indiquer la teneur en humidité du fluide frigorigène



### Fonctionnement

- ❖ La couleur verte apparaît lorsque la quantité d'eau contenue dans le fluide est inférieure à la quantité d'eau maximale admissible.
- ❖ La couleur jaune nous garantit avec certitude des effets nuisibles provenant de l'humidité
- ❖ Lorsque la couleur jaune apparaît, il faut remplacer le déshydrateur

### Montage

Le voyant de liquide se monte entre le détendeur et le déshydrateur