

CHAPITRE III

Composants Frigorifiques

▶ Les compresseurs frigorifiques

❖ Rôle du compresseur

Le compresseur a pour rôle d'aspirer les vapeurs venants de l'évaporateur à une pression faible et de refouler à haute pression ces vapeurs comprimées dans le condenseur

❖ Types de compresseurs

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

- Les compresseurs volumétriques ;
 - * 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).

▶ Grandeurs caractéristiques

- ❖ Grandeurs géométriques
- ❖ Grandeurs mécaniques
- ❖ Grandeurs énergétiques
- ❖ Grandeurs qualitatifs

1. Grandeurs géométriques

a. Cylindrée C

C'est le volume balayé lors d'une course d'aspiration pendant un tour de l'arbre

$$C = \frac{\pi d^2}{4} l n \quad [\text{m}^3]$$

l : course [m]

n : nombre des cylindres

▶ Grandeurs caractéristiques

b. Débit volume balayé

C'est le volume balayé pendant l'unité du temps, il varie proportionnellement à la vitesse de rotation du compresseur

$$\dot{V}_{bal} = \left(\frac{\pi d^2}{4} l n \right) \frac{N}{60} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

N: vitesse de rotation [tr/min]

- La cylindrée est seule une grandeur purement géométrique

$$\frac{\dot{V}_{bal,1}}{N_1} = \frac{\dot{V}_{bal,2}}{N_2}$$

- Le débit volume balayé est souvent exprimé en m³/h

▶ Grandeurs caractéristiques

c. Débit volume aspiré

C'est le débit réellement aspiré par le compresseur

$$\dot{V}_{asp} = \dot{V}_{bal} \eta_v$$

d. Débit massique

C'est le nombre de kilogrammes de fluide ayant circulé dans le compresseur pendant une unité de temps

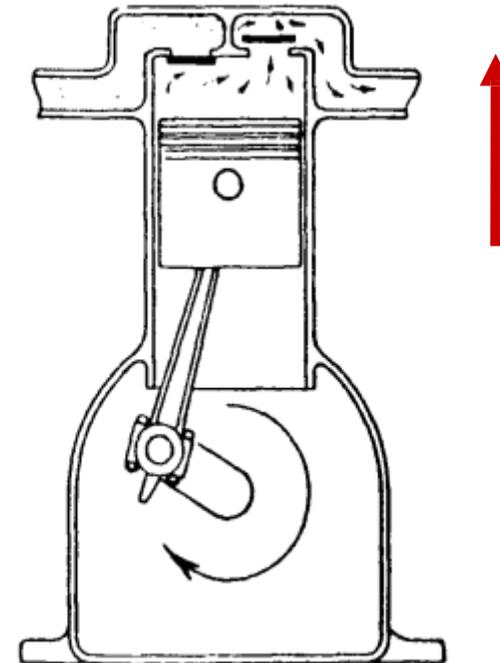
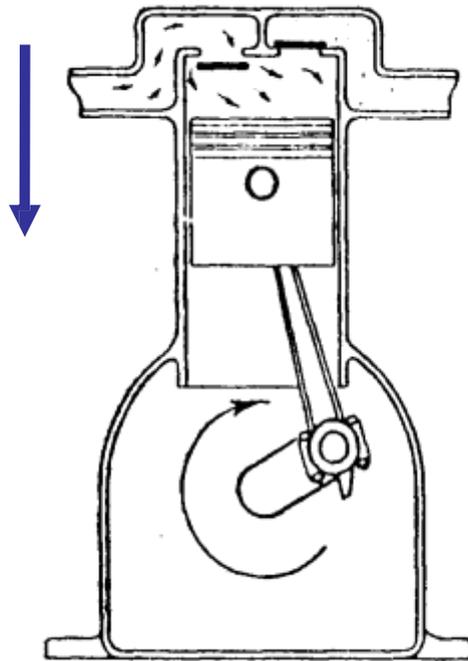
$$\dot{m}_f = \frac{\dot{V}_{asp}}{v'_{asp}} \quad [\text{kg/s}]$$

▶ Grandeurs caractéristiques

2. Grandeurs mécaniques

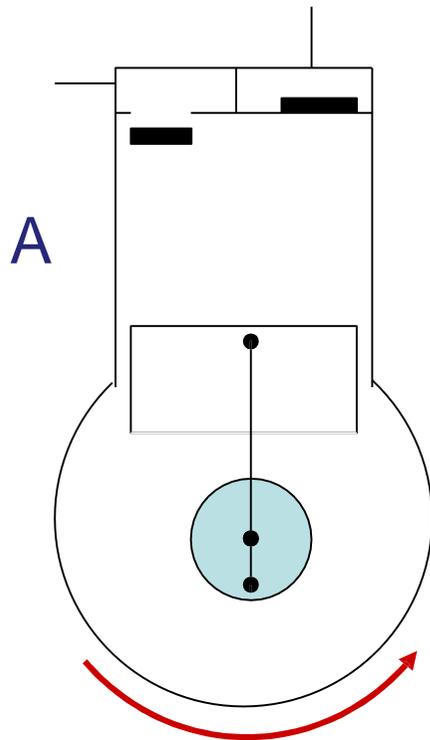
Ces caractéristiques découlent du fonctionnement du compresseur et de l'examen du diagramme de fonctionnement

a. Principe de fonctionnement

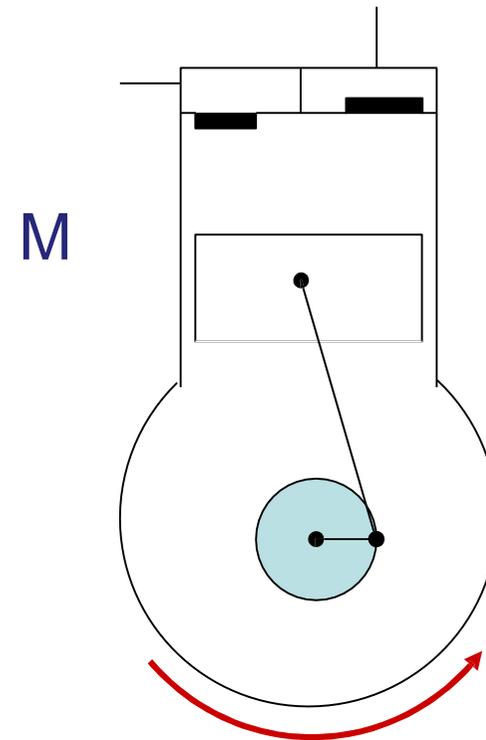


▶ Grandeurs caractéristiques

a. Principe de fonctionnement



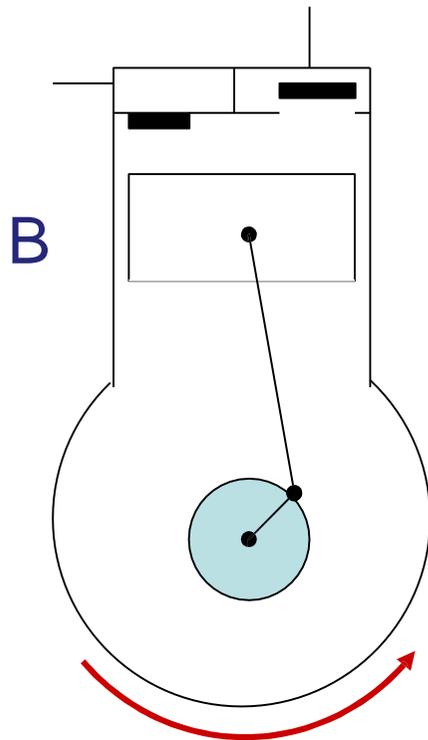
Le piston étant à la fin de sa course d'aspiration (point mort bas), le cylindre est totalement rempli de vapeur à la pression d'aspiration P_0



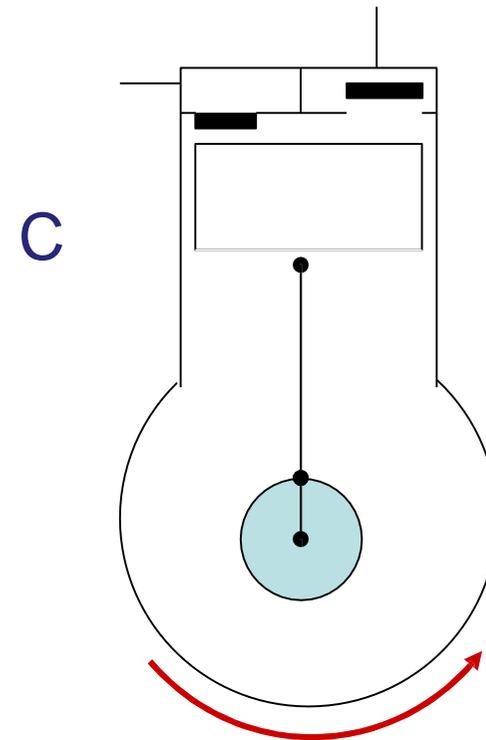
Le piston commence sa course de compression. Les clapets d'aspiration et de refoulement sont fermés. Le Volume diminue et la pression augmente au fur et à mesure

▶ Grandeurs caractéristiques

a. Principe de fonctionnement



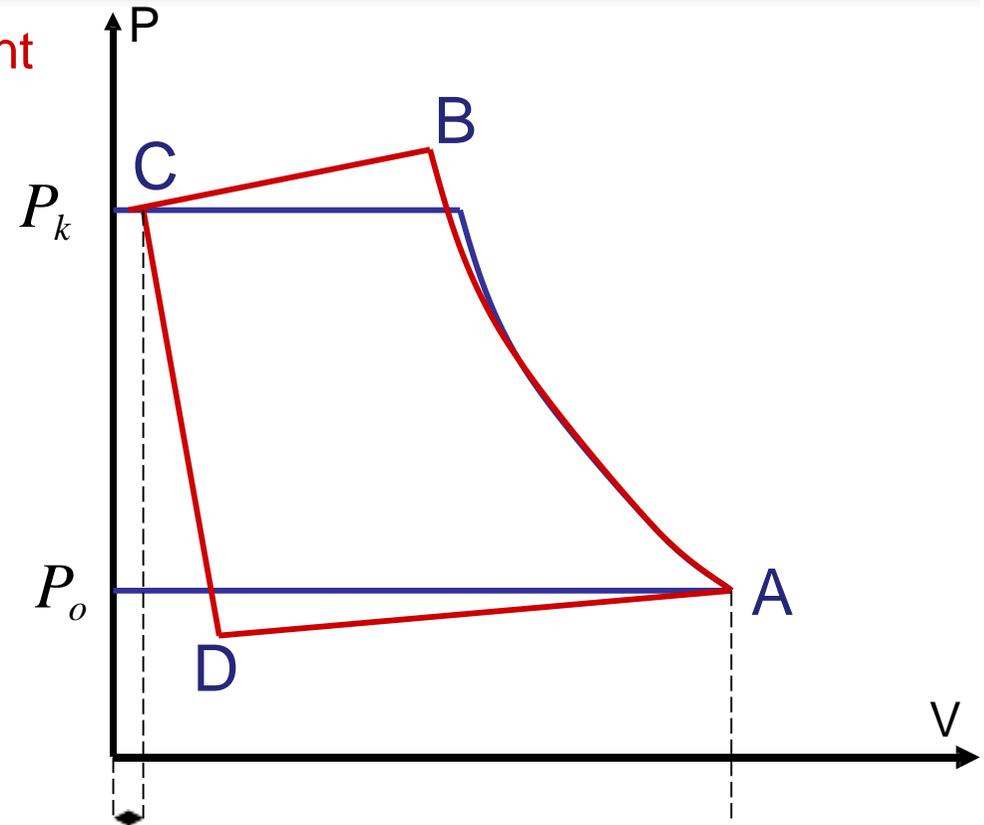
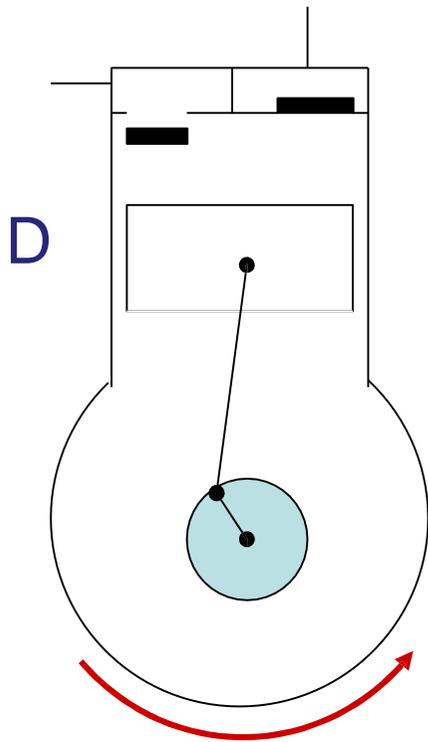
Lorsque la pression dans le cylindre atteint une pression légèrement supérieure à la pression P_k , les clapets de refoulement s'ouvrent



Les vapeurs continuent de s'échapper jusqu'à ce que le piston atteigne le point mort haut. Il reste un volume jamais balayé «espace mort»

▶ Grandeurs caractéristiques

a. Principe de fonctionnement



Le piston amorce sa course de descente, les deux clapets sont fermés. Les clapets d'aspiration s'ouvrent quand la pression est légèrement inférieure à P_o . L'espace mort provoque un retard à l'aspiration

\dot{V}_{bal}

▶ Grandeurs caractéristiques



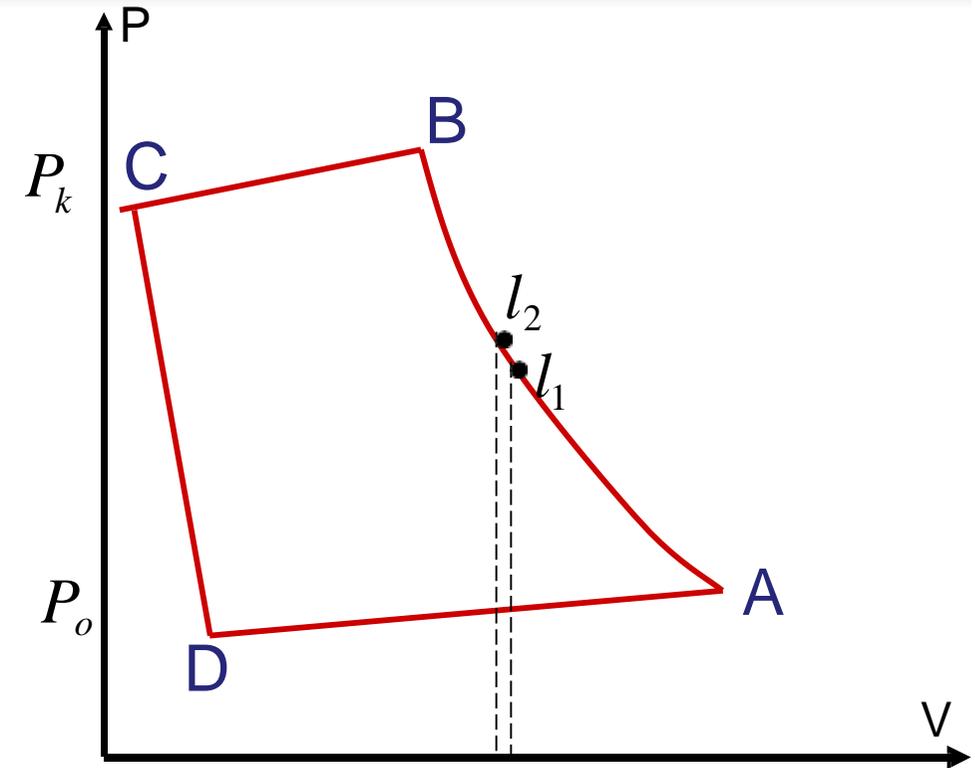
b. Travail indiqué W_i

$$W_i = F l$$

$$F = (P - P_0) A$$

$$dW_i = (P - P_0) A dl$$

$$W_i = \int (P - P_0) A dl$$



Travail indiqué = aire ABCDA



c. Puissance indiquée

$$\dot{W}_i = W_i \frac{N}{60}$$

▶ Grandeurs caractéristiques

3. Grandeurs énergétiques

a. Puissance frigorifique

$$\dot{Q}_o = \dot{m}_f \Delta h_{ev}$$

$$\dot{Q}_o = \frac{\eta_v \dot{V}_{bal} \Delta h_{ev}}{v''}$$

Puissance frigorifique délivrée par un compresseur dépend de :

- Caractéristiques géométriques du compresseur
- Caractéristiques physiques du fluide frigorigène
- Conditions de température et de pression HP et BP
- Rendement volumétrique

b. Production frigorifique volumétrique

$$q_v = \frac{\Delta h_{ev}}{v'}$$

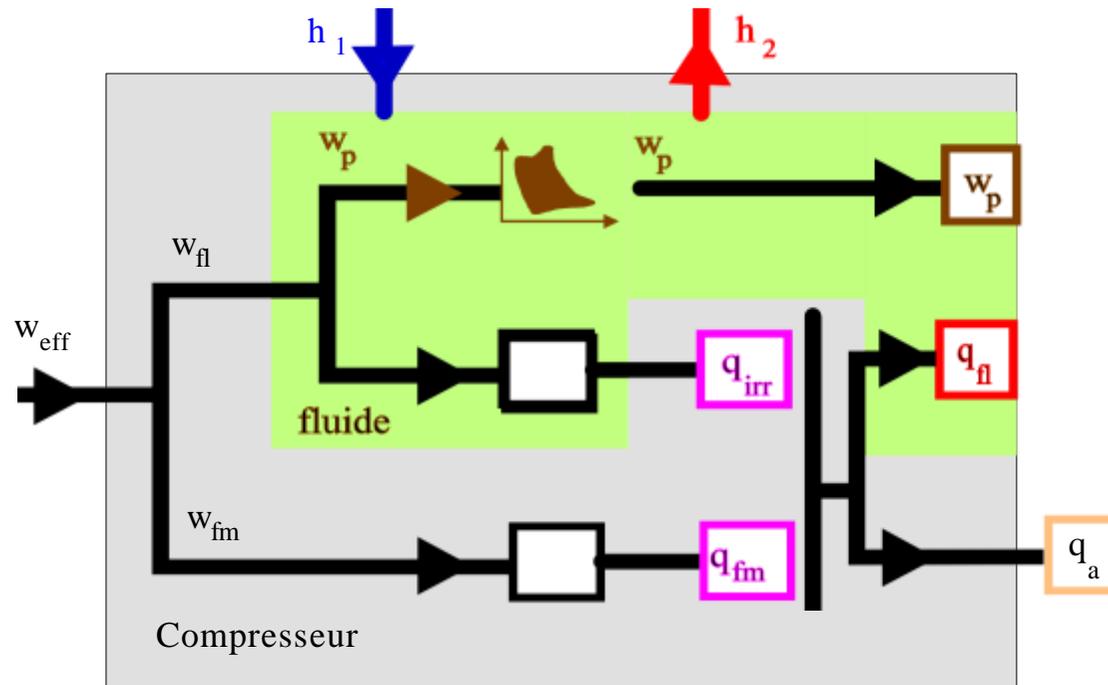
▶ Grandeurs caractéristiques

4. Grandeurs qualitatives

a. Taux de compression

$$\tau = \frac{P_k}{P_o}$$

b. Rendements du compresseur



▶ Grandeurs caractéristiques

- Bilan énergétique

$$\dot{W}_{eff} + \dot{m}_f h_2 - \dot{m}_f h_1 - \dot{q}_a = 0$$

- Rendement indiqué

$$\eta_i = \frac{w_{th}}{w_p}$$

+ $\dot{m}_f h_2$

- Rendement isentropique

$$\eta_{is} = \frac{\Delta h_{is}}{\Delta h_r}$$

BILAN FLUIDE

▶ Grandeurs caractéristiques

- Rendement mécanique

$$\eta_m = \frac{w_p}{w_{\text{eff}}}$$

énergie utile réelle

énergie consommée

"Qualité" compresseur

- Rendement effectif

$$\eta_{\text{eff}} = \frac{w_{\text{th}}}{w_{\text{eff}}}$$

Compresseur parfait

compresseur réel

Transformation globale

► 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.

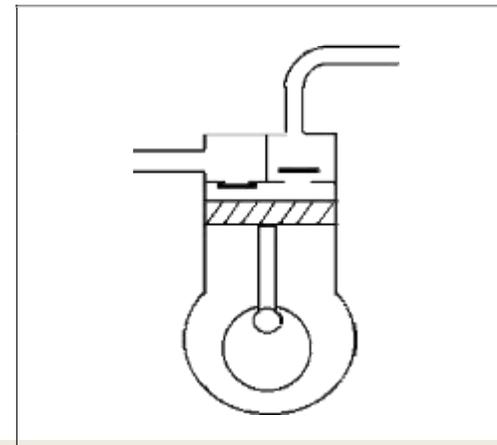


► Technologie des compresseurs

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).

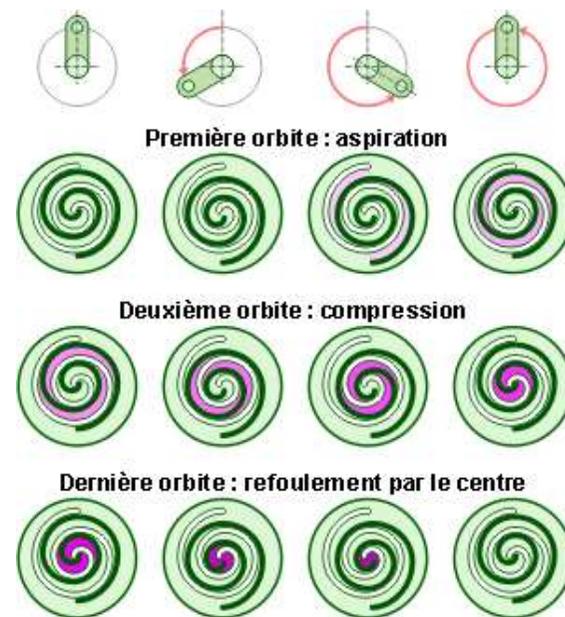
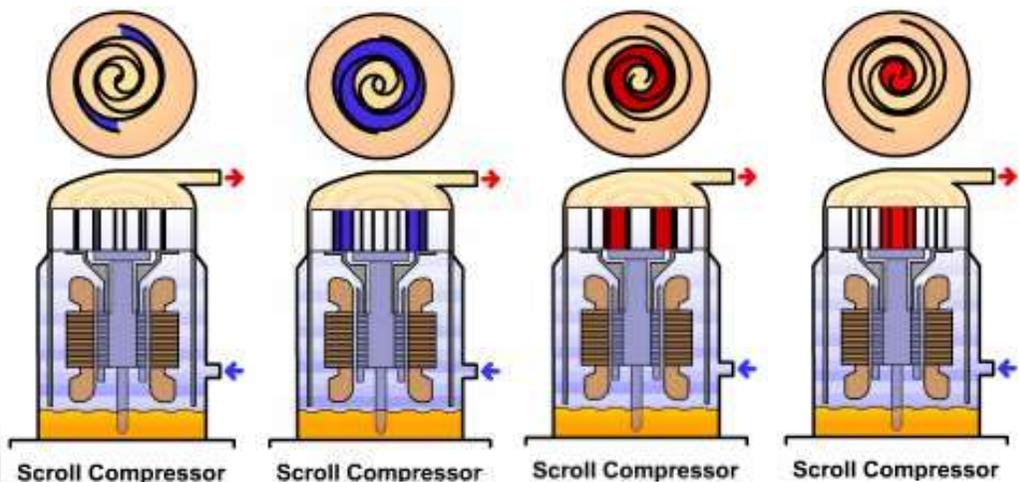


► Technologie des compresseurs

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° .

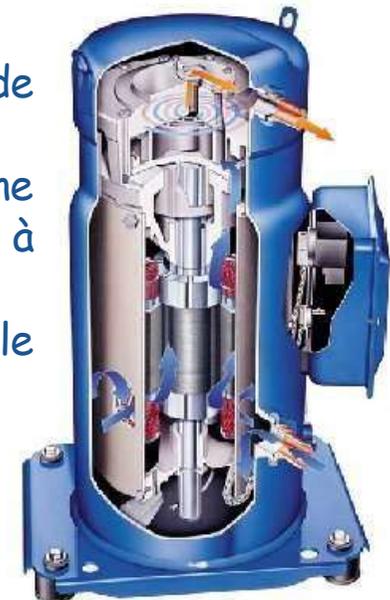
❖ Le mouvement orbital entraîne le déplacement vers le centre des poches de gaz, ce déplacement est accompagné d'une réduction progressive de leur volume jusqu'à disparition totale.



► Technologie des compresseurs

Avantages et inconvénients du compresseur "scroll"

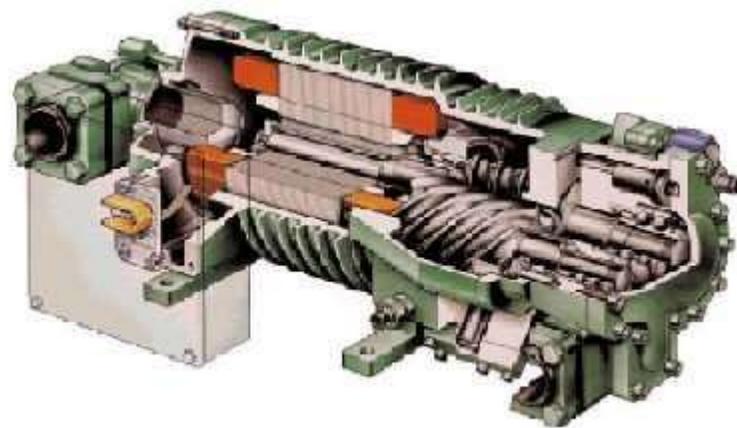
- ❖ une réduction des pièces mécaniques en mouvement (suppression des clapets) et donc une plus grande fiabilité,
 - ❖ un rendement volumétrique d'un compresseur assez bon grâce à l'absence d'espaces morts, comme dans les compresseurs à pistons,
 - ❖ une meilleure modulation de puissance,
 - ❖ une plus 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
Compresseur rotatif	10 W maximum (climatiseurs individuels, petits refroidisseurs d'eau)	<ul style="list-style-type: none"> • Variation de la vitesse de rotation • Régulation admission gaz à l'aspiration • La tendance est d'associer deux ou plusieurs compresseurs sur une même machine <p>(*)</p>
Compresseur scroll	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"
Compresseur à piston		
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"> • Un compresseur à plusieurs étages ou plusieurs compresseurs en cascade ("centrale") • Variation de la vitesse de rotation
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>
Compresseur à vis	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>