

## 5- TECHNOLOGIE DES VENTILATEURS ET DES COMPRESSEURS

### 5-1- Généralités

Les ventilateurs, les soufflantes et les compresseurs, destinés à véhiculer des fluides compressibles, ont pour objet de transférer de l'énergie mécanique aux fluides qui les traversent, en vue d'accroître la pression.

On distingue deux grandes familles :

- Les machines volumétriques ;
- Les machines roto dynamiques ou turbomachines.

Dans le domaine des turbomachines de compression, on peut trouver les deux modes de classement suivant :

♦ ♦ L'utilisation, on a :

- Les ventilateurs : Faible taux de compression (inférieur à 1,2 en air) et faible vitesse du fluide dans la traversée de la machine ;
- Les soufflantes : Caractérisées par l'apparition marquée de la compressibilité avec des taux de compression plus élevés (entre 1,20 et 2) et des vitesses plus grandes ;
- Les compresseurs : Taux de compression élevé (supérieur à 2) pouvant nécessiter l'utilisation de plusieurs étages de compression montés en série.

♦ ♦ La forme géométrique (avec deux formes principales), on a :

- Les machines centrifuges dans lesquelles le fluide entre axialement dans la roue puis se répartit tout autour de cet axe dans une direction sensiblement perpendiculaire à celui-ci avant de sortir circonférentiellement en périphérie (**figures 1a et 1b**).
- Les machines axiales dans lesquelles l'écoulement reste sensiblement équidistant de l'axe dans toute la traversée de la roue mobile (**figure 1c**).

Il y a une évolution constante de la forme entre ces deux familles, le stade intermédiaire étant appelé hélico centrifuge (**figure 1c**).

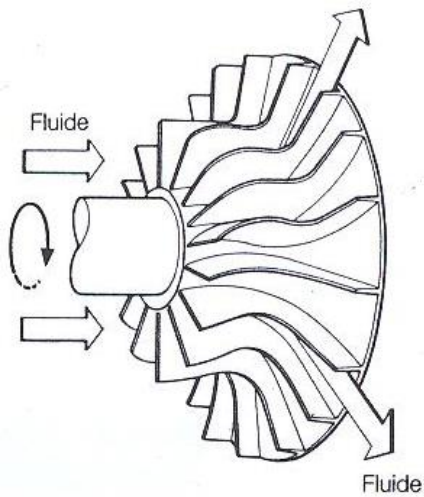
Les machines centrifuges se prêtent mieux à des taux de compression élevés ; les machines axiales sont capables de débits plus grands.

Comme dans le cas des turbopompes, on rencontre également des ventilateurs à double ouïe (**figure 2**).

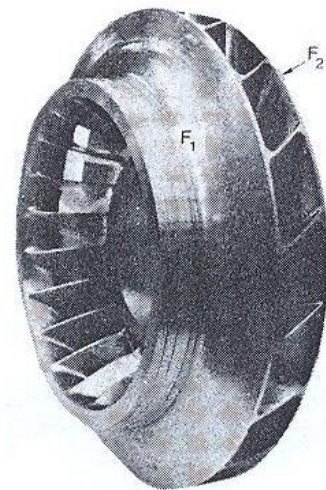
L'été un ventilateur fournit une sensation de fraîcheur à un être humain en facilitant l'évaporation de la **transpiration** et en homogénéisant la température d'une pièce, mais ne permet pas de baisser la température, les éléments moteurs au contraire dégagent de la chaleur.

- Les ventilateurs permettent la **ventilation** des bâtiments, des ouvrages routiers, etc.
- Élément d'une **forge** portative, le ventilateur est souvent actionné par une manivelle.

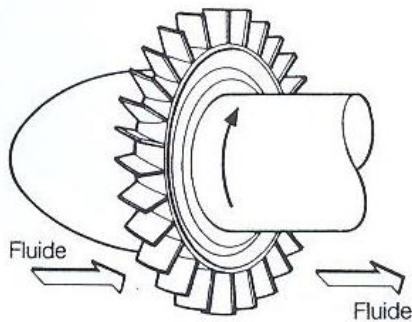
On utilise les ventilateurs dans divers domaines en créant un flux d'air permettant de maintenir une température acceptable dans certains environnements, notamment en informatique (aircooling).



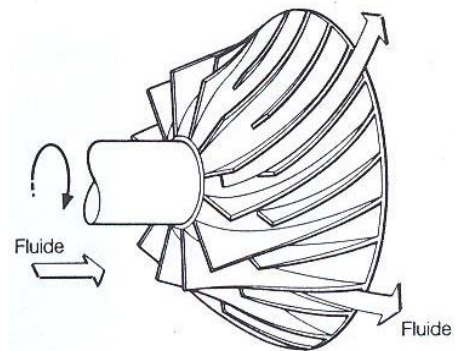
a- roue radiale centrifuge.



b- roue radiale centrifuge fermée.

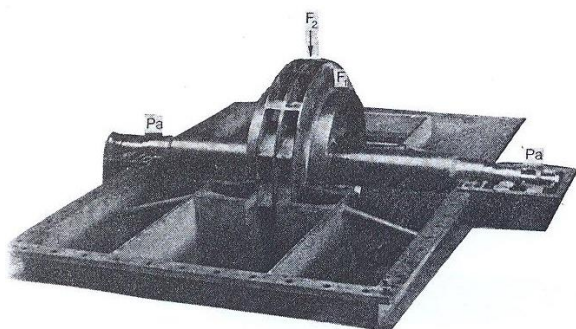


c- roue axiale.

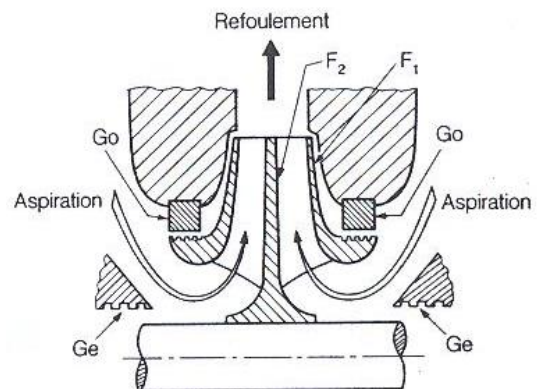


d- roue hélico centrifuge.

**Figure 1** : roue de machines centrifuge, hélico centrifuge et axiale.



a- Vue de la roue sur son socle



b- Coupe avec circulation du fluide

**F<sub>1</sub>** : Flasque avant de roue  
**F<sub>2</sub>** : Flasque arrière de roue

**P<sub>a</sub>** : Paliers

**G<sub>e</sub>** : Garnitures d'étanchéité  
**G<sub>o</sub>** : Garnitures d'ouïe

**Figure 2** : roue à deux ouïes de ventilateur centrifuge : construction entre paliers.

## 5-2- Les ventilateurs

On appelle ventilateurs, des appareils de compression de gaz donnant des surpressions faibles ou modérés. Par exemple, si le fluide est de l'air, aux conditions ambiantes, la surpression fournie varie usuellement de 1500 à 20.000 Pa. Les **figures 3 et 4** montrent un aperçu des ventilateurs.

Ils sont destinés, comme leur nom l'indique, à créer un vent artificiel, un courant d'**air**. La chaleur ressentie est fonction de la température mais inversement proportionnelle à la vitesse de l'air, donc le déplacement d'air provoqué par le ventilateur va rafraîchir les personnes.



**Figure 3** : ventilateur de plafond.



**Figure 4** : ventilateur Westinghouse.

Il existe deux grands types de ventilateurs en fonction de la direction de l'air pulsé :

- Les ventilateurs **axiaux** (ou hélicoïdes), où l'air est aspiré et propulsé parallèlement à l'axe de rotation du ventilateur (**figure 5a**) ;
- Les ventilateurs **centrifuges**, où l'air est aspiré parallèlement à l'axe de rotation et propulsé par force centrifuge perpendiculairement au même axe (**figure 5b**).



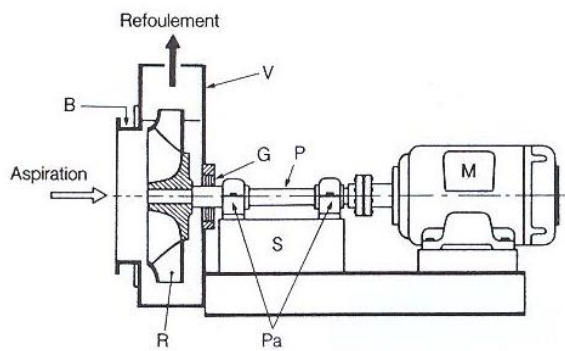
**(a)** ventilateur axial.



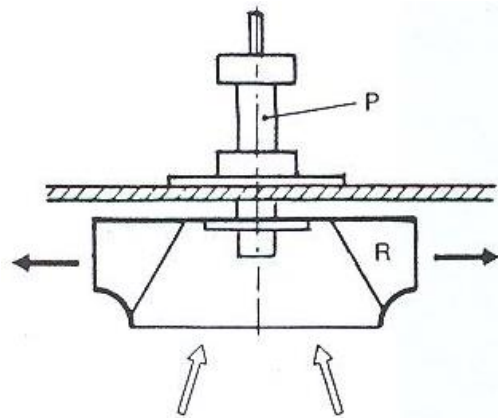
**(b)** ventilateur centrifuge.

**Figure 5** : les deux grands types de ventilateurs.

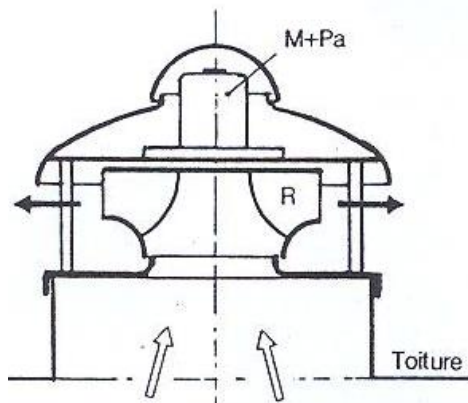
Les **figures 6 et 7** montrent respectivement un aperçu des ventilateurs (construction en porte à faux) les plus répandus et les ventilateurs axiaux.



a- ventilateur type.



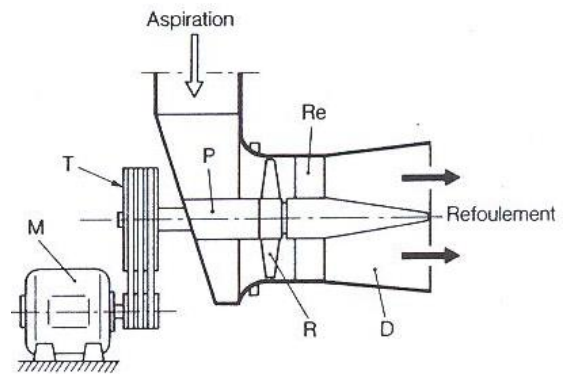
b- brasseur d'air pour four ou étuve.



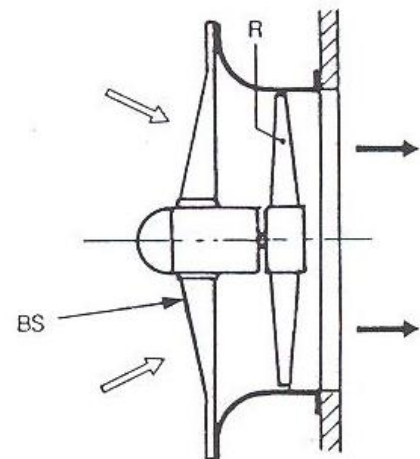
c- ventilateur de toiture, extracteur d'air.

B : bride d'aspiration      P : pivoterie  
G : garniture d'étanchéité      R : roue  
M : Moteur      S : socle  
Pa : Palier      V : volute

**Figure 6** : ventilateurs Centrifuges.



a- ventilateur type (transmission poulies courroies).



b- ventilateur de paroi.



c- Ventilateur de table.

BS : bras support      R : roue  
D : divergent      Re : redresseur  
M : Moteur      T : transmission courroie  
P : pivoterie

**Figure 7** : ventilateurs axiaux (hélicoïdes).



### 5-2-1- Les ventilateurs axiaux (ou hélicoïdes)

Les ventilateurs **axiaux** ou **hélicoïdaux** (**figures 8a** et **8b**) : Ils sont constitués de deux parties statiques, le distributeur et le diffuseur, plus une partie mobile l'**hélice** propulsée par le moteur. Le fluide arrive par le distributeur et l'hélice projette le fluide sur le diffuseur.

Sur les ventilateurs à usage domestique le distributeur et le diffuseur sont souvent absents.

Les ventilateurs axiaux ou hélicoïdes permettent des débits importants mais ne peuvent en général assurer des **différences de pression** importantes que si la vitesse périphérique des pales est importante. Ils sont alors souvent bruyants.



(a) ventilateur de conduit.



(b) ventilateur de paroi.

**Figure 8 : ventilateurs axiaux.**

Les ventilateurs hélicoïdaux haute pression sont parfois composés de deux ventilateurs en séries tournant en sens inverse. On parle alors de ventilateurs "contre-rotatifs".

Les ventilateurs axiaux sont utilisés là où il n'existe pratiquement pas de canalisation. Ils peuvent aussi être insérés dans des conduits (**figures 9a** et **9c**), là où se posent des problèmes d'encombrement (**figure 9b**).



(a) ventilateur hélicoïde de conduit.



(b) ventilateur hélicoïde mural.



(c) insertion d'un ventilateur hélicoïde dans un conduit.

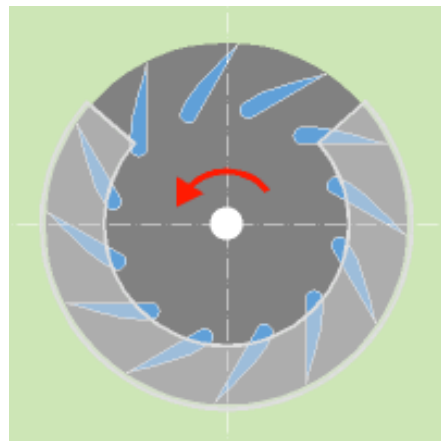
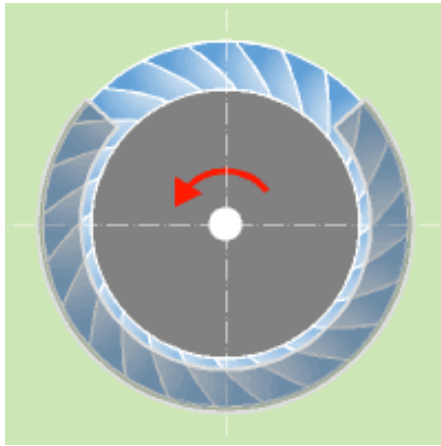
**Figure 9 : utilisation des ventilateurs axiaux.**

### 5-2-2- Les ventilateurs centrifuges

Les ventilateurs **centrifuges** : Ils sont constitués de deux parties principales : une **roue à aube** entraînée par un moteur, tourne dans un stator. Ce stator comporte deux ouvertures, une alimente la partie centrale de la roue en fluide, lequel pénètre par dépression et est soufflé par effet centrifuge par le deuxième orifice.

A diamètre de roue égal, les ventilateurs centrifuges ont une capacité de débit inférieure aux ventilateurs **hélicoïdes** mais permettent des **différences de pression** nettement plus élevées. Si on veut augmenter le débit, il faut utiliser une roue double avec deux ouïes d'aspiration.

Il existe des ventilateurs à aubes recourbées vers l'avant (à **aubages avant**) (**figure 10a**), à aubes recourbées vers l'arrière (à **aubages arrière**) (**figure 10b**) ou à aubes radiales. Il existe aussi des ventilateurs centrifuges à deux ouïes d'aspiration. Ces roues plus larges, parfois composées de deux roues simple ouïe accolées, aspirent l'air de chaque côté de la roue.



(a) roue de ventilateur centrifuge à aubes inclinées vers l'avant (double ouïe).

(b) roue de ventilateur centrifuge à aubes inclinées vers l'arrière (double ouïe).

**Figure 10** : inclinaison des aubes.

### 5-2-3- Les systèmes d'entraînement

L'entraînement des ventilateurs comme dans le cas des pompes et des compresseurs peut être :

- Direct ;
- Par accouplement élastique et coupleurs ;
- Par courroies ;
- Etc.

**Entraînement direct :** dans ce cas, la roue est directement calée sur l'arbre du moteur. Avec de petits ventilateurs, on peut également caler la roue sur le rotor d'un moteur à rotor extérieur (**figure 11a**).

**Entraînement par accouplement élastique et coupleurs :** les accouplements sont des liaisons d'arbres permanentes, tournant à la même vitesse (**figure 11b**).

C'est un type d'entraînement qui est principalement utilisé dans le cas de roues de grandes dimensions et dont la masse à mettre en mouvement est importante. Les paliers du ventilateur et du moteur sont alors indépendants.

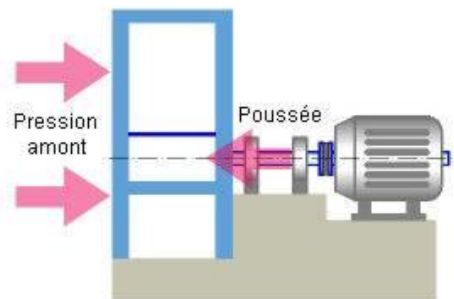
Dans un accouplement élastique, un élément élastique est interposé entre les deux moitiés de l'accouplement.

Dans les coupleurs centrifuges, la transmission du couple se fait grâce à la force centrifuge qui presse des éléments mobiles entraînés par l'arbre du moteur contre la partie du coupleur solidaire du ventilateur. Dans les coupleurs hydrauliques, c'est le déplacement d'un fluide qui assure la transmission du mouvement.

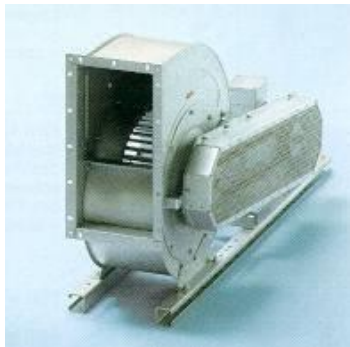
**Entraînement par courroies :** En changeant les diamètres des poulies motrices et réceptrices dans ce type d'entraînement, il est possible de faire varier la vitesse de rotation donc, par voie de conséquence, débit et pression obtenus (**figure 11c**).



(a) entraînement direct.



(b) entraînement par accouplement.



(c) entraînement par courroie.

Figure 11 : systèmes d'entraînement.

### 5-3- Les compresseurs

On utilise les compresseurs pour produire de l'air comprimé. Pour des taux de compression en air supérieurs à 1,15 ou 1,20 (suivant l'approximation que l'on peut consentir), on doit tenir compte de l'effet de compressibilité du fluide. Pour obtenir des accroissements de pression supérieurs à ceux donnés par les ventilateurs, on peut soit augmenter la vitesse périphérique des roues, soit accroître le nombre.

On utilise, en fait chaque fois que c'est possible, des machines monocellulaires de construction simple et on n'a recours aux machines multicellulaires que lorsque les vitesses périphériques nécessaires dépassent les possibilités de construction habituelles.

Il existe une grande diversité de compresseurs qui se différencient selon leur principe de fonctionnement et leur technologie.

Comme les pompes, les compresseurs sont classés en deux grandes familles suivant le mode de transfert de l'énergie au gaz : les compresseurs volumétriques et les compresseurs dynamiques (ou turbocompresseurs).

Le compresseur se choisit en fonction de la pression de travail maximale et du débit maximum. D'autres critères tels que le prix, l'encombrement, la consommation d'énergie, le niveau de bruit, etc. peuvent être pris en compte.

La classification des compresseurs est donnée à la **figure 12** et leur récapitulatif dans le tableau qui suit.

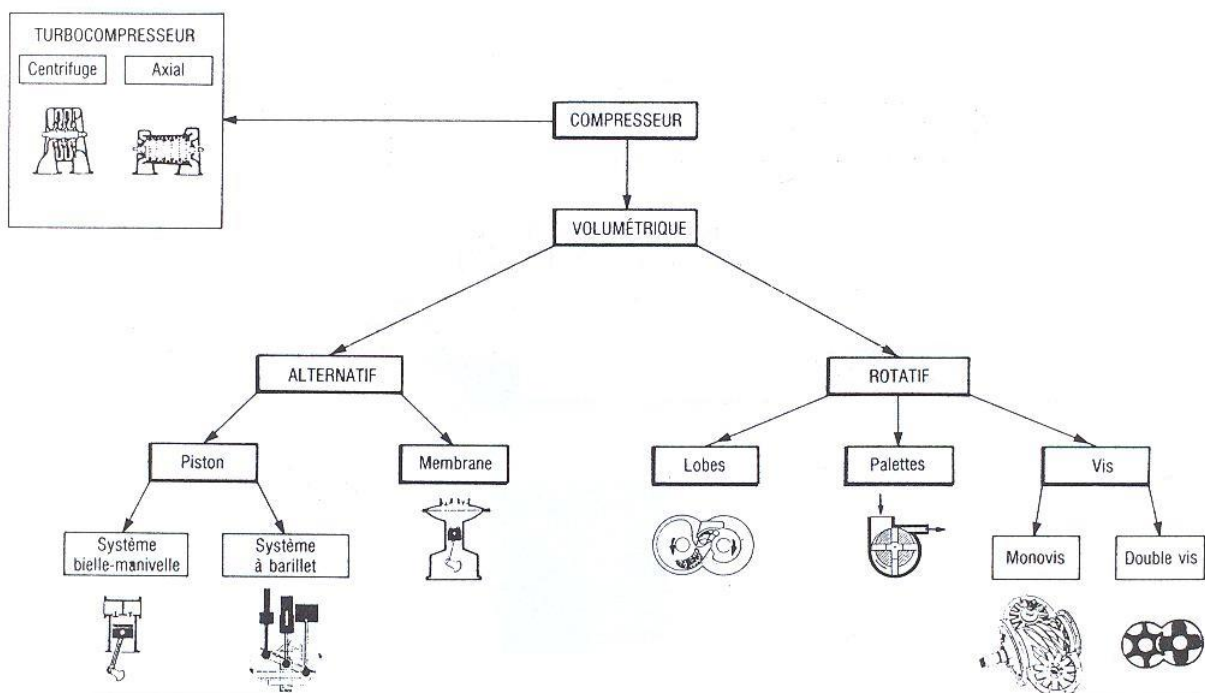


Figure 12 : classification des compresseurs.

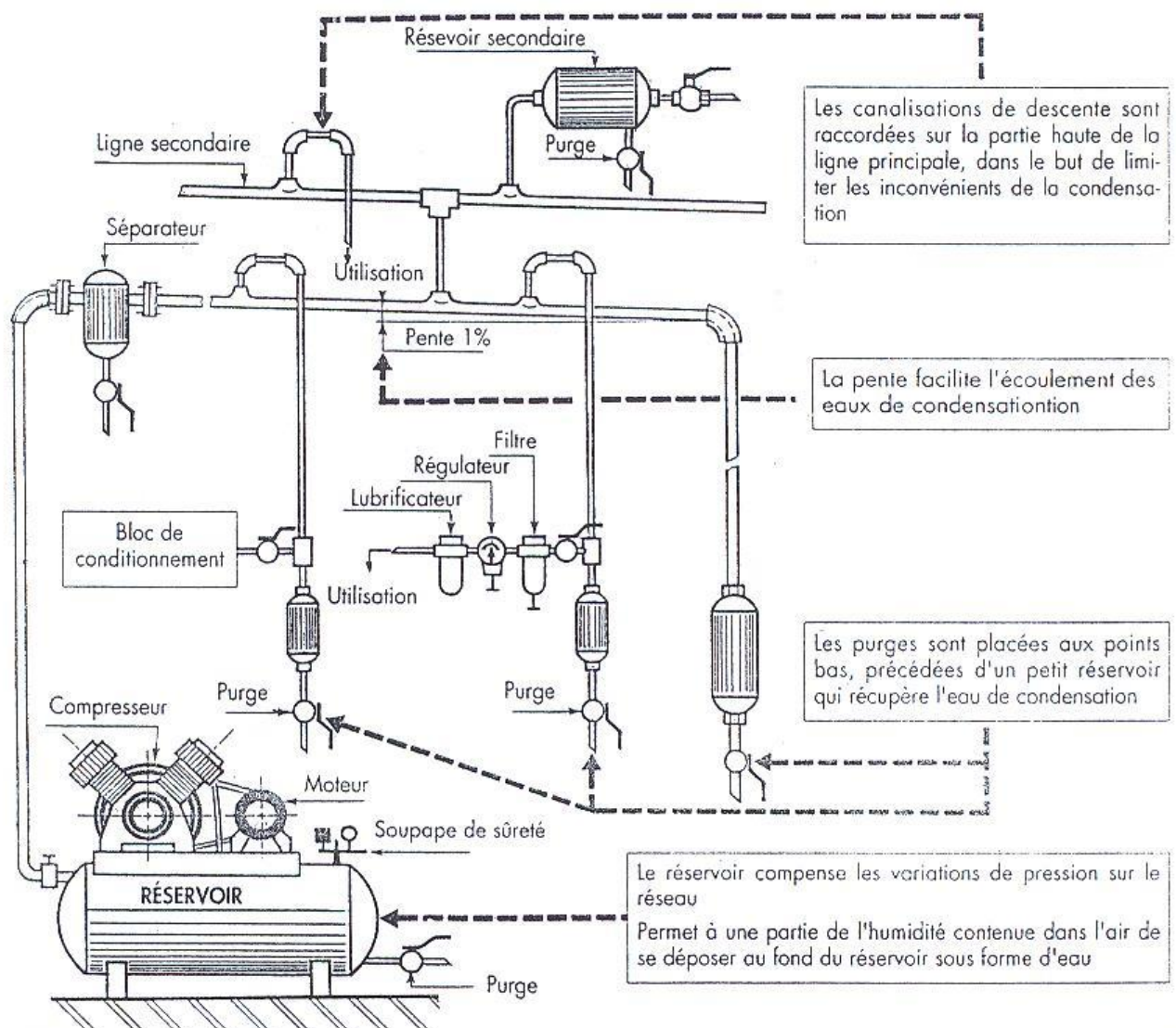


Les applications des compresseurs sont très diversifiées, parmi lesquelles :

- La fabrication d'air comprimé (air instrumentation, nettoyage de pièces, peinture...) ;
- La réalisation de vide et de dépression (distillation, cristallisation sous vide, évaporation...) ;
- L'assainissement des locaux (climatisation...), etc.

L'utilisation de l'air comprimé comme source d'énergie dans les industries est à l'heure actuelle très répandue. L'installation est composée (**figure 13**) :

- D'un compresseur entraîné par un moteur électrique ;
- D'un réservoir tampon ;
- Des dispositifs de sécurité et de régulation ;
- Et des circuits de distribution.



**Figure 13 : installation d'air comprimé.**

### 5-3-1- Les compresseurs volumétriques

Dans la famille des compresseurs volumétriques, on a : les compresseurs volumétriques à mouvement alternatif (à pistons, à membrane) et ceux à mouvement rotatif (à vis, à palettes et à lobes).

#### 5-3-1-1- Compresseurs volumétriques à mouvement alternatif

##### a- Compresseurs à pistons (figure 14a)

**a1- Machine simple action** (ou simple effet), un seul étage de compression (figure 14b).

- Le piston descend. L'air atmosphérique est aspiré par mise en dépression de la chambre de compression, la soupape d'aspiration étant ouverte, celle de refoulement étant fermée (c'est la phase d'admission).

- Le piston remonte dès que le Point Mort Bas est atteint. Les 2 soupapes sont fermées. L'air est comprimé. La pression de la chambre de compression atteint la pression désirée (c'est la phase de la compression). La soupape de refoulement s'ouvre, le piston chasse l'air comprimé (c'est la phase de refoulement).

Après que le piston ait atteint le Point Mort Haut, le cycle recommence.

Les compresseurs qui possèdent un seul étage de compression sont appelés mono étagé. La pression au refoulement d'un compresseur à piston mono étagé est de plus ou moins 10 bars (145 psi). Par ailleurs, pour atteindre des pressions plus élevées, plusieurs pistons sont montés en série. Ces compresseurs à plusieurs pistons sont alors appelés multi étagés.

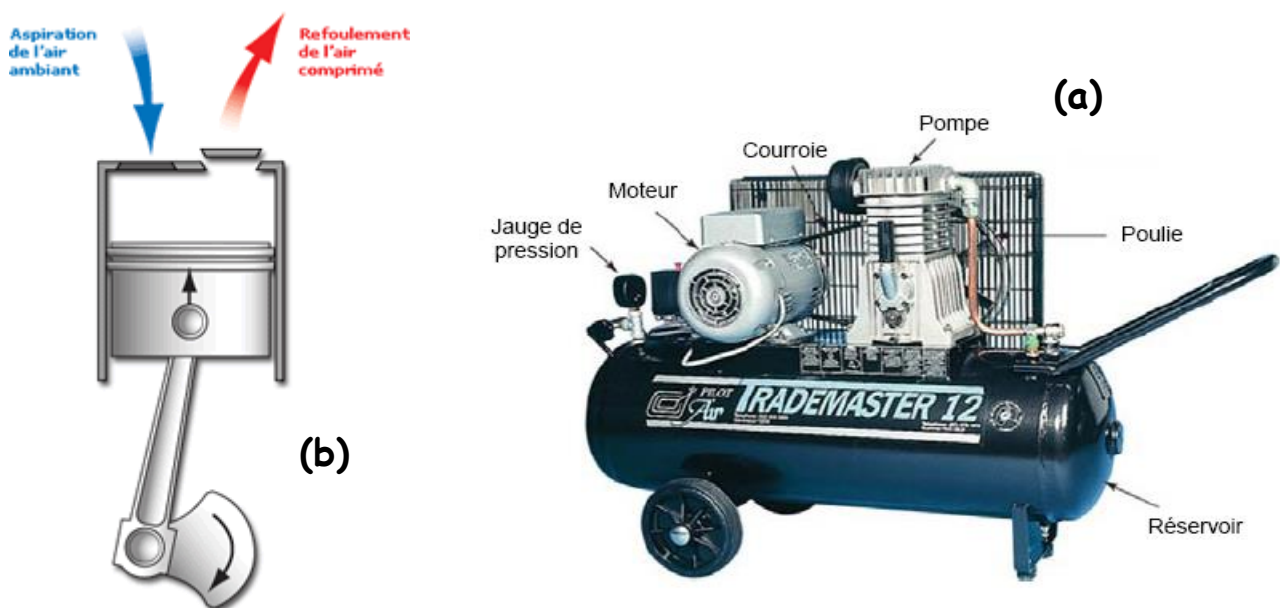
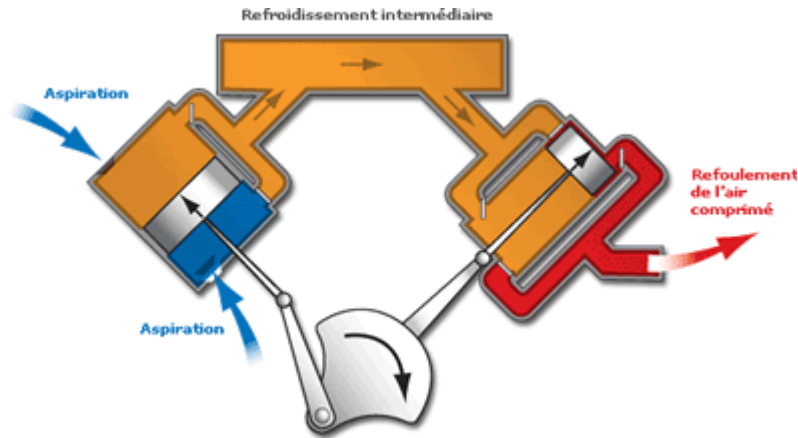


Figure 14 : principe de la machine simple action et compresseur à piston.

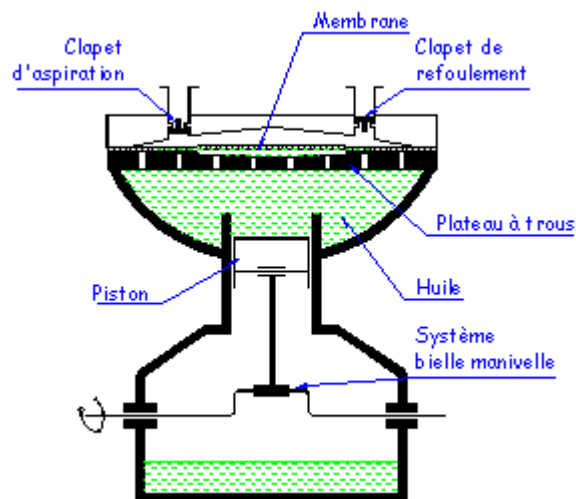
**a2- Machine double action** (double effet), à deux étages : l'air, qui entre à pression atmosphérique, est comprimé dans le premier étage, puis refroidi avant d'être à nouveau comprimé dans un deuxième étage. Les deux côtés des cylindres de compression sont utilisés alternativement, multipliant par deux le volume d'air comprimé obtenu à chaque tour du moteur par rapport à une machine simple action (**figure 15**).



**Figure 15** : principe de la machine double action.

#### **b- Compresseurs à membrane**

C'est la déformation élastique d'une membrane qui assure l'aspiration et la compression du gaz. Les compresseurs à membrane sont utilisés pour des gaz dangereux, nocifs et corrosifs (**figure 16**).



**Figure 16** : compresseur à membrane.

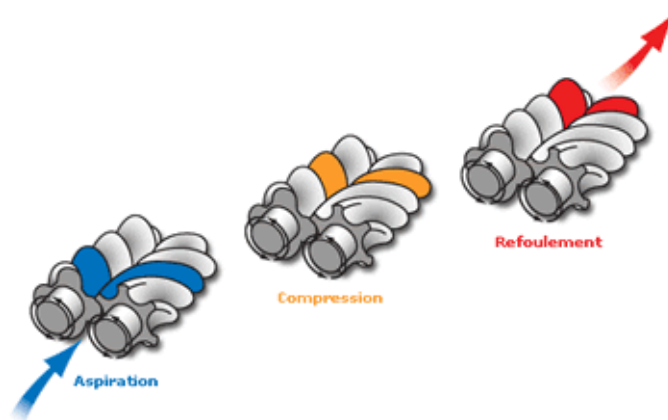
### 5-3-1-2- Compresseurs volumétriques à mouvement rotatif

#### a- Compresseurs à vis lubrifiés

**a1- Compresseurs à vis à injection d'huile :** Les compresseurs à vis à injection d'huile fonctionnent avec deux rotors hélicoïdaux (deux vis), un "mâle" et une "femelle" qui engrènent et tournent en sens contraire. Le dessin des rotors est fait de telle sorte que le volume de l'espace libre entre eux diminue le long de leurs axes. Cette diminution de volume comprime l'air emprisonné dans cet espace (**figure 17**).

Le passage du gaz s'effectue alors parallèlement aux axes des deux vis. La vis femelle comporte toujours un pas de plus que la vis mâle avec un profil différent.

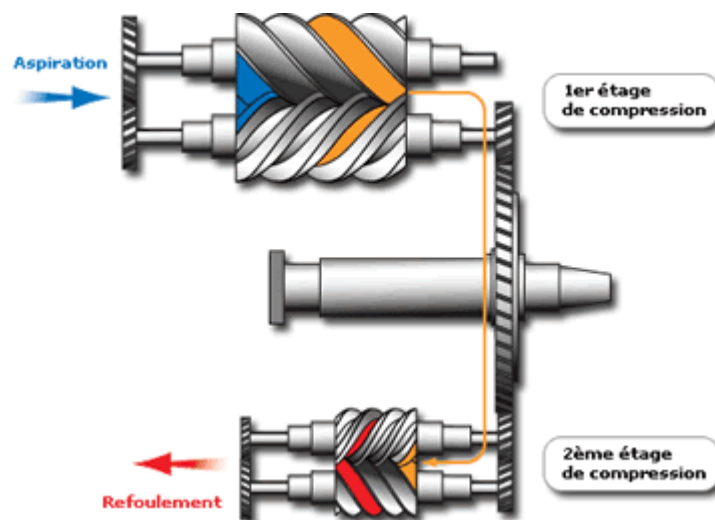
Le gaz ainsi comprimé traverse des capacités de plus en plus petites jusqu'à la tubulure de refoulement (les chambres sont formées par les parois du corps et les filets des deux vis).



**Figure 17 :** aspiration - compression - refoulement (compresseur à vis lubrifié)

**a2- Compresseurs à vis exempts d'huile :** Ces compresseurs sont souvent bi-étagés pour des pressions requises entre 5 et 10,5 bar et possèdent donc un meilleur rendement que les machines lubrifiées à 1 seul étage de compression (**figure 18**).

Les rotors "mâle" et "femelle" sont mis en rotation par des engrenages (alors que pour les compresseurs à vis lubrifiée, c'est le rotor "mâle" lui même qui entraîne le rotor "femelle").



**Figure 18 :** aspiration - refoulement (compresseur à vis non lubrifié).



### b- Compresseurs à palettes

Il est constitué d'un stator cylindrique dans lequel tourne un rotor excentré. Ce dernier est muni de rainures radiales dans lesquelles coulisent des palettes qui sont constamment plaquées contre la paroi du stator par la force centrifuge (**figure 19**).

Lorsque le rotor tourne, le volume créé entre les palettes croît et décroît de la zone d'aspiration à la zone de refoulement. La capacité comprise entre deux palettes est donc variable. Devant la tubulure d'aspiration, le volume croît : Il y a donc aspiration du gaz. Ce gaz est ensuite emprisonné entre deux palettes et transporté vers la tubulure de refoulement. Dans cette zone, le volume décroît et le gaz comprimé s'échappe dans la tuyauterie de refoulement.

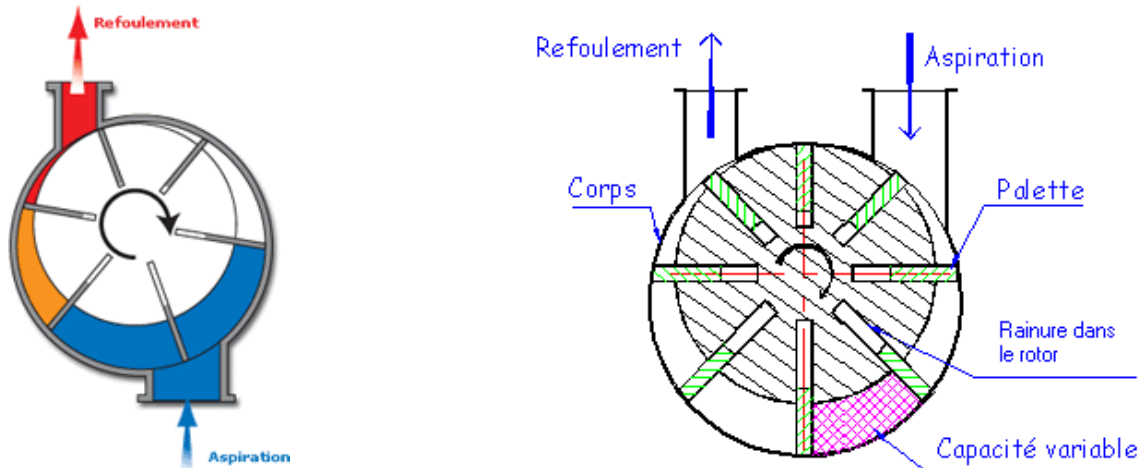


Figure 19 : compresseurs à palettes.

### c- Compresseur à lobes (Roots)

Le compresseur à lobes comprend deux rotors symétriques en forme de «8» s'imbriquant l'un dans l'autre. Les rotors du compresseur à lobes tournent en sens inverse l'un par rapport à l'autre, à l'intérieur du stator (**figure 20**).

Le mouvement de rotation des rotors est synchronisé par des pignons extérieurs. Il n'y a aucun contact entre les rotors entre eux et entre les rotors et le carter.

La rotation des rotors crée alternativement des chambres de grand et de petit volume de telle façon que l'air aspiré dans la grande chambre est comprimé dans la petite.

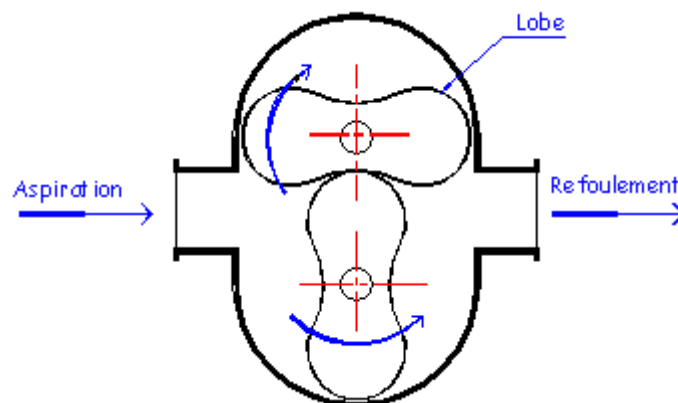


Figure 20 : compresseur à lobes.

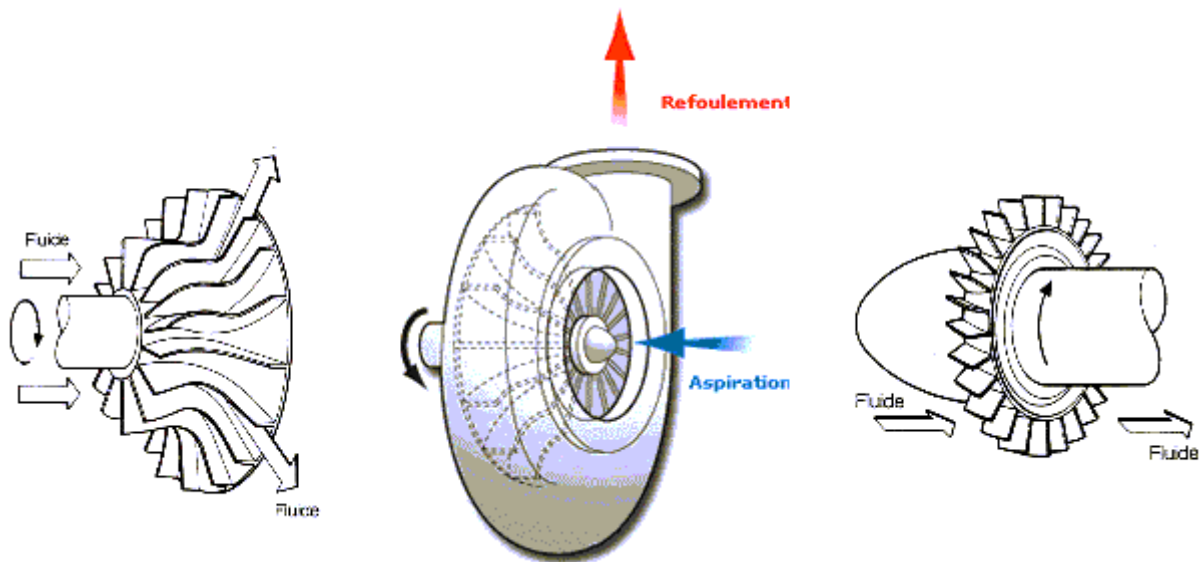
### 5-3-2- Les compresseurs dynamiques ou turbocompresseurs

En se référant à la technologie des pompes, les turbocompresseurs sont également classés en deux grandes catégories en tenant compte de la forme géométrique de la roue : Les compresseurs centrifuges et les compresseurs axiaux.

**a- Le compresseur centrifuge** est une machine tournante dans laquelle la roue (impulseur) accélère progressivement l'air. Cette vitesse est transformée en énergie de pression par le diffuseur qui est une pièce fixe, puis refoulée.

Le fluide entre axialement dans la roue puis se répartit tout autour de cet axe dans une direction qui lui est perpendiculaire. Le fluide ressort en périphérie et est collecté par le biais d'une volute (**figure 21a**).

**b- Les machines axiales**, dans lesquelles le fluide conserve un parcours axial dans la traversée de la roue mobile (**figure 21b**).



(a) roue radiale centrifuge.

(b) roue axiale.

Figure 21 : turbocompresseurs.