

Dans ce présent chapitre, nous allons donner un aperçu général sur les compresseurs, leurs caractéristiques de construction, leurs principes de fonctionnement, ainsi qu'une classification et domaines d'application.

II.1. Généralités sur les compresseurs [6]

Toutes les turbomachines, qui soit : des turbocompresseurs; des ventilateurs; des turbines à vapeur; à gaz; hydrauliques; des pompes centrifuges; et axiales...etc. Fonctionnent théoriquement d'après les mêmes principes, et obéissent en particulier à la même loi de réversibilité. On peut donc imaginer qu'il soit possible d'utiliser la même méthode de calcul pour des machines de cette nature.

Mais en réalité l'existence de phénomènes physiques, tels-que : La viscosité; la compressibilité des gaz; etc. Modifient les règles qui ne sont valables, que pour un fluide idéal et, il est impossible de négliger ces éléments sous risque de lourdes erreurs. D'autre part, la réversibilité ne peut avoir lieu et qu'entre certaines limites surtout s'il s'agit de liquide.

Les turbocompresseurs sont des machines dans lesquelles, un fluide échange de l'énergie avec des impluseurs munis d'aubes, tournant autour d'un axe. L'indice principal de ces compresseurs est la continuité de l'écoulement de l'entrée à la sortie. Les aubes ménagent entre elles des canaux par lesquels le fluide s'écoule. Elles sont des obstacles prolongés donnant la direction au fluide qui les traverse.

Les turbocompresseurs sont appliqués dans divers domaines, ils peuvent être utilisés dans l'industrie du gaz, la métallurgie mécanique, etc.

Les avantages de ces machines sont qu'elles peuvent être accouplées directement à un moteur électrique ou à une turbine sans mécanisme bielle-manivelle. C'est pour cette raison qu'elles sont moins encombrantes par rapport aux compresseurs à piston.

II.1.1. Définition

Les compresseurs sont des appareils qui transforment l'énergie mécanique fournie par une machine motrice en énergie de pression, en réalisant un accroissement de pression d'un fluide à l'état gazeux.

II.1.2. But de la compression

La compression en générale, peut être imposée par la nécessité technique de déplacer une certaine quantité de gaz d'un système à une certaine pression, vers un autre système à une autre pression plus élevée. Cette opération a pour but de :

- Faire circuler un gaz dans un circuit fermé ;
- Produire des conditions favorables (de pression) pour des réactions chimiques ;
- Envoyer un gaz dans un pipe-line de la zone de production vers l'utilisateur ;
- Obtenir de l'air comprimé pour la combustion.

II.2. Classification des compresseurs

Les compresseurs peuvent être classés selon plusieurs caractéristiques, voir figure (II.1).

- Mouvement des pièces mobiles (mouvement linéaire ou rotatif) ;
- Le principe de fonctionnement (volumétrique, dynamique) ;
- Les compresseurs d'air ;
- Les compresseurs des gaz.

En général il existe deux grandes familles de compresseur, les compresseurs volumétriques et les turbocompresseurs. Dans les premiers, l'élévation de pression est obtenue en réduisant un certain volume de gaz par action mécanique; dans les seconds, on augmente la pression en convertissant de façon continue l'énergie cinétique communiquée au gaz en énergie de pression due à l'écoulement autour des aubages dans la roue.

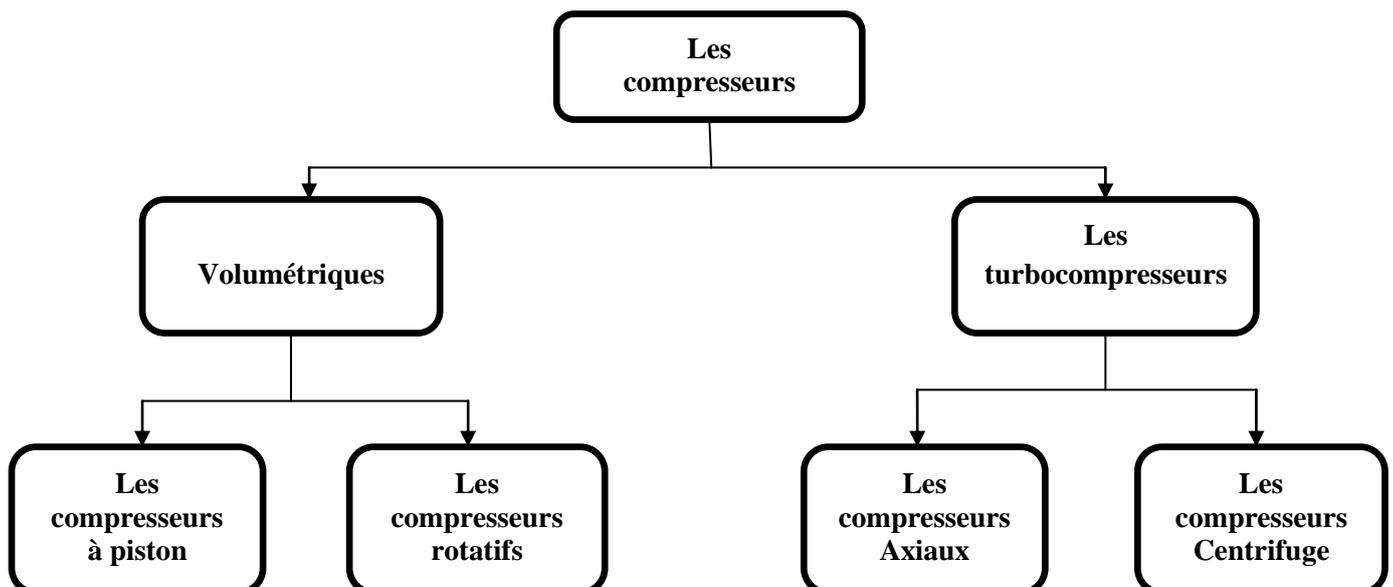


Figure II.1 : Classification des compresseurs.

II.2.1. Compresseurs volumétriques

On divise cette famille en deux catégories.

a) **Les Compresseurs alternatifs** : Le gaz est introduit dans un espace limité par des parois métalliques (cylindre - piston). L'espace à disposition du gaz est réduit (le piston avance), et par conséquent, la pression augmente, quand la pression est pareille à celle du circuit de haute pression le gaz est refoulé. On distingue deux types, voir figure (II.2) :

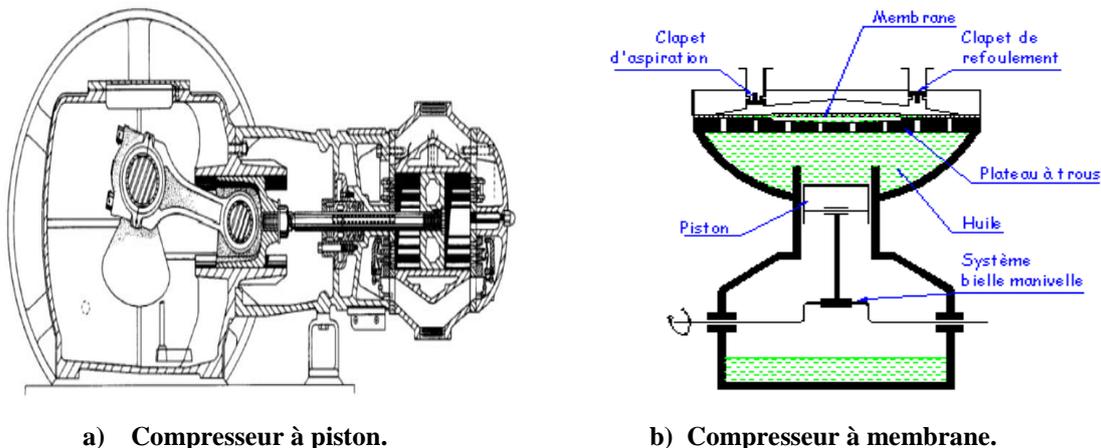


Figure II.2 : Compresseurs alternatifs.

b) **Les compresseurs rotatifs** : Ils sont de plusieurs types, dont le principe de fonctionnement fondamental est le suivant :

- Le gaz est introduit dans un espace limité par le corps du compresseur et une partie de l'élément qui tourne (palettes, lobes, vis, ...) ;
- Le gaz est transporté de l'aspiration au refoulement ;
- Mise en contact avec le circuit à haute pression ;

On distingue les types suivants, voir figure (II.2) :

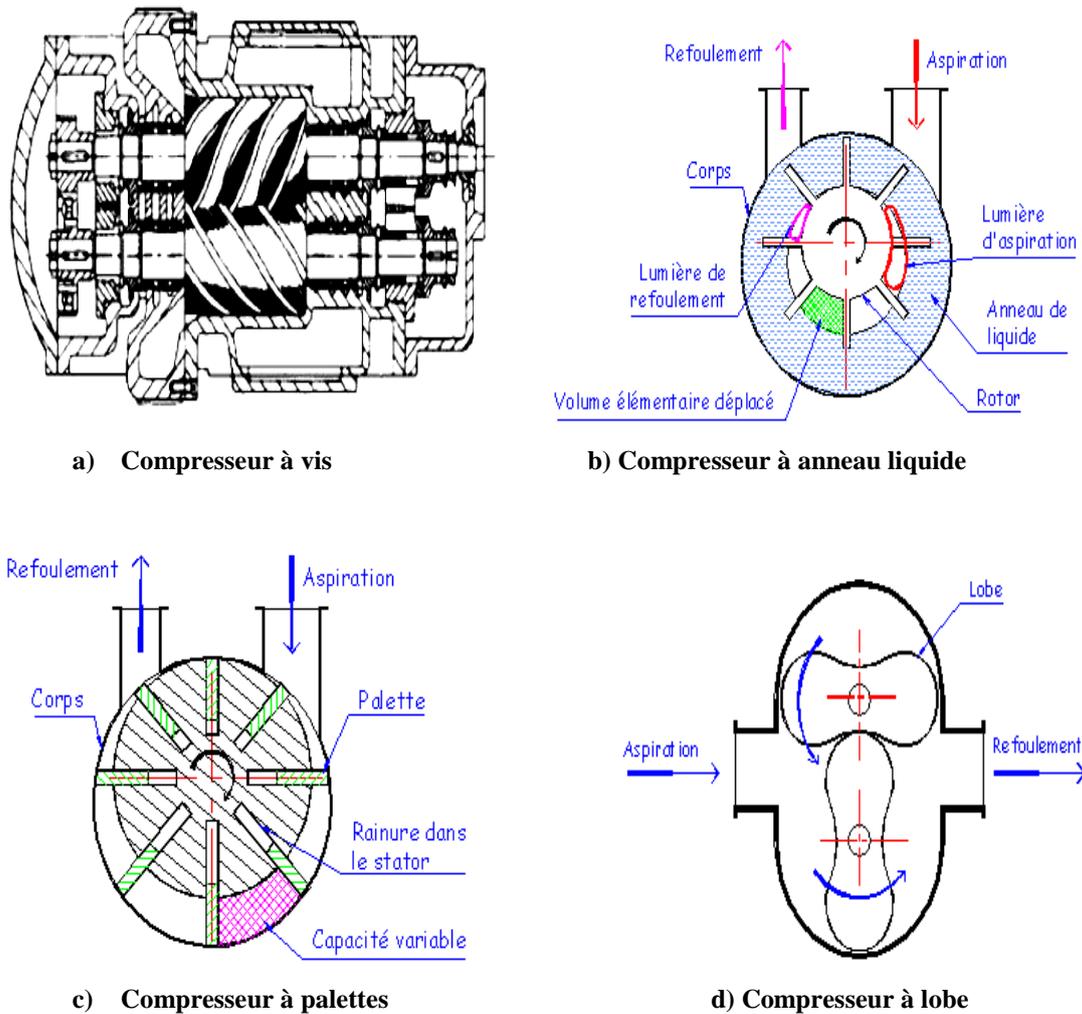


Figure II.3 : Les compresseurs rotatifs.

II.2.2. Les compresseurs dynamiques

Au point de vue de l'écoulement du fluide, les compresseurs dynamiques se divisent en machines axiales et centrifuges.

- a) **Les compresseurs axiaux :** Les compresseurs axiaux ne sont pas refroidis, la compression est faite sans échange de chaleur avec l'extérieur. Ce sont des machines réceptrices à écoulement axial du fluide compressible, ils sont utilisés dans les turbines à grande puissance et dans les turboréacteurs d'aviation. Ils sont caractérisés par le nombre d'étages important et le taux de compression n'est pas élevé (de l'ordre 1.3).
- b) **Les compresseurs centrifuges :** Ces compresseurs sont très utilisés en raffinage et dans l'industrie des pétrochimies. Ils sont très compacts et peuvent développer des puissances importantes comparées à leur taille. Dans leur plage de fonctionnement, ils n'engendrent pas de pulsation de pression au niveau des tuyauteries, ces qualités

permettent des installations légères, pour l'environnement de ces compresseurs. Ils sont particulièrement appréciés pour leurs fiabilités, car de par leur conception, ces machines ne génèrent aucun frottement métal sur métal. La périodicité des entretiens atteint généralement de trois à cinq (3 – 5) ans.

II.3. Types des compresseurs centrifuges

La construction de ces compresseurs étant adaptée au cas particulier de chaque réalisation, on distingue :

II.3.1. Compresseur centrifuge avec enveloppe à plan de joint vertical

Ces compresseurs sont généralement multi étagés, et peuvent fonctionner à haute pression. Le rotor et les diaphragmes sont situés à l'intérieur du corps. L'étanchéité est assurée par un joint torique monté entre le corps et le couvercle, ce dernier est rapporté à l'enveloppe par boulonnage qui facilite le montage et le démontage de l'ensemble aérodynamique

II.3.2. Compresseur centrifuge avec enveloppe à plan de joint horizontal

Ces compresseurs fonctionnent généralement à de basses pressions et débits importants. Le corps ouvert horizontalement est constitué évidemment de demi-corps unis sur le joint horizontal. Les tubulures d'aspiration et de refoulement ainsi celles intermédiaires, les tuyauteries d'huile de graissage et tous les raccords du compresseur.

L'enveloppe est moulée et généralement avec une surépaisseur de corrosion de 3mm. Les tubulures en fonderie ont utilisé une volute extérieure au niveau du refoulement pour réduire l'entraxe entre les paliers.

II.3.3. Compresseur avec corps en forme de cloche

Les compresseurs barrels à haute pression ont des corps en forme de cloche et sont fermés par des segments au lieu des boulons.

II.3.4. Compresseur de canalisation

Les corps de ces compresseurs sont en forme de cloche avec un seul flasque de fermeture sur un plan vertical. Généralement ils sont utilisés pour transporter le gaz naturel.

II.3.5. Compresseur SR

Généralement utilisés pour comprimer de l'air, de la vapeur et pour des applications géothermiques.

II.4. Technologie et fonctionnement des compresseurs volumétriques

II.4.1. Description générale

L'action des compresseurs volumétriques peut être alternative ou rotative.

Un compresseur alternatif produit un débit de refoulement intermittent, il est généralement combiné à un réservoir qui absorbe les fluctuations et assure une pression de refoulement uniforme. Le refoulement d'un compresseur rotatif étant uniforme, il est souvent raccordé directement à un réseau de tuyauteries.

II.4.2. Les compresseurs volumétriques rotatifs

Dans les compresseurs volumétriques rotatifs, le gaz est transféré par « paquet » de la zone d'utilisation vers la zone de refoulement. On distingue notamment :

- Les compresseurs à lobes (compresseur ROOTS) ;
- Les compresseurs à vis ;
- Les compresseurs à palettes.

Les compresseurs à lobes et souvent ceux à vis sont tels qu'il n'y a pas contact entre pièces tournantes et stator. Ils ne sont donc pas lubrifiés, contrairement aux compresseurs à palettes, et conviennent donc particulièrement à la compression de gaz propres « secs ». La lubrification est néanmoins possible dans les compresseurs à vis.

Les compresseurs à rotors hélicoïdaux (à vis) utilisés avec du gaz procédé sont considérés comme fiables à l'égal des compresseurs centrifuges.

II.4.3. Avantages et inconvénients des compresseurs rotatifs

Chaque machine a des avantages et des inconvénients :

- Ces machines sont capables de véhiculer du gaz dans une large gamme de débit (jusqu'à 3 000 m³/h). on notera que leur débit est régulier contrairement aux compresseurs alternatifs.
- Toutefois, ils sont mal adaptés aux hautes pressions bien que l'on puisse atteindre 30bars avec des compresseurs à vis.
- On leur reconnaît généralement une fiabilité satisfaisante.

- Ils sont peu utilisés pour le gaz procédé, mais ceux à vis sont très utilisés pour la fourniture d'air service et d'air instrument.

II.5. Une comparaison entre les différents types de compresseurs

Le tableau suivant indique la comparaison entre les différents types des compresseurs :

Tableau II.1 : Comparaison entre les différents types de compresseurs.

TYPES		Mouvement Linéaire	Mouvement rotatif	Débit	Pression	Rendement
Volumétrique	Compresseur à piston	+		Faible à moyen	Elevée	Très bon
	Compresseur à membrane	+		Faible		
	Compresseur à vis		+	Faible	Moyen	Faible
	Compresseur ROOTS		+	Faible	Basse	Faible
	Compresseur à palettes		+	Faible	Basse	Faible
Dynamique	Centrifuge		+	Important	Elevé	Très bon
	Axial		+	Très important	Basse	Très bon

II.6. Caractéristiques de construction des compresseurs centrifuges [7]

Examinons maintenant les diverses composants, en faisant particulièrement attention aux techniques de construction, aux dimensionnements et aux matériaux utilisés.

II.6.1. Corps

C'est l'enveloppe externe du compresseur, et comme on l'a déjà cité, il y a des corps ouverts horizontalement et des corps ouverts verticalement :

- a) **Corps ouverts horizontalement** : Les deux corps sont traditionnellement obtenus par fusion. Le choix du matériau dépend de la pression et de la température de fonctionnement, des diminutions du gaz à traiter et des limites imposées par les noms API. L'acier ASMT A216 WCA est utilisé pour ses caractéristiques de fusion. Si le compresseur doit fonctionner à basse température, il est conseillé d'utiliser l'acier ASTM351 CA15' 13% Cr) ou bien CF8. Plus récemment il y a tendance à adopter une solution soudée présentant certains avantages par apport à la fusion.

b) **Corps ouverts verticalement** : Aussi bien, les enveloppes que les couvercles, les extrémités sont obtenues par forgeage afin de rendre le matériau plus homogène, et donc plus résistant en considération des pressions élevées auxquelles ces compresseurs doivent travailler. Normalement, l'acier au carbone adopté (0,2 ÷ 0,25% au lieu de 0,35%) est appliqué, puisqu'il est suffisant fait pour obtenir de bonnes caractéristiques mécaniques. Et en même temps pour conférer des caractéristiques de soudabilité pour les compresseurs à très haute pression, un acier allié, ayant des caractéristiques mécaniques plus élevées est utilisé. Les bouches d'aspiration et de refoulement soudées au corps sont normalement forgées et sont du même matériau.

II.6.2. Rotor

C'est la partie mobile du compresseur qui se trouve dans le stator, c'est un arbre en acier forgé sur lequel sont montés les roues et leurs entretoises, le piston d'équilibrage, le moyeu d'accouplement, le collet de butée et éventuellement les parties tournantes d'étanchéité.



Figure II.4 Rotor de compresseur multi étagés.

II.6.3. Arbre

L'arbre est constitué d'une partie centrale, normalement à diamètre constant, où travaillent les paliers et l'étanchéité d'extrémité. Il est dimensionné de manière à avoir la plus grande rigidité possible. Dans la constitution des arbres de n'importe quel type de compresseur, on utilise de l'acier 40NcrM07UNI. En réalité cet acier a des propriétés mécaniques meilleures que celles normalement demandées pour un service standard des arbres des compresseurs centrifuges.

II.6.4. Les roue

Les roues sont montées frettées sur l'arbre. Le serrage est suffisant pour assurer le contact entre la roue et l'arbre. Lorsque cette roue est soumise aux efforts liés à la rotation, elles seront clavetées et positionnées axialement par leur entretoise. Les roues sont constituées généralement d'un moyeu et d'un flasque.

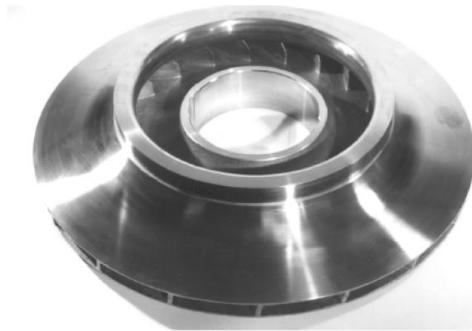


Figure II.5 Roue bidimensionnel d'un compresseur centrifuge.

II.6.5. Le piston d'équilibrage

Chaque roue a sur une partie de sa surface : D'un côté sa pression d'entrée et de l'autre coté sa pression de sortie. L'étanchéité entre ces deux pressions est réalisée en général par labyrinthe, Ce qui crée une force axiale. La somme des forces axiales des roues donne une force non compatible avec les capacités de charge d'une butée hydraulique. Pour compenser les forces axiales des roues, un piston d'équilibrage est ajouté sur l'arbre.

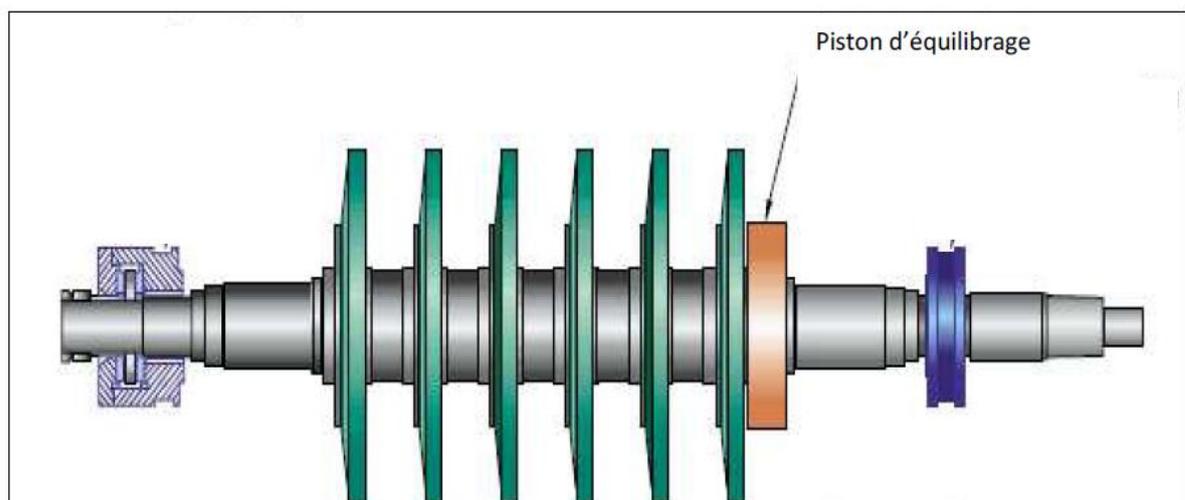


Figure II.6 Coupe d'une machine multicellulaire.

II.6.6. Accouplement d'entraînement

L'accouplement sert à transmettre la puissance de la machine motrice au compresseur. Il peut être direct au moyen d'un multiplicateur de vitesse, suivant le type d'entraînement.

Les accouplements flexibles sont les plus utilisées. Ils découplent correctement les comportements des vibrations de chacun des rotors.

Les accouplements à denture nécessitent une lubrification et introduisent des forces axiales importantes. Les accouplements à diaphragmes ou à membranes sont préférés, car ils évitent ces deux inconvénients.

II.6.7. Collet du palier de butée

Le collet est construit en acier au carbone type C40, normalement il est monté hydrauliquement par ajustement forcé.

II.6.8. Douilles intermédiaires

Elles sont des manchons positionnés entre les roues. Elles ont un double but, le premier est celui de protéger l'arbre contre les fluides corrosifs, l'autre est celui de fixer la position relative d'une roue par rapport à l'autre. Les douilles intermédiaires sont montées en force sur l'arbre avec une tolérance négative de $(0,5 \div 1\%)$.

II.6.9. Douilles sous les garnitures d'étanchéité à huile

Elles sont faites en acier au carbone revêtu de matériau de dureté élevée type Colmonoy. Les douilles sont employées pour protéger l'arbre contre la corrosion et les rayures éventuelles et en outre, elles peuvent être remplacées facilement.

II.6.10. Paliers

Les paliers porteurs et butés sont du type à fortement graissage forcé. Ils sont logés à l'extérieur du corps du compresseur et peuvent être inspectés sans éliminer la pression à l'intérieur de corps. On trouve :

- Paliers porteurs (radiaux) ;
- Butée axiale ;
- Paliers et butées magnétiques.

II.7. Applications des compresseurs centrifuges dans l'industrie

Le compresseur centrifuge trouve beaucoup d'applications dans de nombreux secteurs de l'industrie, où les procédés demandent des gammes de travail très larges :

Tableau II.2 : Utilisation des compresseurs centrifuges dans les domaines industriels.

Type d'installations	Gaz traité
<p style="text-align: center;">Raffineries :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reformage. - Craquage à catalyseur fluide (FCC). - Production de lubrifiant - Oléfine <p style="text-align: center;">Installations pétrochimiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ammoniac. - Méthanol. - Urée. - Ethylène 	<ul style="list-style-type: none"> - H₂+CH₄ - Air, gaz de craquage - Propane - Gaz naturel, éthylène, propylène <ul style="list-style-type: none"> - CH₄, air, H₂+N₂, NH₃, CO, CO₂, H₂, CH₄ - Gaz de charge
<p style="text-align: center;">Compression gaz naturel :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Réinjection. - Transport de gaz par pipeline. - Liquéfaction de gaz (GNL). - Liquéfaction (GPL) <p style="text-align: center;">Installation sidérurgique :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fractionnement air. - Service oxygène 	<ul style="list-style-type: none"> - Gaz naturel - Propane <ul style="list-style-type: none"> - Air - O₂, N₂

Nous avons présentés dans ce chapitre des généralités sur les compresseurs et leurs principaux éléments. La bonne conception et la technologie de fabrication de ces compresseurs ainsi qu'une application rigoureuse du plan de maintenance assurent un rendement énergétique maximal dans toutes les applications et pendant toute la durée de service du compresseur.