REPUBLIQUEALGERIENNEDEMOCRATIQUEET POPULAIRE
MINISTEREDEL'ENSEIGNEMENTSUPERIEURETDELARECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITEYAHIAFARESDEMEDEA



Faculté de Technologie

Mémoire de Fin d'études du Master

Filière : Hygiène et sécurité industrielle
Spécialité : Hygiène et Sécurité Industrielle

Analyse de Fiabilité et de Disponibilité d´un Compresseur d'air Centrifuge K4501C saidal médéa

---

Réalisé par :
NOUARI Abdelfattah
AIDOUNE Tarek

Dérigé par :
Pr GUEMANA Mouloud

Année universitaire 2024/2025

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Dieu Tout-Puissant de nous avoir accordé santé, bien-être, patience et volonté pour mener à bien ce travail. Nous adressons fièrement et avec honneur nos sincères remerciements à notre estimé directeur de thèse, le professeur GUEMANA Mouloud, professeur et maître de conférences à l'Université de Médéa, pour avoir suggéré ce sujet. Nous vous remercions pour vos conseils, votre présence constante, vos précieux conseils et vos encouragements. Nous sommes honorés d'exprimer notre sincère gratitude et nos sincères sentiments pour votre précieuse aide. Nous adressons également nos sincères remerciements à toute l'équipe du Groupe Saidal à Médéa. Nous adressons également nos sincères remerciements au dr BOUKORT, maître de conférences à l'Université de Médéa, pour l'immense honneur de présider le jury de cette thèse.

Nous adressons également nos sincères remerciements au Dr RAHMANI, maître de conférences en microbiologie, pour avoir généreusement pris le temps de relire et de discuter ce travail.

Nous adressons également nos sincères remerciements à l'équipe de maintenance du Groupe Saidal pour son aide précieuse et son travail acharné. Nous adressons nos sincères remerciements et notre gratitude à tous ceux qui ont contribué à nous soutenir, directement ou indirectement, pendant nos études.

Dédicace

Je dédie humblement ce manuscrit à :

La femme qui a consacré sa vie à parfaire notre éducation. Veuillez accepter, ma chère mère, ce travail comme l'expression de ma sincère gratitude et de mon profond amour. Les mots, aussi durs soient-ils, ne peuvent exprimer ma gratitude.

Mon cher père mohamed , merci pour tout ce que tu as fait et tout ce que tu feras pour moi, pour ton amour, tes conseils et tes sacrifices.

Je demande à Dieu de m'accorder santé et longue vie, et de m'aider à remplir pleinement mes devoirs envers toi.

Mes frères et sœurs, Youcef, son épouse et sa fille, Soundous, Younes, Meriem, Maroua et Salasbil, vous m'avez été d'un grand soutien tout au long de cette étude. Un merci particulier à mes amis, Riyad, Abdel Fattah, Abdel kader, Walid, Yaqoub, Rayan et Abdel Salam. En témoignage de l'amitié qui nous unit, et du souvenir de tous les moments passés ensemble, vous trouverez dans cet ouvrage l'expression de mon plus profond respect, accompagné de mes meilleurs vœux de bonheur et de santé.

Dédicace

Je dédie humblement ce manuscrit à :

La femme qui a consacré sa vie à notre éducation. Veuillez accepter, chère mère, ce travail comme l'expression de ma sincère gratitude et de mon profond amour. Les mots, aussi durs soient-ils, ne peuvent exprimer ma gratitude.

Cher père, merci pour tout ce que vous avez fait et ferez pour moi : pour votre amour, vos conseils et vos sacrifices.

Je demande à Dieu de m'accorder la santé et une longue vie, et de m'aider à remplir pleinement mes devoirs envers vous.

Mes frères et sœurs, Ramadane et sa famille, Kheira et sa famille, Yassine et sa famille, Cheikh Nour El-Dinne, ma sœur cadette chaimaa, son mari et son fils Baraa, et mon célèbre frère Nourine , vous m'avez été d'un grand soutien tout au long de cette étude. Un merci spécial à mes frères et amis, Tarek, Adlan, Abd elkader, Walid, Yaqoub, Rayan et Abd elsalam, à notre chef de département, Nawal Khelili, et à tous mes camarades de classe, témoignage de notre amitié et souvenir de tous les moments passés ensemble. Vous trouverez dans cet ouvrage l'expression de mon profond respect, accompagné de mes meilleurs vœux de bonheur et de santé.

ملخص

تلعب ضواغط الهواء الطاردة المركزية دورًا حيويًا في العمليات الصناعية لمجمعات المضادات الحيوية، لا سيما من خلال توفير هواء مضغوط عالي الجودة بضغط مستقر لمختلف وحدات الإنتاج والتعبئة. في مجمع صيدال للمضادات الحيوية بالمدية، تُعد هذه المعدات أساسية لضمان استمرارية وكفاءة الإنتاج. يهدف هذا المشروع إلى تقييم موثوقية و توفر ضاغط هواء طرد مركزي مُركّب في هذا الموقع، مع مراعاة ظروف التشغيل الفعلية. كما يهدف إلى تحليل ممارسات الصيانة الحالية واقتراح دورة إصلاح مناسبة، مما يسمح بالحفاظ على مستوى أداء عالٍ مع تقليل حالات التوقف المفاجئ. في هذه المذكرة، استطعنا أن نقترح أفضل خطة لتشغيل الضاغط الهوائي لفترة أطول، مع أداء أفضل وأوقات صيانة أقصر.

كلمات مفتاحية

- ضاغط هواء طردي مركزي
- هواء مضغوط عالي الجودة
- تقييم الموثوقية
- تقييم التوفر
- صيانة وقائية
- صيانة تصحيحة

Résumé

Les compresseurs centrifuges d’air jouent un rôle essentiel dans les procédés industriels des complexes antibiotique, notamment en fournissant un air comprimé de qualité et en pression stable pour les différentes unités de production et de conditionnement. Au sein du complexe antibiotique Saidal de Médéa, ces équipements sont indispensables pour assurer une production continue et efficiente. Ce projet a pour objectif d’évaluer la fiabilité et disponibilité d’un compresseur centrifuge d’air installé dans ce site, en tenant compte des conditions réelles d’exploitation. Il vise également à analyser les pratiques de maintenance actuellement en place et à proposer un cycle de réparation adapté, permettant de maintenir un haut niveau de performance tout en minimisant les arrêts non planifiés. Dans ce mémoire, nous devons suggérer le meilleur plan pour le fonctionnement du compresseur suspendu pendant une période plus longue, avec de meilleures performances et de meilleurs temps de maintenance possibles.

Mots-clés

- Compresseur d'air centrifuge
- Air comprimé de haute qualité
- Évaluation de la fiabilité, Disponibilité
- Maintenance préventive
- Maintenance corrective

Abstract

Centrifugal air compressors play a vital role in the industrial processes of antibiotic complexes, particularly by providing high-quality compressed air at stable pressure for the various production and packaging units. At the Saidal antibiotic complex in Medea, this equipment is essential to ensure continuous and efficient production. The objective of this project is to assess the reliability and availability of a centrifugal air compressor installed at this site, taking into account real-world operating conditions. It also aims to analyze current maintenance practices and propose a suitable repair cycle to maintain a high level of performance while minimizing unplanned shutdowns. In this thesis, we must suggest the best plan for operating the suspended compressor for a longer period, with better performance and better maintenance times.

Keywords

- Centrifugal air compressor
- High-quality compressed air
- Reliability assessment
- Availability evaluation
- Preventive maintenance
- Corrective maintenance

Table des matières

Remerciements II

Dédicace III

Dédicace IV

Résumé V

Abstract VI

Introduction Générale 1

Introduction générale 2

I. Chapitre 1 : Description du complexe antibiotique de 3

I.1. Introduction 4

I.2. Définition 4

I.3. Présentation Générale de SAIDAL 4

I.4. Situation Géographique de la Filiale Antibiotique 4

I.5. Historique de l'Entreprise (GROUPE SAIDAL) 5

I.6. Objectifs de SAIDAL 6

I.7. Direction Sécurité Industrielle et Environnement 8

1. Sécurité au Travail 9

2. Gestion des Risques 9

3. Protection de l'Environnement 9

4. Conformité Réglementaire 9

Activités Principales 9

2. Gestion des Déchets 9

I.8. Conclusion 10

II. CHAPITRE 02 : Généralité sur les compresseurs 11

II.1. Introduction 12

II.2. But de compression 12

II.3. Principe de fonctionnement du compresseur 12

II.4. Classification des compresseurs 12

II.5. Les avantages et les inconvénients des deux types des compresseurs 14
II.5.2. Inconvénients 14
II.6. Qu'est-ce qu'un compresseur centrifuge ? 14
II.6.2. Définition du compresseur centrifuge 15
II.6.3. Composants du compresseur centrifuge 16
II.6.3.2. Ensemble rotor 16
II.6.3.3. le rotor(roue) 17
II.6.3.4. Lediffuseur 17
II.6.3.6. Boîte de vitesses 18
II.6.3.7. Roulements 19
II.6.3.8. Joints 20
II.6.3.9. Refroidisseurs intermédiaires 20
II.6.4. Principe de fonctionnement du compresseur centrifugek5401c 21
II.6.5. Types de compresseur centrifuge 22
II.6.5.1. Compresseur à un étage 22
II.6.5.2. Compresseur à étages multiples 22
II.7. Conclusion 24
III. Chapitre3:Maintenance Appliquée sur le 25
III.1. Introduction 26
III.2. Définition 26
III.3.1. Maintenance préventive 27
III.3.1.1. Maintenance préventive systématique 28
III.3.1.2. Maintenance préventive conditionnelle 28
III.3.2. Maintenance corrective 29
III.4. Niveaux de maintenance 29
III.5. Le rôle de la maintenance 31
III.6. Les objectifs de la maintenance 32
III.6.1. Objectifs financiers 33
III.6.2. Objectifs opérationnels 33

III.7. Les opérations de maintenance 33
III.7.2. Les opérations de maintenance corrective 34
III.8. Les termes de maintenance 34
III.9. Maintenance des compresseurs centrifugeK4501C 35
III.9.1. La maintenance préventive systématique 35
III.9.1.1. Maintenance quotidienne et avant chaque démarrage 35
III.9.1.2. Maintenance trimestrielle 36
III.9.1.3. Maintenance semestrielle 36
III.9.1.4. Maintenance annuelle 37
III.10. La maintenance corrective 38
III.10.1. Causes intervention 38
III.11. Début des travaux 38
III.12. conclusion 39
IV. Chapitre IV : ANALYSE DE FIABILITE ET DE DISPONIBILITE D'UN 40
COMPRESSEUR CENTRIFUGE 40
IV.1. Introduction 41
IV.2. Définition et terminologie 41
IV.2.1.1. Fiabilité prévisionnelle 41
IV.2.1.2. Fiabilité estimée ou intrinsèque 41
IV.2.1.3. Fiabilité mesurée opérationnelle 41
IV.2.2. Défaillance 41
IV.2.3. Usure 42
IV.2.4. Vieillissement 42
IV.2.5. Durée de vie 42
IV.2.6. Longévité 42
IV.2.7. Conservabilité 42
IV.2.8. Qualité 42
IV.3. Maintenabilité (Maintainability en anglais) 42
IV.4. Disponibilité (Availability en anglais) 42

IV.5. Evolution du taux de défaillance 42
a) Période de jeunesse (Rodage) 43
b) Période de maturité (Aléatoire) 43
c) Période de vieillesse (Usure) 43
IV.6. Paramètres de fiabilité 44
IV.6.2. Densité de probabilité 44
IV.6.3. Fonction de répartition 44
IV.6.3.1. Fonction de fiabilité 45
IV.6.3.2. Taux de défaillance 45
MTBF: Temps moyen de bon fonctionnement 45
IV.7. Principales lois utilisées en fiabilité 45
IV.7.1. La loi normale 45
- Représentation graphique 46
IV.7.2. La loi exponentielle 49
- Représentation graphique de la fonction de densité *F(t)* 49
- L´allure de la fonction de répartition *F(t)* 50
IV.7.3. Loi Weibull 50
- Représentation graphique de la fonction de densité *f(t)* 51
- L´allure de la fonction de réparation *F(t)* 51
IV.8. CALCUL DE FIABILITÉ 52

IV.8.1. Détermination du nombre de classer 52
IV.8.2. Détermination des intervalles entre les classes Δt 52
Regroupement en classes 53
IV.8.3. Calcul de fonction de fiabilité(**t**) 54
IV.9. Calcul de la probabilité de défaillance F(t) 55
IV.9.1. Calcul du taux de défaillance λ(t) 55
IV.10. Calcul de la MTBF 56
IV.11. La test d'adéquation 57
IV.11.1. La condition du test d'adéquation 57
IV.11.1. Détermination de Δn,α 58
formule 59
Tableau de MTTR 59
Calcule MTTR 59
IV.12. La Disponibilité 59
IV.12.1. La disponibilité intrinsèque théorique 59
IV.13. Conclusion 60
Conclusion Générale 61
Conclusion Générale 62
Références bibliographiques 63

Liste des figures

FIGURE 1: SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA FILIALE ANTIBIOTIQUE 5
FIGURE 2 IMPLANTATION GENERALE 7
FIGURE 3 : ORGANIGRAME DU GROUPE SAIDAL MEDEA 8
FIGURE 4 CLASSIFICATION DES COMPRESSEURS 13
FIGURE 5 : COMPRESSEUR CENTRIFUGE 15
FIGURE 6 COMPRESSEUR CENTRIFUGE 16
FIGURE 7 ENGRANAJE DE TORO 16
FIGURE 8 : ENSEMBLE ROTOR 17
FIGURE 9 : ROTOR 17
FIGURE 10 : DIFFUSEUR D'UN COMPRESSEUR CENTRIFUGE 17
FIGURE 11 : LA VOLUTE D'UN COMPRSSER CENTRIFUGE 18
FIGURE 12 : SCHEMA DU MECANISME DE COMPRESSION 18
FIGURE 13 : BOIT VITESSES 19
FIGURE 14 : COUVERCLE DE BOIT VITESSES 19
FIGURE 15 : ROULEMENTS 20
FIGURE 16 : IMAGE DE JOINTS 20
FIGURE 17 : SHEMA DESCRIPTIVE JOINTS 20
FIGURE 18 : REFROIDISSEURS INTERMEDIAIRES 21
FIGURE 19 : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU COMPRESSEUR D'AIR CENTAC 22
FIGURE 20 : COMPRESSEUR CENTRIFUGE A 1 ETAGE 22
FIGURE 21 COMPRESSEUR A ETAGES MULTIPLES 23
FIGURE 22 ROUE PRINCIPALE AVEC 4 ETAGES 23
FIGURE 23 CENTAC CENTRIFUGE COMPRESSEUR D'AIR 24
FIGURE 24 : DIFFERENTS TYPES DE MAINTENANCE 27
FIGURE 25 : LES TYPES DE LA MAINTENANCE PREVENTIVE 28
FIGURE 26 : TYPES DE LA MAINTENANCE CORRECTIVE 29
FIGURE 27 : SIMPLIFICATION DU 5 NIVEAUX DE MAINTENANCE 31
FIGURE 28 : LE ROLE DE LA MAINTENANCE 32
FIGURE 29 : LES OBJECTIFS DE LA MAINTENANCE 33
FIGURE 30 : COURBE DE TAUX DE DEFAILLANCE 43
FIGURE 31 COURBE DE GAUSS 47
FIGURE 32 : COURBE DE GAUUSS 47
FIGURE 33 LOI EXPONENTIEL 48
FIGURE 34 L'ALLURE DE FONCTION DE REPARTITION F(T(..... 49
FIGURE 35 L'ALLURE DE LA FONCTION DE DENSITE F(T(..... 50
FIGURE 36 L'ALLURE DE LA FONCTION DE REPARATION F(T(..... 50
FIGURE 37 : L'HISTOGRAMME DES PANNES 52
FIGURE 38 COURBE DE PROBABILITE DE BON FONCTIONNEMENT 53
FIGURE 39 : COURBE DE PROBABILITE DE DEFAILLANCE 54
FIGURE 40 CYCLE DE REPARATION 60

Liste des tableaux

TABLEAU 1: AGGLOMERATION DE LA SITUATION ---------- 5
TABLEAU 2 : COMPARAISON ENTRE COMPRESSEUR VOLUMETRIQUE ET TURBOCOMPRESSEUR ---------- 13
TABLEAU 3: AVANTAGES DU COMPRESSEUR VOLUMETRIQUE ET TURBOCOMPRESSEUR ---------- 14
TABLEAU 4 : LES INCONVENIENTS DU COMPRESSEUR VOLUMETRIQUE ET TURBOCOMPRESSEUR ---------- 14
TABLEAU 5 : MAINTENANCE QUOTIDIEN ET AVANT CHAQUE DEMARRAGE ---------- 35
TABLEAU 6 : MAINTENANCE TRIMESTRIELLE ---------- 36
TABLEAU 7 : MAINTENANCE SEMESTRIELLE ---------- 37
TABLEAU 8 : MAINTENANCE ANNUELLE ---------- 37
TABLEAU 9 : LES TBFI ---------- 52
TABLEAU 10 : PANNES CUMULES ---------- 53
TABLEAU 11: TABLEAU DE COMPARAISON ---------- 57
TABLEAU 12 : TABLEAU DE MTTR ---------- 59

Introduction Générale

Introduction générale

l’industrie antibiotique occupe une place stratégique dans le développement économique et sanitaire de notre pays. Parmi les acteurs majeurs de ce secteur figure le complexe antibiotique de Saidal, reconnu pour sa contribution à la production de médicaments essentiels destinés à la population nationale.

Le bon fonctionnement des installations industrielles de ce complexe repose sur la disponibilité continue de plusieurs utilités techniques, dont l’air comprimé constitue une ressource primordiale. Utilisé dans divers procédés de fabrication, de conditionnement et de nettoyage, l’air comprimé doit répondre à des normes strictes de qualité et de fiabilité. C’est dans ce cadre que les compresseurs centrifuges d’air jouent un rôle crucial. Ces équipements assurent la production d’air comprimé en grande quantité et à pression constante, indispensable au fonctionnement des différents ateliers du site.

Cependant, en raison de leur importance opérationnelle, ces compresseurs sont soumis à des contraintes techniques élevées et à un fonctionnement quasi permanent, ce qui nécessite une stratégie de maintenance rigoureuse. En effet, toute défaillance ou arrêt prolongé peut perturber gravement la chaîne de production pharmaceutique, avec des conséquences économiques et sanitaires notables.

Ainsi, la mise en œuvre d’un programme de maintenance préventive et corrective, adapté aux conditions spécifiques d’exploitation, s’impose pour garantir la fiabilité et la durabilité des compresseurs centrifuges.

Problématique :

Ce travail vise à analyser les pratiques de maintenance appliquées à ces équipements au sein du complexe Saidal, à évaluer leur fiabilité et disponibilité et à proposer des recommandations pour améliorer leur performance globale.

Notre étude s'articule autour de quatre chapitres principaux, description de groupe saidal, généralité sur les compresseurs centrifuge, maintenance appliqué sur le compresseur K4501C,analyse de fiabilité et de disponibilité d’un compresseur centrifuge K4501C.

I. Chapitre 1 : Description du complexe antibiotique de MEDEA

I.1. Introduction

Le complexe Antibiotique de Médéa, appartenant au groupe SAIDAL, est un acteur clé dans l'industrie pharmaceutique algérienne, spécialisé dans la production de médicaments génériques. Fondé en 1982, SAIDAL répondait initialement au besoin de créer une industrie pharmaceutique locale capable d'assurer la disponibilité des médicaments pour la population algérienne. Ce chapitre explore en détail le site de production de Médéa, mettant en lumière son emplacement géographique, son historique, ses objectifs et ses unités de production. En outre, il présente les mesures de sécurité industrielle et environnementale mises en place pour garantir des opérations sûres et durables.

I.2. Définition

SAIDAL est le premier laboratoire pharmaceutique producteur de médicaments génériques en Algérie. Fondé en 1982, SAIDAL répond à la nécessité de créer une industrie pharmaceutique locale capable de garantir la disponibilité des médicaments et d'améliorer l'accès aux traitements pour les citoyens. Aujourd'hui, SAIDAL est un groupe industriel spécialisé dans le développement, la production, et la commercialisation de produits pharmaceutiques à usage humain. [1]

I.3. Présentation Générale de SAIDAL

Cette étude se concentre sur le site de production de Médéa du groupe SAIDAL, une usine spécialisée dans la production d'antibiotiques et de spécialités pharmaceutiques. La branche production de la Pharmacie Centrale Algérienne a été érigée en entreprise nationale de production pharmaceutique par le décret 82/161 en avril 1982, incluant les unités de production d'Alger. Le projet de complexe antibiotique de Médéa, appartenant à la Société Nationale des Industries Chimiques (SIC), lui a été intégré. En 1985, l'entreprise nationale de production pharmaceutique est devenue SAIDAL. [2]

I.4. Situation Géographique de la Filiale Antibiotique

L'usine Médéa est située dans la commune de Harbil, daïra d'Ouamri, wilaya de Médéa, comme illustré sur la Figure 1. Elle se trouve à environ 12 km à l'ouest de Médéa et à environ 6 km de la commune de Harbil, sur la route nationale RN 18 reliant Médéa à El-Khemis. Le site est à environ 100 km du port d'Alger et de l'aéroport Houari Boumediene d'Alger. [1]

La figure 1 représente la Situation Géographique de la Filiale Antibiotique



Figure 1: Situation Géographique de la Filiale Antibiotique

Le site de production de Médéa est entouré de différentes zones :

- **Nord :** terres de parcours
- **Sud :** route nationale RN 18 reliant Médéa à El-Khemis
- **Est :** terrain accident
- **Ouest :** zone industrielle

Le Tableau 1 présente les agglomérations situées dans un rayon de 4 km

Tableau 1: Agglomération de la situation

Commune	Direction	Distante site zone d'habitat(km)	Zone d'habitat Aggloméré dans le RA
Médéa	Est	4	Agglomération collectif
Médéa	Est	3	Agglomération Lodi
Oued Harbil	Sud	2	Ouled Messaoud
Oued Harbil	Ouest	5	Agglomération collectif

I.5. Historique de l'Entreprise (GROUPE SAIDAL)

La Pharmacie Centrale Algérienne, créée en 1969, avait pour mission d'assurer le monopole de l'État sur l'importation, la fabrication, et la commercialisation des produits pharmaceutiques. En 1971, elle a établi l'unité de production d'El Harrach et a acquis les unités de BIOTIC et PHARMAL en 1971 et

1975. Après une restructuration en 1982, la branche production est devenue l'Entreprise Nationale de Production Pharmaceutique, qui a intégré le projet antibiotique de Médéa en 1988.

1989 : SAIDAL devient une entreprise publique économique avec autonomie de gestion, et obtient le statut de société par actions.

1993 : Modification des statuts permettant la participation à des opérations industrielles ou commerciales.

1997 : Restructuration en groupe industriel SAIDAL, transformant le complexe d'antibiotiques en filiale Antibiotique Médéa. [2]

I.6. Objectifs de SAIDAL

- **Satisfaction client :** Mise en place progressive du management de la qualité.
- **Diversification :** Développement de nouveaux génériques et veille technologique.
- **Partenariats :** Collaboration avec des laboratoires internationaux par joint-ventures ou accords de façonnage.
- **Marché :** Préservation et augmentation des parts de marché national, pénétration des marchés d'exportation, et amélioration des performances économiques et financières en intégrant les préoccupations de santé publique.

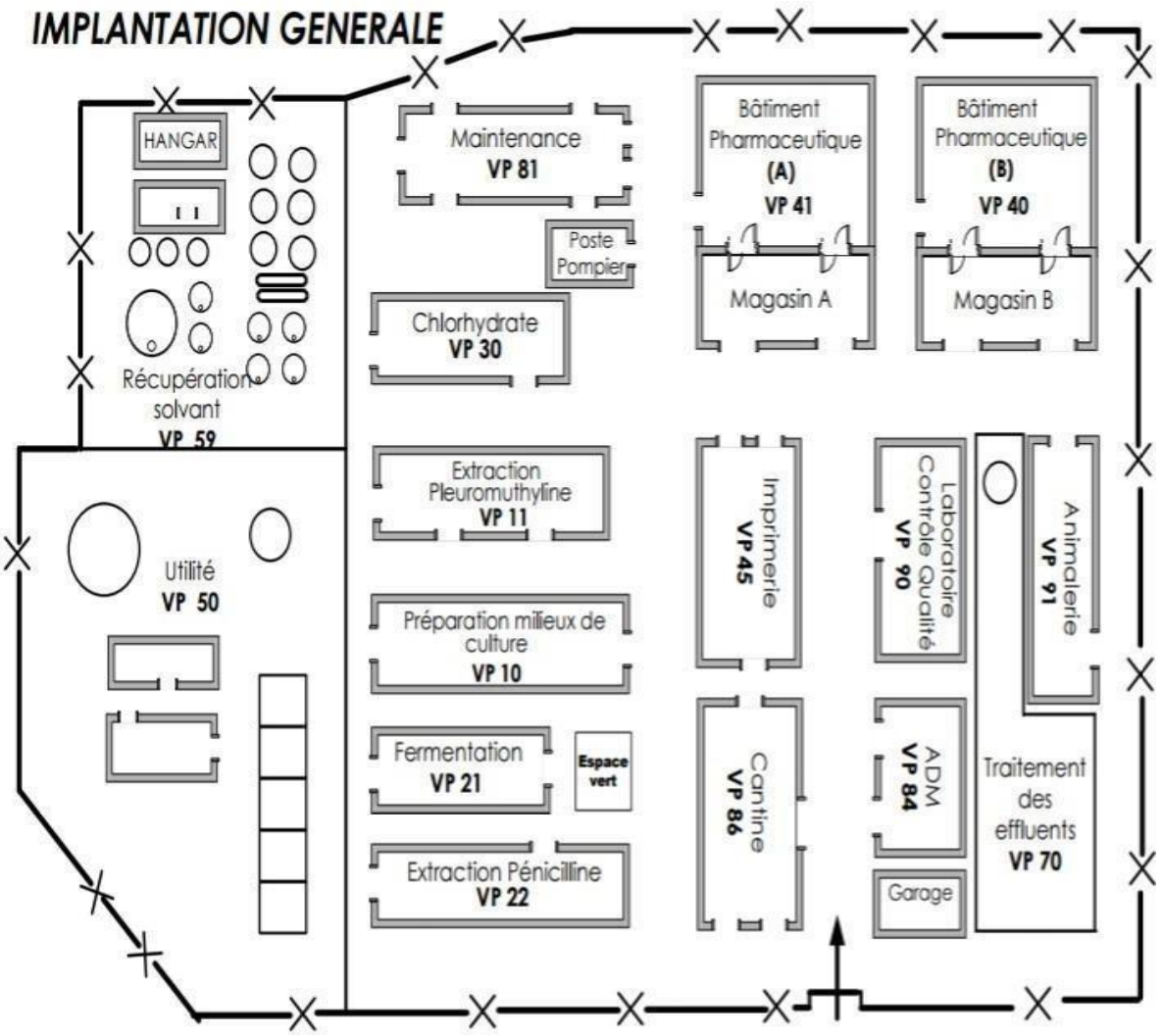


Figure 2 implantation generale

L a Figure 3 présente un Organigrame du groupe saidal Médéa

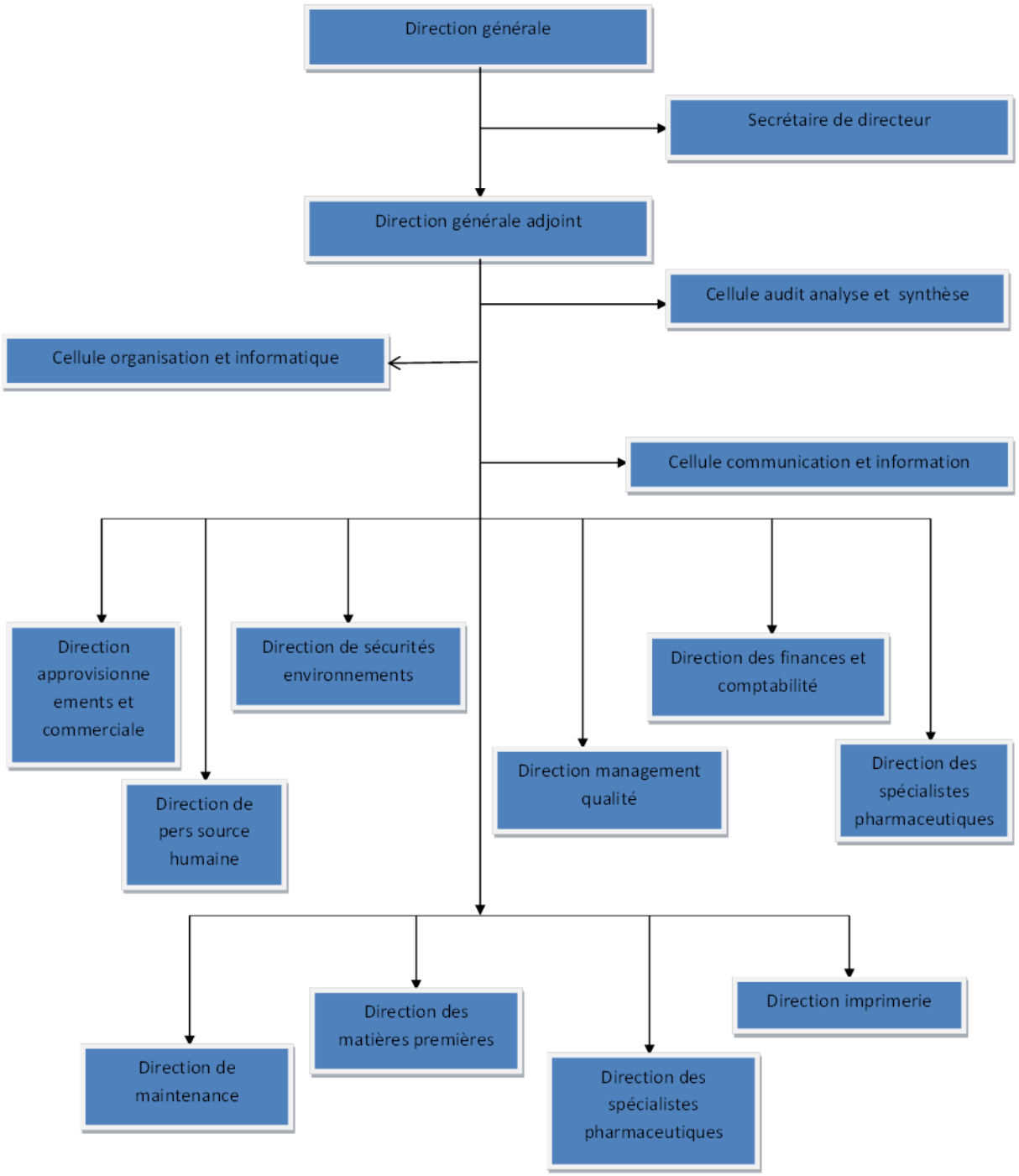


Figure 3 : Organigrame du groupe saidal Médéa

I.6. Description de l'Usine

Le complexe est conforme aux normes GMP et certifié ISO 9002 version 2000. On distingue deux zones :

- **Zone dangereuse:** Utilisation de solvants et produits chimiques.
- **Zone normale:** Activité standard.

I.7. Direction Sécurité Industrielle et Environnement

La Direction Sécurité Industrielle et Environnement du complexe Antibiotique de Médéa joue un rôle essentiel dans la gestion des risques et la protection de l'environnement. Voici une description détaillée de ses responsabilités et de ses activités principales :

1. **Sécurité au Travail**
   - Mise en place de protocoles de sécurité pour protéger les employés contre les risques industriels.
   - Organisation de formations régulières pour le personnel sur les procédures de sécurité et les mesures de prévention des accidents.
2. **Gestion des Risques**
   - Identification, évaluation et gestion des risques associés aux processus de production.
   - Développement de plans d'urgence pour répondre aux incidents et accidents potentiels.
3. **Protection de l'Environnement**
   - Surveillance et contrôle des émissions et des rejets dans l'environnement pour minimiser l'impact écologique.
   - Mise en œuvre de pratiques durables et respectueuses de l'environnement dans toutes les opérations.
4. **Conformité Réglementaire :**
   - Veille à la conformité avec les réglementations locales, nationales et internationales en matière de sécurité industrielle et d'environnement.
   - Mise à jour des politiques internes pour refléter les changements dans les lois et les normes environnementales.

Activités Principales

1. **Audits et Inspections**
   - Réalisation d'audits internes réguliers pour assurer la conformité aux normes de sécurité et environnementales.
   - Coordination avec les autorités externes pour les inspections réglementaires.
2. **Gestion des Déchets**
   - Mise en place de systèmes de gestion des déchets pour le traitement et l'élimination sécurisée des déchets dangereux et non dangereux.
   - Promotion du recyclage et de la réduction des déchets à la source.
3. **Prévention des Pollutions**
   - Installation de dispositifs de contrôle de la pollution pour traiter les émissions atmosphériques et les eaux usées.
   - Surveillance continue des niveaux de pollution et mise en place de mesures correctives en cas de dépassement des seuils autorisés.

4. **Formation et Sensibilisation**

- Organisation de sessions de formation pour sensibiliser le personnel aux enjeux de la sécurité et de l'environnement.
- Développement de programmes de sensibilisation pour encourager les pratiques respectueuses de l'environnement parmi les employés.

La Direction Sécurité Industrielle et Environnement du complexe Antibiotique de Médéa est donc un pilier fondamental pour assurer un environnement de travail sûr et durable, tout en répondant aux exigences réglementaires et en minimisant l'impact environnemental des activités industrielles.

I.8. Conclusion

Le complexe Antibiotique de Médéa du groupe SAIDAL se distingue par son rôle crucial dans le secteur pharmaceutique algérien, tant par la diversité de ses unités de production que par ses engagements en matière de sécurité et de respect de l'environnement. Les efforts continus pour maintenir des normes élevées de qualité, de sécurité et de durabilité témoignent de la volonté de SAIDAL de non seulement répondre aux besoins médicaux de la population mais aussi de s'inscrire dans une démarche de responsabilité sociale et environnementale. Cette approche holistique contribue à la position stratégique de SAIDAL dans l'industrie pharmaceutique et à son potentiel de croissance sur les marchés nationaux et internationaux.

II. CHAPITRE 02 : Généralité sur les compresseurs centrifuges

II.1. Introduction

Les compresseurs sont des équipements simples qui transforment l'énergie mécanique fournie par une source d'énergie en énergie de pression, augmentant ainsi la pression d'un fluide gazeux. Le compresseur K 5401C de la station de saidal est un compresseur centrifuge haute pression à quatre étages doté de quatre roues. Il est équipé d'aubes directrices fixes et est conçu pour résister à une pression de service maximale de 8 bars.

II.2. But de compression

La compression peut généralement être imposée par la nécessité technique de transporter une quantité donnée de gaz d'un système à une certaine pression vers un autre système à pression accrue.

L'opération consiste à :

- Permettre à un gaz de circuler dans une boucle étanche ;
- Créer des conditions favorables (pression) pour les réactions chimiques ;
- Acheminer un gaz par pipeline de la zone de production au consommateur ;
- Fournir de l'air comprimé pour la combustion ;
- Récupérer le gaz (unités de réinjection ou autres). [3]

II.3. Principe de fonctionnement du compresseur

Le gaz est aspiré par le compresseur via la bride d'aspiration. Il pénètre dans une chambre annulaire appelée volutes d'aspiration et se déplace doucement vers le centre depuis toutes les directions radiales. Une ailette est placée de l'autre côté de la chambre annulaire, à l'opposé de la bride d'aspiration, afin d'éviter la formation de tourbillons. Le gaz pénètre dans la membrane d'aspiration et est aspiré par la première roue. Cette dernière force le gaz vers la périphérie, où la pression et la vitesse augmentent ; la vitesse à la sortie présente une composante radiale et une composante tangentielle. Ensuite, suivant un trajet en spirale, le gaz traverse la chambre circulaire d'un diffuseur dont la vitesse diminue avec l'augmentation de la pression. Le gaz traverse ensuite le passage de retour, une chambre étanche délimitée par deux anneaux constituant la membrane intermédiaire où se trouvent les aubes, dont le rôle est de diriger le gaz vers l'aspiration de la roue suivante. [4]

II.4. Classification des compresseurs

Les compresseurs sont classés selon diverses caractéristiques, notamment :

- le mode de fonctionnement (volumétrique, turbocompresseur)
- le mouvement des pièces mobiles (mouvement linéaire, mouvement rotatif)
- la nature des fluides

En général, il existe deux familles de compresseurs : les compresseurs volumétriques et les turbocompresseurs. Dans les premiers, la pression est créée par la réduction d'un volume spécifique de gaz par une action mécanique, tandis que dans les seconds, la pression est augmentée par la transformation continue de l'énergie cinétique fournie au gaz en énergie de pression due à l'écoulement pendant la phase de compression (roue + diffuseur).[5]

La figure 4 présente les Classification des compresseurs.

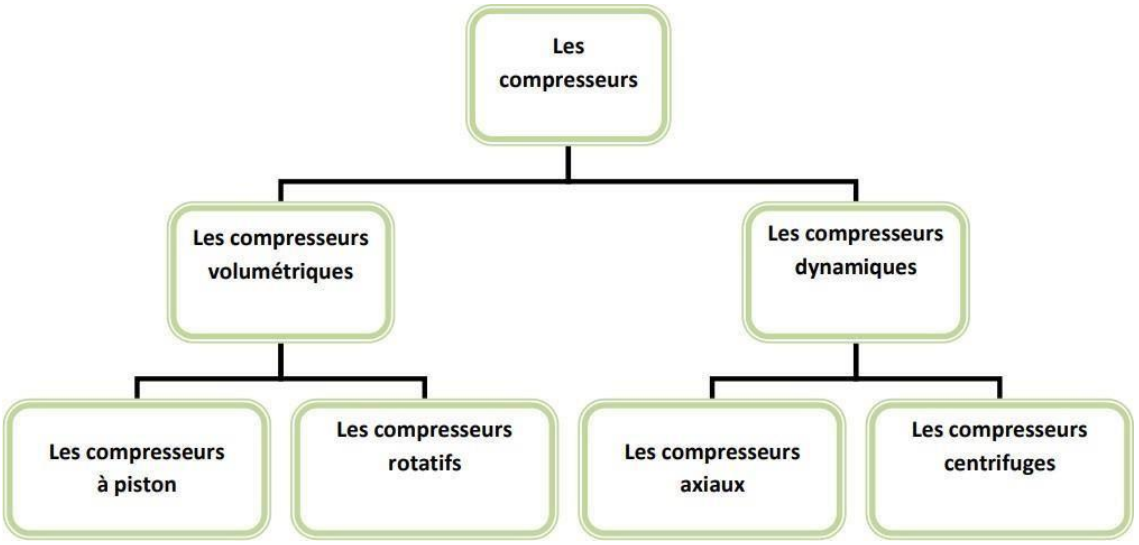


Figure 4 classification des compresseurs

Le tableau 2 présente une Comparaison entre compresseur volumétrique et turbocompresseur

Tableau 2 : Comparaison entre compresseur volumétrique et turbocompresseur

Critère	Compresseur Volumétrique	Turbocompresseur
Principe de fonctionnement	Compression par réduction de volume	Compression par accélérationcentrifuge
Types courants	Piston, vis, palettes, membrane	Centrifuge, axial
Débitd'air	Débit constant maislimite	Débitélevé, dépend de la vitesse
Pression	Pression stable a bas régime	Pression variable selon la vitesse
Vitesse de fonctionnement	Faible a moyenne	Trèsélevée (>20 000 tr/min)
Rendement a bas régime	Bon	Faible
Complexité	Simple a modérée	Complexe
Temps de réponse	Immédiat	Possibilité de turbo lag
Taille et poids	Plus encombrant	Plus compact
Applications typiques	Industrie, garages, ateliers	Moteursd'avion, voituressportives

II.5. Les avantages et les inconvénients des deux types des compresseurs

II.5.1. Avantages

Le Tableau 3 représente les avantages du compresseur volumétrique et turbocompresseur.

Tableau 3: Avantages du Compresseur Volumétrique et Turbocompresseur

Compresseur Volumétrique	- Bon a bas régime - Pression stable - Construction robust
Turbocompresseur	- Haut debit - Très efficace a haute vitesse - Design compact

II.5.2. Inconvénients

Le tableau 4 représente : les Inconvénients du Compresseur Volumétrique et Turbocompresseur

Tableau 4 : les Inconvénients du Compresseur Volumétrique et Turbocompresseur

Compresseur Volumétrique	- Bruyant - Moins efficace a grande vitesse - Plus lourd
Turbocompresseur	- Faible performance a bas régime - Complexité élevée - Cout élevé

II.6. Qu'est-ce qu'un compresseur centrifuge ?

II.6.1. Historique du compresseur centrifuge

Au début du XXe siècle, un compresseur centrifuge avec un taux de compression de 20 est apparu, conçu pour les ventilateurs. La production de compresseurs centrifuges s'est développée depuis quatre ans et demi. En 1950 la figure 5 represente une forme d'un compresseur centrifuge, une usine américaine d'ammoniac synthétique a construit le premier compresseur centrifuge haute pression de 1963 MPa.

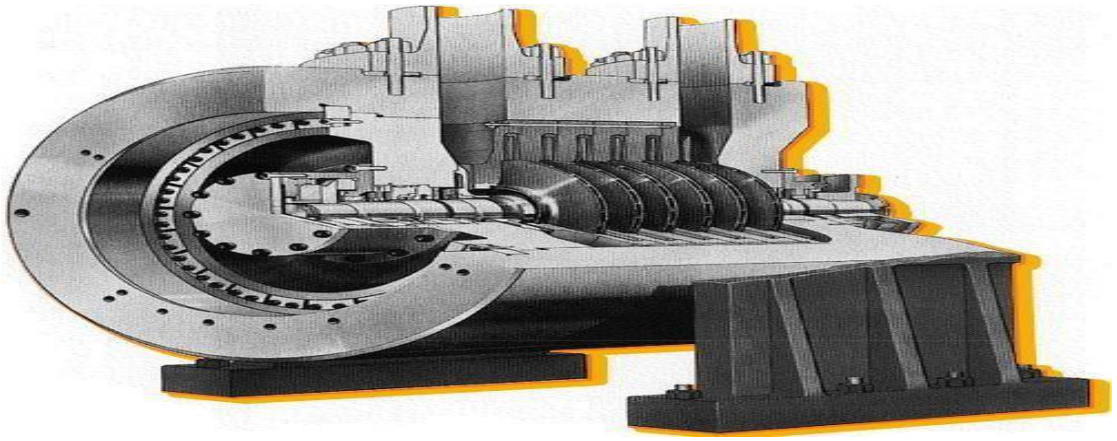


Figure 5 : compresseur centrifuge

II.6.2. Définition du compresseur centrifuge

Le compresseur d'air centrifuge est également un compresseur à turbine et un compresseur d'air à grande vitesse comme il est montré sur figure 6. La turbine propulse l'air en rotation à grande vitesse, générant une force centrifuge sur le gaz, ce qui augmente la pression et le débit d'air après son passage dans la turbine.

Le gaz est ensuite libéré de la turbine et pénètre dans le diffuseur, réduisant la vitesse tout en augmentant la pression. Ce processus répété permet à l'air comprimé d'atteindre la pression requise. Ils présentent les avantages suivants : grand volume de gaz traité, petite taille, structure simple, fonctionnement stable, entretien aisé et absence de contamination par l'huile. Différents types d'entraînements peuvent être utilisés, tels que les moteurs, les turbines à vapeur, les turbines à gaz, etc.

Le compresseur d'air centrifuge offre un fonctionnement stable et fiable, une conception compacte, une large plage de volumes d'échappement, moins de pièces d'usure, une longue durée de vie, une absence de contamination par l'huile de l'air comprimé, une alimentation en air de haute qualité et une compression multi-étagée proche de la compression isotherme, ce qui favorise les économies d'énergie.[6]

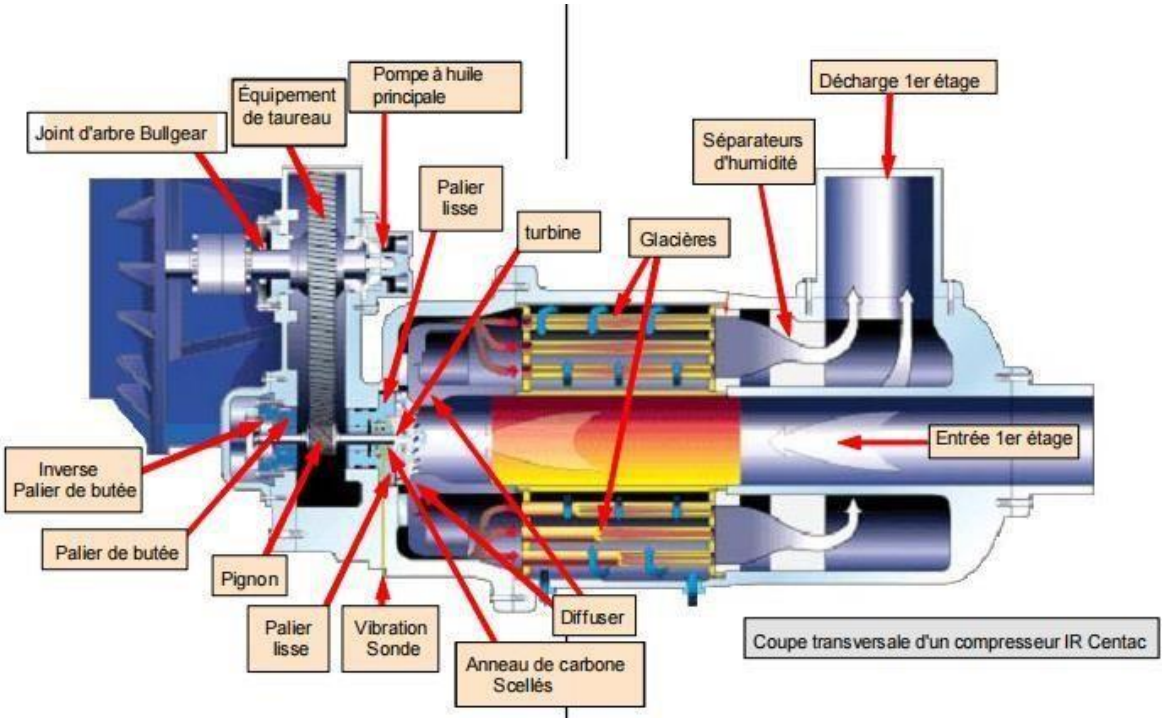


Figure 6 Compresseur centrifuge

II.6.3. Composants du compresseur centrifuge

II.6.3.1. Engranaje de toro

L'unité est équipée d'une couronne hélicoïdale forgée, de qualité AGMA, fonctionnant sur des roulements à billes antifriction lubrifiés à l'huile ou, pour les unités plus grandes, sur des paliers lisses hydrodynamiques lubrifiés à l'huile comme on le voit sur la figure 7.[7]

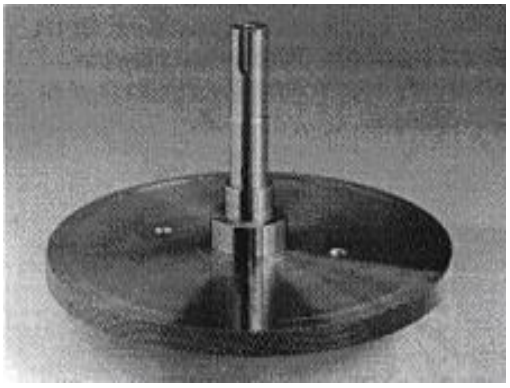


Figure 7 Engranaje de toro

II.6.3.2. Ensemble rotor

• Chaque rotor est composé d'un arbre à pignons et d'une ou deux turbines.

• Les pignons sont rectifiés et trempés avec précision (qualité AGMA et ISO) pour une durée de vie prolongée.

• Un fonctionnement équilibré et sans vibrations est assuré par un équilibrage de précision.[8]

comme on le voit sur la figure 9



Figure 8 : ensemble rotor

II.6.3.3. le rotor(roue)

La roue est l'élément fondamental du compresseur, car si elle assure l'échange de travail, elle est en réalité la seule pièce mobile de l'étage. La roue de la figure (10) présente une zone inductrice, c'est-à-dire que les aubes commencent dans le sens axial et se terminent dans le sens radial [9]

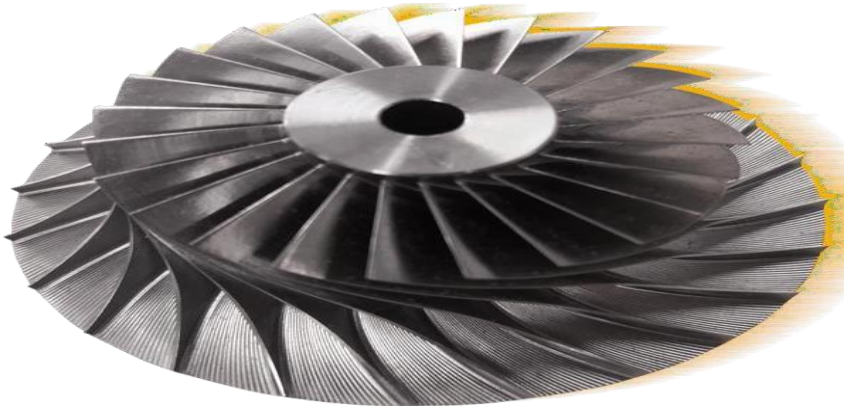


Figure 9 : rotor

II.6.3.4. Le diffuseur

La pression statique de l'écoulement augmente à la sortie du rotor, mais une partie de la pression globale créée par la roue est sous forme d'énergie cinétique. Le rôle de l'écoulement est alors de ralentir cet écoulement (figure (11)), car les pertes dans les conduits aval dépendent fortement du nombre de Mach. Ce ralentissement permet également de convertir une partie de l'énergie cinétique en énergie de pression statique. [10]



Figure 10 : diffuseur d'un compresseur centrifuge

II.6.3.5. *La volute*

La fonction principale de la volute est de collecter le flux radial à la sortie du diffuseur et de le renvoyer au système par un conduit tubulaire, en développant la section de passage. Le mouvement de la volute est généralement décrit (hypothèse du fluide incompressible) par des spirales logarithmiques, tandis qu'une partie du fluide effectue la rotation complète et se retrouve à proximité du flux principal au niveau de la tuyère (première zone de la spirale). Figure (12).[10]

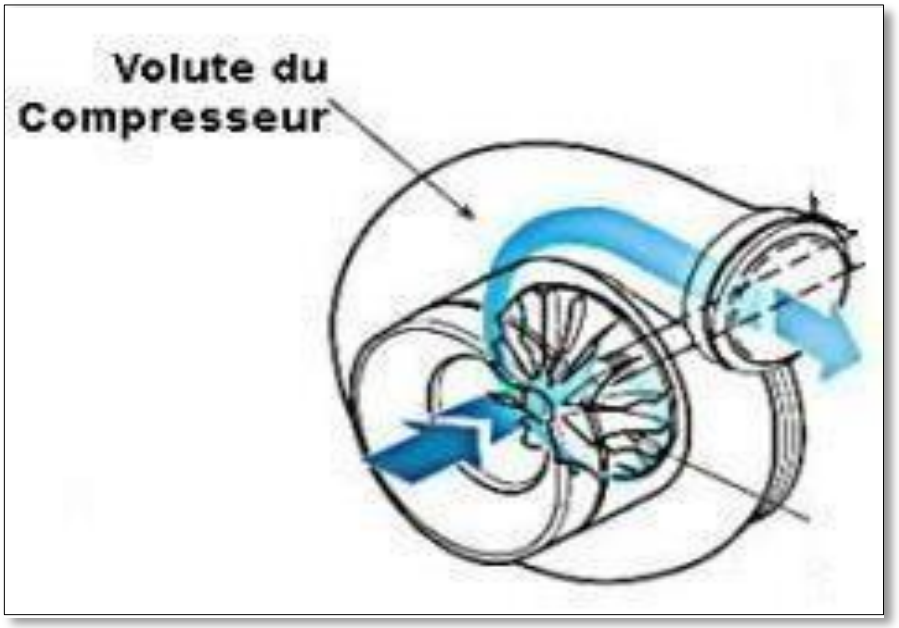


Figure 11 : la volute d'un comprsser centrifuge

La Figure 12 un schéma du mécanisme de compression

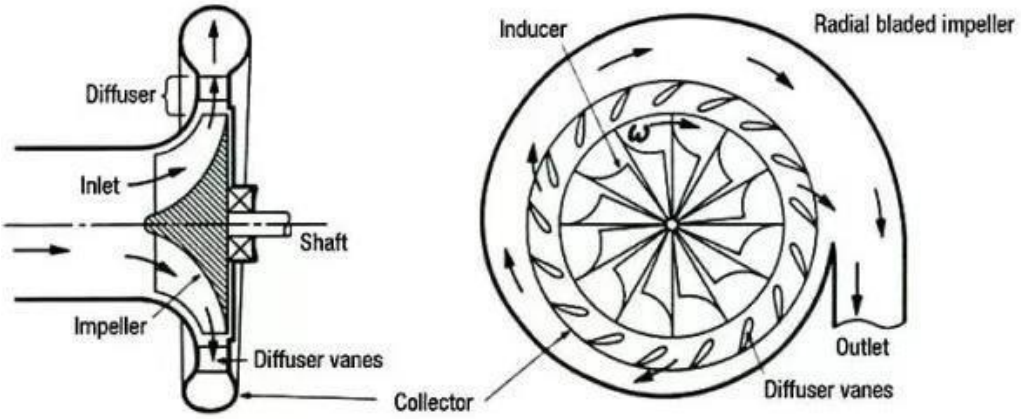


Figure 12 : schéma du mécanisme de compression

II.6.3.6. Boîte de vitesses

La figure 13 represent Boîte de vitesses est divisé au niveau de l'axe horizontal de l'arbre. Ce carter divisé permet

un examen rapide et simple des pièces en fonctionnement, sans arrêt coûteux des tuyauteries principales du compresseur.[11]

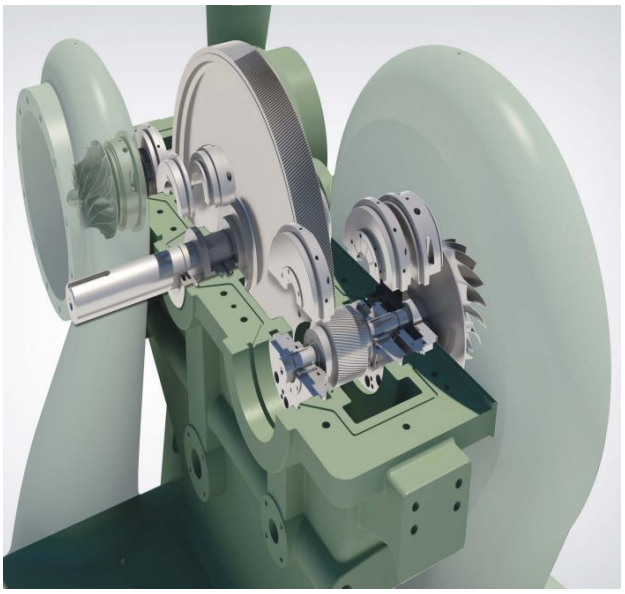


Figure 13 : boit vitesses

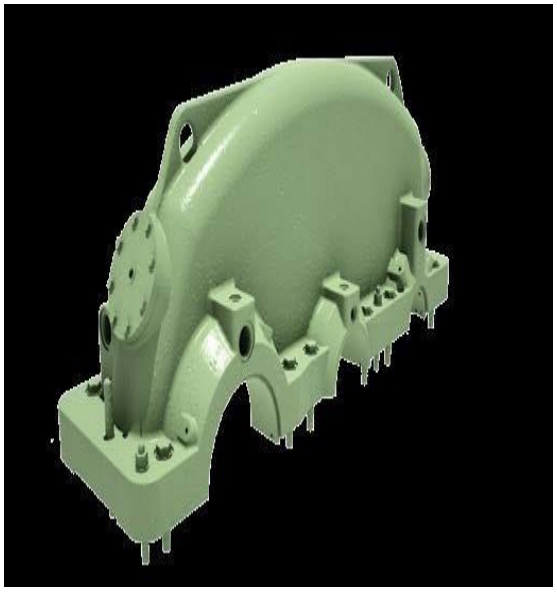


Figure 14 : Couvercle de boit vitesses

II.6.3.7. Roulements

Les rotors sont soutenus par nos paliers à film hydrostatique brevetés, dont le film d'huile varie peu sur une large plage de fonctionnement, de la charge à vide à la charge maximale. L'alignement axial des composants rotatifs est assuré et les charges axiales sont supportées par des collisionneurs de poussée ou par des paliers de butée de dimensions réduites sur chaque arbre de pignon comme la figure 15.[11]

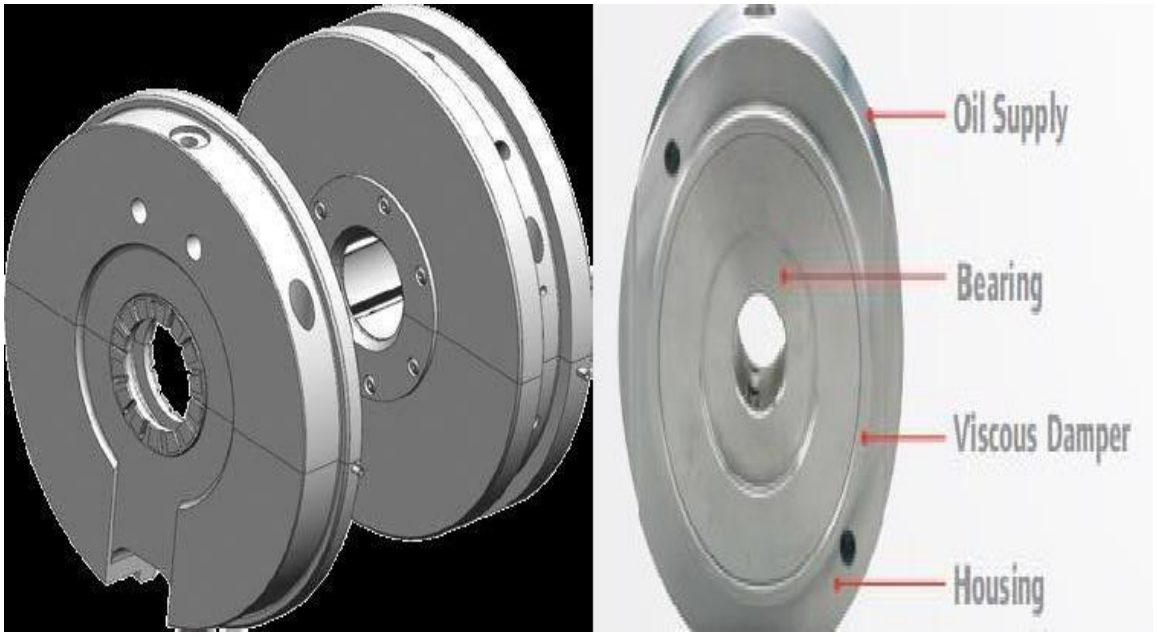


Figure 15 : roulements

II.6.3.8. Joints

La figure 16 représente Des joints labyrinthes sans contact sont utilisés. La précision des dimensions, combinée à l'espace entre les joints labyrinthes air et huile, assure une étanchéité stable et minimale. De plus, la conception sans contact ne s'use pas et ne nécessite pas d'air comprimé pour un démarrage optimal.[11]



Figure 16 : image de joints

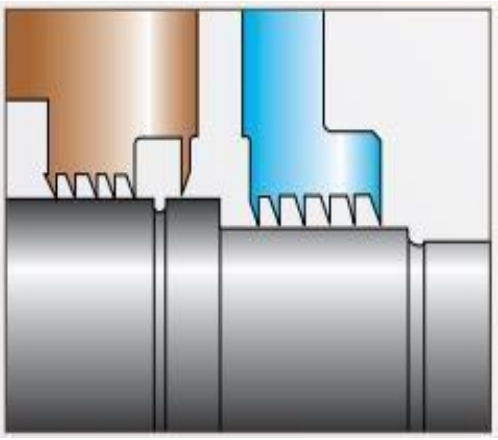


Figure 17 : shéma descriptive joints

II.6.3.9. Refroidisseurs intermédiaires

La figure 17 représente Ensembles de refroidisseurs intermédiaires interchangeables à eau dans le tube refroidissent le flux d'air entre les étages de compression. Les refroidisseurs intermédiaires sont dotés d'ailettes en aluminium ou en cuivre qui dépassent de la surface du tube et pénètrent dans le flux d'air pour un transfert thermique optimal et

l'absence de contraintes internes.[11]

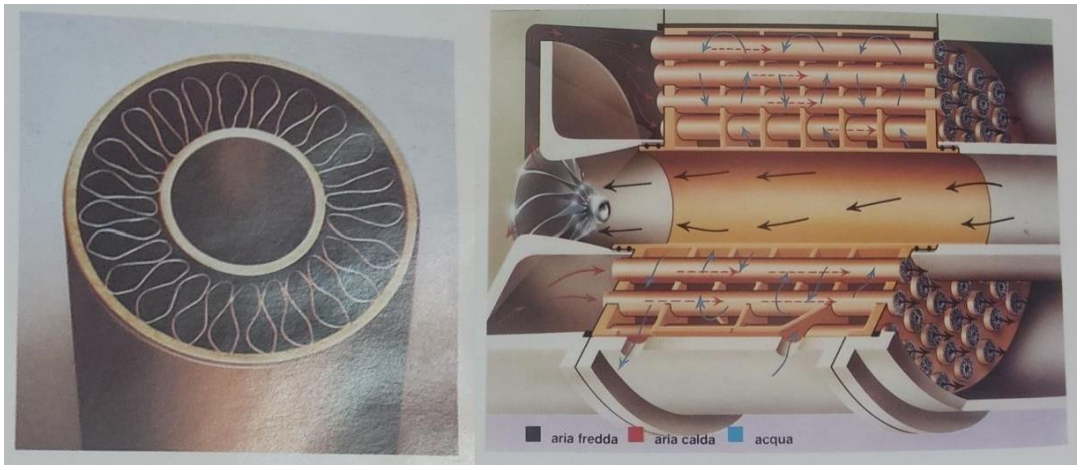


Figure 18 : Refroidisseurs intermédiaires

II.6.4. Principe de fonctionnement du compresseur centrifuge k5401c

Le compresseu k5401c est un compresseur centrifuge dynamique. Comme le montre la figure 19, l'air est alimenté par la vanne de régulation d'admission et circule vers le premier étage où la turbine (1) imprime de la vitesse à l'air. L'air est ensuite acheminé vers le diffuseur (2) qui convertit la vitesse en pression. Le refroidisseur intermédiaire intégré (3) évacue la chaleur de compression, augmentant ainsi le rendement.

L'air passe par un séparateur d'humidité en acier inoxydable à faible vitesse (4) pour éliminer les condensats. Il n'y a pas de transfert d'humidité, car l'air est contraint de faire demi-tour pour passer à l'étage suivant. Ce processus se poursuit à chaque étage jusqu'à ce que la pression de fonctionnement souhaitée soit atteinte.

Le compresseur k5401C est un compresseur d'air centrifuge sans huile à haut rendement, généralement entraîné par un moteur électrique (dans certaines applications, par une turbine), directement accouplé par un accouplement.

Le moteur est directement relié au compresseur par un accouplement. L'ensemble est monté sur une plaque de base rigide en acier, avec son propre système de lubrification, son système de contrôle (à l'achat) et ses systèmes auxiliaires.

Le compresseur k5401C est un compresseur mono-étagé ou multi-étagé à vitesse constante ; chaque étage de compression comprend une turbine montée sur son propre arbre et logée dans un carter commun en fonte. Chaque rotor est équipé d'un pignon intégré, entraîné à sa vitesse optimale par une couronne commune .Après chaque étage de compression, un échangeur de chaleur air-eau est inclus, avec un séparateur d'humidité et un purgeur de condensats.

Le ou les refroidisseurs intermédiaires et le refroidisseur final (le cas échéant) sont montés avec le diffuseur, éliminant ainsi le besoin de tuyauterie importante sur site.

Certains compresseurs (si nécessaire) peuvent être équipés de refroidisseurs intermédiaires et/ou de refroidisseurs finaux fixés à l'extérieur de la tête du compresseur.[7]

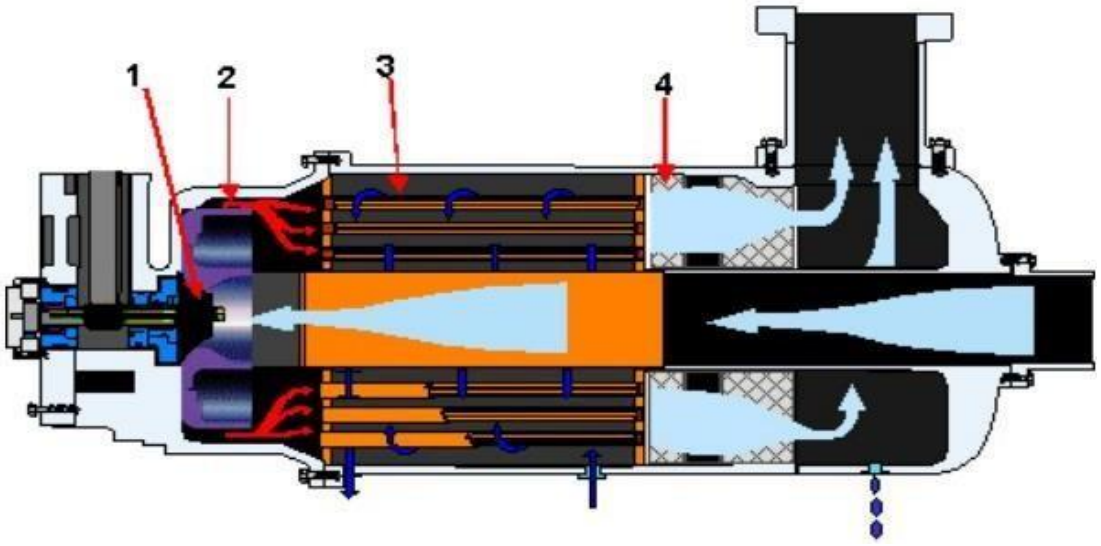


Figure 19 : principe de fonctionnement du compresseur d'air centac

II.6.5. Types de compresseur centrifuge

Le compresseur centrifuge a les principaux types suivants:

1) Compresseur à un étage.
2) Compresseur à plusieurs étages.

II.6.5.1. Compresseur à un étage

La figure 20 présent Un compresseur à un étage a un seul canal qui déplace l'air ou le gaz dans des rapports de pression allant jusqu'à 3: 1 pour un travail sous pression ou sous vide. On pense que ces types de compresseurs ont une structure de poutre ou un agencement de roue suspendue.



Figure 20 : compresseur centrifuge à 1 étage

II.6.5.2. Compresseur à étages multiples

Un compresseur multi-étages est composé de 1 à 10 turbines et peut être conçu selon différents schémas d'écoulement. Le taux de compression et la température à chaque étage sont considérés comme constants.
Ces compresseurs sont proposés en configurations double flux, compound et direct comme la figure [21]

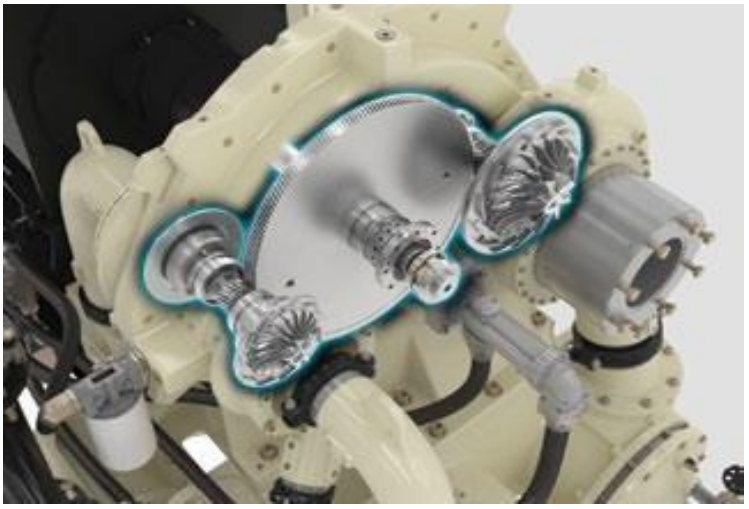


Figure 21 Compresseur à étages multiples

Remarque :

Le compresseur sur lequel nous travaillons est un compresseur à étages multiples(4 étage) la figure 24 présente roue principale avec 4 étages

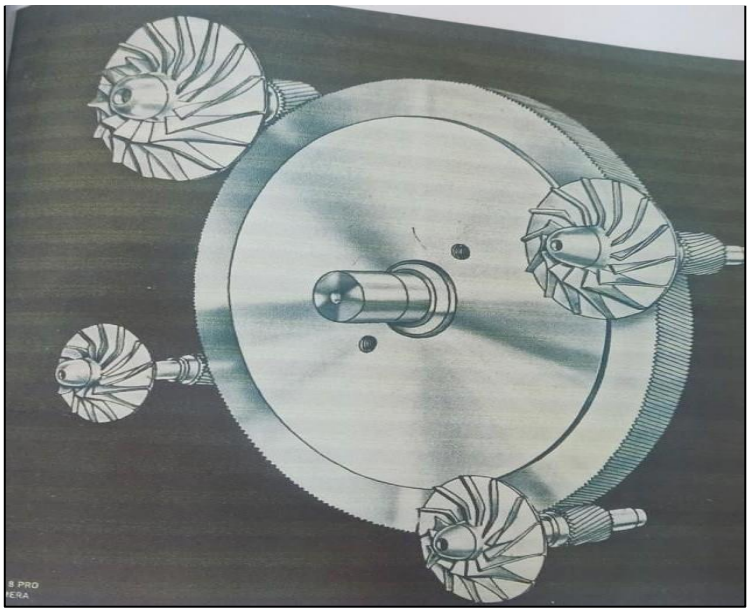


Figure 22 roue principale avec 4 étages



Figure 23 centac centrifuge compresseur d'air

II.7. Conclusion

Les compresseurs centrifuges sont des machines de haute performance largement utilisées dans les systèmes industriels nécessitant un apport continu en air comprimé. Leur efficacité repose sur une puissance unitaire élevée, une grande flexibilité d'adaptation aux différentes conditions de fonctionnement, ainsi qu'une conception modulaire qui permet d'espacer les interventions de maintenance tout en assurant une exploitation prolongée. Grâce à ces caractéristiques, ils jouent un rôle essentiel dans l'alimentation en air des équipements pour garantir leur bon fonctionnement.

III. Chapitre 3:Maintenance Appliquée sur le compresseur k5401c

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous plongeons dans l'univers de la maintenance appliquée sur le compresseur k5401c. La maintenance industrielle est un élément essentiel pour assurer le bon fonctionnement et la durabilité des équipements. Dans le domaine de la compression, où la fiabilité et l'efficacité sont primordiales, la maintenance revêt une importance particulière. Le compresseur k5401, avec ses spécifications uniques et ses exigences de performance élevées, nécessite une approche spécifique pour son entretien [12].

Nous explorerons dans ce chapitre les différents aspects de la maintenance appliquée sur ce compresseur, en mettant l'accent sur les meilleures pratiques, les stratégies d'entretien préventif et curatif, ainsi que les défis spécifiques rencontrés dans le maintien de la performance optimale de ce système. En comprenant les principes fondamentaux de la maintenance et en les appliquant de manière ciblée au compresseur k5401, nous visons à garantir sa disponibilité opérationnelle maximale, tout en minimisant les temps d'arrêt et en optimisant les coûts de maintenance [13].

III.2. Définition

La maintenance est l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise. [14]

III.3. Types de la maintenance

La figure 24 résume les différents types de la maintenance. [15]

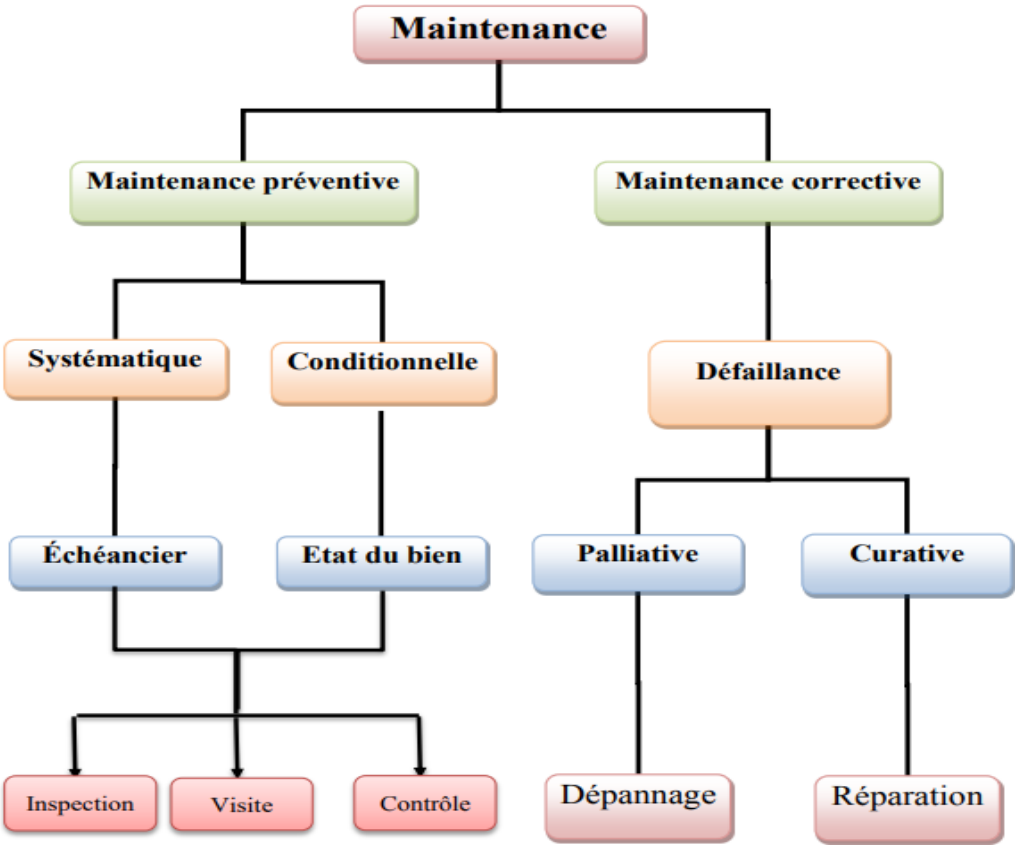


Figure 24 : Différents types de maintenance

III.3.1. Maintenance préventive

➢ **Définition selon AFNOR (norme x 60010)**

Maintenance préventive réalisée dans le but de diminuer la probabilité de défaillance d'un actif ou d'atténuer la dégradation de la qualité du service fourni. [16]

➢ **Objectifs visés par le préventif**

- ✓ Diminution des coûts liés aux défaillances techniques et amélioration du taux de disponibilité des équipements.
- ✓ Prolonger la durée de fonctionnement optimale d'un équipement.
- ✓ Optimiser la planification des interventions afin de renforcer la coordination avec les activités de production.
- ✓ Alléger et stabiliser la charge de travail afin d'optimiser l'utilisation des ressources humaines et matérielles.
- ✓ Simplifier la gestion des approvisionnements grâce à une meilleure prévision des consommations.[12]

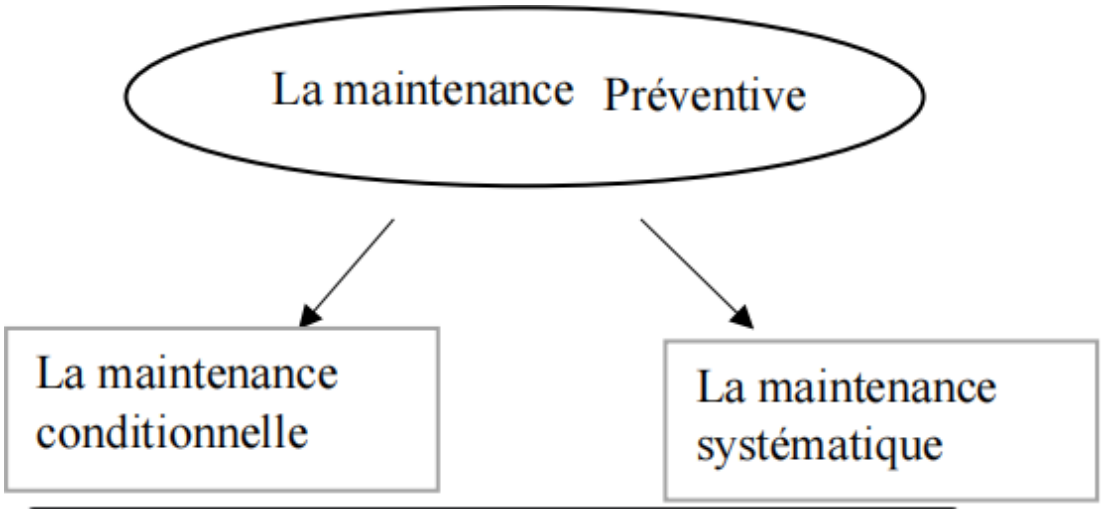


Figure 25 : Les types de La maintenance préventive

III.3.1.1. Maintenance préventive systématique

La maintenance préventive est effectuée selon un calendrier basé sur le temps ou le nombre d'unités utilisées. Bien que le temps soit l'unité la plus courante, d'autres unités peuvent être utilisées, telles que : la longueur du produit fabriqué, la distance parcourue, le nombre de cycles effectués, etc. Cette fréquence constitue un inconvénient majeur : elle est déterminée dès la mise en service ou après une révision totale ou partielle. Cette méthode nécessite la connaissance :

• du comportement du système ;

• du type d'usure ;

• du temps moyen de fonctionnement normal entre deux pannes. [3]

III.3.1.2. Maintenance préventive conditionnelle

Maintenance préventive basée sur un type d'événement donné (autodiagnostic, informations sur les capteurs, mesure d'usure, etc.).

Remarque

La maintenance conditionnelle est donc une maintenance basée sur l'expérience, utilisant des informations collectées en temps réel. Elle est également appelée maintenance prédictive (terme non intentionnel).La maintenance préventive conditionnelle se caractérise par l'identification des points faibles. Dans ce cas, il est préférable de les inspecter et, à partir de là, de décider d'une intervention dès qu'un seuil précis est atteint. Les inspections restent toutefois systématiques et font partie des méthodes de contrôle non destructif. Tous les équipements sont concernés. Cette maintenance préventive conditionnelle est réalisée par des mesures correspondantes sur les équipements en fonctionnement.Les paramètres mesurés peuvent inclure :

- ✓ Qualité et niveau d'huile
- ✓ Températures et pressions
- ✓ Tension et courant des équipements électriques
- ✓ Mécanique des jeux et vibrations, etc.

Les machines utilisées pour la maintenance préventive conditionnelle doivent être fiables pour continuer à nous servir. Elles sont généralement coûteuses, mais dans les cas justifiés, elles sont rapidement rentabilisées.[17]

I.1.1. Maintenance corrective

Selon la norme AFNOR (norme x60010), « Opération de maintenance après défaillance ».

La maintenance corrective, ou curative (terme non officiel), vise à restaurer les fonctionnalités perdues d'un équipement nécessaires à son utilisation. Les défauts, pannes ou autres dommages nécessitant une maintenance corrective entraînent une indisponibilité immédiate ou à très court terme de l'équipement concerné et/ou une diminution de la quantité et/ou de la qualité des services rendus.

La figure 26 présente La maintenance corrective se décline en deux formes

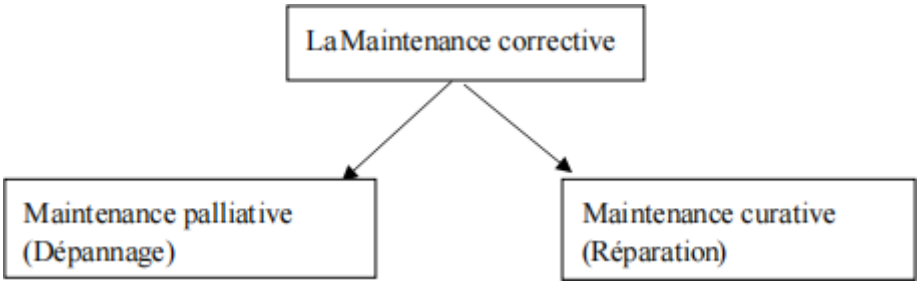


Figure 26 : Types de la maintenance corrective

- **Maintenance palliative (dépannage) :** c'est-à-dire la remise en état opérationnel d'un équipement, effectuée sur site, et parfois même sans mise hors service de l'équipement concerné,est de nature (temporaire).
- **Maintenance curative (réparation) :** réalisée sur site ou en atelier central, parfoisaprès un dépannage, est de nature (permanente).

La maintenance corrective correspond à un comportement défensif (permanent) en attendant une intervention de maintenance corrective imprévue, un comportement courant
en maintenance traditionnelle.[12]

I.2. Niveaux de maintenance

Les niveaux de maintenance sont définis en fonction de la complexité des travaux. La norme NF X 60-010 de l'AFNOR définit cinq niveaux de maintenance dont on précise le service :

1er Niveau :

Réglages simples prévus par le constructeur au moyen d'éléments accessibles sans aucun démontage ou ouverture de l'équipement, ou échanges d'éléments consommables accessibles en toute sécurité, tels que voyants ou certains

fusibles, etc.
Ce type d'intervention peut être effectué par l'exploitant du bien, sur place, sans outillage et à l'aide des instructions d'utilisation. Le stock de pièces consommables nécessaires est très faible.

2ème Niveau :

Dépannages par échange standard des éléments prévus à cet effet et opérations mineures de maintenance préventive, telles que graissage ou contrôle de bon fonctionnement
Ce type d'intervention peut être effectué par un technicien habilité de qualification
moyenne, sur place, avec l'outillage portable défini par les instructions de maintenance, et à l'aide de ces mêmes instructions. On peut se procurer les pièces de rechange transportables nécessaires sans délai et à
proximité immédiate du lieu d'exploitation.

3ème Niveau :

Identification et diagnostic des pannes, réparations par échange de composants ou
d'éléments fonctionnels, réparations mécaniques mineures, et toutes opérations courantes de maintenance préventive telles que réglage général ou réalignement des appareils de mesure.
Ce type d'intervention peut être effectué par un technicien spécialisé, sur place ou dans le local de maintenance, à l'aide de l'outillage prévu dans les instructions de maintenance ainsi que des appareils de mesure et de réglage, et éventuellement des bancs d'essais et de contrôle des équipements et en utilisant l'ensemble de la documentation nécessaire à la maintenance du bien ainsi que les pièces approvisionnées par le magasin

4ème Niveau :

Tous les travaux importants de maintenance corrective ou préventive à l'exception de la rénovation et de la reconstruction. Ce niveau comprend aussi le réglage des appareils de mesure utilisés pour la maintenance, et

éventuellement la vérification des étalons de travail par les organismes spécialisés.

Ce type d'intervention peut être effectué par une équipe comprenant un encadrement technique très spécialisé, dans un atelier spécialisé

5ème Niveau :

Rénovation, reconstruction ou exécution des réparations importantes confiées à un atelier central ou à une unité extérieure.

Par définition, ce type de travaux est donc effectué par le constructeur, ou par le reconstructeur, avec des moyens définis par le constructeur et donc proches de la fabrication. [14]



Figure 27 : simplification du 5 niveaux de maintenance

I.3. Le rôle de la maintenance

Est la maîtrise de la disponibilité opérationnelle de équipements a fin qui ils soient unis à la disposition de la production par ces action, la maintenance ammeistre le profit cumule durant la vie des équipements par :

- ✓ La réduction des coûts de maintenance.
- ✓ L'accroissement de la durée rentable de vie des équipements.
- ✓ Réduction des accidents et des risques concernant la sécurité des hommes et de l'environnement.[17]



Figure 28 : Le rôle de la maintenance

I.4. Les objectifs de la maintenance

Voici la réécriture du texte en français, avec un style fluide et sans plagiat, tout en conservant fidèlement le sens original :

L'objectif fondamental de la maintenance est d'atteindre le « zéro panne ». Les équipes de maintenance ont pour mission de maintenir les équipements de production en excellent état de fonctionnement afin de garantir une performance optimale, tout en maîtrisant les coûts. Pour obtenir une efficacité maximale, il est essentiel de prévenir les pannes, de respecter les cadences de production et d'améliorer en continu la qualité des produits.

La maintenance ne se limite plus à intervenir après une défaillance ; elle vise désormais à anticiper et maîtriser les dysfonctionnements grâce à une stratégie adaptée, une prévention rigoureuse, des interventions rapides et efficaces, ainsi qu'à l'amélioration des équipements.

Pour accomplir efficacement cette mission, il est indispensable de combiner les compétences techniques du personnel avec une organisation structurée et des outils appropriés. Les objectifs assignés au service maintenance dépendent directement de la nature de l'entreprise.

On peut regrouper ces objectifs en deux grandes catégories :

- Les objectifs financiers,
- Les objectifs opérationnels.

La différence entre ces deux types d'objectifs explique souvent les tensions entre les services de production et de maintenance, chacun ayant des priorités qui peuvent sembler contradictoires.[15]

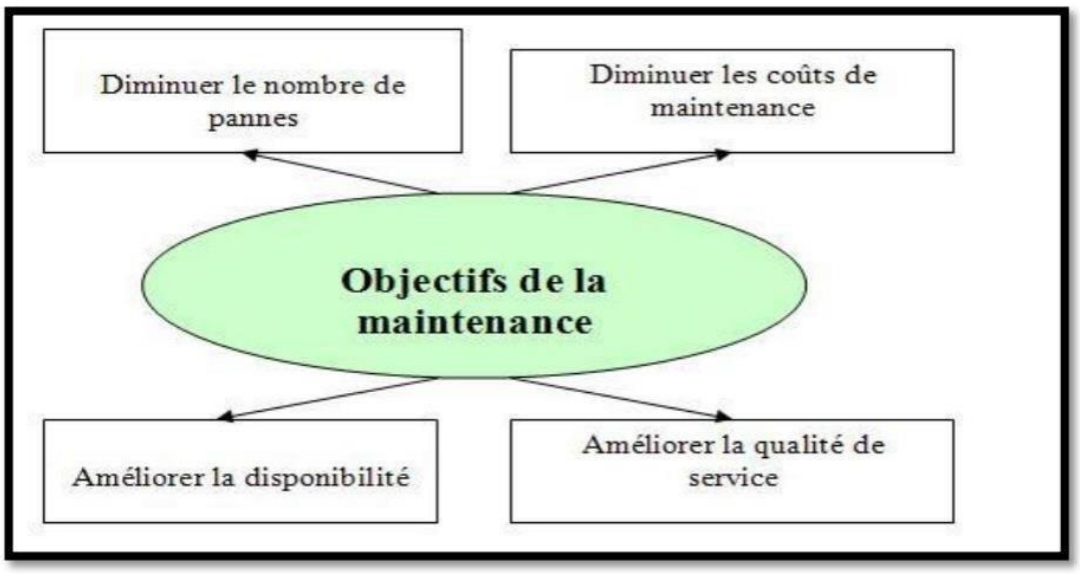


Figure 29 : Les objectifs de la maintenance

I.4.1. Objectifs financiers

- ✓ Minimiser les coûts liés à la maintenance.
- ✓ Maximiser les gains générés par l'activité.
- ✓ Adapter les dépenses de maintenance en fonction de l'ancienneté des équipements et de leur niveau d'utilisation.

I.4.2. Objectifs opérationnels

- ✓ Maintenir les équipements en condition opérationnelle dans une perspective de performance durable.
- ✓ Viser une disponibilité optimale des ressources techniques pour répondre aux exigences de production.
- ✓ Fournir une prestation de maintenance continue, orientée vers la suppression totale des défaillances, à tout moment et sans contrainte budgétaire.
- ✓ Maximiser la durée de vie opérationnelle des installations en exploitant pleinement leur potentiel technique.
- ✓ Garantir un niveau de performance élevé et constant des équipements.
- ✓ Les objectifs étant susceptibles d'évoluer avec le temps, il est nécessaire de procéder à une réévaluation périodique, notamment tous les deux ans, des orientations stratégiques et de la politique de l'entreprise.[13]

I.5. Les opérations de maintenance

I.5.1. Les opérations de la maintenance préventive

a. Inspection

Il s'agit d'activités de surveillance continue qui identifient régulièrement les écarts, faciles à réaliser sans arrêt d'outillage ni d'équipement.

b. visite

Il s'agit d'activités systématiques de surveillance de la maintenance préventive.

c. Contrôle

Ils sont liés à la conformité, prennent en compte certaines données de référence, puis procèdent à un jugement. Les contrôles peuvent impliquer une activité d'information et prendre la forme d'une décision d'acceptation ou de rejet.

d. Révisions

Il s'agit de l'ensemble collectif d'actions comprenant des examens, des contrôles et des interventions qui sont réalisés en vue de sécuriser l'actif contre toute défaillance critique majeure pendant une période ou un nombre d'unités d'utilisation déterminé. [15]

I.5.2. Les opérations de maintenance corrective

a. Le dépannage

Intervention sur un actif défectueux, visant à le remettre en état de fonctionnement. Selon l'objectif, une intervention de dépannage peut se limiter à des résultats temporaires (maintenance palliative) avec des conditions de mise en œuvre hors des limites de procédure, de coût et de qualité, et être suivie d'une éventuelle réparation. Le dépannage n'a pas de conditions d'application spécifiques. Connaître le comportement et les modes de dégradation de l'équipement est essentiel à un diagnostic précis et permet un gain de temps considérable. Les actions de dépannage sont souvent courtes, mais peuvent être nombreuses. C'est pourquoi les services de maintenance, soucieux de réduire leurs coûts, tentent parfois de gérer les actions de dépannage. Certains indicateurs de maintenance (pour mesurer l'efficacité) prennent en compte le problème de dépannage. Le dépannage peut donc être utilisé, par exemple, pour les équipements fonctionnant en continu alors qu'aucune intervention n'est nécessaire lors d'un arrêt.

b. La réparation

Intervention de maintenance corrective définitive après un problème ou une panne. L'intervention est décidée au moment de la survenue du problème ou de la panne, après un dépannage ou une intervention de maintenance préventive conditionnelle ou systématique.

Remarque :

La réparation est une action catégorique. L'appareil réparé doit fournir les performances pour lesquelles il a été conçu. Tous les équipements sont concernés.[18]

I.6. Les indicateurs clés de maintenance

MTBF

La MTBF est la moyenne des temps de bon fonctionnement (TBF). Un temps de bon fonctionnement est le temps compris entre deux défaillances.

MTTR

La MTTR est la moyenne des temps techniques de réparation (TTR).

Le TTR est le temps durant lequel on intervient physiquement sur le système défaillant. Il débute lors de la prise en

charge de ce système jusqu'après les contrôles et essais avant la remise en service.

MTTA

La MTTA est la moyenne des temps techniques d'arrêt (TTA).

Les temps techniques d'arrêt sont une partie des temps d'arrêt que peut connaître un système de production en exploitation. Ils ont pour cause une raison technique et, ce faisant, sont à distinguer des arrêts inhérents à la production (attente de pièce, de matière, d'énergie, changement de production, etc.).[18]

I.7. Maintenance des compresseurs centrifuge K4501C :

Pour assurer la continuité de production il faut assurer la disponibilité des compresseurs par une bonne gestion de maintenance.

Les compresseurs k4501c sont conçue une politique de maintenance donné par le constructeur

I.7.1. La maintenance préventive systématique

C'est une maintenance planifiée à intervalles réguliers, selon un calendrier fixé à l'avance.

Plan de maintenance systématique typique :

I.7.1.1. Maintenance quotidienne et avant chaque démarrage

Tableau 5 : maintenance quotidien et avant chaque démarrage

N°	Tâche de maintenance
1	Vérifier et enregistrer la pression d'air des instruments
2	Vérifier le niveau d'huile du réservoir du compresseur
3	Vérifier et enregistrer la température de l'huile allant au compresseur
4	Vérifier et enregistrer la pression d'alimentation en huile du compresseur
5	Vérifier le niveau de vibration à chaque étage du compresseur
6	Vérifier et enregistrer toutes les pressions intermédiaires (si disponibles)
7	Vérifier et enregistrer toutes les températures intermédiaires (si disponibles)
8	Vérifier et enregistrer la température de l'air d'admission (si disponible)
9	Inspecter les tuyauteries/raccords pour détecter des fuites
10	Vérifier et enregistrer la température de l'eau du refroidisseur d'huile
11	Vérifier et purger les pièges à condensats
12	Vérifier et enregistrer la pression différentielle du filtre à air d'admission
13	Vérifier que les refroidisseurs d'air sont correctement ventilés
14	Purger les condensats de la jambe de purge d'air d'entrée
15	Purger les condensats de la jambe de purge de la sortie
16	Purger les condensats de la jambe de dérivation d'air
17	Purger les jambes de drainage sur les sections horizontales de conduites d'air
18	Vérifier les fuites d'huile

19	Inspecter les joints/garnitures pour détecter des fuites
20	Vérifier les fuites d'eau
21	Ouvrir la vanne de purge de la conduite d'air de commande
22	Vérifier le filtre d'air des instruments, purger l'humidité si nécessaire
23	Vérifier et enregistrer la pression différentielle du filtre à air, remplacer si nécessaire

I.7.1.2. Maintenance trimestrielle

Tableau 6 : Maintenance trimestrielle

N°	Tâche de maintenance
1	Inspecter le filtre à air des instruments. Vidanger et nettoyer le filtre. Remplacerl'élément.
2	Vidanger la jambe de purge de l'air de commande.
3	Inspecter les pièges à condensats. Retirer et nettoyer. Remplacer les pièces si nécessaire. Remplacer le piègesi nécessaire.
4	Graisser les roulements du moteur. Utiliser le type et la quantité de graisse appropriés. Utiliser uniquement un pistolet à graisse manuel. Les roulements doivent être graissés avec le moteur.
5	Inspecter visuellement le filtre à air d'admission. Nettoyer l'élément. Remplacer l'élément si nécessaire. Inspecter les joints du filtre pour détecter d'éventuelles fissures. Sceller les joints si nécessaire.
6	Changer l'élément de l'arrestor de brouillard d'huile. Ajouter de l'huile dans le tube en U. Nettoyer le boîtier de l'élément. Inspecter l'ancien élément pour un écrasement excessif. Ajouter des écrous limitant pour éviter l'écrasement. Éliminer la rondelle de blocage sous l'écrou papillon, si installé. Remplacer la rondelle d'étanchéité. Vérifier que le couvercle de l'élément est bien en contact avec l'élément. Le couver clé doits d'adapter correctement au boîtier.
7	Inspecter l'élément de l'éliminateur de brouillard et le remplacer si nécessaire. Les éléments de l'éliminateur de brouillard sont conçus pour durer longtemps et ne nécessitent pas de remplacement de routine.
8	Inspecter le panneau de commande. Vérifier les fils desserrés, les filtres de ligneusés ou endommagés, et les suppresseurs d'arc adéquats. Nettoyer les filtres et le panneau. Déconnecter et attacher tous les fils inutilisés. Vérifier que les fils de l'émetteur de vibrations vont directement aux bornes du microcontrôleur.

I.1.1.1. Maintenance semestrielle

Tableau 7 : Maintenance semestrielle

N°	Tâche de maintenance (FR)
1	Suivre le programme trimestriel.
2	Lubrifier l'accouplement principal du moteur. Les composants de type sec doivent être inspectés.
3	Changer le filtre à huile.
4	Tester l'étanchéité des refroidisseurs d'air.
5	Changer la graisse des roulements du moteur.
6	Prélever un échantillon d'huile et le faire analyser.
7	Vérifier le système de contrôle selon la procédure indiquée dans la section Contrôle du manuel d'utilisation.
8	Vérifier l'étalonnage des vannes d'admission et de dérivation.

I.1.1.2. Maintenance annuelle

Tableau 8 : Maintenance Annuelle

N°	Tâche de maintenance (FR)
1	Inspecter le moteur principal selon les instructions du fabricant dans le manuel d'utilisation.
2	Inspecter visuellement l'accouplement. Lubrifier si nécessaire.
3	Faire tourner manuellement le pignon pour détecter toute rugosité sur les modèles avec roulements antifriction.
4	Inspecter et nettoyer les filtres d'aspiration du réservoir d'huile.
5	Inspecter visuellement les tubes du refroidisseur d'huile. Nettoyer le côté eau si nécessaire.
6	Inspecter visuellement les anodes en zinc dans le refroidisseur d'huile. Remplacer si nécessaire.
7	Inspecter visuellement la vanne d'admission.
8	Inspecter visuellement la vanne de dérivation.
9	Inspecter visuellement le clapet anti-retour de refoulement.
10	Changez l'huile une fois par an ou après 8 000 heures d'utilisation, sauf si vous utilisez du Techtrol Gold III. Avec Techtrol Gold III, le lubrifiant doit être changé tous les trois ans ou toutes les 24 000 heures d'utilisation.

11	Un test de surpression doit être effectué lors de chaque maintenance annuelle. Lorsque l'accumulation se produit, le compresseur doit être démonté et nettoyé pour rétablir sa capacité. L'état de santé d'un compresseur, lié aux effets de l'accumulation, est lié à une diminution de sa pression de surpression naturelle. Des tests réguliers sur site de cette pression fournissent des informations précises pour diagnostiquer une accumulation liée à une détérioration de la capacité. Le test de surpression naturelle consiste à sur presser intentionnellement le compresseur. Cela se fait généralement en bloquant le refoulement, établissant un débit maximal dans la dérivation, puis fermant la vanne de dérivation jusqu'à ce que la surpression soit atteinte. La mesure de la surpression est comparée aux résultats d'autres tests antérieurs et les raisons des différences sont déterminées. Une intervention de maintenance (telle qu'une révision pour rétablir la capacité) peut alors être planifiée en fonction de la prévision de perte de capacité.
12	Analyse des vibrations
13	Analyse de l'huile
14	Analyse des condensats

I.2. La maintenance corrective

Est réalisée après défaillance le niveau de l'intervention dépend essentiellement de la défaillance; exemple :consommation d'huile suite à une dégradation excessive des chemises

I.2.1. Causes intervention

Niveau d'huile bas

Haute pression

Vibrations élevées

I.3. Début des travaux

Préparation de matériels et outillages spécifiques nécessaire utilisés dans la révision, et choix d'un endroit près de la machine pour déposer le matériel

- ✓ Organisation du lieu de travail et partage des taches.
- ✓ Isoler la machine (arrêt total de la machine avec isolation électrique et mécanique).
- ✓ Signer l'autorisation du travail. L'autorisation est signé par les services : sécurité, exploitation, maintenance mécanique et électrique. [19]

I.4. conclusion

La maintenance joue un rôle stratégique dans la gestion efficace des équipements et des infrastructures. Elle vise à assurer leur bon fonctionnement, à prolonger leur durée de vie et à garantir des conditions de sécurité optimales. On distingue plusieurs formes de maintenance, notamment la maintenance préventive, qui permet d'anticiper les pannes avant qu'elles ne surviennent, et la maintenance corrective, qui intervient après l'apparition d'un dysfonctionnement. La maintenance curative, quant à elle, consiste à réparer les dommages causés par une utilisation inappropriée ou par des incidents imprévus. Ainsi, la maintenance ne doit pas être perçue comme un simple coût, mais comme un investissement indispensable pour assurer la continuité et la fiabilité des opérations. Elle repose sur une planification méthodique visant à optimiser les performances avant toute interruption programmée.

Chapitre 04 : ANALYSE DE FIABILITE ET DE DISPONIBILITE D'UN COMPRESSEUR CENTRIFUGE

I.5. Introduction

La fiabilité des compresseursK4501 C'est un élément central dans le maintien de la performance optimale de cette station de compression sur le long terme. Dans ce chapitre, nous examinerons en détail les différents aspects de la fiabilité et la disponibilité de ces équipements essentiels. Nous aborderons les facteurs clés qui influent sur la fiabilité et disponibilité des compresseurs, les méthodes d'évaluation de la fiabilité, disponibilité ainsi que les stratégies de maintenance préventive et corrective visant à garantir un fonctionnement continu et efficace. Comprendre et optimiser la fiabilité et la disponibilité des compresseurs K4501C est crucial pour assurer la stabilité opérationnelle de la station de compression toute minimisant les risques de défaillance et en maximisant la disponibilité des équipements.

I.6. Définition et terminologie

I.6.1. Fiabilité (Reliability en anglais)

Est l'aptitude d'une entité à accomplir les fonctions requises dans des conditions données pendant une durée donnée. Mathématiquement la fiabilité se caractérise par la probabilité R(t) que l'entité E accomplisse ces fonctions, dans les conditions données pendant l'intervalle de temps [0, t], sachant que l'entité n'est pas en panne à l'instant 0.

R(t)=P[E non défaillante sur [0, t]]. [20]

I.6.1.1. Fiabilité prévisionnelle

La iabilité est déterminée à partir d'un modèle mathématique élaboré en se basant sur les données propres au projet ainsi que sur les estimations de fiabilité des différents composants qui le composent.

I.6.1.2. Fiabilité estimée ou intrinsèque

La fiabilité d'un dispositif correspond à sa performance mesurée au cours d'essais spécifiques réalisés dans le cadre d'un programme d'essais préalablement défini.

I.6.1.3. Fiabilité mesurée opérationnelle

La fiabilité, évaluée sur des dispositifs en conditions d'exploitation normale, est influencée par les conditions réelles d'utilisation ainsi que par le support logistique associé.

I.6.2. Défaillance

Altération ou cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise. La défaillance ou panne est une perte Partille ou total (ou seulement variation) des propriétés de l'élément qui diminue significativement ou bien entraine la perte totale de la capacité de fonctionnement.

I.6.3. Usure

Modification progressive irréversible des propriétés d'un dispositif provoquée par l'application des charges.

I.6.4. Vieillissement

Modification progressive irréversible des propriétés d'un dispositif due à l'action de processus chimique et / ou physiques évoluant spontanément des matériaux.

I.6.5. Durée de vie

Durée pondant laquelle un bien accompli la fonction qui lui a été assignée.

I.6.6. Longévité

Aptitude d'un système à une longue exploitation (elle peut comprendre les durées de réparation et d'inspection).

I.6.7. Conservabilité

Propriété d'un dispositif consistant à maintenir sans interruption les valeurs de ses caractéristique requises de qualité dans les limités imposées au cours su stockage, après celui-ci et [ou] au cours du transport.

I.6.8. Qualité

Ensemble des propriétés qui déterminent le niveau d'utilité de l'élément pour son utilisation selon la destination. [21].

I.7. Maintenabilité (Maintainability en anglais)

D'une entité est définie comme son aptitude à se maintenir ou se rétablir, sur un intervalle de temps donné, dans un état dans lequel elle peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et moyens prescrits [22].

I.8. Disponibilité (Availability en anglais)

D'une entité est définie comme son aptitude à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné, en supposant que la fourniture de moyens extérieurs nécessaires soit assurée [23].

I.9. Evolution du taux de défaillance

La plupart des produits industriels ont au cours de leur vie un taux de défaillance présentant trois modes différents. L'ensemble se présentant sous la forme d'une courbe en baignoire

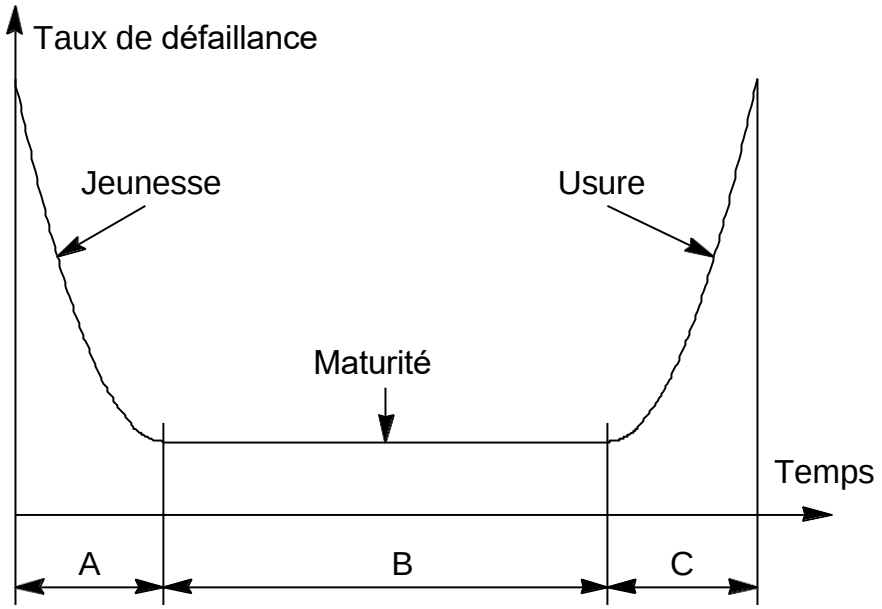


Figure 30 : Courbe de taux de défaillance

a) **Période de jeunesse (Rodage)**

C´est la période durant laquelle le dispositif est en rodage les pannes(défaillances)ne sont pas graves, le taux de défaillance décroit en fonction du temps ; elle s´explique par des points fragiles causés par la mauvaise fabrication ,un contrôle insuffisant de qualité ; défaut de montage ……etc .

b) Période de maturité (Aléatoire)

C´est la période qui correspond à la maturité du dispositif durant laquelle, les défaillances sont dites accidentelles. Ce sont les défaillances causées par l´usure progressive, ellesnepeuventpasêtreéliminéesparlatechniquedemiseàl´épreuve,elles surviennent à des intervalles aléatoires de façon irrégulière. Les défaillances apparaissent lorsqu´il y a une certaine accumulation de contraintes lors de l´utilisation normale, ou l´influence des facteurs extérieurs dépassent les limites prévues dans les conditions d´exploitation. Le taux de défaillance est sensiblement constant.

c) Période de vieillesse (Usure)

C´est la période durant laquelle le taux de défaillance augmente rapidement à cause du processus de dégradation. Le taux de défaillance est croissant, c´est la période où il faut

surveiller le matériel, cela correspond aux phénomènes de fatigue, d´usure mécanique …etc., par conséquent une maintenance préventive conditionnelle peut-être mise en œuvre. [21].

I.10. Paramètres de fiabilité

I.10.1. Variable aléatoire

On appelle variable aléatoire X une variable qui prend des valeurs différentes et à chaque valeur on peut associer une probabilité.

I.10.2. Densité de probabilité

En fiabilité elle est généralement noté f(t), elle représente la probabilité de défaillance juste au temps (t).

I.10.3. Fonction de répartition

Elle est notée:

$$F(t) = \int_0^1 f(t)dt$$

Elle représente la probabilité de défaillance dans l´intervalle de temps [0, t]. [20],[21]

I.10.3.1. Fonction de fiabilité

Elle est notée:

R(t)=1-F(t)

Elle représente la probabilité de bon fonctionnement dans l´intervalle de temps[0,t],elle est la complémentaire de la fonction de répartition F(t) .

I.10.3.2. Taux de défaillance

La taux de défaillance correspond à la probabilité d´avoir une défaillance au temps (t+ Δt); la note λ(t)= (ni/N Δt) ou (ni : Nombre de pannes pour une période de classe (temps ti)) . [24],[25]

MTBF: Temps moyen de bon fonctionnement:

C´est l´espérance mathématique des défaillances qui représente la moyenne des temps des temps entre deux défaillances.

MTBF=m-E(t)

I.11. Principales indicateurs utilisées en fiabilité

On emploi de diverses lois de probabilité pour représenter et donner la nature et la durée de vie des équipements.

Parmi ces lois qu´on pour le calcul de fiabilité on cite:

- ✓ La loi normale;
- ✓ La loi exponentielle ;
- ✓ La loi de weibull ;

I.11.1. La loi normale

La loi normale (appelée aussi loi gaussienne)est la plus ancienne et la plus connue des lois de probabilité elles´a juste à la fiabilité des matériaux soumis à l´usure et au vieillissement. Une variable aléatoire " t " de moyenne " m "et d´écart type "σ " suit une loi normale si sa fonction si sa fonction de densité est : [21]

$$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(t-m)^2}{2\sigma^2}} \; pour \; t > 0$$

L´intégration de cette fonction f(t)nous donne la fonction de réparation.

$$F(t) = \int_0^t (t)dt = \int_0^t \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(t-m)^2}{2\sigma^2}} dt$$

C´est une fonction tabulée.

- **Représentation graphique**

Cette fonction est symétrique par rapport à la moyenne.

$$f(m-t)=f(m+t)$$

✓ Sa fonction de répartition est représentées comme suit:

$$F(t) = \int_0^t (t)\, dt = \int_0^t \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(t-m)^2}{2\sigma^2}} dt$$

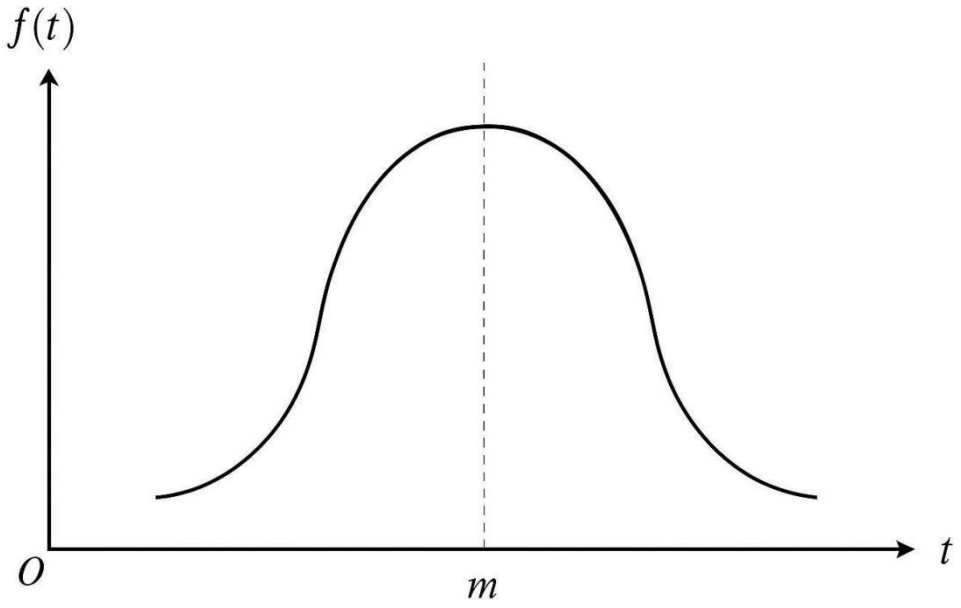


Figure 31 courbe de gauss

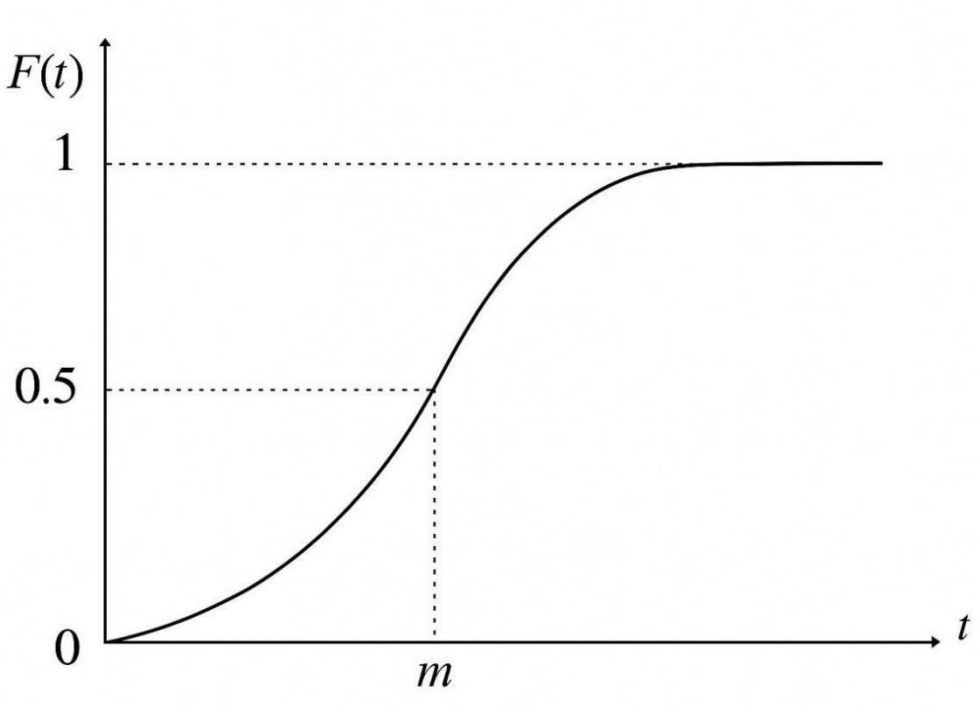


Figure 32 : Courbe de Gauuss

I.11.2. La loi exponentielle

Elle décrit les pannes accidentelles elle est caractérisée par un taux de défaillance constant. C´est un modèle particulièrement utilisé en fiabilité électronique.

Sa fonction de densité de probabilité est:[26]

$$f(t)=\lambda e^{-\lambda t} \qquad \text{avec} \qquad 0 \leq t \leq +\infty$$

λ:paramètredeloi exponentielle.

-Sa fonction de répartition :

$$F(t)=\int_0^t (t)\,dt=\int_0^t \lambda e^{-\lambda t}$$

$$F(t)=1-e^{-\lambda t}$$

- **Représentation graphique de la fonction de densité** *F(t)*

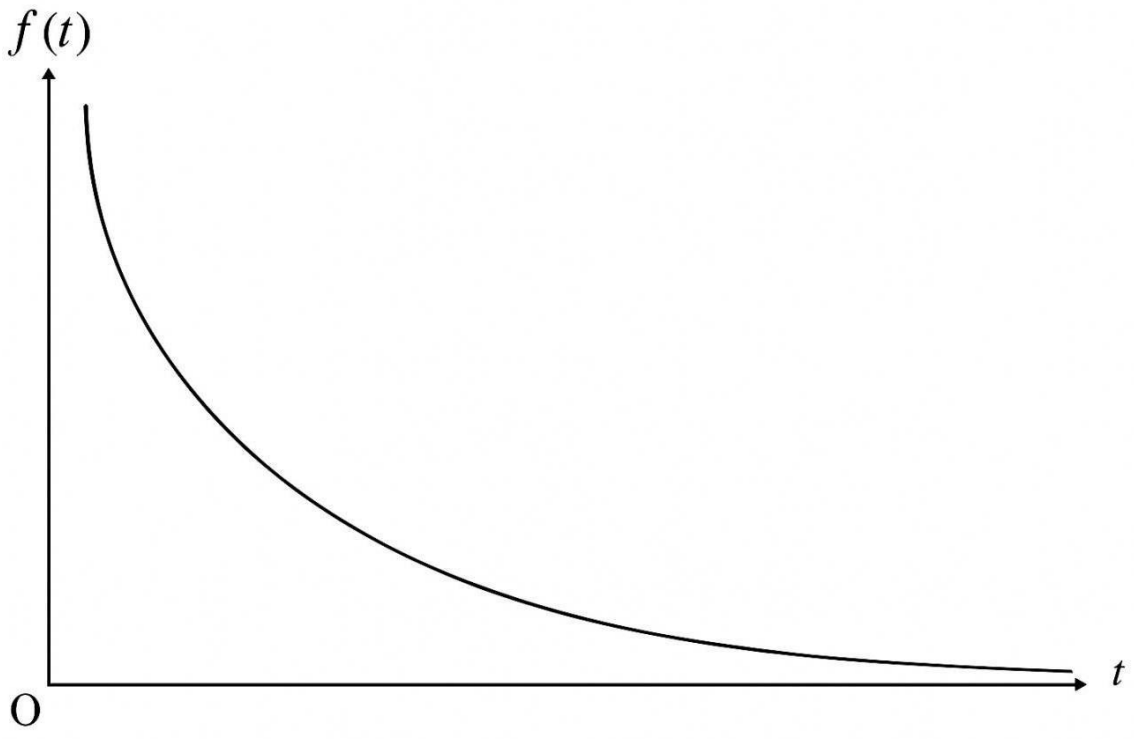


Figure 33 loi exponentiel

- **L´allure de la fonction de répartition** *F(t)*

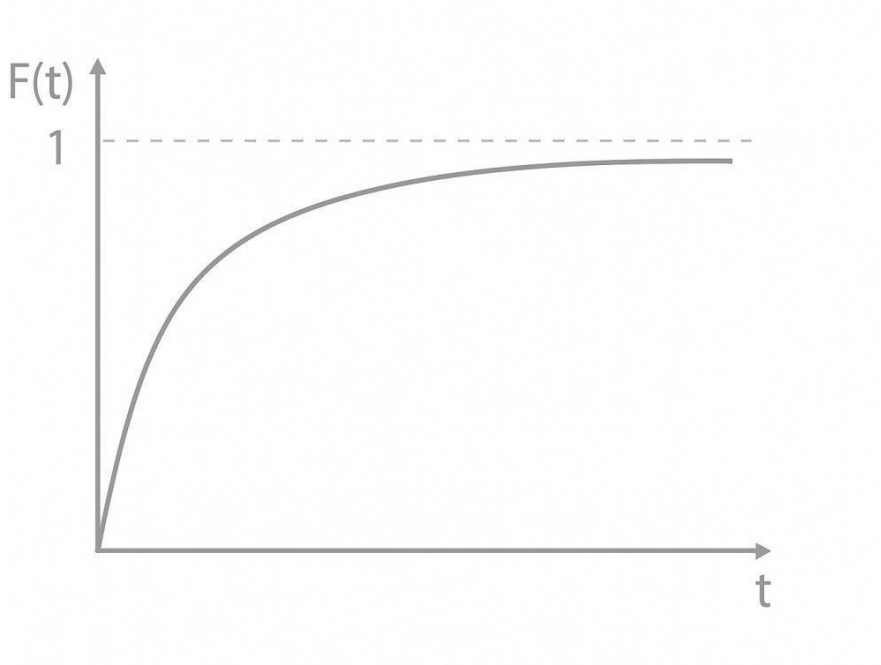


Figure 34L'allure de fonction de répartition F(t)

I.11.3. Loi Weibull

Il s´agit d´une loi très simple car elle à trois paramètres, elle est souvent utilisée en fiabilité et en particulier dans la mécanique.

Une loi de Wei bull est caractérisée par sa fonction de densité de probabilité **:**

$$f(t)=\frac{\beta}{\mu}\left(\frac{t-\gamma}{\mu}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\mu}\right)^{\beta}}$$

avec$(t-\gamma)>0$

où:∶Paramètre de forme (sans unité)

γ∶Paramètre de position (unité de temps)

:Paramètre d´échelle (unité de temps)

✓ Sa fonction de répartition

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt = 1 - e^{-(\frac{t-\gamma}{\mu})\beta}$$

- **Représentation graphique de la fonction de densité** *f(t)*

L´allure de f(t) pour quelques valeurs de**(**β=1/2**;**β=1 ;β=3)

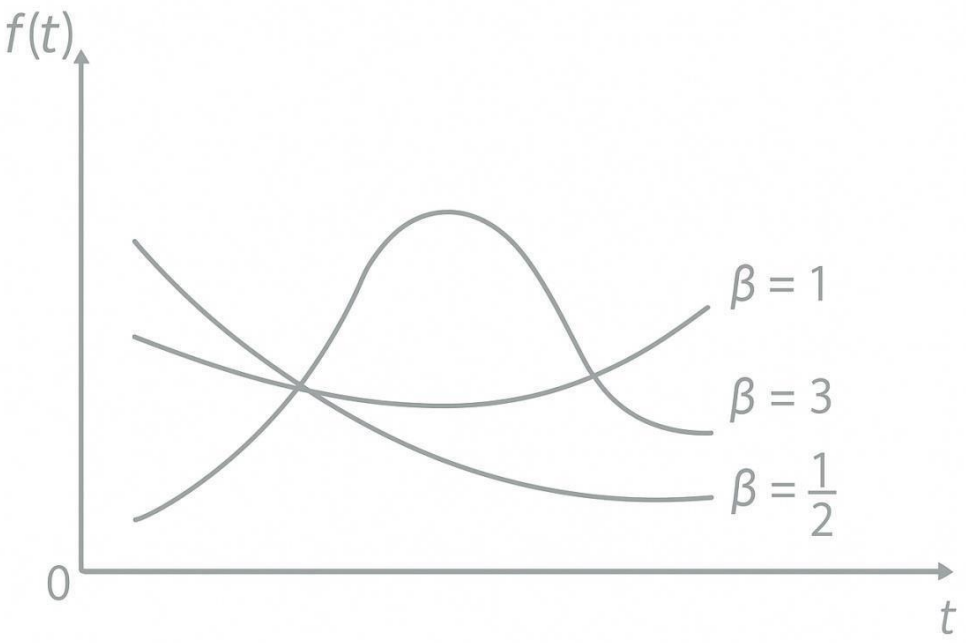


Figure 35L'allure de la Fonction de densité f(t)

- **L´allure de la fonction de réparation** *F(t)*

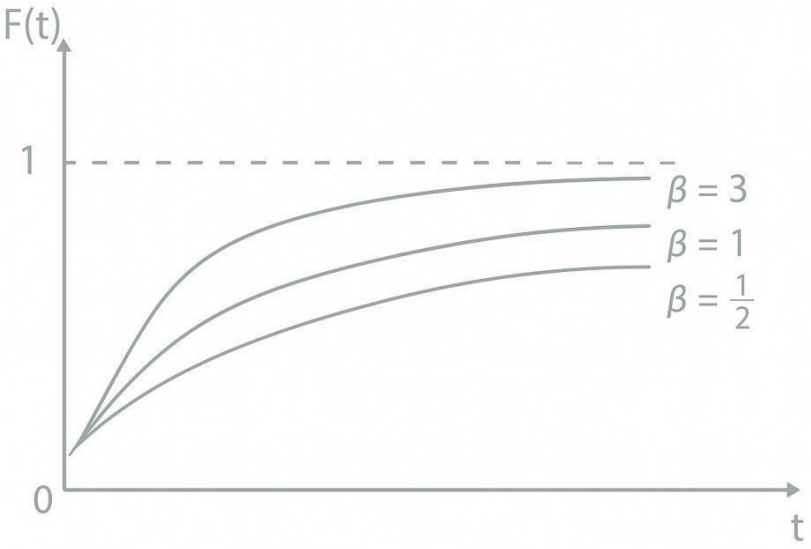


Figure 36L'allure de la fonction de réparation F(t)

I.12. CALCUL DE FIABILITÉ

Dans ce calcul on détermine le taux de défaillance λ(t)

I.12.1. Détermination du nombre de classe r

Nous déterminons afin de tracer l'histogramme des pannes

r=1+ 3.33log(∑Ni) ou $r=\sqrt{N}$ ou N: nombre total de panne.

Tableau 9 : Les TBFi

Nombre de pannes N1	1	2	3	4	5	6	7
Les TBFi	1305	1360	1580	1825	2290	2660	3160

Ni	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Les TBFi	4670	5880	6350	7890	11100	11700	14050	15030	22600

D'après le tableau nous avons N=16

Calculons r :

r=1+ 3.33log$N$

r=1+ 3.33log(16)=4,97≅5

$$r=5 \text{ classes}$$

I.12.2. Détermination des intervalles entre les classes Δt

Δt est le rapport entre TBF_{MAX} et le nombre de classe r

$$\Delta t=\frac{TBFMAX}{r}=\frac{22600}{5}$$

$$\Delta t=4520h$$

Regroupement en classe r

Tableau 10 : pannes cumules

	Période entre pannes	Pannes cumules
1	0……...…….4520	7
2	4520 9040	4
3	9040……13560	2
4	13560……..18080	2
5	18080……..22600	1

Traçons l'histogramme des pannes :

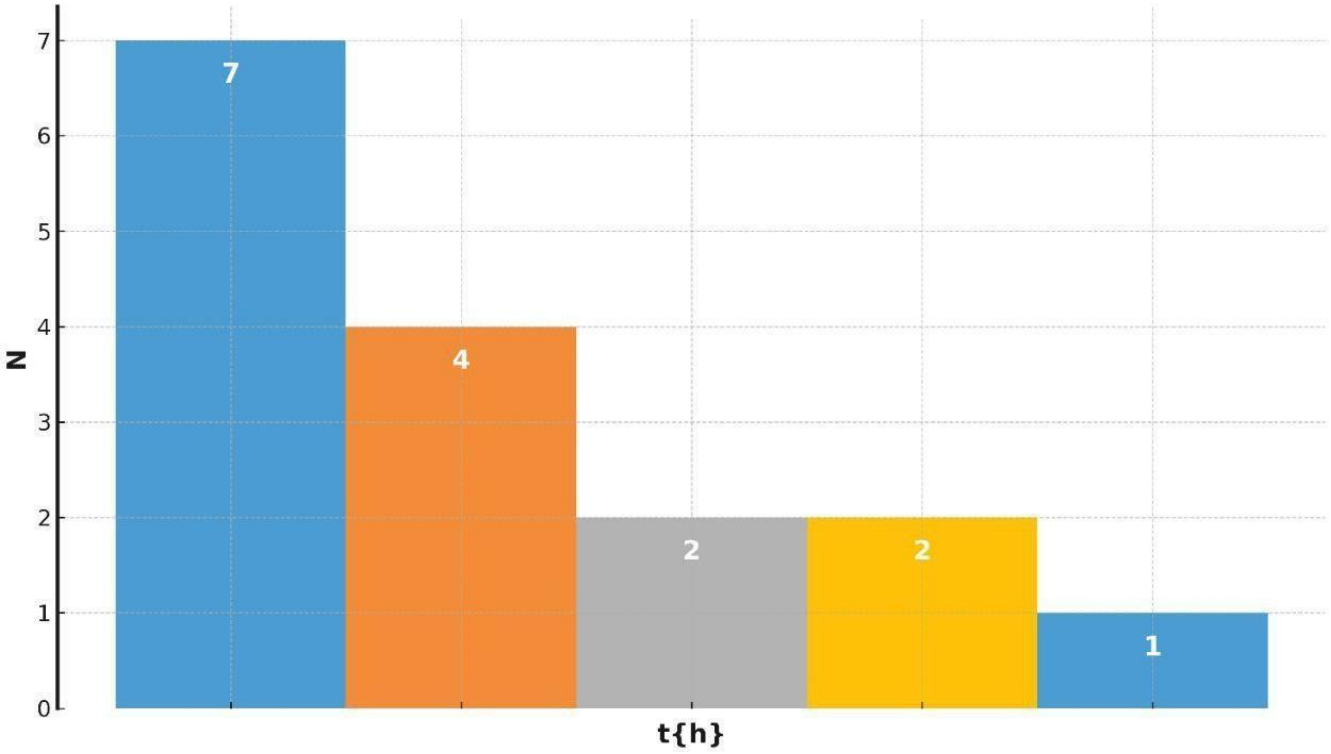


Figure 37 : L'histogramme des pannes

D'après l'histogramme on remarque que le compresseur suit un modèle exponentiel on peut vérifier cette hypothèse par un test d'adéquation.

I.12.3. Calcul de fonction de fiabilité(t)

$R(t)=1-F(t)$

$R(t)=1-n_i/N_0$

n_i:Nombre de pannes jusqu'au temps $t_i N_0$:

Nombre total de pannes.

$R(t_0)=1-(n_0/N_0)$ ➡ $R(0)=1-(0/16)=1$

$R(t_1)=1-(n_1/N_0)$ ➡ $R(4520)=1-(7/16)=0.56$

$R(t_2)=1-(n_2/N_0)$ ➡ $R(9040)=1-(11/16)=0,31$

$R(t_3)=1-(n_3/N_0)$ ➡ $R(13560)=1-(13/16)=0,18$

$R(t_4)=1-(n_4/N_0)$ ➡ $R(18080)=1-(15/16)=0,06$

$R(t_5)=1-(n_5/N_0)$ ➡ $R(22600)=1-(16/16)=0$

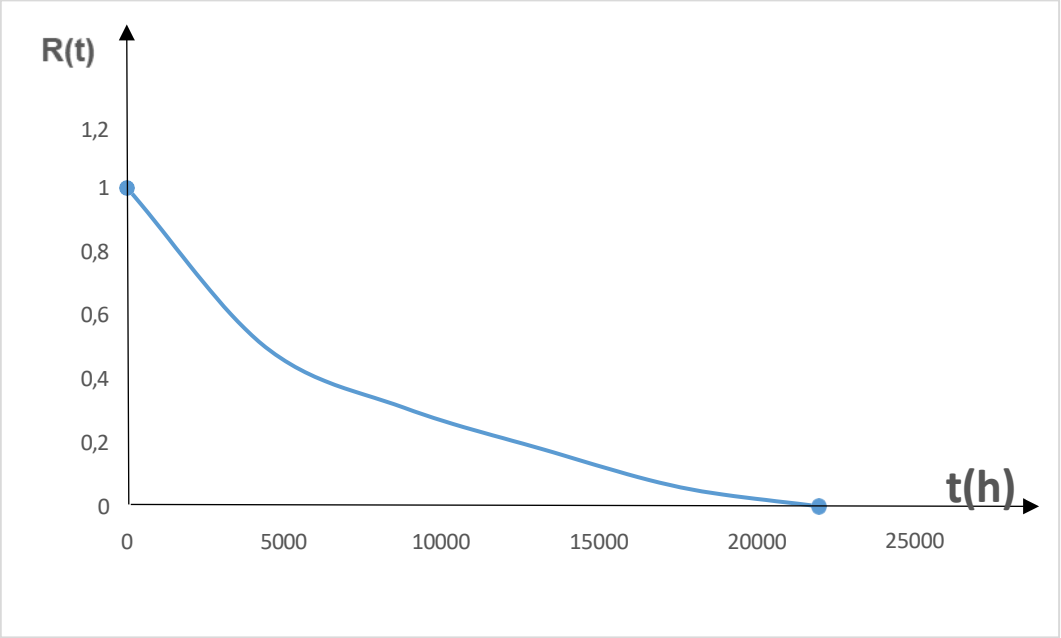


Figure 38 courbe de probabilité de bon fonctionnement

I.13. Calcul de la probabilité de défaillance F(t)

JNBK $F(t)=n_i/N_0$

F(0)=0/16=0

F(4520)=7/16=0.43

F(9040)=11/16=0,65

F(13560)=13/16=0,81

F(18080)=15/16=0,9

F(22600)=16/16=1

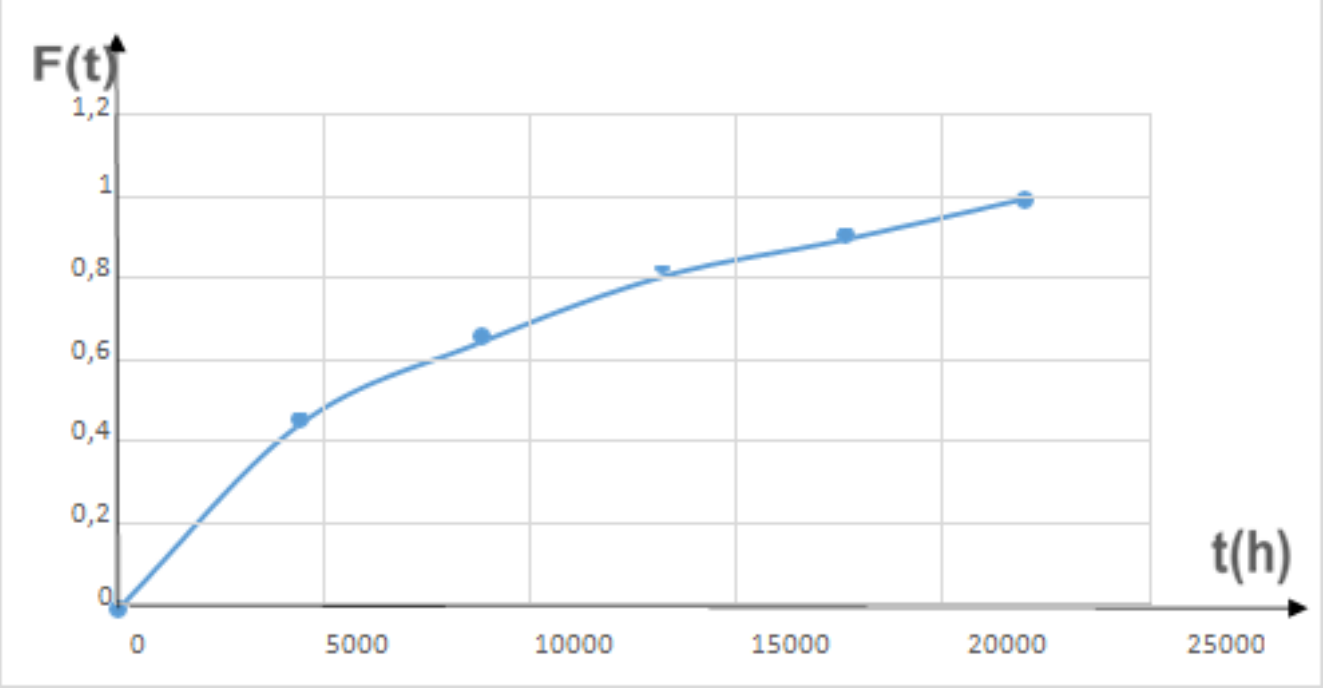


Figure 39 :courbe de probabilité de défaillance

I.13.1. Calcul du taux de défaillance λ(t)

On le détermine par la formule suivante

$\lambda(t)= ni/(N.\ \Delta t)$

n_i:Nombre de pannes jusqu'au temps t_i

N: N_0-$\sum n_i$:Nombre total de panne (pannes cumulées)

Δt: Période entre classes

$\lambda_1(t)= n_1/(N_1.\ \Delta t) = 7/(16*4520) = 0.96*10^{-4}h$

$\lambda_2(t)= n_2/(N_2.\ \Delta t) = 4/(9*4520) = 0.98*10^{-4}h$

$\lambda_3(t)= n_3/(N_3.\ \Delta t) = 2/(5*4520) = 0.88*10^{-4}h$

$\lambda_4(t)= n_4/(N_4.\ \Delta t) = 2/(3*4520) = 1.5*10^{-4}h$

$\lambda 5(t)=n5/(N5.\Delta t)=1/(1*4520)=2.2$ 10-4h

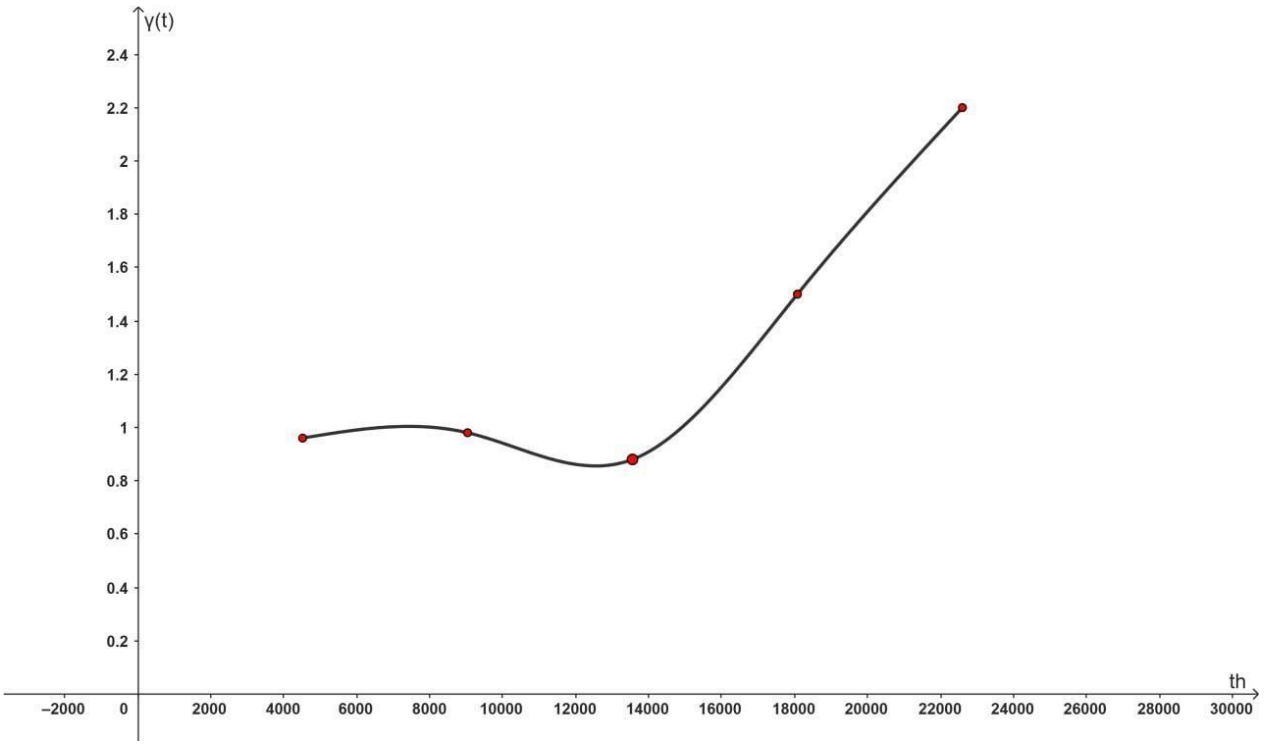


Figure 40 : courbe de taux de défaillance

I.14. Calcul de la MTBF

$$MTBF=7090{,}625h$$

MTBF =$(\sum TBF_i)/(\sum n_i)$= (113450/16)

Ce qui correspond à une année environ.

I.15. La test d'adéquation

La test de≪ $KOLOMOGOROV-SMIRNOV$≫est appliqué dans ce cas puis quel nombre d'échantillon n est inférieur à 50(n <50)

Ce test nous permet de comparaitre l'erreur absolue donnée par la différence entre la fonction réelle et la fonction théorique avec $\Delta_{n=}|F_i-F_{th}|$ l'erreur de référence $\Delta_{n,\alpha}$.

I.15.1. La condition du test d'adéquation

$\Delta_{ni}<\Delta_{n,\alpha}$

Δ_{ni}:Différence maximum entre F_i et F_{th}

F_i : Fonction réelle $F_i=[(i-0,3)/(N+0,4)]$

F_{th} :Fonction théorique $F_{th}=1-e^{-\lambda t}$

$\lambda=(1/MTBF)=(1/7090,625)$

$$\lambda=1,411.10^{-4}$$

Tableau 11 : Tableau de comparaison

Ni	TBFi	Fi	Fth	$\Delta_{n=}\|F_i-F_{th}\|$
1	1305	0,042	0,169	**0,**127
2	1360	0,103	0,175	0,072
3	1580	0,164	0,200	0,036
4	1825	0,225	0,228	0,003
5	2290	0,286	0,277	0,009
6	2660	0,347	0,314	0,033

7	3160	0,408	0,361	0,047
8	4670	0,469	0,484	0,015
9	5880	0,530	0,565	0,035
10	6350	0,591	0,593	0,002
11	7890	0,652	0,673	0,021
12	11100	0,713	0,792	0,079
13	11700	0,774	0,809	0,035
14	14050	0,835	0,863	0,028
15	15030	0,895	0,881	0,014
16	22600	0,957	0,959	0,002

IV.11.1. Détermination de $\Delta_{n,\alpha}$

$\Delta_{n,\alpha}$ est déterminé à l'aide d'un tableau n:

Nombre de données : n=16

α:le risque d'erreur on a dm et α=5% D'après le

tableau o a $\Delta_{n,\ \alpha} = 0{,}328$

On voit que $\Delta_{n,max}=0{,}127<\Delta_{n,\ \alpha}=0{,}328$

Donc nous acceptons le modèle théorique. C'est-à-dire le compresseur suit modèle exponentiel.

Note

Les résultats du calcul nous montrent que le compresseur suit une loi exponentielle ,donc il est en période de maturité ou les pannes sont soudaines et accidentelles .Sur la base des résultats de ce calcul (MTBF=7090,625h) nous proposons de prolonger le cycle de réparation du compresseur au lien du cycle existant .Nous optons pour un cycle de réparation complété de 28000 heures au lien de 20000 heures , avec une réparation partielle de 14000 heures au lien de 10000 heures et une visite technique périodique chaque 7000 heures au lieu de 5000 heures . [21].

Donc le cycle de réparation sera comme suit :

MTTR : ou temps moyen de réparation désigne la durée moyenne nécessaire pour remettre un équipement ou un système en état de fonctionnement après une panne

formule

MTTR= Temps total consacré aux réparation pendant une période donnée/nombre de réparation

Tableau de MTTR

Tableau 12 : Tableau de MTTR

Nombre de pannes N1	1	2	3	4	5	6	7
Les TTRi	1.0	1.5	1.5	2.0	2.0	2.5	2.0

Ni	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Les TTRi	3.0	3.0	2.0	4.0	3.5	4.0	2.5	4.0	3.0

Calcule MTTR

MTTR= (1+1.5+1.5+2+2+2.5+2+3+3+2+4+3.5+4+2.5+4+3)/(16)=2.593

I.16. La Disponibilité

La disponibilité Pour la disponibilité, on doit déterminer les deux volets de ce paramètre théorique et instantané, qui se lie directement au temps de réparation.

I.16.1. La disponibilité intrinsèque théorique

Ladisponibilitéintrinsèquethéoriqueestdéterminéeenfonctiondelamoyennedebon fonctionnement et de la moyenne de réparation. Elle est donnée par la relation suivante :

$$Di = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR}$$

$$Di = \frac{7090.625}{7090.625+2.59}$$

$$Di=0.99$$

Donc Di=99%

Disponibilité instantané :

$$D(t) = \frac{\mu}{\mu+\lambda} + \frac{\lambda}{\lambda+\mu} e^{-(\lambda+\mu)t}$$

Le temps de réparation mesuré en heure. La disponibilité égale à un lorsque on a un temps de réparation très peu. Donc on constate que la disponibilité à une valeur maximum égale à un.

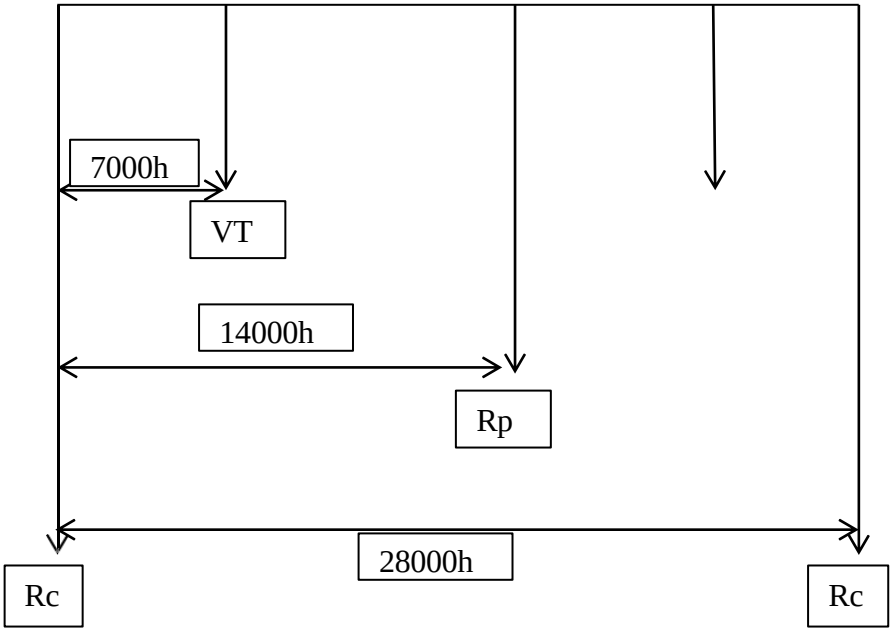


Figure 40 cycle de réparation

I.17. Conclusion

Enfin on peut conclure que la disponibilité est décroissante en fonction de temps nécessaire à la réparation. Pour augmenter la disponibilité du compresseur, il faut essentiellement diminuer le temps des arrêts en réduisant leur nombre, c'est à dire augmenter sa fiabilité en réduisant d'une manière plus simple le temps nécessaire pour la résolution des causes de ces arrêts en améliorant sa maintenabilité

Conclusion Générale

Conclusion Générale

L'étude menée sur les compresseurs centrifuges à air utilisés dans le complexe antibiotique Saidal a mis en lumière l'impact majeur de la maintenance sur leur fiabilité et leur performance en exploitation. En s'appuyant sur l'analyse des données de fonctionnement du compresseur K4501C, nous avons pu caractériser son comportement en phase de maturité, conformément à la loi de distribution exponentielle des défaillances. Cela a permis de proposer une optimisation des intervalles de maintenance, favorisant une meilleure disponibilité de l'équipement tout en réduisant les interventions superflues.

Au-delà des aspects techniques, cette étude souligne également l'importance de la sécurité industrielle dans un environnement sensible tel qu'un site de production pharmaceutique. La rigueur dans l'évaluation des risques et l'application de protocoles de sécurité adaptés permettent non seulement de protéger le personnel et l'équipement, mais aussi de garantir la conformité aux normes en vigueur dans l'industrie biopharmaceutique.

Enfin, ce travail a contribué à approfondir notre compréhension du fonctionnement des compresseurs centrifuges à air, renforçant ainsi notre capacité à intégrer des stratégies de maintenance efficaces et sécurisées dans les pratiques industrielles locales. Les enseignements tirés de cette étude serviront de référence pour améliorer durablement la gestion des équipements au sein du groupe Saidal, dans le respect des exigences de qualité, de sécurité et de performance.

Références bibliographiques

[1] : livre étude de danger du site de production du groupe saidal

[2] : Documentation du groupe saidal

[3] : GAAD Ferial ," Analyse de la fiabilité d´un compresseur BCL 405/C."thèse master 2 , Université yahya feres medea,2024.

[4] : DJEBLI Abdelhamid ; Etude de la poussé axiale des compresseurs centrifuges BCL 606 A de la Station de Boosting Centre « S.B.C » ; Mémoire de Fin de Formation/Induction d'Ingénieur ; SONATRACH ; 2017.

[5] : DJEBLI Abdelhamid ; Etude de la poussé axiale des compresseurs centrifuges BCL 606 A de la Station de Boosting Centre « S.B.C » ; Mémoire de Fin de Formation/Induction d'Ingénieur ; SONATRACH ; 2017.

[6] :**ABAOUZ.J.** Les compresseurs à gaz à bord des navires menthaniers. 2012. Ecol nationale superieur maritim.

[7] :OPERATION & MAINTENANCE MANUAL CENTAC Models

[8] :ingersoll rande,"Process Gas Centrifugal Compressors Efficient, Reliable,Equipment"

[9]:**Maammeur .M.** Simulation de l'écoulement de l'air dans la roue d'un compresseur

centrifuge .2010-2011. Université Hassiba Ben Bouali de Chleff. P 10.jusqua P18

[10] :**KHEDIM .A.** calcul de la station de pompage de dessalement d'eau de mer de Chleff de mostaganem.2013/2014. Université Abou bekr Belkaid – TlemcenP62.63

[11] :turbo-air-product-guide-slimjim

[12] :httpsdspace.univ-guelma.dzjspuibitstream1234567895741Cours_FRIHI_Djamel.pdf

[13] : memoire-finale-MAHFOUD-BRAHIM.pdf (univ-annaba.dz)

[14] : Cours de maintenance idustrielle Dr GUMANA Mouloud

[15] : ZERROUKI Salah-eddine ; La maintenance préventive du compresseur BCL 606 A "03- K-901-A " de la station boosting nord MPPIII ; Rapport du Stage d'induction ;
SONATRACH ; Direction Régionale Hassi-R'mel Direction Maintenance Service
Maintenance des compresseurs ; Mars2017.

[16] : Ghilani Houssam Eddine et Krama Imad Eddine ; Etude de maintenance et entretien d'un compresseur centrifuge ; MEMOIRE de Mastère ; UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET ; 2018/2019 .

[17] : cours maintnance industielle univ medea

[18] : http://dspace.univ-tlemcen.dz/handle/112/12286

[19] : SONATRACH ; maintenance préventive de compresseur BCL 405c ; Documentation ;
Manuellement.

[20] : A. G.Mihalache, “Modélisation et évaluation de la fiabilité des systèmes mécatroniques: application sur système embarqué,”. Thèse de Doctorat, Université d'Angers, 2007

[21] :Mr SLIMANI MOKRANE ;Etude et maintenance d´un compresseur centrifuge du type BCL405/C BOOSTER; Mémoire fin d’études du diplôme de D.E.U.A EN ; Institut national des hydrocarbures et de la chimie BOUMERDES ; 1993.

[22] : AFNOR ,“Terminologie relative à la fiabilité–Maintenabilité–Disponibilité.XNF,60-500,” 1988.

[23] : S. Wang, M. Tomovic, and H. Liu, “Comprehensive Reliability Design of Aircraft Hydraulic System,” Elsevier, 2016

[24] : J. C. Francastel, “Externalisation de la maintenance: Stratégies, méthodes et contrats,” Dunod, Paris, 2003.

[25] : A. Bouzouada, “Etude et application des techniques de l'intelligence artificielle d'optimisation pour la maintenance des réseaux électriques dans le cadre de la MBF (Maintenance basée sur la fiabilité),”.Thèse de Doctorat, Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, 2021.

[26] : O.Tebbi,“Estimation des lois de fiabilité en mécanique par les essais accélérés ,”.Thèse de Doctorat, Université d'Angers, 2005