الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique Et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة الشهيد الشيخ العربي التبسي – تبسة
Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi – Tébessa
معـــــــــهد المـــــناجم
Institut des Mines
قسم المناجم و الجيوتكنولوجيا
Département Mines Et Géotechnologie

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

Filière : Électromécanique

Option : Maintenance industrielle

Étude des indicateurs de fiabilité du compresseur à vis (Cimenterie Elma Labiod)

Par

ABDI Marouane et CHABANE Mondher

Devant le jury :

Louafi Messaoud	**Président**	**Pr**	**Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi – Tébessa**
Taleb Mounia	**Encadreur**	**MCA**	**Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi – Tébessa**
Haouam Ala	**Examinateur**	**MAA**	**Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi – Tébessa**

Année universitaire 2024/2025


بسم الله الرحمن الرحيم
١٤٢٠

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

مؤسسة التعليم العالي : جامعة العربي التبسي – تبسة

تصريح شرفي
خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لانجاز بحث

أنا الممضي أدناه،

السيد (ة).....حمدي جبور.....الصفة : طالب، أستاذ باحث، باحث دائم : .....طالب

الحامل لبطاقة التعريف الوطنية رقم: 100482036200382 و الصادرة بتاريخ 2024/10/31

المسجل بمعهد .....قسم.....

و المكلف بانجاز أعمال بحث (مذكرة التخرج، مذكرة ماستر، مذكرة ماجستير، أطروحة دكتوراه)، عنوانها :

Etude des indicateurs de fiabilité .....

du comportement axial d'un enterre et malabia .....

أصرح بشرفي أني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية و المنهجية و معايير الأخلاقيات المهنية و النزاهة الأكاديمية المطلوبة في انجاز البحث المذكور أعلاه.

التاريخ:..... 03 جوان 2025

إمضاء المعني (ة)

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

مؤسسة التعليم العالي : جامعة العربي التبسي – تبسة

تصريح شرفي
خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لانجاز بحث

أنا الممضي أدناه،

السيد (ة).....شعبان منير.....الصفة : طالب، أستاذ باحث، باحث دائم : ...طالب.....

الحامل لبطاقة التعريف الوطنية رقم :1a992a364a6a68aa و الصادرة بتاريخ .29.08.2017.....

المسجل بمعهد .....العلوم.....قسم...الكتروميكانيك.....

و المكلف بانجاز أعمال بحث (مذكرة التخرج، مذكرة ماستر، مذكرة ماجستير، أطروحة دكتوراه)، عنوانها :

.....Etude des indicateurs de fiabilité.....

.....du compresseur à gaz Cimenterie Elmahabiod1.....

أصرح بشرفي أني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية و المنهجية و معايير الأخلاقيات المهنية و النزاهة الأكاديمية المطلوبة في انجاز البحث المذكور أعلاه.

التاريخ:...03 جوان 2025...

إمضاء المعني (ة)

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université Larbi Tebessi – Tébessa
Institut des Mines
Département mines et géotechnologie

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة العربي التبسي – تبسة
معهد المناجم
قسم المناجم و الجيوتكنولوجيا

Année universitaire : 2024/2025 Tébessa le :

Lettre de soutenabilité

Noms et prénoms des étudiants :

1-Chaaben Monder- 2-Abdi marouan

Niveau : ---Master 2---------- Option : Maintenance industrielle

Thème : Étude des indicateurs de fiabilité du compresseur à vis (cimenterie Elmalabiod) ----------

Nom et prénom de l'encadreur : Dr TALEB Mounia

Chapitres réalisés	Signature de l'encadreur
Chapitre 1	
Chapitre 2	
Chapitre 3	
Chapitre 4	

REMERCIEMENTS

Avant tout, nous adressons nos louanges et notre gratitude à ALLAH, qui nous a accordé le courage, la volonté et la patience nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nous tenons à souhaiter la bienvenue aux membres du jury, et à les remercier sincèrement pour l'honneur qu'ils nous font en participant à notre soutenance.

Nos remerciements vont également à l'ensemble de nos enseignants, qui ont fait preuve de dévouement tout au long de notre parcours, en partageant avec nous leur savoir et leur expertise.

Nous exprimons toute notre reconnaissance à Madame TALEB Mounia, notre encadreur, pour son soutien précieux tout au long de la réalisation de ce mémoire, sa disponibilité constante, ses critiques constructives et ses suggestions pertinentes ont grandement contribué à l'élaboration de ce travail.

Nous avons également l'honneur de remercier chaleureusement toute l'équipe du complexe SOMIPHOS – Djebel Onk et tout le personnel de la Cimenterie Elma Labiod, qui nous ont apporté leurs aides et leurs encadrements durant notre stage, rendant possible la concrétisation de ce projet.

Enfin, nous remercions toutes les personnes, de près ou de loin, qui nous ont soutenus et aidés dans l'accomplissement de ce travail.

DÉDICACES

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents, pour leurs sacrifices depuis le jour où ils m'ont mis au monde, pour leur soutien constant et leur aide précieuse face aux difficultés.

À mes très chers frères et sœurs, pour leurs encouragements permanents et leur soutien moral.

À l'ingénieur Soufi Adel, pour tout ce qu'il a fait afin que nous puissions les honorer.

À tous les professeurs qui nous ont aidé, notamment Dr Taleb Mounia, ainsi qu'à nos examinateurs Pr Messaoud Louafi et Dr Haouam Ala.

À mes très chers amis Ala.G, Zine.A, Chams.T, Ishak.T, Amirouche.G, Sidali.F, Fares.A, Moundher.Ch, Tamer.B, Kamel.Kh, Khaled.G, Ziad.S, Khaled.A, ainsi qu'à tous mes amis , en particulier ceux de l'Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi - Tébessa

Je remercie chaleureusement toute l'équipe pédagogique du département des mines et de geotechnologie et de l'institut des mines pour leur soutien constant

ABDI MAROUANE

DÉDICACES

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents, pour leurs sacrifices depuis le jour où ils m'ont mis au monde, pour leur soutien constant et leur aide précieuse face aux difficultés.

À ma très chère sœur, pour ses encouragements permanents et son soutien moral.

À la famille Chabane et la famille Brakni.

À tous les professeurs qui nous ont aidé, notamment Dr Taleb Mounia, ainsi qu'à nos examinateurs Pr Messaoud Louafi et Dr Haouam Ala.

À mes très chers amis Marouane.A, Ishak.T, Amirouche.G, Sidali.F, Tamer.B, Kamel.Kh, Khaled.A, ainsi qu'à tous mes amis , en particulier ceux de l'Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi - Tébessa

Je remercie chaleureusement toute l'équipe pédagogique du département de des mines et de geotechnologie et de l'institut des mines pour leur soutien constant

CHABANE MOUNDHER

SOMMAIRE

Remerciements I

Dédicaces II

Sommaire III

Liste des tableaux IV

List des figures V

List des abréviations VI

Introduction générale 1

CHAPITRE I : Généralités sur la maintenance

I.1. Introduction 3

I.2. Définition 3

I.3. Domaine d'action de la fonction maintenance 4

I.4. Missions de maintenance 4

I.5. Types de maintenance 4

I.5.1. Maintenance préventive 5

I.5.2. Maintenance corrective 7

I.6. Politiques de maintenance 8

I.7. Objectifs de la maintenance 8

I.8. Rôle de la maintenance 9

I.9. Niveaux de maintenance 10

I.10. Conclusion 11

CHAPITRE II : Généralités sur la fiabilité

II.1. Introduction 13

II.2. Définition 13

II.3. Indicateurs de fiabilité 13

II.4. Objectifs de la fiabilité 14

II.5. Types de fiabilité 15

II.6. Paramètres nécessaires pour mesurer la fiabilité 15

II.7. Principales lois de probabilité utilisées en fiabilité 17

II.7.1. Loi exponentielle 17

II.7.2. Loi normale (Laplace-Gauss) 18

II.7.3. Loi Log-normale (ou de Galton) 19

II.7.4. Modèle de Weibull 19

II.7.4.1. Loi de Weibull 20

II.7.4.2. Estimation des paramètres de la loi de Weibull....21
II.8. Conclusion....24

CHAPITRE III : Généralités sur les compresseurs

III.1. Introduction....26
III.2. Définition....26
III.3. But du compresseur....26
III.4. Utilisation....27
III.5. Classification des compresseurs....27
III.5.1. Compresseurs dynamiques....28
III.5.1.1. Compresseurs axiaux....29
III.5.1.2 Compresseurs centrifuges....29
III.5.2. Compresseur volumétrique....30
III.5.2.1. Compresseurs alternatifs....32
III.5.2.2. Compresseurs rotatifs....33
III.6. Types des compresseurs en fonction de débit et de la pression....41
III.7. Compresseur a vis lubrifiées : Atlas Copco GA160....41
III.8. Conclusion....43

CHAPITRE IV : Etude de la fiabilité du compresseurs GA160

IV.1. Introduction....45
IV.2. Cas d'étude....45
IV.2.1. Présentation de l'entreprise....45
IV.2.2. Exploitation de l'historique....46
IV.3. Méthode ABC (Pareto)....47
IV.4. Etude de la fiabilité....49
IV.4.1. Exploitation des paramètres de Weibull....51
IV.5. Plan de maintenance....58
IV.6. Conclusion....59
Conclusion générale....61
Bibliographie VII
Annexes VIII
Résume IX

Liste des tableaux

CHAPITRE I

Tableau I.1. Les niveaux de maintenance 10

CHAPITRE III

Tableau III.1. Comparaison du compresseur à vis et les autres types des compresseurs 40

CHAPITRE IV

Tableau IV.1. Historiques du compresseur GA160 46
Tableau IV.2. L'analyse ABC (Pareto) du compresseur GA160 47
Tableau IV.3. Fonction de répartition réelle 49
Tableau IV.4. Calcul de la fiabilité 51
Tableau IV.5. Test K-S (KOLMOGOROV SMIRNOV) 53
Tableau IV.6. Calcul la fonction de la densité de probabilité 54
Tableau IV.7. Fonction de répartition 56
Tableau IV.8. Le taux de défaillance 57
Tableau IV.9. Plan de maintenance de compresseur GA160 58

Liste des figures

CHAPITRE I

FIGURE I.1. Les types de maintenance 5
FIGURE I.2. Connaissances requises pour la maintenance préventive systématique 6
FIGURE I.3. Paramètres de la maintenance préventive conditionnelle 7
FIGURE I.4. Politiques de maintenance 8

CHAPITRE II

FIGURE II.1. Les durées caractéristiques de fiabilité 14
FIGURE II.2. Taux de défaillance, courbe en baignoire 16
FIGURE II.3. Propriété de sans mémoire de la loi exponentielle 18
FIGURE II.4. Variation (β) en fonction de temps et de R(t) - λ(t) – f (t) 21
FIGURE II.5. Papier de weibull. 22
FIGURE II.6. Redressement de la courbe par translation. 23

CHAPITRE III

FIGURE III.1. Schéma de principe d'un compresseur 26
FIGURE III.2. Schéma de classification des compresseurs 28
FIGURE III.3. Les types de compresseur dynamique 28
FIGURE III.4. Vue d'un compresseur axial 29
FIGURE III.5. Compresseur centrifuge 30
FIGURE III.6. Les types des compresseurs volumétriques 31
FIGURE III.7. Principe de fonctionnement 31
FIGURE III.8. Compresseur à piston 32
FIGURE III.9. Compresseur à membrane 33
FIGURE III.10. Compresseurs rotatifs à lobe 33
FIGURE III.11. Schéma de cycle de compresseurs à spirales 34
FIGURE III.12. Coupe d'un compresseur rotatif à vis 35
FIGURE III.13. Composants du compresseur à vis 35
FIGURE III.14. Schéma de compresseur mono vis 36
FIGURE III.15. Schéma de compresseur double vis 37
FIGURE III.16. Principe de fonctionnement des deux rotors du compresseur 39
FIGURE III.17. Type de compresseur en fonctionne de débit et de la pression 41
FIGURE III.18. Composants du compresseur à vis GA160 42

CHAPITRE IV

FIGURE IV.1. Courbe d'analyse ABC 48
FIGURE IV.2. Papier de Weibull 50
FIGURE IV.3. La courbe de la fonction de fiabilité 52
FIGURE IV.4. La courbe de la densité de probabilité 55
FIGURE IV.5. La courbe de fonction de répartition 56
FIGURE IV.6. Courbe du taux de défaillance 57

List des abréviations

AFNOR : Association Française de normalisation

NF : Norme française

Log N : Loi log-normale

MTBF : Moyenne des temps de bon fonctionnement.

MTTR : Moyenne des temps techniques de réparation.

MTTF : Temps moyen de fonctionnement avant panne

TBF : Temps de bon fonctionnement.

TTR : Temps de réparation.

MDT : Temps moyen entre un défaut et la remise en service de l'équipement.

MUT : Temps moyen de fonctionnement entre la dernière remise en service après réparation et le prochain défaut.

ABC : Méthode de Pareto (priorité d'actions)

R(t) : Fonction de fiabilité.

F(t) : Fonction de défaillances.

f (t) : Densité de probabilité.

λ (t) : Taux de défaillance.

μ : Temps de réparation.

F : Fiabilité.

β : Paramètre de forme.

γ : Paramètre de position.

η : Paramètre d'échelle.

K-S: KOLMOGOROV SMIRNOV.

DN: Différence maximale

Elektronikon: Controller for air compressors produced by Atlas Copco

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

L'économie Algérienne repose fortement sur le secteur énergétique, ce qui place ce domaine au cœur des activités industrielles du pays. En tant que nation riche en hydrocarbures, l'Algérie dépend principalement de l'extraction, de l'exploitation et du transport du pétrole et du gaz pour alimenter ses centrales électriques et produire de l'électricité. Cette dynamique met en lumière le rôle crucial des turbomachines, dont les compresseurs centrifuges constituent un élément central, indispensable dans diverses applications industrielles. L'air comprimé, souvent désigné comme la quatrième source d'énergie, représente aujourd'hui environ 10 % de l'énergie globale utilisée dans l'industrie mondiale. Grâce à ses multiples applications dans des environnements variés, l'air comprimé occupe une place importante dans les processus industriels. Parmi les équipements essentiels à ces activités figurent les compresseurs, qui jouent un rôle clé dans la transformation de l'énergie mécanique en énergie de pression, augmentant ainsi la pression d'un fluide gazeux.

Pour exploiter efficacement ces machines et répondre aux exigences technologiques, il est impératif pour les spécialistes de bien comprendre leur construction, leur principe de fonctionnement et les bases théoriques qui sous-tendent leurs performances. Une maîtrise de ces connaissances permet de choisir les compresseurs adéquats, d'assurer leur maintenance et d'anticiper leur comportement en fonction des conditions opérationnelles. Cependant, l'absence d'outils fiables pour le traitement des données et d'une approche proactive dans la gestion des équipements de maintenance a souvent réduit cette fonction à de simples interventions correctives. Cela entraîne une augmentation des coûts et limite la contribution de la maintenance à la performance globale des entreprises. Les responsables peinent parfois à justifier leur budget et à démontrer l'impact de leur travail sur l'efficacité opérationnelle.

L'adoption de méthodes de maintenance prévisionnelle pour des équipements à forte production s'avère plus économique que les pertes engendrées par un arrêt imprévu. Un dysfonctionnement isolé peut, en effet, provoquer l'interruption de toute une chaîne de production.

Pour aborder ce sujet, nous avons structuré notre étude en quatre chapitres :

- **Premier chapitre** : Généralités sur la maintenance, avec sa classification, son importance dans les industries, ses types et ses objectifs.
- **Deuxième chapitre** : Généralités sur la fiabilité, abordant les objectifs, les types, les paramètres et les lois de fiabilité.
- **Troisième chapitre** : Généralités sur les compresseurs, leur but, leur utilisation et leur classification.
- **Quatrième chapitre** : Étude de la fiabilité du compresseur GA160, détermination des indicateurs de fiabilité, les paramètres de Weibull, la méthode de Pareto finalisant par la proposition d'un plan de maintenance et une conclusion générale.

CHAPITRE I

GÉNÉRALITÉS SUR LA MAINTENANCE

I.1. Introduction

La maintenance joue un rôle fondamental dans l'optimisation de la productivité au sein des entreprises industrielles. Elle ne se limite plus uniquement à assurer le bon fonctionnement des équipements, mais elle est devenue un levier stratégique pour améliorer l'efficacité de la production et réduire les coûts opérationnels. Dans un environnement industriel où la compétitivité est forte, une maintenance efficace permet non seulement de prévenir les pannes imprévues, mais aussi d'augmenter la disponibilité des machines et de garantir un processus de production continu. Ainsi, la maintenance est un facteur clé pour assurer une performance optimale des installations et, par conséquent, une meilleure rentabilité pour l'entreprise.

I.2. Définition

- **Selon AFNOR X 60-000 en mai 2002**

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 [1].

- **Selon AFNOR NF X 60-010**

La maintenance est un ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé. Bien maintenir, c'est assurer ces opérations au coût optimal [2].

Dont on peut détailler certaines terminologies comme suit :

- ✓ **Maintenir**

Contient la notion de « prévention » sur un système en fonctionnement.

- ✓ **Rétablir**

Contient la notion de « correction » consécutive à une perte de fonction.

- ✓ **État spécifié ou service déterminé**

Implique la prédétermination d'objectif à atteindre, avec quantification des niveaux caractéristiques.

- ✓ **Coût optimal**

Qui conditionne l'ensemble des opérations dans un souci d'efficacité.

I.3. Domaine d'action de la fonction maintenance

Dans une entreprise, la diversité des équipements, liés ou non à la production, impose au service maintenance une grande polyvalence et un forte capacité d'adaptation. Voici un aperçu de ses missions principales :

- ✓ Assurer la maintenance préventive et corrective des équipements, y compris les révisions, contrôles, installations et mises en service de nouveaux matériels.
- ✓ Veiller à la sécurité, à l'hygiène et à l'environnement de travail.
- ✓ Réaliser des travaux d'amélioration, de modernisation ou de reconstruction des installations.
- ✓ Gérer les pièces de rechange, les outils, les moyens de manutention et de transport.
- ✓ Fabriquer certaines pièces détachées si nécessaire.
- ✓ Effectuer divers travaux dans les locaux (agrandissements, déménagements, etc.).
- ✓ Assurer la gestion des énergies et des réseaux de communication.
- ✓ Maintenir en permanence les équipements en état optimal, avec une priorité donnée à la production.

I.4. Missions de maintenance

La maintenance ne se limite plus à réparer les pannes, elle vise désormais à répondre aux besoins de la production en assurant :

- ❖ La fiabilité et la performance des équipements
- ❖ La réduction des coûts globaux d'exploitation,
- ❖ Le respect des normes de sécurité et d'environnement,
- ❖ La qualité des produits finis,
- ❖ L'amélioration continue des procédés,
- ❖ Le renforcement de l'image de l'entreprise.

I.5. Types de maintenance

La maintenance peut être classée en deux grandes catégories : maintenance corrective et maintenance préventive.

- ➢ **Maintenance corrective** : intervient après une défaillance du système.
- ➢ **Maintenance préventive :** réalisée pendant le fonctionnement du système pour prévenir les pannes.

Chaque type dépend de plusieurs facteurs, tels que le type d'équipement, la structure de l'entreprise, la politique d'exploitation, les coûts et la disponibilité des informations.

Le schéma suivant illustre les différentes approches de maintenance. Tandis que la maintenance corrective est déclenchée par une panne, la maintenance préventive peut être planifiée selon divers paramètres.

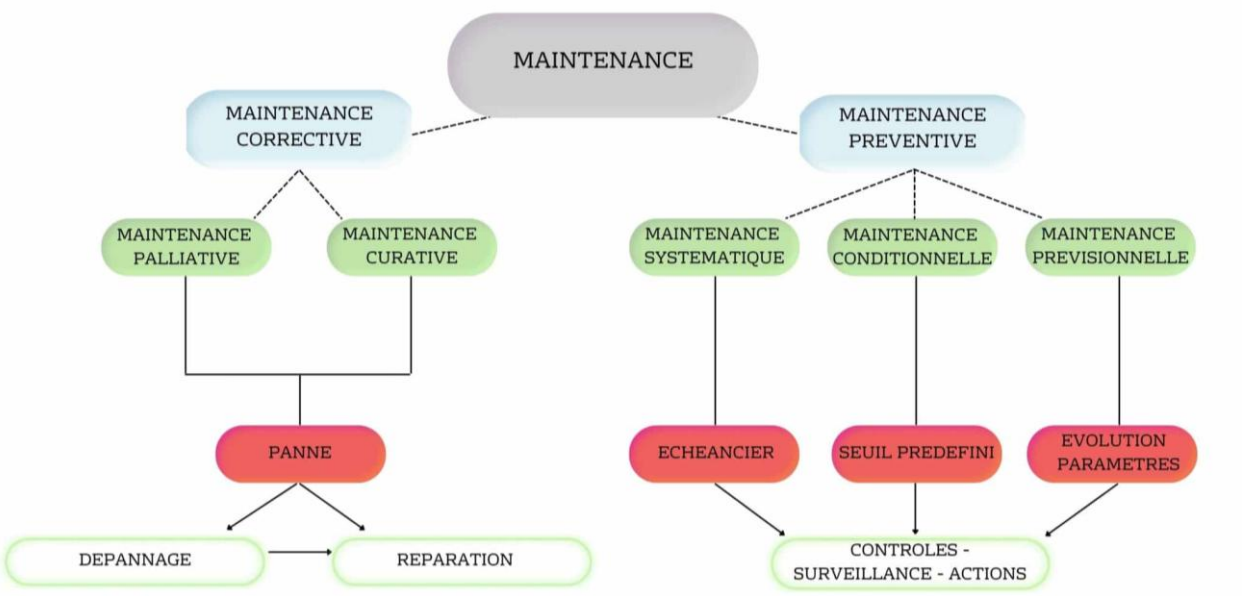


Figure I.1. Les types de maintenance [3]

I.5.1. Maintenance préventive

Maintenance préventive est une maintenance effectuée selon des critères prédéfinis pour réduire les risques de défaillance ou de dégradation du service, et pour éviter les pannes pendant l'utilisation des équipements. L'analyse des coûts doit montrer les bénéfices par rapport aux défaillances évitées.

Les objectifs de la maintenance préventive se résument dans [4] :

- Augmenter la durée de vie du matériel.
- Réduire les défaillances en service.
- Réduire les temps d'arrêt pour maintenance.
- Anticiper les interventions coûteuses de maintenance corrective.
- Faciliter la prise de décision pour la maintenance corrective.
- Eviter les consommations excessives d'énergie et de lubrifiant.
- Améliorer les conditions de travail du personnel.
- Réduire le budget de maintenance.
- Eliminer les causes des accidents graves.

- **Types de la maintenance préventive**
  - **Maintenance préventive systématique**

La maintenance préventive est effectuée selon un planning fixé dans le temps ou en fonction de l'usage (quantité, longueur, masse, distance, nombre de cycles, etc.). Cette périodicité est déterminée après la mise en service ou une révision partielle ou complète. Elle nécessite la connaissance de :

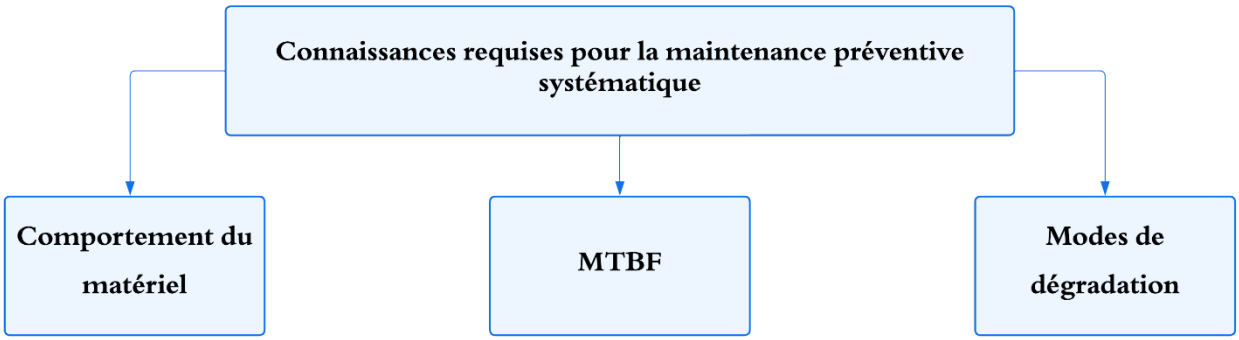


Figure I.2. Connaissances requises pour la maintenance préventive systématique

Cas d'application :

- ✓ Équipements soumis à une législation en vigueur relative à la sécurité : tels que les appareils de levage, les extincteurs, les convoyeurs, les ascenseurs, les monte-charges, etc.
- ✓ Équipements dont une panne pourrait entraîner des accidents graves : comme les moyens de transport en commun, les avions, les trains, etc.
- ✓ Équipements ayant un coût de défaillance élevé : notamment les composants des chaînes de production automatisées.
- ✓ Équipements dont les coûts d'exploitation deviennent anormalement élevés au fil du temps.

➢ **Maintenance préventive prévisionnelle**

La maintenance préventive devient une maintenance prévisionnelle lorsqu'elle est basée sur l'estimation du temps de bon fonctionnement restant avant l'apparition d'une défaillance probable.

La maintenance prévisionnelle peut se baser sur un âge fonctionnel de l'équipement, comme le temps de fonctionnement écoulé depuis la dernière inspection, plutôt qu'un âge calendaire. Elle consiste à extrapoler la courbe de dégradation d'un composant afin d'anticiper une intervention.

➢ **Maintenance préventive conditionnelle**

La maintenance conditionnelle repose sur la surveillance en temps réel des équipements. Elle identifie les points faibles et permet une intervention lorsque certains seuils sont atteints, souvent après un contrôle non destructif.

Les paramètres suivis incluent :

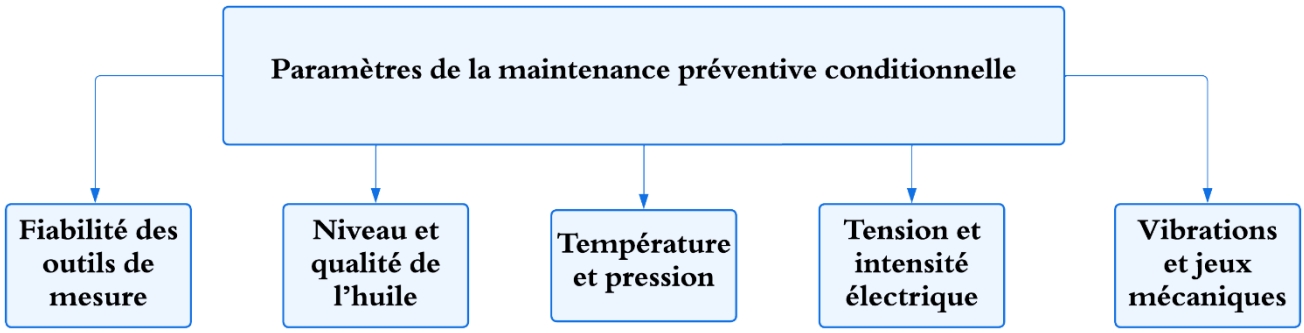


Figure I.3. Paramètres de la maintenance préventive conditionnelle

➢ **Opérations de la maintenance préventive**

Ces opérations sont définies par la norme NF X 60-010 et NF EN 13306 [4] :

- ✓ **Inspection** : Contrôle de conformité effectué par mesure, observation ou test. Permet de détecter des anomalies sans arrêt de la production ni démontage.
- ✓ **Contrôle** : Vérification de conformité suivie d'un jugement, pouvant aboutir à une maintenance corrective ou à une décision d'acceptation/refus.
- ✓ **Visite** : Examen détaillé (général ou partiel), pouvant inclure des opérations de maintenance de premier et deuxième niveau ou déclencher une maintenance corrective.
- ✓ **Test** : Comparaison des réponses d'un système à un système de référence ou à un phénomène physique pour garantir son bon fonctionnement.
- ✓ **Échange standard** : Remplacement d'une pièce défectueuse par une pièce neuve ou révisée, selon les spécifications du constructeur.
- ✓ **Révision** : Examen complet des équipements pour maintenir la disponibilité et la sécurité, souvent effectué à intervalles réguliers, nécessitant un démontage partiel ou complet.

I.5.2. Maintenance corrective

Selon la norme AFNOR, la maintenance corrective englobe l'ensemble des activités réalisées après la défaillance ou la dégradation d'un bien, permettant de rétablir sa fonction requise, au moins temporairement. Ces activités incluent notamment la localisation et le diagnostic de la défaillance, ainsi que la remise en état avec ou sans modification, et le contrôle du bon fonctionnement. Il y a deux types :

➢ **Maintenance palliative (Dépannage)**

Il s'agit d'une remise en état de fonctionnement réalisée sur place, parfois sans interrompre le fonctionnement de l'ensemble concerné. Elle est de nature "provisoire" et doit être suivie d'une action corrective durable.

➢ **Maintenance curative**

Cela consiste en des réparations réalisées sur place ou dans un atelier central, parfois après une intervention d'urgence. Ce type de maintenance est considéré comme "permanent".

➢ **Opérations de la maintenance corrective**

Ces opérations se divisent en trois catégories principales :

✓ **Localisation de la défaillance**

Cela inclut des actions comme le test, la détection, le dépistage et le diagnostic.

✓ **Remise en état**

Ce groupe regroupe les actions telles que le dépannage, la réparation et la modification (du matériel ou du logiciel).

✓ **Durabilité**

Il s'agit de la rénovation, la reconstitution et la modernisation des équipements.

I.6. Politiques de maintenance

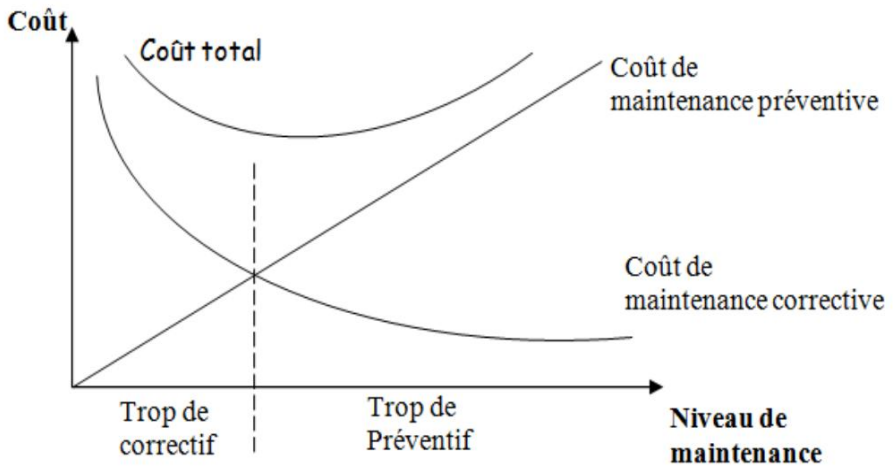


Figure I.4. Politiques de maintenance [5]

I.7. Objectifs de la maintenance

La nature de l'entreprise détermine les objectifs du service de maintenance, lesquels sont définis par une politique claire, basée sur trois facteurs essentiels :

- ✓ Facteur technique
- ✓ Facteur économique
- ✓ Facteur humain et écologique

➢ **Objectifs Techniques (Opérationnels)**

- ✓ Assurer la disponibilité maximale des installations et de l'équipement à un prix rationnel.
- ✓ Fournir un service qui élimine les pannes à tout moment et à tout prix.
- ✓ Pousser à la dernière limite la durée de vie de l'installation (notion de durabilité).
- ✓ Assurer une performance de haute qualité.
- ✓ Maintenir une installation d'une propreté absolue à tout moment.
- ✓ Optimiser les performances des équipements en continu.

➢ **Objectifs Économiques [6]**

- ✓ Réduire au minimum les dépenses de maintenance et maximiser les profits.
- ✓ Assurer le service de maintenance dans les limites d'un budget.
- ✓ Avoir des dépenses de maintenance portant sur le service exigé par les installations et l'appareillage en fonction de son âge et de son taux d'utilisation.
- ✓ Rechercher des coûts optimums.
- ✓ Économiser l'énergie.

➢ **Objectifs Humains et Écologiques [5]**

- ✓ Réduire les accidents de fonctionnement (Notion de sécurité) et améliorer les conditions de travail.
- ✓ Étudier toute modification, protection à effectuer sur les matériels pour diminuer les risques d'accidents.
- ✓ Lutter contre la nuisance et préserver l'environnement (échappement de gaz, bruits inhérents, fuites d'huile, etc.).
- ✓ Assurer la sécurité des travailleurs et le milieu de travail.
- ✓ Respecter l'environnement.

I.8. Rôle de la maintenance

L'importance de la maintenance réside dans sa capacité à garantir la disponibilité et le bon fonctionnement des équipements de production. Son rôle principal est de soutenir les autres services de l'entreprise en assurant un rendement optimal des investissements. **[7]**

- ❖ Le service maintenance intervient en cas de panne : dépannage urgent, réparations en atelier, entretien quotidien.
- ❖ Il agit aussi de manière préventive pour éviter les arrêts de production coûteux.

- La maintenance permet d'économiser de l'argent en évitant les défaillances.
- Elle génère aussi des coûts : salaires, matériel, pièces de rechange, arrêts pour maintenance.
- Le service interne doit prouver sa rentabilité face aux prestataires externes.

I.9. Niveaux de maintenance

Tableau I.1. Les niveaux de maintenance [8]

Niveau	Personnel d'intervention	Nature d'intervention	Moyens
1	Exploitant sur place	Réglage simple d'organes accessibles sans aucun démontage, ou échanges d'éléments accessibles en dans les consignes de toute sécurité conduite	Outillage léger défini dans les instructions d'utilisation.
2	Technicien habilité (dépanneur) sur place	Dépannage par échange standard d'éléments prévus à cet effet, ou opérations mineures de maintenance préventive	Idem, plus pièce de rechange trouvées à proximité sans délai.
3	Technicien spécialisé, sur place ou en atelier de maintenance	Identification et diagnostics de pannes, réparations par échange de composants fonctionnels, réparations mécaniques mineures	Outillage prévu plus appareils de mesure, banc d'essai, contrôle, …etc.
4	Équipe encadrée par un technicien spécialisé, en atelier central	Travaux importants de maintenance corrective ou préventive. Révisions	Outillage général plus spécialisé, matériel d'essais, de contrôle, …etc.
5	Equipe complète, polyvalente, en atelier central.	Travaux de rénovation, de reconstruction, réparations importantes confiées à un atelier central Souvent externalisé	Moyens proches de la fabrication par le constructeur.

I.10. Conclusion

Ce chapitre a apporté une compréhension globale de la maintenance en tant qu'élément essentiel dans la gestion des équipements et des systèmes techniques. En abordant ses différentes formes, son rôle fondamental, ses objectifs principaux ainsi que ses domaines d'intervention, il a permis de mieux cerner l'étendue et la portée de cette fonction. La maintenance ne se limite pas à une simple action de réparation ; elle s'inscrit dans une logique de prévention, d'optimisation des performances et de prolongation de la durée de vie des installations.

CHAPITRE II

GÉNÉRALITÉS SUR LA FIABILITÉ

II.1. Introduction

La fiabilité est un aspect clé dans tout système technique, qu'il soit industriel, mécanique ou électronique. Elle définit la capacité d'un équipement à fonctionner sans défaillance pendant une période déterminée et sous des conditions spécifiques. Dans l'industrie, la fiabilité est cruciale car elle permet d'optimiser les coûts de production, de garantir la sécurité des opérateurs et d'assurer la continuité des processus. Une fiabilité élevée entraîne moins de pannes, moins de temps d'arrêt, et donc une meilleure productivité. Pour cela, il est nécessaire de comprendre les principes qui sous-tendent la fiabilité, les différents critères utilisés pour l'évaluer et les méthodes employées pour améliorer cette fiabilité au fil du temps. Cela inclut l'analyse des risques, les stratégies de maintenance préventive et la conception d'équipements plus durables.

II.2. Définition

La fiabilité est la capacité d'un système à exécuter correctement une fonction déterminée, dans des conditions de fonctionnement précises et pendant une durée donnée, sans tomber en panne. Elle représente la probabilité qu'un système reste opérationnel sans défaillance sur une période définie. Elle dépend notamment du temps de fonctionnement, du nombre de cycles, et de la nature de la fonction assurée par le dispositif. [9]

II.3. Indicateurs de fiabilité [10]

- **La MTBF :** Il s'agit de la moyenne des temps de bon fonctionnement (TBF), qui est le temps écoulé entre deux défaillances successives du système.

$$MTBF = \frac{\sum TBF}{N} \qquad (\mathbf{II.1})$$

- **R(t) :** Fonction fiabilité (R vient de l'anglais reliability). C'est la fiabilité « stricte » définie comme la probabilité de bon fonctionnement d'un système à l'instant t, déterminée comme précédemment à partir d'un modèle probabiliste ajusté à un échantillon.
- **λ(t) :** Fonction taux de défaillance. Déduite de la fonction R(t), c'est un bon indicateur du comportement d'un système.

$$\lambda(t) = -\frac{d}{dt} ln\, R(t) \qquad (\mathbf{II.2})$$

- **La TTR :** Temps Total de Réparation
- **La TBF :** Temps de bon fonctionnement.
- **La MTTR :** C'est la durée moyenne des interventions techniques réalisées pour réparer un système en panne. Elle correspond au laps de temps compris entre le début effectif de la réparation et la fin des vérifications nécessaires avant la remise en service du système.
- **La MTTF :** C'est le temps moyen avant la prochaine défaillance, elle est comparable à la MTBF.

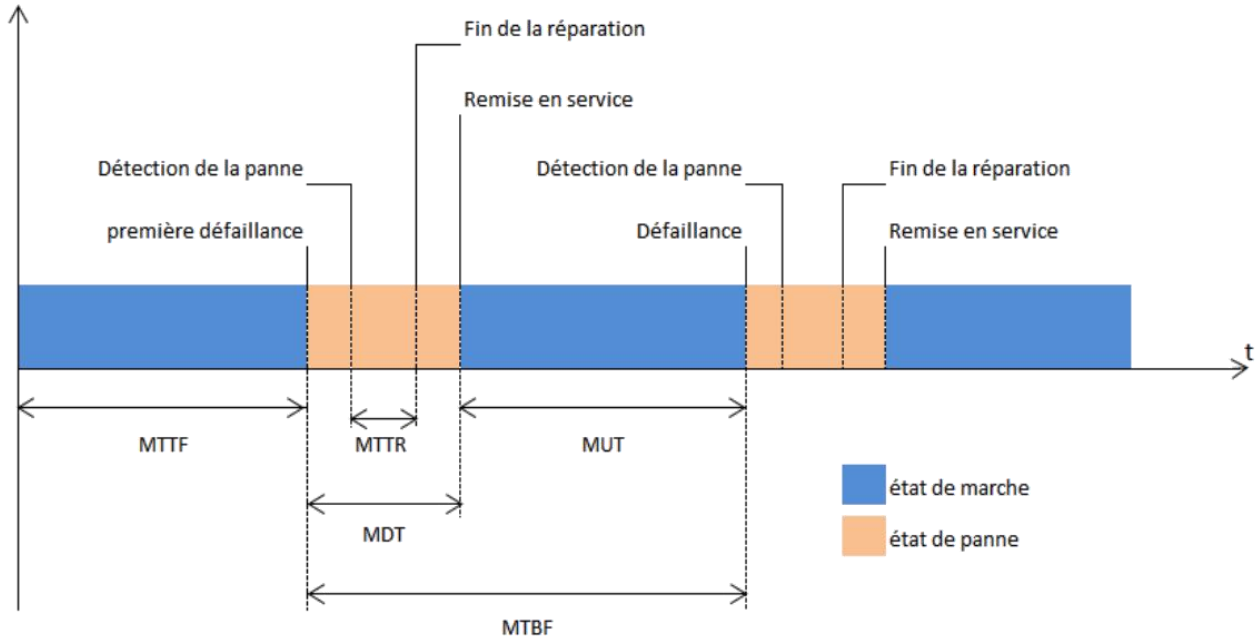


FIGURE II.1. Les durées caractéristiques de fiabilité [11]

II.4. Objectifs de la fiabilité

- Garantir la performance du système sur une période donnée
- Évaluer avec rigueur le niveau de confiance accordé au fonctionnement d'un dispositif
- Estimer la durée de vie utile d'un système
- Déterminer avec précision les temps de bon fonctionnement sans interruption
- Élaborer une stratégie de maintenance efficace
- Optimiser la gestion du stock de pièces de rechange
- Réduire les coûts liés aux pannes et interruptions
- Améliorer la prise de décision technique et économique [12]

II.5. Types de fiabilité

On peut citer :

- **Fiabilité intrinsèque** : Elle dépend uniquement de la conception et de la fabrication du matériel dans un environnement donné. Elle est constante tant que les conditions restent inchangées.
- **Fiabilité extrinsèque** : Elle est influencée par les conditions d'exploitation, la compétence du personnel, la qualité de la maintenance et l'organisation humaine autour du système.
- **Fiabilité implicite** : Fondée sur le retour d'expérience, elle vise à limiter la fréquence et la durée des arrêts, surtout lorsque les données statistiques sont peu disponibles.
- **Fiabilité explicite** : Élaborée à partir de modèles mathématiques, elle permet une évaluation chiffrée et précise du degré de confiance accordé à un équipement ou à un système complexe

II.6. Paramètres nécessaires pour mesurer la fiabilité

- ✓ **Variable aléatoire :** On appelle de variable aléatoire ***(x)*** celle à laquelle nous pouvons associer une probabilité pour chaque valeur de ***(x)*** :
- ✓ **Variable aléatoire continue :** Intervalle de temps entre défaillance consécutive d'un matériel.
- ✓ **Variable discrète :** Nombre de défaillance d'un matériel sur une période donnée ou pour une quantité fabriquée.
- ✓ **Densité de probabilité :** Généralement en fiabilité, elle est notée ***f(t).*** Elle représente la probabilité de défaillance en un intervalle de temps ***(t).***
- ✓ **Fonction de répartition :** Notée ***F(t)***. C'est la notation générale de la probabilité de défaillance dans l'intervalle de temps ***[0, t]***

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt \qquad (\mathbf{II.3})$$

- **Fonction de fiabilité *:*** Nous appelons ***R(t)*** la fonction de fiabilité, qui représente la probabilité de fonctionnement sans défaillances pendant un temps ***(t),*** ou la probabilité de survie jusqu'à un temps ***(t).*** La probabilité d'avoir au moins une défaillance avant le temps ***(t),*** qui représente la probabilité cumulative des défaillances, est appelé : « probabilité de défaillance ».

$$R(t) = 1 - F(t) \qquad (\mathbf{II.4})$$

- **Taux de défaillance :** Prenons maintenant une pièce ayant servi pendant une du rée de temps ***t*** et encore survivante. La probabilité qu'elle tombe en panne entre l'âge ***T*** qu'elle a déjà et l'âge ***T + dt*** est représentée par la probabilité conditionnelle qu'elle tombe en panne entre ***T*** et ***T + dt***. Sachant qu'elle a survécu jusqu'à ***T***. D'après le théorème des probabilités conditionnelles cette probabilité est égale à :

$$\lambda(t) \cdot d(t) = \frac{F(t\ +\ dt)}{R(t)} = \frac{dF(t)}{1 - F(t)} = \lambda(t) = \beta\left(\frac{t\ -\ \gamma}{\eta}\right)^{\frac{\beta-1}{\eta}} \qquad \textbf{(II. 5)}$$

Avec ***λ(t)*** est le taux de défaillance de la pièce d'âge T.

On a donc :

$$\lambda(t) = \frac{F(t)}{R(t)} \qquad \textbf{(II. 6)}$$

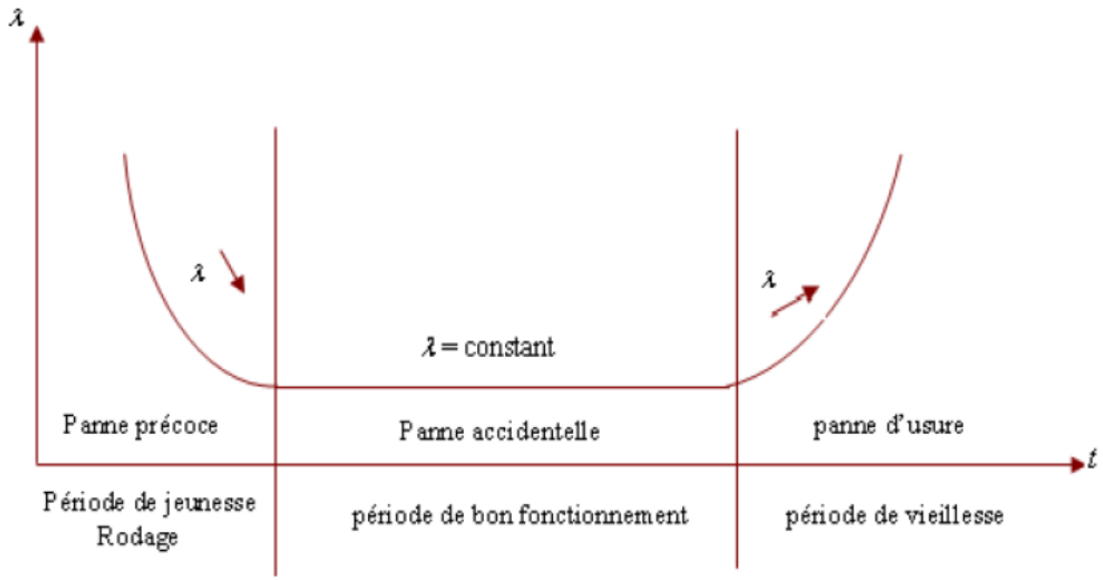


FIGURE II.2. Taux de défaillance, courbe en baignoire [13]

La vie d'un composant peut donc être divisée en trois périodes [14] :

- **Période de jeunesse ou de défaillances précoces**

  Cette phase se caractérise par un taux de défaillance décroissant. Les pannes observées sont principalement liées à des défauts de fabrication, à des erreurs de montage ou à des problèmes de qualité. Ces défaillances sont généralement identifiées lors des premiers essais ou pendant la phase de déverminage.

- **Période de vie utile où le taux de défaillance sensiblement constant**
  Pendant cette période, le taux de défaillance reste globalement stable. Les pannes qui surviennent sont aléatoires et ne dépendent pas de la durée de fonctionnement. Cette phase est typique pour les composants électroniques, mais souvent absente dans le domaine mécanique. Elle constitue la base des calculs de fiabilité.
- **Période de vieillesse ou défaillances d'usure**
  À ce stade, le taux de défaillance augmente avec le temps. Le risque de panne devient plus élevé à mesure que le composant vieillit, en raison de l'usure, de la fatigue des matériaux ou de la dégradation progressive. Ce comportement est courant dans les systèmes soumis à des contraintes mécaniques. La fiabilité se limite généralement à l'étude des phases 2 et 3, on exclut les problèmes de qualité en ne tenant pas compte du déverminage qui a lieu lors de la première phase.

II.7. Principales lois de probabilité utilisées en fiabilité

Dans les études de fiabilité des différents équipements, une variable aléatoire continue ou discrète peut être distribuée suivant diverses lois qui sont principalement :

II.7.1. Loi exponentielle

La loi exponentielle est largement utilisée dans de nombreux domaines, notamment en fiabilité. Elle se caractérise par un taux de défaillance constant, ce qui la rend adaptée pour modéliser le comportement des équipements soumis à des pannes soudaines et imprévues. [15]

- La densité de probabilité d'une loi exponentielle de paramètre λ s'écrit :

$$F(t) = \lambda e^{-\lambda t} \qquad (\mathbf{II.7})$$

- La fonction fiabilité :

$$R(t) = e^{-\lambda t} \qquad (\mathbf{II.8})$$

- Le taux de défaillance est constant dans le temps :

$$\lambda(t) = \lambda \qquad (\mathbf{II.9})$$

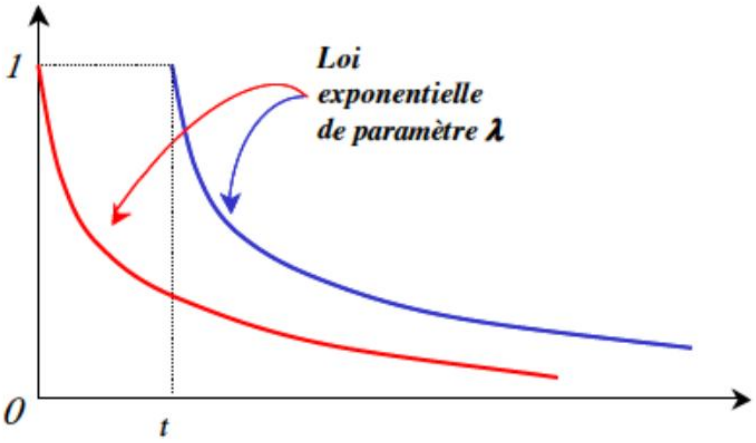


FIGURE II.3. Propriété de sans mémoire de la loi exponentielle [16]

II.7.2. Loi normale (Laplace-Gauss)

La loi normale est très répandue parmi les lois de probabilité car elle s'applique à de nombreux phénomènes. En fiabilité, la distribution normale est utilisée pour représenter la distribution des durées de vie de dispositifs en fin de vie (usure) car le taux de défaillance est toujours croissant. On ne l'utilisera que si la moyenne des durées de vie est supérieure à trois fois l'écart type. En effet, le temps de défaillance est toujours positif, alors que la variable normale est définie de -∞ à +∞ ; la restriction imposée réduit la probabilité théorique de trouver une durée de vie négative à environ 0,1 %

- La densité de probabilité d'une loi normale de moyenne μ et d'écart-type σ s'écrit :

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\delta}\right)^2} \qquad \textbf{(II. 10)}$$

- La fonction de répartition s'écrit :

$$F(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{t} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\delta^2}} dx \qquad \textbf{(II. 11)}$$

- La fiabilité donnée par :

$$R(t) = 1 - \phi\left(\frac{1-\mu}{\sigma}\right) \qquad \textbf{(II. 12)}$$

Où Φ est la fonction de répartition de la loi normale centrée (μ=0) réduite (σ=1) :

$$\phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{t} e^{-\frac{\mu^2}{2}} du \qquad \textbf{(II. 13)}$$

II.7.3. Loi Log-normale (ou de Galton)

Une variable aléatoire continue et positive T est distribué selon une loi log-normale si son logarithme népérien est distribué suivant une loi normale. Cette distribution est largement utilisée pour modéliser des données de vie, en particulier les défaillances par fatigue en mécanique.

- La densité de probabilité d'une loi log-normale de paramètres positifs μ et σ est :

$$f(t) = \frac{1}{\sigma t\sqrt{2\pi}} e^{\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{ln\, t-\mu}{\delta}\right)^2\right)}, t > 0 \qquad (\mathbf{II.14})$$

- La fonction de fiabilité :

$$R(t) = \frac{1}{\sigma t\sqrt{2\pi}} \int_t^{\infty} e^{\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{ln\, t-\mu}{\sigma}\right)^2\right)} dx \qquad (\mathbf{II.15})$$

- La fonction de répartition :

$$F(t) = \frac{1}{\sigma t\sqrt{2\pi}} \int_0^{1} e^{\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{ln\, t-\mu}{\sigma}\right)^2\right)} dx \qquad (\mathbf{II.16})$$

Le domaine de définition n'étant jamais négatif, il n'y a aucune limitation à l'emploi de la distribution log-normale en fiabilité. Le taux de défaillance est croissant dans le début de vie puis décroissant en tendant vers zéro et la distribution est très dissymétrique.

II.7.4. Modèle de Weibull

C'est la plus populaire des lois, utilisées dans plusieurs domaines (électronique, mécanique). Elle permet de modéliser en particulier de nombreuses situations d'usure de matériel. Elle permet de caractériser le comportement du système dans les trois phases de vie, période de jeunesse, période de vie utile et période d'usure ou vieillissement. Dans sa forme la plus générale, la distribution de Weibull dépend des trois paramètres suivants : β, γ et η. [17]

- **Préparation des données :**

1. Calcul des Temps de bon fonctionnement
2. Classement des temps de bon fonctionnement en ordre croissant
3. N = nombre de Temps de bon fonctionnement
4. Recherche des données F(i), f(i) représente la probabilité de panne au temps correspondant au temps de bon fonctionnement de défiance.

On a 3 cas différents :

- **Si N > 50**, regroupement des Temps de bon fonctionnement par classes avec la fréquence cumulée :

$$F(i) = \frac{Ni}{N} = \frac{\sum Ri}{N} \approx F(t) \qquad \textbf{(II.17)}$$

- **Si 20 < N < 50**, On affecte un rang "Ni" à chaque défaillance (approximation des rangs moyens)

$$F(i) = \frac{Ni}{N+1} \approx F(t) \qquad \textbf{(II.18)}$$

- **Si N < 20**, On affecte un rang "Ni" à chaque défaillance (approximation des rangs médians)

$$F(i) = \frac{Ni - 0.3}{N + 0.4} \approx F(t) \qquad \textbf{(II.19)}$$

II.7.4.1. Loi de Weibull

- **Densité de probabilité**

$$f(t) = \left(\frac{\beta}{\eta}\right)\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)\beta} \qquad \textbf{(II.20)}$$

- ✓ **Le paramètre de position γ** ($-\infty \leq \gamma \leq +\infty$)
- ✓ **Le paramètre d'échelle η :** ($\eta > 0$)
- ✓ **Le paramètre de forme β :** ($\beta > 0$)

- **Fonction de répartition**

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}} \qquad \textbf{(II.21)}$$

- **Loi de fiabilité**

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}} \qquad \textbf{(II.22)}$$

- **Taux de défaillance**

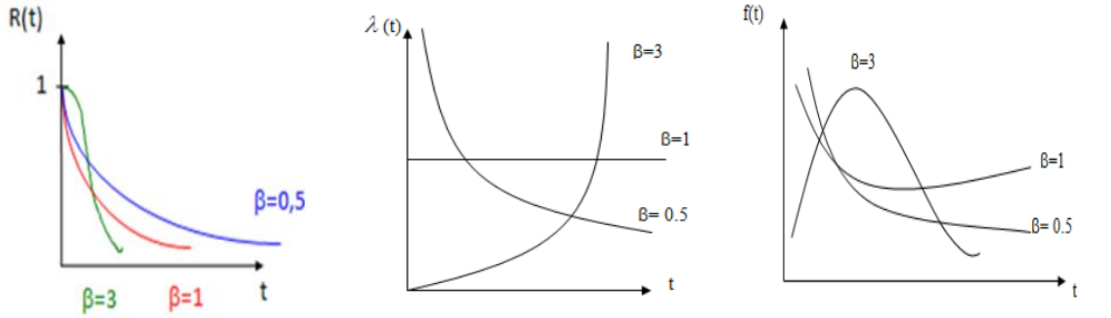
$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - F(t)} = \frac{\frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}}}{e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}}} \Rightarrow \lambda(t) = \frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad \textbf{(II. 23)}$$

Avec λ *(t)* taux de défaillance de la pièce d'âge t.

On a donc : $\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$

$\lambda(t)$ S'exprime également par l'inverse d'un temps, mais n'est pas une densité de probabilité.

- **Paramètre de forme β**
  - Si β >1 le taux de défaillance est croissant, caractéristique de la zone de vieillesse
  - 1,5 < β < 2,5 : fatigue
  - 3 < β < 4 : usure, corrosion
  - Si β = 1, le taux de défaillance est constant, caractéristique de la zone de maturité
  - Si β < 1, le taux de défaillance est décroissant, caractéristique de la zone de jeunesse



a) la fiabilité R(t) *b) Le taux de défaillance λ(t)* *c) La densité de probabilité f(t)*

FIGURE II.4. Variation (β) en fonction de temps et de r(t) - λ(t) - f(t) [18]

II.7.4.2. Estimation des paramètres de la loi de Weibull

Un des problèmes essentiels est l'estimation des paramètres ***β, η*** et de cette loi, pour cela, nous disposons de la méthode suivante :

➢ **Graphique à échelle fonctionnelle**

- Abscisse haute : échelle naturelle en X
- Abscisse intermédiaire : échelle logarithmique (lecture du paramètre t)
- Abscisse basse : échelle logarithmique (on fait correspondre à chaque valeur de t son logarithme népérien ln t).
- Ordonnée gauche : on place les valeurs de F (t) en pourcentage en échelle

$$ln\left(-ln\left(1-F(t)\right)\right) \qquad \textbf{(II. 24)}$$

- Ordonnée sur l'axe X = -1 (lecture du paramètre) : ce sont les valeurs ln (- ln (1 - F (t)). [19]

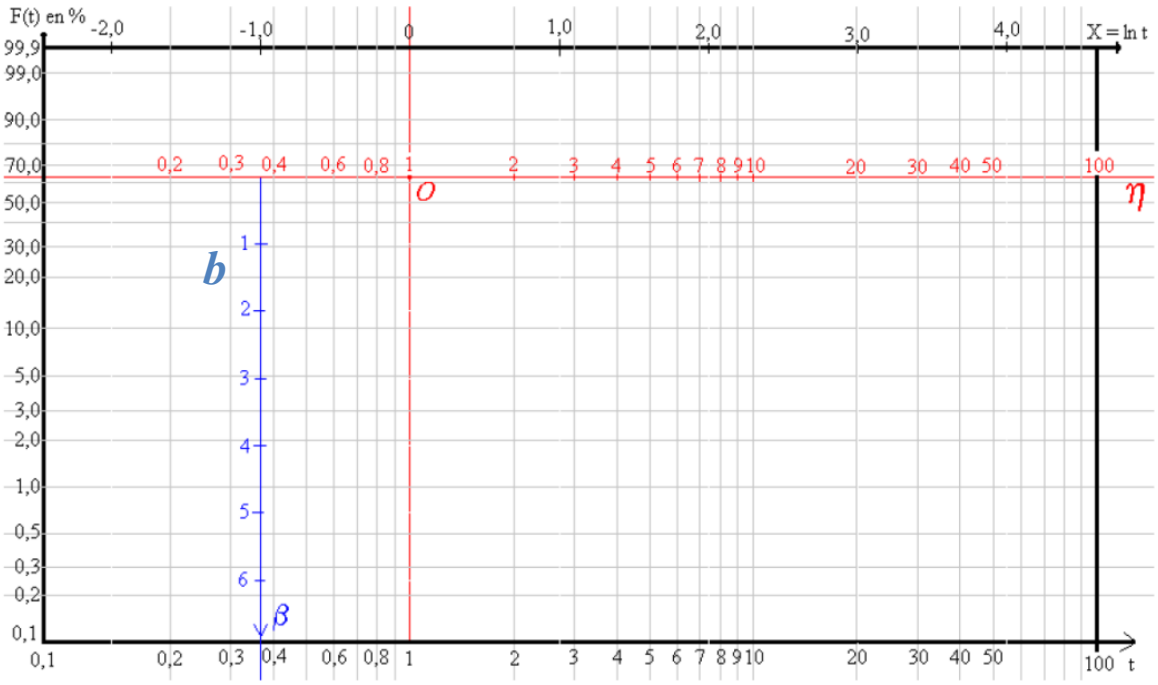


FIGURE II.5. Papier de weibull. [20]

✓ **Recherche de γ**

Si le nuage de points correspond à une droite, alors : γ = 0.

Si le nuage de points correspond à une courbe, on la redresse par une translation de tous les points en ajoutant ou en retranchant aux abscisses "t", une même valeur (gamma) afin d'obtenir une droite. [17]

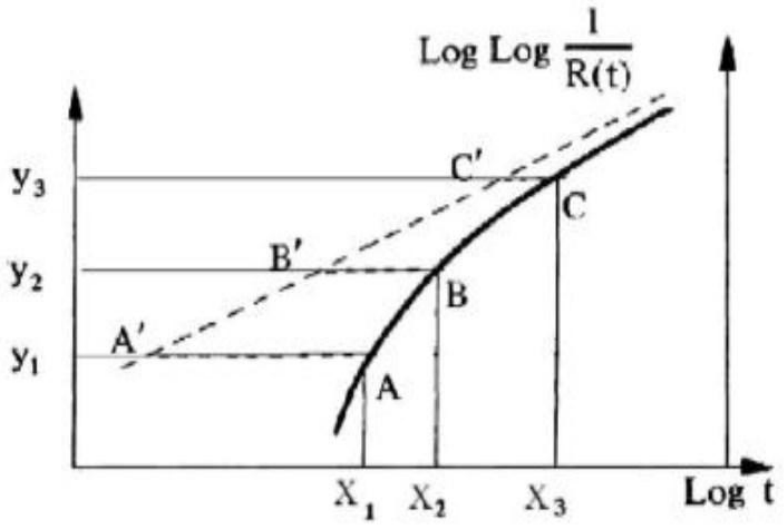


FIGURE II.6. Redressement de la courbe par translation. [21]

- Ce redressement peut se faire par tâtonnement ou avec la relation :

$$\gamma = \frac{X_3 * X_1 - X_2^2}{X_3 + X_1 - 2X_2} \qquad \textbf{(II. 25)}$$

- Considérons les points :

$$A(X_1 - Y_1); (X_2 - Y_2); (X_3 - Y_3)$$

$$et \begin{cases} Y^3 > Y^2 > Y^1 \\ 2Y_2 = Y_1 + Y_3 \end{cases}$$

- En arrangeant on obtient

$$\gamma = X_2 - \frac{(X_3 - X_2) * (X_2 - X_1)}{(X_3 - X_2) - (X_2 - X_1)}$$

✓ **Recherche de η**

La droite de régression linéaire coupe l'axe A à l'abscisse t = η.

✓ **Recherche de β**

Béta est la pente de la droite de corrélation.

On trace une droite parallèle à la droite de corrélation, et passant par η = 1. On lit ensuite béta sur l'axe b. [17]

II.8. Conclusion

En conclusion, la fiabilité d'un système ou d'un appareil est un facteur indispensable pour assurer une exploitation optimale et rentable. Elle contribue non seulement à la réduction des coûts d'entretien, mais aussi à la sécurité et à la qualité des produits. La fiabilité est mesurée à travers des indicateurs précis comme le taux de défaillance ou le MTBF (Mean Time Between Failures), et elle doit être considérée dès la phase de conception et tout au long du cycle de vie de l'équipement. Investir dans la fiabilité, c'est investir dans la pérennité d'un système, car un équipement fiable réduit les risques d'interruption, augmente l'efficacité et permet de maintenir des standards de qualité élevés.

CHAPITRE III

GÉNÉRALITÉS SUR LES COMPRESSEURS

III.1. Introduction

Le compresseur est une machine appartenant à la famille des turbomachines, dont la fonction principale est d'augmenter la pression d'un fluide compressible, généralement un gaz, tout en réduisant son volume. Ce processus de compression est essentiel dans de nombreuses applications industrielles telles que le stockage de gaz sous pression, la séparation ou la liquéfaction des gaz, les cycles frigorifiques, ou encore l'alimentation des réseaux d'air comprimé. Bien qu'il existe d'autres turbomachines comme les turbines et les ventilateurs, les compresseurs partagent avec elles les mêmes fondements en mécanique des fluides et en thermodynamique. [22]

III.2. Définition

Les compresseurs sont des dispositifs conçus pour accroître la pression d'un fluide à l'état gazeux en comprimant le volume qu'il occupe. Ils assurent cette fonction en transformant l'énergie mécanique, fournie par une machine motrice, en énergie de pression. Les gaz traités peuvent être de différentes natures : gaz purs, mélanges gazeux, vapeurs saturées ou surchauffées. Parmi les différentes technologies de compression, les compresseurs à déplacement positif réalisent l'augmentation de pression en réduisant le volume occupé par le gaz. [23]

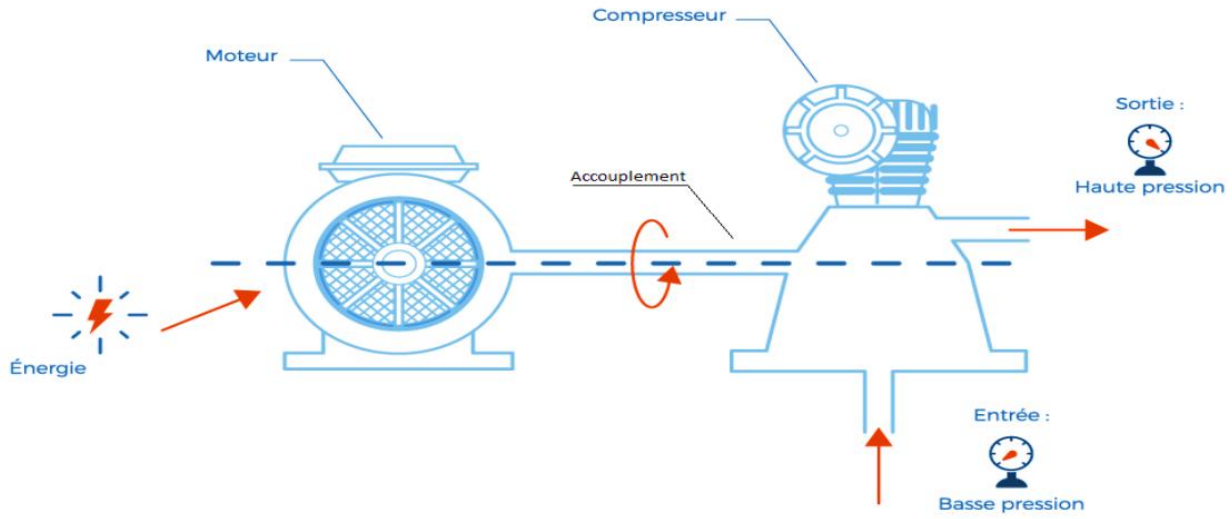


FIGURE III.1. Schéma de principe d'un compresseur [23]

III.3. But du compresseur

La compression d'un gaz est souvent dictée par des besoins techniques spécifiques, notamment le transfert d'une certaine quantité de gaz depuis un système à une pression donnée vers un autre à une pression plus élevée. Les objectifs principaux de cette opération sont [24] :

- ❖ Élever la pression d'un gaz afin de l'adapter aux exigences d'un système spécifique.
- ❖ Faciliter le transport de gaz sur de longues distances en augmentant sa pression.
- ❖ Améliorer l'efficacité de certains processus industriels en comprimant les gaz nécessaires.
- ❖ Assurer le stockage d'un gaz comprimé en vue d'une utilisation ultérieure, comme c'est le cas pour le gaz naturel.
- ❖ Optimiser les conditions pour des réactions chimiques ou des applications thermodynamiques.
- ❖ Améliorer l'efficacité énergétique des systèmes en comprimant les gaz avant leur utilisation.
- ❖ Réduire le volume des gaz pour faciliter leur stockage et leur transport.
- ❖ Assurer une pression stable pour des processus industriels constants et contrôlés

III.4. Utilisation

La compression est fréquemment requise pour des considérations techniques, notamment lorsqu'il s'agit de transférer un volume déterminé de gaz d'un système sous une certaine pression vers un autre à pression supérieure. Nous citons les applications majeures de ce procédé, on peut citer [25] :

- ❖ Faire circuler un gaz dans un circuit fermé pour des applications industrielles.
- ❖ Créer des conditions de pression nécessaires pour des réactions chimiques dans les procédés industriels.
- ❖ Acheminer le gaz via des pipelines depuis les sites de production jusqu'aux utilisateurs.
- ❖ Fournir de l'air comprimé pour les applications de combustion dans les moteurs ou turbines.
- ❖ Récupérer du gaz (ex : unités de gaz naturel liquéfié ou autres) pour un usage ultérieur.
- ❖ Compresser l'air pour faire fonctionner des installations de climatisation ou des outils à air comprimé.
- ❖ Accroître la pression des gaz dans les moteurs pour maximiser leurs performances.
- ❖ Fournir de l'air comprimé pour des usages médicaux, tels que l'assistance à la respiration des patients.

III.5. Classification des compresseurs

Les compresseurs peuvent être classés selon plusieurs caractéristiques [23] :

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

Selon le principe de fonctionnement, les compresseurs sont classés en volumétrique et dynamique.

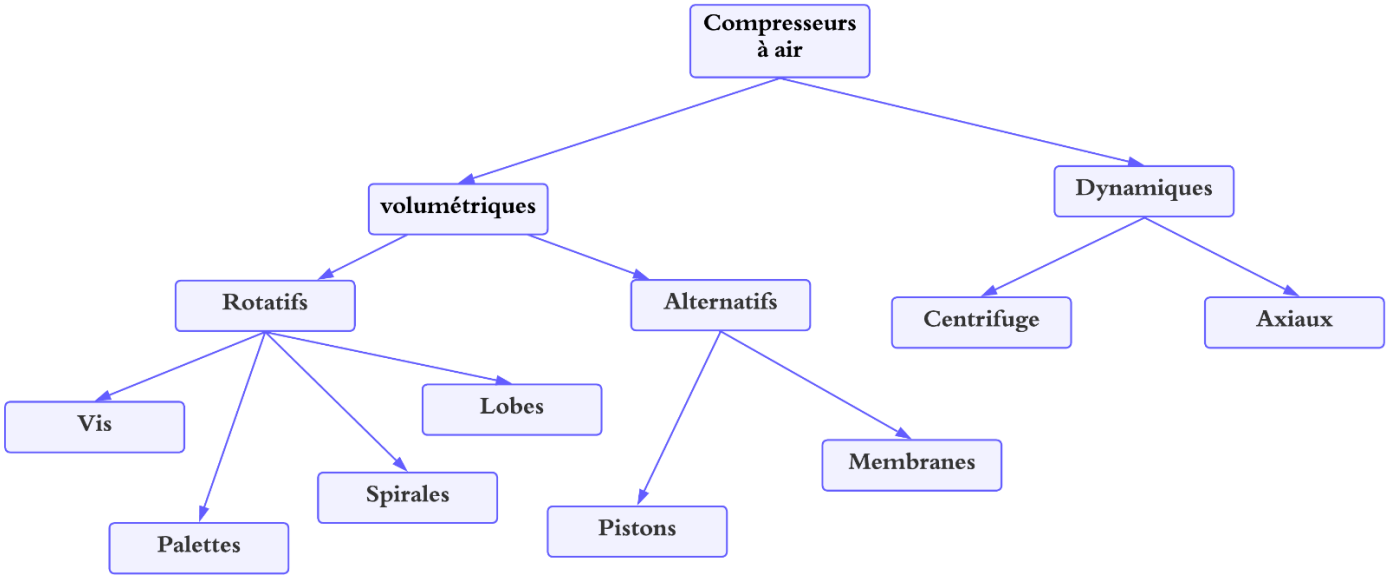


FIGURE III.2. Schéma de classification des compresseurs

III.5.1. Compresseurs dynamiques

Les compresseurs dynamiques, tels que les turbocompresseurs, sont des dispositifs où la pression du fluide est augmentée par la conversion de l'énergie cinétique en énergie potentielle. Ce processus se fait avec un écoulement continu du fluide, de l'aspiration au refoulement. Les compresseurs dynamiques se classent en deux principaux types : les centrifuges et les axiaux. [23]

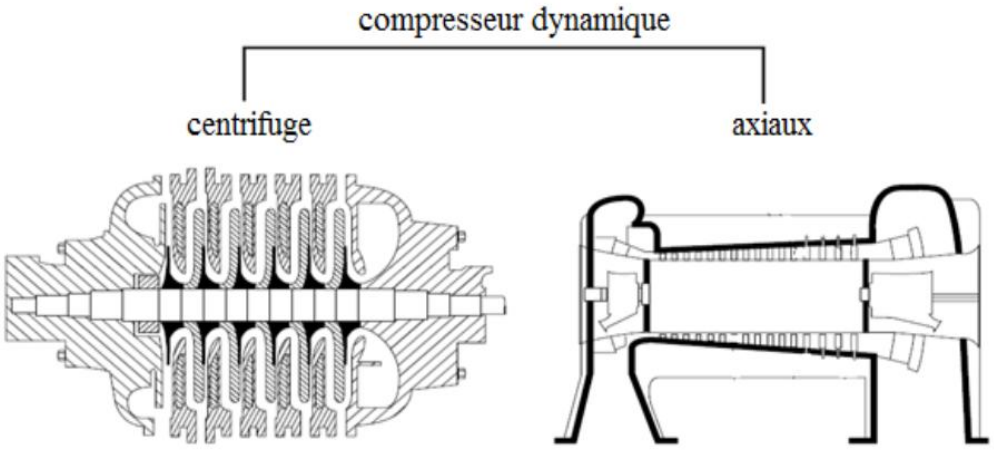


FIGURE III.3. Les types de compresseur dynamique [9]

III.5.1.1. Compresseurs axiaux

Les compresseurs axiaux permettent un débit axial, où l'air ou le gaz s'écoule le long de l'arbre du compresseur à travers des rangées de pales rotatives et stationnaires. Ils sont généralement plus compacts et légers que les compresseurs centrifuges et fonctionnent souvent à des vitesses élevées. Ces compresseurs sont utilisés pour des applications nécessitant des débits d'air constants et relativement modérés en pression, comme dans les systèmes de ventilation. En raison de leur grande vitesse de rotation, ils sont souvent couplés à des turbines à gaz pour la production d'électricité et la propulsion des aéronefs. [23]

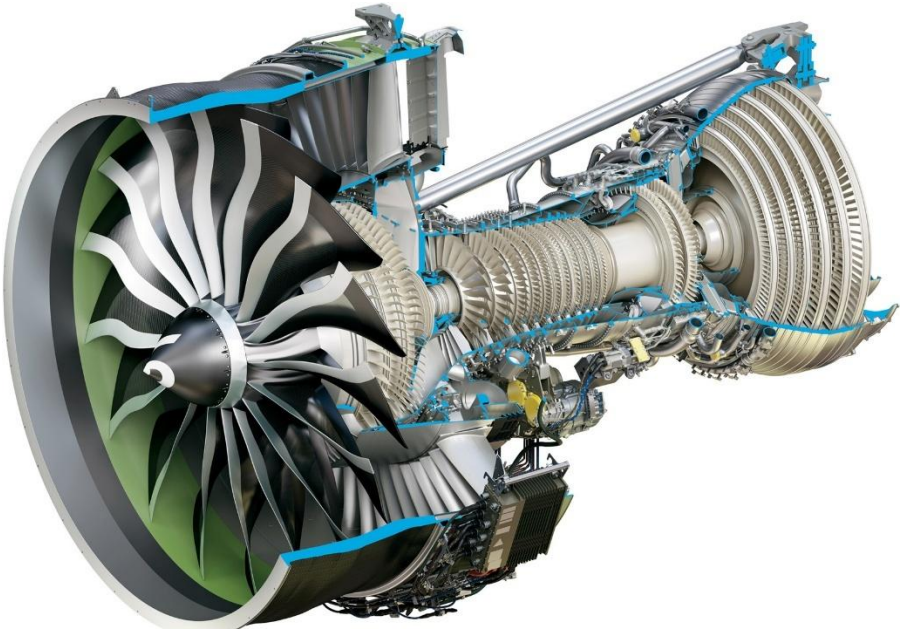


FIGURE III.4. Vue d'un compresseur axial [26]

III.5.1.2 Compresseurs centrifuges

Le compresseur centrifuge est une machine dynamique qui permet un écoulement continu du fluide. Des roues fixées à l'arbre transmettent de l'énergie à ce dernier. Une partie de cette énergie est transformée en augmentation de pression directement dans les roues, et l'autre dans le stator, c'est-à-dire dans le diffuseur. [23]

Ce type de machine est composé d'un corps extérieur qui abrite une partie du stator appelée ensemble de diaphragmes, où le rotor est inséré. Le rotor comprend l'arbre, les roues, le piston d'équilibrage, et le collet du palier de butée. Le rotor repose sur des paliers porteurs, et sa position axiale est stabilisée par un palier de butée. Des systèmes d'étanchéité à labyrinthe, complétés si nécessaire par des joints à huile en extrémité, assurent l'étanchéité autour du rotor. [24]



FIGURE III.5. Compresseur centrifuge [27]

III.5.2. Compresseur volumétrique

Les compresseurs volumétriques fonctionnent sur le principe de la variation du volume d'une cavité entre l'entrée et la sortie de la machine. Leur caractéristique principale est l'encapsulation ou l'emprisonnement du fluide dans un volume fermé que l'on réduit progressivement. Le fluide est empêché de revenir dans le sens de la pression décroissante par la présence de parois mobiles. En raison de leur conception, ces compresseurs sont particulièrement adaptés pour traiter des débits de fluide relativement faibles, pouvant être très variables, et sous des rapports de pression assez élevés.

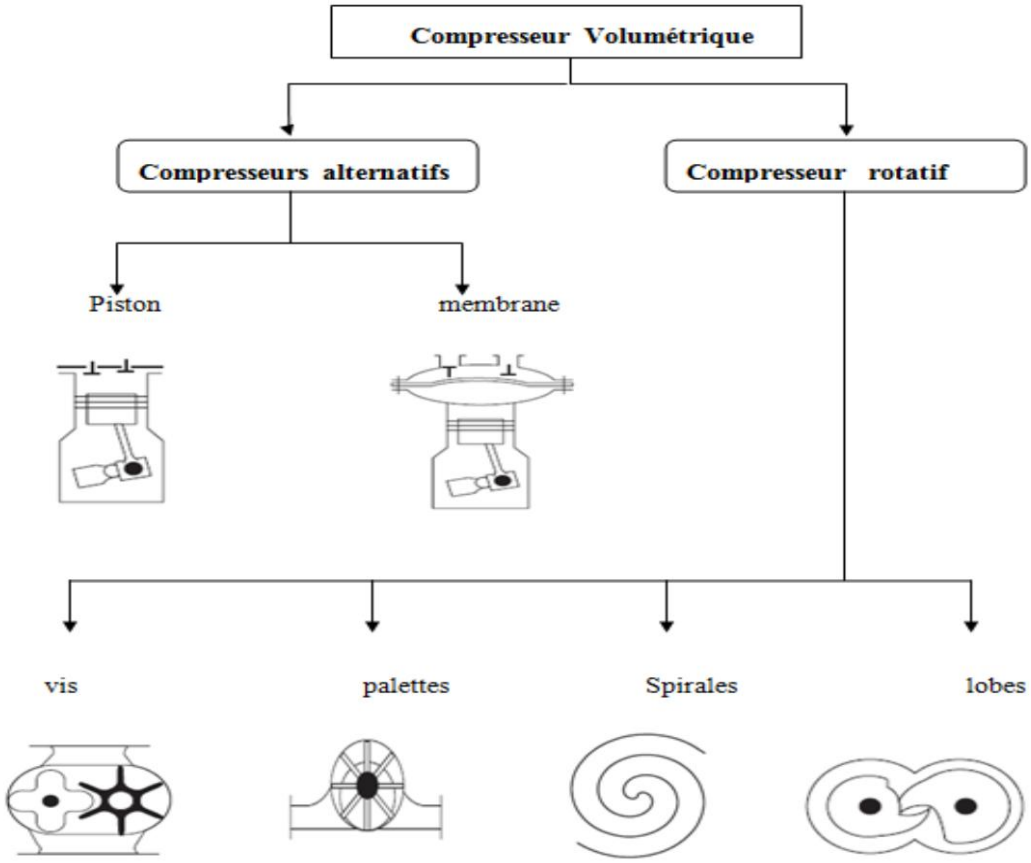


FIGURE III.6. Les types des compresseurs volumétriques [28]

- **Principe de fonctionnement**

Leur principe de fonctionnement est le suivant : une masse fixe le gaz à la pression d'aspiration P1 est emprisonnée dans une enceinte de volume variable. Pour augmenter la pression, ce volume est progressivement réduit, d'une manière qui différé selon la technique utilisée. [29]

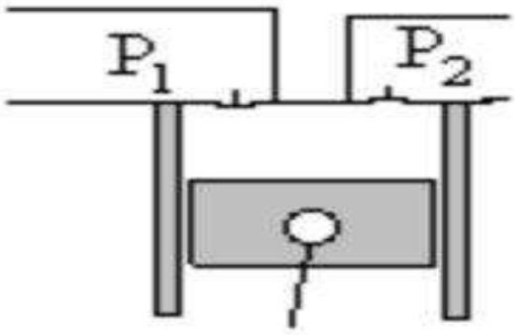


FIGURE III.7. Principe de fonctionnement

III.5.2.1. Compresseurs alternatifs

Les compresseurs alternatifs fonctionnent en introduisant le gaz dans un espace délimité par des parois métalliques (cylindre et piston). Lorsque le piston avance, l'espace disponible pour le gaz diminue, ce qui provoque une augmentation de pression. Lorsque la pression atteint celle du circuit à haute pression, le gaz est expulsé.

Dans cette catégorie de compresseur on distingue deux types [29] :

A. Compresseur à piston

Le compresseur à piston est l'un des premiers modèles mais reste très polyvalent. Il fonctionne en déplaçant un piston dans un cylindre via une bielle et un vilebrequin. Si un seul côté du piston est utilisé, il est à simple effet ; si les deux côtés sont utilisés, il est à double effet.

Ces compresseurs sont capables de comprimer l'air et le gaz avec peu de modifications. Ils peuvent être monocylindriques pour les faibles pressions ou multistades pour les pressions élevées. Ils sont classés selon le nombre de cylindres, la méthode de refroidissement et le système de graissage.

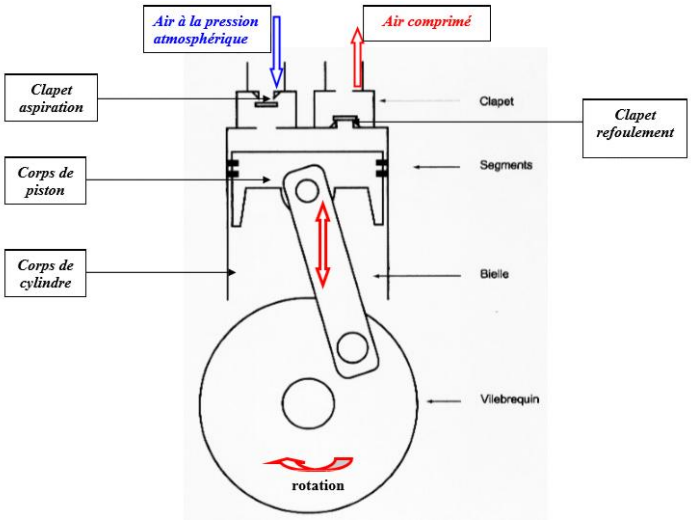


FIGURE III.8. Compresseur à piston [30]

B. Compresseur à membrane

Ce compresseur à membranes métalliques, contrôlé hydrauliquement, est principalement constitué d'une partie mécanique et d'une tête de compression. Il est couramment utilisé dans l'industrie chimique, notamment pour la compression des gaz dangereux. [31]

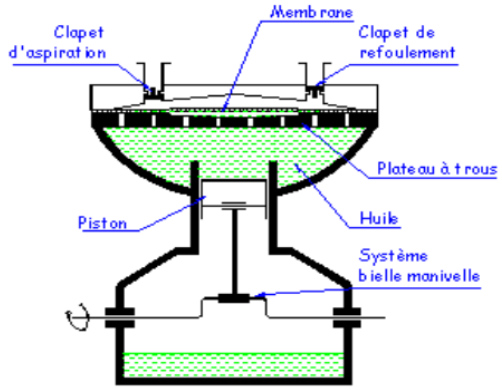


FIGURE III.9. Compresseur à membrane [28]

III.5.2.2. Compresseurs rotatifs

A. Compresseurs rotatifs a lobe

Les compresseurs à dents ou à pistons rotatifs, pour certains, et à lobes pour d'autres, utilisent un principe similaire. Dans un même stator, on trouve deux rotors non lubrifiés qui tournent en sens inverse, synchronisés entre eux. Chaque rotor comporte une ou deux dents permettant de réaliser un ou deux cycles de section-compression puis refoulement au cours d'un tour. Cela se fait en masquant ou en découvrant les orifices d'aspiration et de refoulement situés sur les côtés du carter.

Grâce au mouvement de la dent du rotor intérieur dans le creux du rotor extérieur, ce type de compresseur permet de réaliser une compression interne, dont le rapport dépend de la position de l'ouverture de l'orifice de refoulement par rapport à la rotation des lobes.

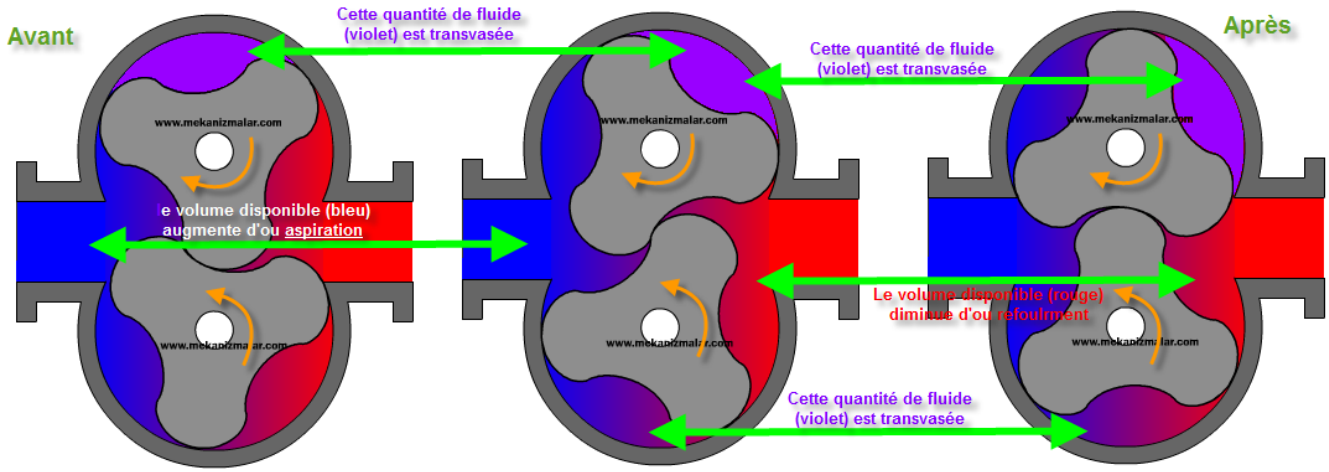


FIGURE III.10. Compresseurs rotatifs à lobe [32]

B. Compresseurs rotatifs spiral

Le compresseur rotatif à spirale est composé de spirales fixes et mobiles, entraînées par un vilebrequin. Grâce à un arbre excentrique, l'air est comprimé puis expulsé vers le centre du compresseur et dirigé vers le moteur.

Dans un compresseur scroll co-rotatif, les deux spirales tournent dans le même sens et à la même vitesse. Ce système peut être utilisé comme compresseur ou turbine, et la compression varie selon la rotation des spirales.[33]

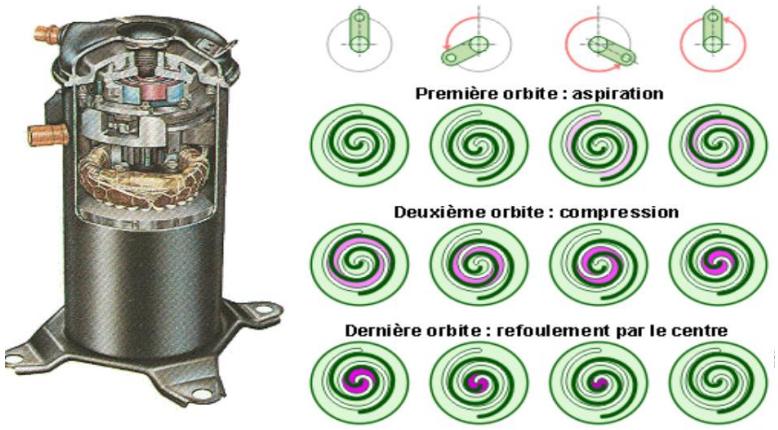


FIGURE III.11. Schéma de cycle de compresseurs à spirales [34]

C. Compresseurs rotatifs à palettes

Le compresseur à palettes est un type de compresseur à rotation, constitué d'un stator cylindrique dans lequel tourne un rotor excentré. Ce rotor est équipé de rainures radiales dans lesquelles se déplacent des palettes, constamment plaquées contre le stator par la force centrifuge.

Dans un cylindre, autour d'un axe excentré, le rotor, en contact avec la paroi, possède des palettes radiales qui se déplacent librement dans leur logement et sont toujours appliquées contre la paroi grâce à la force centrifuge. [35]

D. Compresseurs rotatifs a vis

Le compresseur à vis est un compresseur volumétrique dans lequel la compression est assurée par deux rotors hélicoïdaux, un mâle et un femelle, tournant en sens opposé à l'intérieur d'un carter étanche. Le gaz est piégé entre les filets des vis, puis comprimé à mesure que le volume disponible diminue le long de leur axe.

Le rapport de compression est déterminé par la géométrie des vis et la position de l'ouverture de refoulement. Grâce à l'absence de soupapes et à l'équilibrage mécanique naturel des rotors, ce système offre un fonctionnement stable, silencieux et sans à-coups.

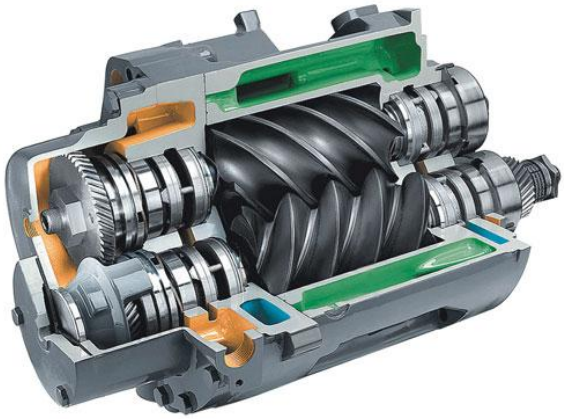


FIGURE III.12. Coupe d'un compresseur rotatif à vis [36]

- **Les composants du compresseur à vis**

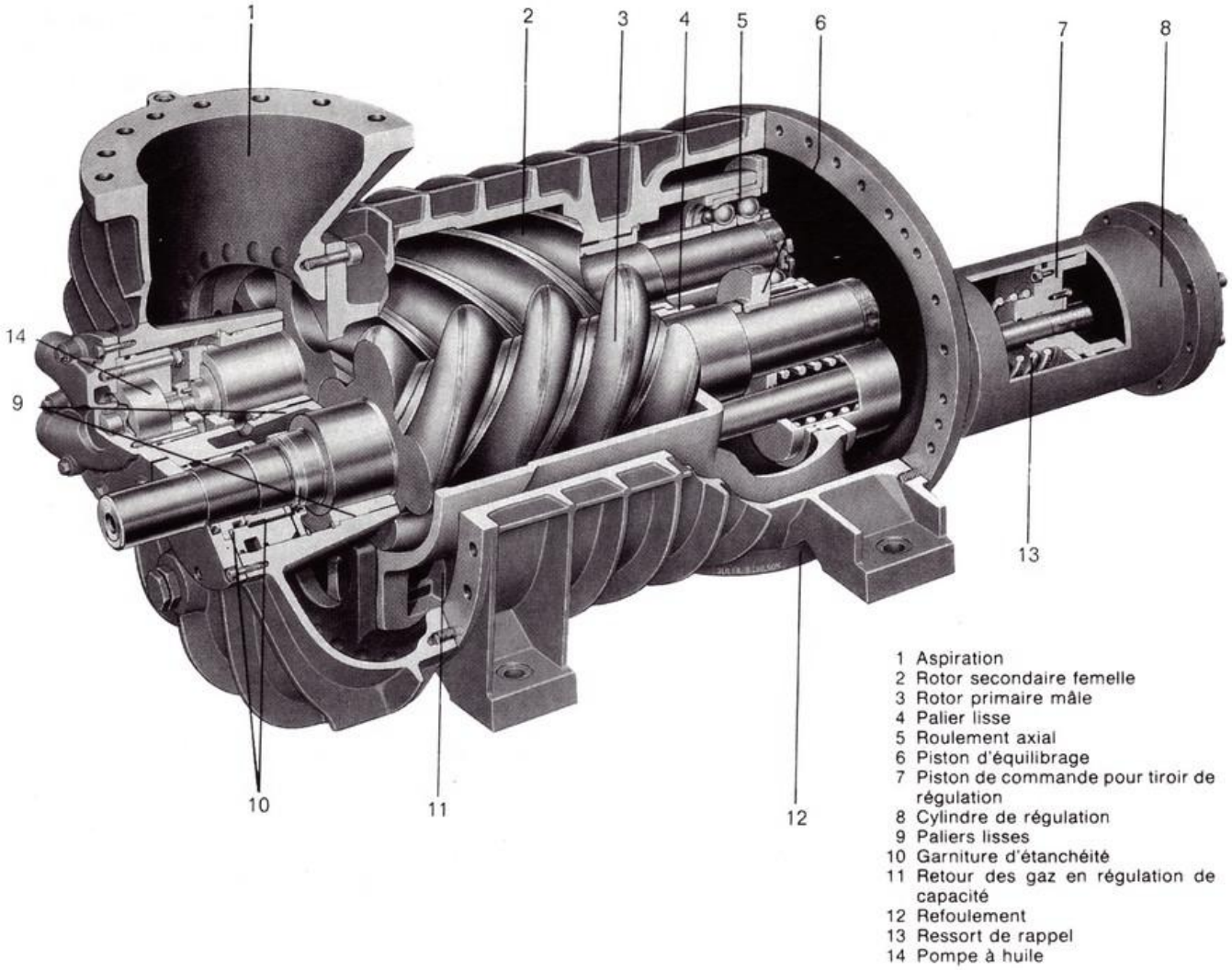


FIGURE III.13. Composants du compresseur à vis [37]

➢ **Classification principale de compresseur rotatif à vis**

- **Compresseur mono-vis**

Le compresseur à vis mono-rotor comprend un rotor principal en forme de vis hélicoïdale, accompagné de deux satellites recouverts de téflon situés de part et d'autre de la vis. De l'huile est injectée afin d'assurer l'étanchéité entre les éléments en mouvement.

Lors de la rotation, le gaz est aspiré dans les cannelures de la vis. Les satellites viennent ensuite réduire le volume de ces cavités, ce qui provoque la compression. Ce processus a lieu simultanément dans la partie supérieure et inférieure du compresseur. Le gaz comprimé est finalement évacué par des orifices latéraux.



FIGURE III.14. Schéma de compresseur mono vis [38]

- **Compresseur à double vis**

Le compresseur à double vis avec injection se distingue du modèle à vis sèche par l'utilisation d'un liquide (comme le diesel) pour sceller la chambre de compression. Le liquide permet de fermer mécaniquement l'espace de compression d'un côté, et d'isoler le système de roulements et d'engrenages synchrones de l'autre.

Cependant, le joint mécanique s'use avec le temps, ce qui entraîne des fuites du liquide vers les composants internes. L'utilisation d'un joint à gaz sec peut limiter cela, mais elle nécessite de nombreux joints et une consommation élevée de gaz d'étanchéité. [39]

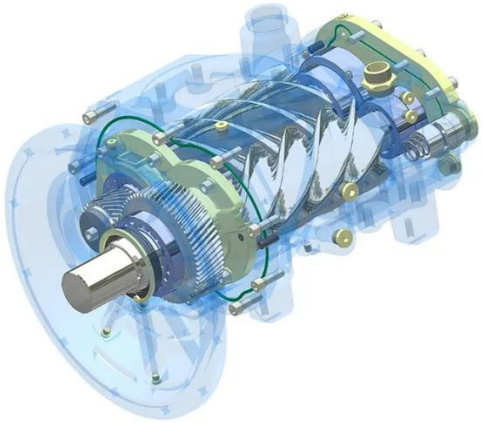


FIGURE III.15. Schéma de compresseur double vis [40]

➢ **Classification par mode d'emploi**

- **Compresseur rotatif à vis à injection d'huile**

Ce type de compresseur est le plus utilisé dans l'industrie. Il fonctionne avec un lubrifiant (hydrocarbure ou synthétique) injecté dans le système. L'air comprimé, mélangé au lubrifiant, traverse un carter où l'huile est séparée par des changements de direction et de vitesse. Les dernières traces d'huile sont éliminées par un séparateur interne, permettant ainsi un air presque pur.
Les compresseurs à plusieurs étages sont plus efficaces grâce au refroidissement entre les étapes et à la réduction des pertes internes.

- **Compresseur rotatif à vis sec**

Dans ce type de compresseur exempt d'huile, les rotors engrenant ne sont pas en contact, des engrenages de synchronisation extérieurs maintenant le jeu qui les sépare dans des tolérances très faibles. Dans la plupart des modèles, on emploie deux étages de compression avec refroidisseur intermédiaire et refroidisseur de sortie. Les compresseurs rotatifs à vis exempts d'huile existent dans une gamme de 25 à 1200 HP.

➢ **Domaine d'application et critères de choix des compresseurs**

Les compresseurs d'air à vis sont utilisés dans une variété d'industries et d'applications en raison de leur fiabilité, de leur efficacité énergétique et de leur capacité à fonctionner en continu.

- **Industrie manufacturière**

Utilisés pour alimenter des outils pneumatiques, des machines de production automatisées et des systèmes de contrôle de la pression.

- **Industrie automobile**

Fournissent de l'air comprimé pour des processus comme le contrôle de la peinture, le soufflage de pièces et la gestion des lignes de production.

- **Industrie alimentaire et pharmaceutique**

Employés dans des systèmes de conditionnement, de nettoyage à air comprimé et de stérilisation, tout en respectant des normes strictes d'hygiène.

- **Construction et travaux publics**

Ils fournissent de l'air comprimé pour alimenter les outils pneumatiques utilisés sur les chantiers, tels que les excavateurs, perforateurs et compresseurs mobiles.

- **Industrie pétrolière et gazière**

Utilisés pour l'alimentation en air comprimé des systèmes de contrôle de la production et des instruments de mesure en environnement difficile.

- **Traitement de l'eau**

Utilisés dans les systèmes de pompage et de filtration, ainsi que dans les processus de purification.

Les critères de choix de compresseur dépendent des paramètres suivants [22] :

- ✓ Qualité du gaz
- ✓ Propreté du gaz
- ✓ Nocivité du gaz
- ✓ Débit de gaz
- ✓ Pression (taux de compression).

➢ **Principe de fonctionnement**

Le principe de fonctionnement d'un compresseur à vis est simple. Ce compresseur est composé d'un rotor mâle et d'un rotor femelle, tous deux dotés de dentures hélicoïdales. La rotation à grande vitesse dans des sens opposés des deux rotors mâle et femelle provoque l'entraînement et la compression de l'air. Ce dernier est alors transporté de manière continue le long de la vis, depuis l'orifice d'aspiration jusqu'à l'orifice de refoulement.

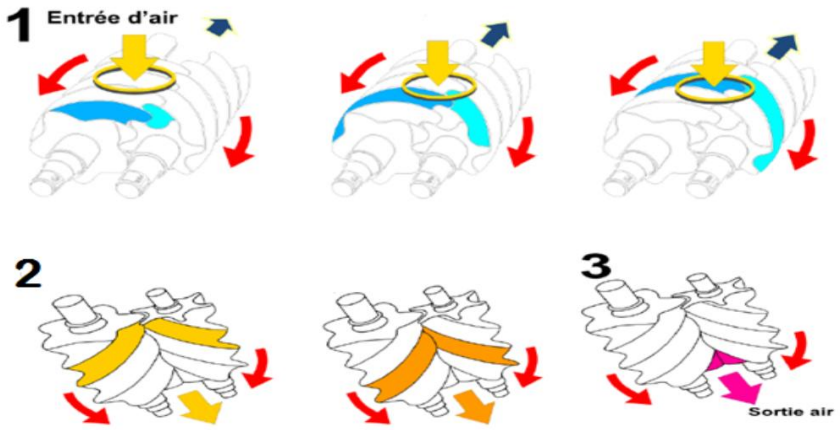


FIGURE III.16. Principe de fonctionnement des deux rotors du compresseur [39]

- ✓ **Aspiration** : L'air pénètre par l'orifice d'aspiration dans les spires ouvertes des rotors du côté aspiration.
- ✓ **Compression** : la rotation progressive des rotors provoque la fermeture de l'orifice d'admission d'air, le volume est réduit et la pression monte, l'huile est injectée lors de ce processus.
- ✓ **Evacuation** : Une fois la compression terminée et la pression finale atteinte, le refoulement commence.

Dans le cas des compresseurs ou le vis en contact avec l'huile on doit utiliser les techniques suivantes afin d'avoir un gaz compressé sec

- ✓ **Séparation :** Le mélange air h11uile subi une séparation par gravité dans le séparateur puisque l'huile est plus lourde se dépose au fond puis passe vers le radiateur pour qu'il soit refroidie et filtré puis injecté à nouveau dans le bloc de la vis pour la lubrification (recyclage de l'huile), l'air humide aussi filtré passe vers le radiateur pour le refroidissement puis il subit une filtration.
- ✓ **Sèchement :** Le système de sèchement contient un système de refroidissement et condensation dont on trouve :

- Chambre de sèchement où il y a de l'air comprime humide.
- Système de refroidissement (1.5°C) qui passe à travers la chambre pour la condensation.

➢ **Avantages et inconvénients du compresseur à vis**

- **Avantages :**

- ✓ Débit constant sans pulsations, ce qui est particulièrement adapté pour la filtration et d'autres applications nécessitant un flux stable.
- ✓ Facilité d'installation directe sur le sol sans besoin de supports supplémentaires.
- ✓ Faible bruit de fonctionnement, ce qui est avantageux pour les environnements de travail sensibles au bruit.

- ✓ Très fiable avec une longévité accrue, adapté à des opérations prolongées.
- ✓ L'entretien est limité au remplacement de l'huile et des filtres, ce qui permet de réduire les coûts de maintenance sur le long terme.
- ✓ Peut fonctionner sur de longues périodes sans interruption, ce qui en fait un choix idéal pour des applications continues.

- **Inconvénients :**

- ✓ Consommation d'énergie plus élevée que d'autres types de compresseurs, ce qui peut entraîner des coûts d'exploitation plus élevés.
- ✓ La pression de sortie ne dépasse généralement pas 15 bars, ce qui limite son utilisation dans des applications nécessitant des pressions plus élevées.
- ✓ Coût relativement élevé à l'achat, ce qui peut être un frein pour certaines petites et moyennes entreprises.
- ✓ Taux de compression limité, ce qui le rend inadapté aux applications exigeant des pressions croissantes continues.
- ✓ Nécessite un entretien régulier pour garantir des performances optimales.

➢ **Comparaison du compresseur à vis avec les autres types des compresseurs**

Tableau III.1. Comparaison du compresseur à vis et les autres types des compresseurs [24]

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	Moyenne	Faible
	Compresseur À palettes		+	Faible	Basse	Faible
Dynamique	Centrifuge		+	Important	Elevée	Très bon
	Axial		+	Très important	Basse	Très bon

III.6. Types des compresseurs en fonction de débit et de la pression

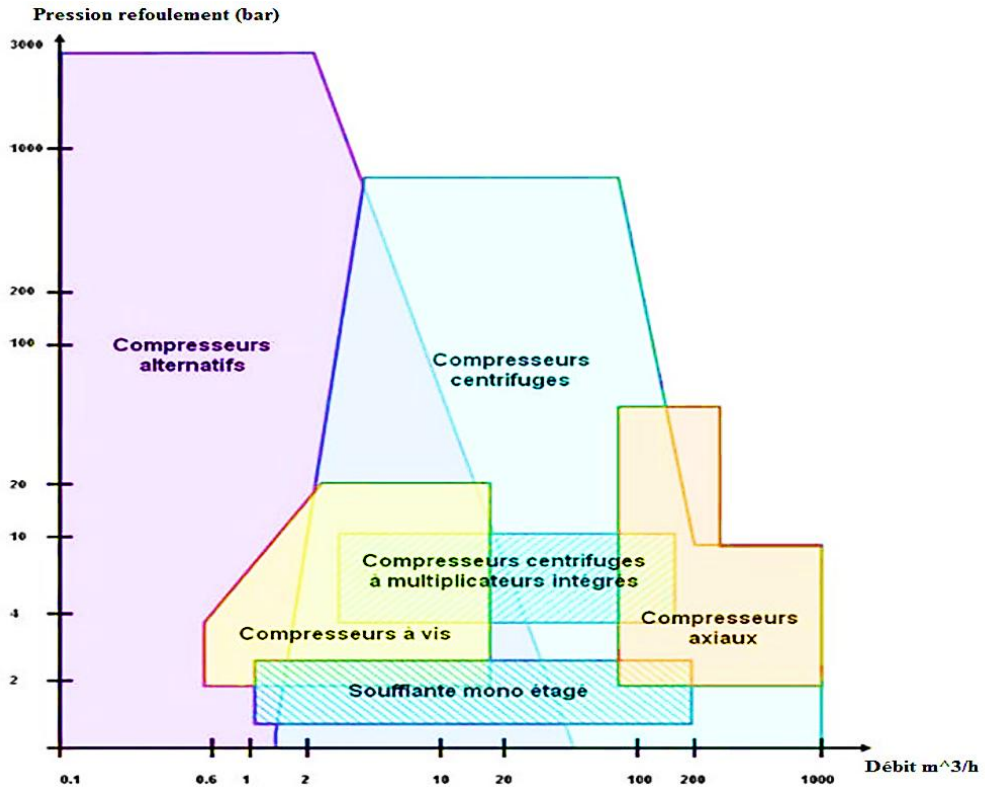


FIGURE III.17. Type de compresseur en fonctionne de débit et de la pression [41]

III.7. Compresseur a vis lubrifiées : Atlas Copco GA160 [42]

Les compresseurs GA sont des compresseurs à vis à injection d'huile, entraînés par un moteur électrique et enfermés dans un capotage insonorisant.

Les compresseurs GA sont refroidis par air.

Les compresseurs GA est mono-étagés.

- **Roto-Xtend Duty Fluid**

Roto-Xtend Duty Fluid est un lubrifiant spécial de qualité supérieure destiné aux compresseurs à vis à injection d'huile. Il améliore le refroidissement et prolonge l'intervalle entre deux vidanges d'huile.

- **Filtre d'entrée d'air hautes performances**

Le filtre d'entrée d'air hautes performances est un préfiltre cyclone, intégré en amont du filtre à air standard, ayant pour but d'éliminer la poussière à grosses particules avant qu'elle n'atteigne le filtre à air standard. Le filtre d'entrée d'air hautes performances est recommandé pour des applications telles que cimenteries et d'autres environnements poussiéreux.

➢ **Température ambiante élevée (HAT)**

Le compresseur a été spécialement conçu pour fonctionner en continu dans un environnement chaud et humide. Avec une température ambiante maximale est de 55 °C (131 °F)

➢ **Réglages de la soupape de sécurité**

Le réglage de la soupape de sécurité est de 12 bar.

- **Emplacement des composants [42]**

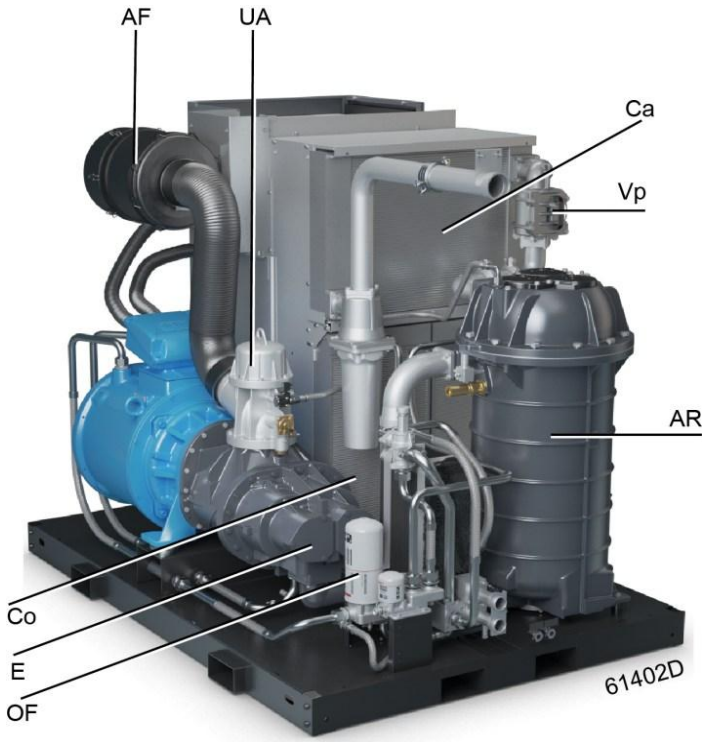


FIGURE III.18. Composants du compresseur à vis GA160 [42]

- **Circuit d'air**

L'air pénètre via le filtre (AF) et le déchargeur (UA) et est comprimé dans l'élément compresseur (E).

Un mélange d'air comprimé et d'huile s'écoule dans le réservoir d'air/séparateur d'huile (AR) où l'air et l'huile sont séparés.

L'air circule dans la soupape à minimum de pression (Vp), le refroidisseur d'air (Ca) et le réservoir des condensats jusqu'à la sortie d'air.

La soupape à minimum de pression (Vp) évite que la pression du réservoir ne descende au-dessous d'une pression minimum et comprend un clapet anti-retour qui empêche le retour d'air comprimé du réseau d'air.

- **Circuit d'huile**

Le réservoir d'air (AR) élimine la majeure partie de l'huile du mélange air/huile par mouvement centrifuge. L'huile est recueillie dans la partie inférieure du réservoir d'air (AR) qui sert de réservoir d'huile.

Le séparateur d'huile élimine l'huile restante.

Le circuit d'huile intègre une valve de dérivation thermostatique qui empêche l'huile de s'écouler dans le refroidisseur d'huile (Co) lorsque la température de l'huile est basse.

La pression d'air pousse l'huile du réservoir d'air (AR) vers le filtre à huile (OF).

L'huile filtrée circule dans les canaux de refroidissement du moteur d'entraînement vers l'élément compresseur (E) et les points de lubrification.

Le circuit d'huile intègre une valve de dérivation thermostatique supplémentaire qui envoie l'excédent d'huile vers l'élément compresseur lorsque la température d'huile est trop élevée.

III.8. Conclusion

Dans ce chapitre nous présentons une vue d'ensemble des différents types de compresseurs rencontrés dans le domaine industriel, notamment les compresseurs volumétriques (comme les compresseurs à piston, à membrane, à palettes et à spirale) ainsi que les compresseurs dynamiques (tels que les compresseurs centrifuges, axiaux). Une attention particulière a été accordée au compresseur à vis, en raison de son importance dans les applications industrielles. Ce dernier se distingue par un fonctionnement en continu, une grande fiabilité et un rendement énergétique élevé. Son système repose sur deux rotors hélicoïdaux qui assurent une compression fluide, avec un bon rendement volumétrique et un faible niveau de vibrations. Il est particulièrement adapté aux applications nécessitant un débit constant et une maintenance réduite.

CHAPTER IV

ETUDE DE LA FIABILITÉ DU COMPRESSEUR GA160

IV.1. Introduction

L'analyse de la fiabilité dans le domaine de la mécanique est un outil très important pour caractériser les comportements du produit dans les différentes phases de vie, mesurer l'impact des modifications du produits, qualifier un nouveau produit et améliorer ses performances tout au long de son fonctionnement

IV.2. Cas d'étude

Dans cette étude nous allons aborder l'étude de la fiabilité et ses indicateurs d'un compresseur à vis GA160 de l'entreprise des ciments d'Elma Labiod, pour la période étalée entre 2020 et 2025.

IV.2.1. Présentation de l'entreprise

La cimenterie d'ELMA LABIOD (TEBESSA) est une entreprise publique économique SPA, situé à 26 Km au sud du centre de la wilaya, son capital social est de 800.000.000 DA, consiste dans une ligne technologique à voie sèche.

Les matières premières sont des ressources naturelles se trouvant dans un rayon de 10 Km de l'usine et assurent un fonctionnement au rythme actuel de plus de 100 ans. Seul le minerai de fer et le gypse proviennent respectivement des mines de L'OUENZA et de DJBEL ONK.

La cimenterie d'ELMA LABIOD participe actuellement à l'emploie de plus de 400 ouvriers renforce le marché national de plu de 525 000 tonnes /an de ciment gris CPJ45.

Elle est dotée d'une technologie très avancée notamment en matière de système de conduite et de système de dépoussiérage, ce qui préserve la région de tout danger de pollution.

Quant à ses perspectives de développement, la société des ciments de TEBESSA compte finaliser le dossier de deuxième linge de production et celui de la bretelle ferroviaire afin de concrétiser l'idée du projet de cimenterie d'un million de tonnes par an.

La cimenterie est certifiée par AFAQ en ISO 9002, et ISO 9001 l'an 2000 et œuvre pour décrocher le certificat ISO 14001 de l'environnement l'an 2006.

IV.2.2. Exploitation de l'historique

L'historique des pannes du compresseur ATLAS-COPCO GA160 est mentionné sur le tableau IV.1

Tableau IV.1. Historiques du compresseur GA160

N°	Date de démarrage	Date d'arrêt	TBF (h)	TTR (h)	Cause	Action
1	21/12/2020	21/12/2020	1512	4	Haute température	Changement Séparateur d'huile
2	22/02/2021	01/03/2021	25	171	Haute température	Vidange et remplissage d'huile
3	23/02/2021	23/02/2021	9191	1	Capteur de pression défaillant	Maintenance CMR
4	14/03/2022	17/03/2022	15336	75	Thermostat défaillant	Changement thermostat
5	13/12/2023	13/12/2023	2304	4	Fuite d'huile	Vidange d'huile et changement Filtre d'huile
6	18/03/2024	18/03/2024	3024	4	Haute température	Changement Séparateur d'huile
7	22/07/2024	31/07/2024	5209	217	Dysfonctionnement de ventilateur de refroidissement	Démontage et montage de ventilateur de compresseur

- Le traitement des données brutes de l'historique (tableau IV.1), passe par :
  - Le calcul des heures d'arrêt suite à des pannes (TTR) qui résultent des différences entre les dates d'arrêt et de démarrage.

    TTR = [date d'arrêt - date de démarrage] * 24
  - Le calcul des heures de bon fonctionnement (TBF), qui résultent des différences entre deux pannes successives.

    TBF = [date de démarrage (n°01) –Date de démarrage (n°02)] *24

IV.3. Méthode ABC (Pareto)

Dans une deuxième étape, nous faisons appel à l'outil de classement des pannes selon leurs causes il s'agit de la méthode ABC appelée aussi loi des 20-80, cette dernière est un outil d'aide à la décision, qui classe le critère étudié par ordre de priorité. Nous commençons par la $\mathbf{1}^{\text{ére}}$ étape de cette méthode en traçant le tableau de classement des pannes précisément leurs causes (voir le tableau IV.2)

Tableau IV.2. L'analyse ABC (Pareto) du compresseur GA160

N° de panne	Cause	TTR (h)	Cumul TTR	TTR % cumulé
1	Dysfonctionnement de ventilateur de refroidissement	217	217	45.58
3	Haute température	179	396	83.19
1	Thermostat défaillant	75	471	98.94
1	Fuite d'huile	4	475	99.78
1	Capteur de pression défaillant	1	476	100

Une fois le classement des pannes selon le temp technique de réparation par ordre décroissant est fait, nous passons à la $2^{\text{éme}}$ étape de la méthode. A la base du tableau de classement (tableau IV.2) nous traçons la courbe ABC ou diagramme de Pareto (Figue IV.1)

- **La courbe d'analyse ABC**

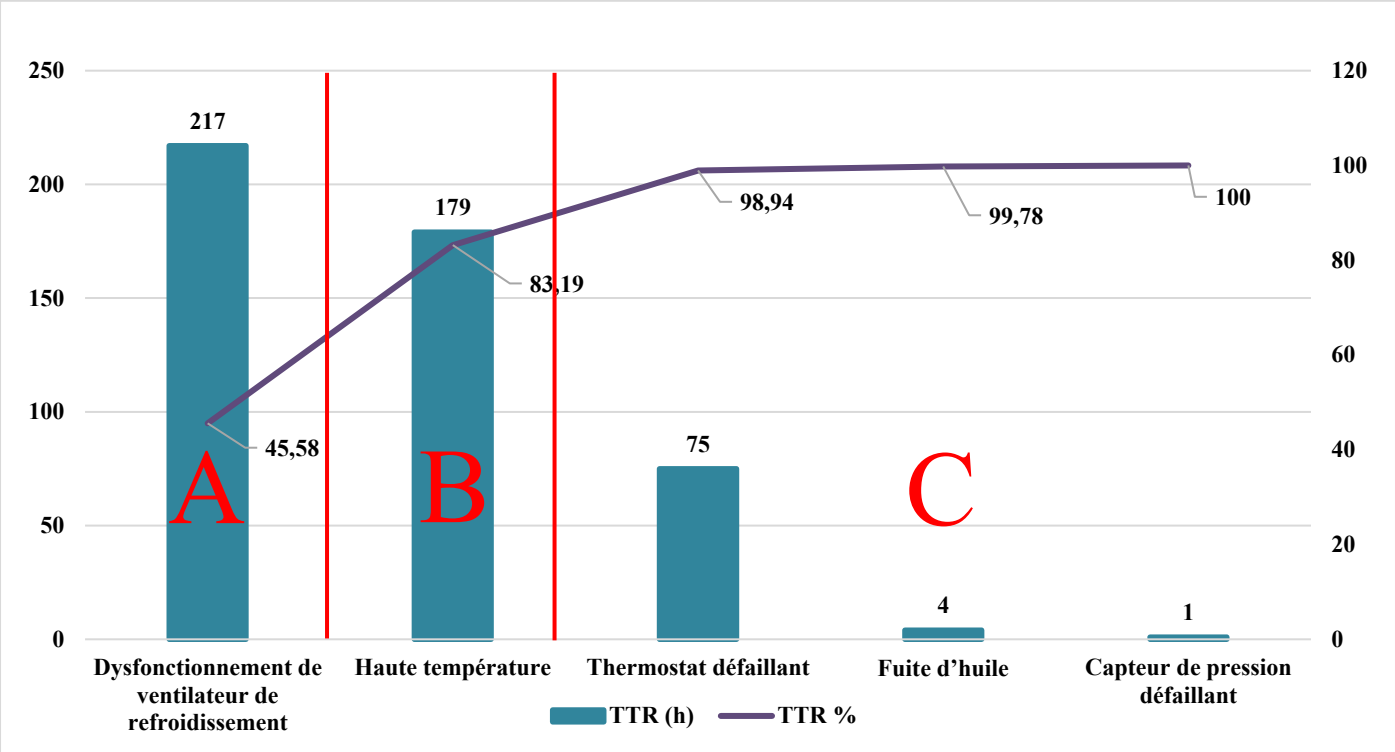


FIGURE IV.1. Courbe d'analyse ABC

A la fin de cette méthode, nous passons à l'interprétation des zones de la courbe ABC

- **Interprétation des résultats**

- Zone "A" :

Cette zone est limitée à 70% de cumule. Temps technique de réparation (TTR) et elle nécessite un intérêt minutieux (maintien préventif) nous devons nous intéresser à résoudre les problèmes de cette zone en priorité.

- Zone "B" :

Cette zone est délimitée entre 70% et 95% de cumule cause, ce qui donne les 25% de pannes. C'est une zone qui renferme des pannes de moindre priorité par rapport à la zone A et dans cette zone B, la cause essentielle de panne c'est la température élevée.

- Zone "C"

Dans cette zone les 5% des pannes restantes ne représente que 5% de cumule de cause. C'est généralement des pannes négligeables, cela n'empêche de les étudier ultérieurement.

IV.4. Etude de la fiabilité

La partie la plus importante de cette étude, c'est le calcul de la fiabilité R(t) et ses indicateurs à savoir le taux de défaillance et le MTBF. Nous avons jugé utile d'appliquer la loi de Weibull.

Vu que notre échantillon ((N = 7 ≤ 20), on utilise la méthode des rangs médians pour déterminer dans un premier temps la fonction de répartition des défaillances F(t).

Nous avons mentionné précédemment que la loi de Weibull est basée sur 3 paramètres à savoir le paramètre de forme $\boldsymbol{\beta}$, le paramètre d'échelle $\boldsymbol{\eta}$ et le paramètre de position $\boldsymbol{\gamma}$.

- Calcul de F(i) par la méthode des rangs médians

$$F(i) = \frac{i - 0.3}{N + 0.4} \approx F(t) \qquad (\mathbf{IV.1})$$

Les résultats sont mentionnés dans le tableau IV.3.

Tableau IV.3. Fonction de répartition réelle

Ordre	TBF(h)	F(i)	F(i)%
1	25	0.094594595	9.459459459
2	1512	0.22972973	22.97297297
3	2304	0.364864865	36.48648649
4	3024	0.5	50
5	5209	0.635135135	63.51351351
6	9191	0.77027027	77.02702703
7	15336	0.905405405	90.54054054

Une fois les F(i) sont déterminées, nous traçons le nuage des points sur le papier de Weibull puis nous déterminons les paramètres de la loi à savoir $\boldsymbol{\gamma}$, $\boldsymbol{\eta}$ et $\boldsymbol{\beta}$ (voir Figure IV.2)

➢ **La Courbe de Weibull**

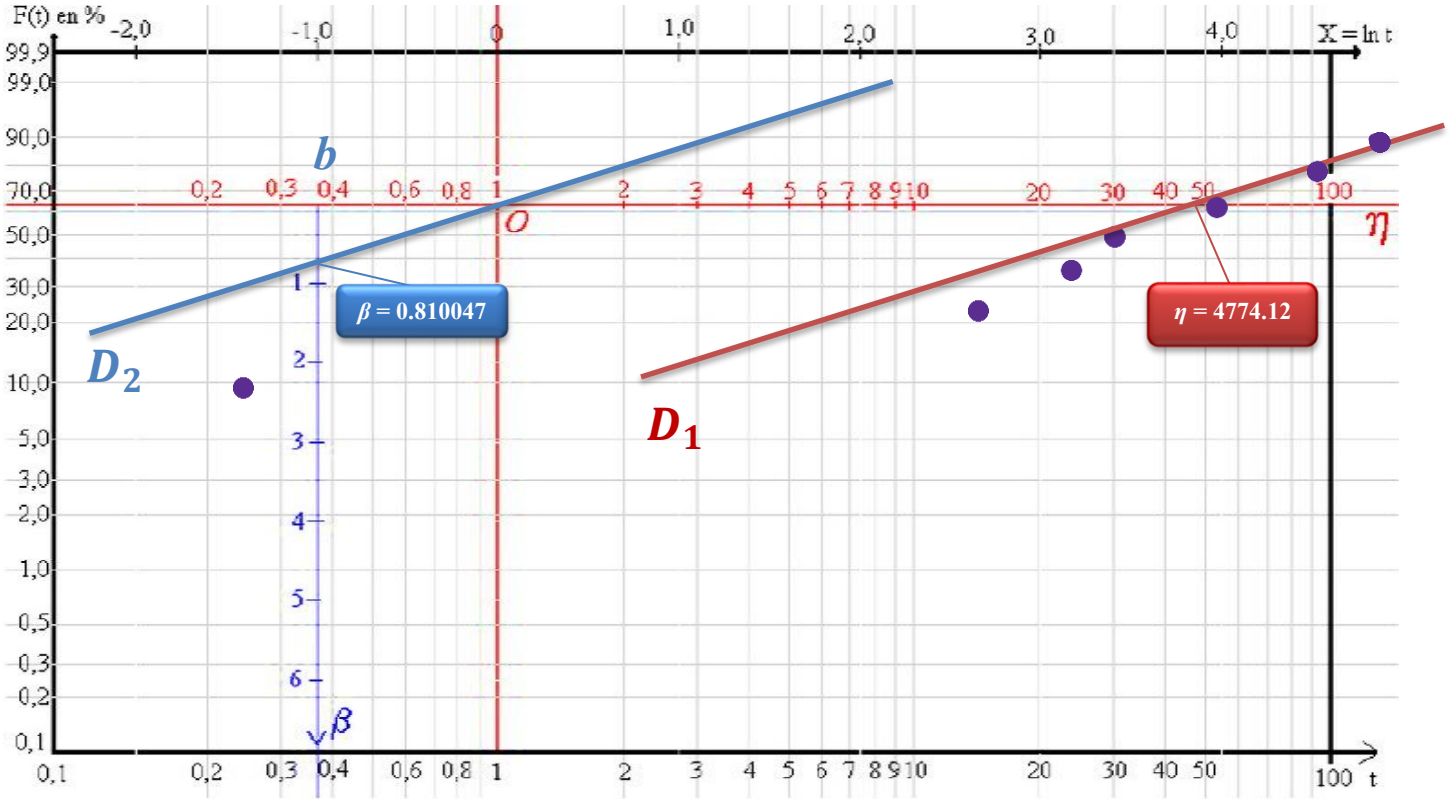


FIGURE IV.2. Papier de Weibull

- **Constat**

En traçant le nuage des points, nous avons obtenu une droite D_1 passant par ce dernier sans faire de redressement ce qui indique que $\gamma = 0$

Par la suite nous avons tracé la droite D_2 parallèle à la droite D_1 ($D_2 // D_1$) passant par l'origine et coupe l'axe « b » en un point $\beta = 0.810047 < 1$ ce qui caractérise la zone de jeunesse.

La droite D1 coupe l'axe des abscisses intermédiaire (échelle logarithmique) ce qui nous fait lire la valeur $\eta = 4774.12$.

Et de cette façon nous avons déterminé les trois (3) paramètres de la loi de Weibull (γ, η et β) ce qui va nous permettre de déterminer la fiabilité R(t) et estimer la moyenne des temps de bon fonctionnement MTBF.

IV.4.1. Exploitation des paramètres de Weibull

- **Calcul du MTBF et l'écart type**

$$MTBF = A\eta + \gamma \qquad (IV.2)$$

Et

$$\delta = \beta * \eta \qquad (IV.3)$$

Où $\gamma : parametre\ de\ position \Rightarrow \gamma = 0$

A et ***B*** sont des paramètres issus du tableau 1 (voir annexe tab.1).

A = 1.133 et ***B = 1.43***

Donc

$$MTBF = 1.133 * 4774.12 + 0$$

$$MTBF = 5409.07\ h$$

$$\delta = 1.43 * 4774.12 = 6826.99$$

- **Calcul de la fiabilité R(t)**

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} \qquad (IV.4)$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{5409.07}{4774.12}\right)0.810047}$$

$$R(t) = 0.33 = 33\%$$

La représentation graphique de la fonction de fiabilité de celle répartition à l'aide de tableau ci-dessous

Tableau IV.4. Calcul de la fiabilité

TBF	R(t)
25	0.985899305
1512	0.674345698
2304	0.574512777
3024	0.501170186
5209	0.341922321
9191	0.182694472
15336	0.076257812

- Puis on trace la courbe de fiabilité

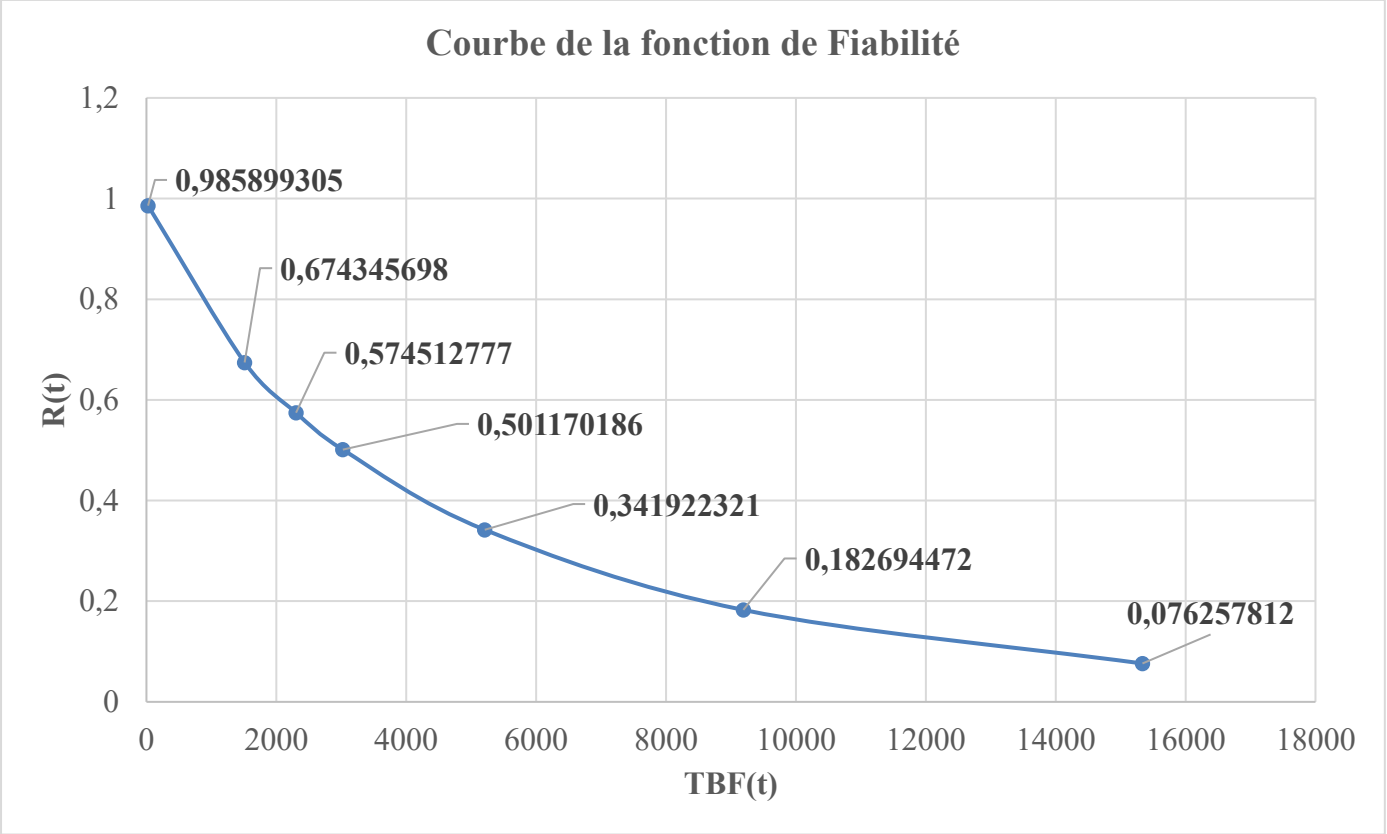


FIGURE IV.3. La courbe de la fonction de fiabilité

- **Constat**

On constate selon ce graphique que R(t) est décroissante en fonction de temps ce qui s ' explique par le phénomène de dégradation du fonctionnement de notre équipement.

L'amélioration de la fiabilité du compresseur passe obligatoirement par une analyse des défaillances avec une étude détaillée de leurs causes de leurs modes et de leurs conséquences.

➢ **Test (KOLMOGOROV SMIRNOV)**

Avant la validation de toutes les lois de fiabilité, il est nécessaire de tester l'hypothèse pour savoir si nous devrons accepter ou rejeter le modèle proposé par le test de K-S avec un seuil de confiance de α = 20%. Ce test consiste à calculer l'écart entre la fonction théorique ***F(i)*** et la fonction réelle ***F(t)*** et prendre le maximum en valeur absolue $\boldsymbol{D_{n.max}}$

Cette valeur est comparée avec $\boldsymbol{D_{n.\alpha}}$ Qui est donnée par la table de Kolmogorov Smirnov (voir annexe tab.2). Si $\boldsymbol{D_{n.max} > D_{n.\alpha}}$ On refuse l'hypothèse.

Tableau IV.5. Test K-S (KOLMOGOROV SMIRNOV)

N°	TBF(h)	F(i)	F(t)	$D_{n.max}$
1	25	0.094594595	0.014100695	0.080493899
2	1512	0.22972973	0.325654302	**0.095924572**
3	2304	0.364864865	0.425487223	0.060622358
4	3024	0.5	0.498829814	0.001170186
5	5209	0.635135135	0.658077679	0.022942543
6	9191	0.77027027	0.817305528	0.047035258
7	15336	0.905405405	0.923742188	0.018336782

- D'après la table de K-S :

$\boldsymbol{D_{n.max} < D_{n.\alpha}}$ Ce qui veut dire que le modèle de Weibull est accepté.

Nous avons pris la valeur maximale

$$\boldsymbol{D_{n.max} = |F(i) - F(t)|} \qquad \textbf{(IV.5)}$$

$\boldsymbol{D_{n.max} = 0.095924572}$ tandis que $\boldsymbol{\alpha = 20}$, $\boldsymbol{N = 7}$ $\boldsymbol{\Rightarrow D_{n.\alpha} = 0.381}$ (voir annexe tab.2)

0.095924572 < 0.381 Donc l'hypothèse du modèle de Weibull est acceptable

➢ **Calcul de la densité de probabilité en fonction de MTBF**

$$\boldsymbol{f(t) = \left(\frac{\beta}{\eta}\right)\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)\beta}} \qquad \textbf{(IV.6)}$$

$$\boldsymbol{f(t) = \left(\frac{0.810047}{4774.12}\right)\left(\frac{5409.07}{4774.12}\right)^{0.810047-1} e^{-\left(\frac{5409.07}{4774.12}\right)0.810047}}$$

$$\boldsymbol{f(t) = 5.48 * 10^{-5}}$$

- **Calcul de la fonction de répartition en fonction de MTBF**

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}} \quad (\mathbf{IV.7})$$

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{5409.07}{4774.12}\right)0.810047}$$

$$F(t) = 1 - 0.33$$

$$F(t) = 0.67 = 67\%$$

- **Calcul du temps souhaitable pour une intervention systématique**

$R(t) = 80\% \Rightarrow t = ?$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}} \quad (\mathbf{IV.8})$$

$$lnR(t) = -\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta} = ln(0.80) \Leftrightarrow -[lnR(t)]^{\frac{1}{\beta}}$$

$$t = \eta\left[ln\left(\frac{1}{R(t)}\right)\right]^{\frac{1}{\beta}}$$

$$t_{sys} = 4774.12\left[ln\left(\frac{1}{0.80}\right)\right]^{\frac{1}{0.810047}}$$

$$t_{sys} = 749.41\ heures$$

- Pour garder la fiabilité du compresseurs 80% il faut intervenir à chaque temps systématique 749.41 h

- **Fonction de la densité de probabilité f(t) en fonction du TBF**

Pour chaque panne selon la formule IV.6 (voir tableau IV.6)

Tableau IV.6. Calcul la fonction de la densité de probabilité

TBF	$f(t) * 10^{-5}$
25	45.3653
1512	14.2348
2304	11.1949
3024	9.2741
5209	5.70627
9191	2.7372
15336	1.03664

- **Courbe de la densité de probabilité f(t)**

Les résultats obtenus dans le tableau sont définis sous forme d'une courbe comme indiqué sur la Figure IV.4

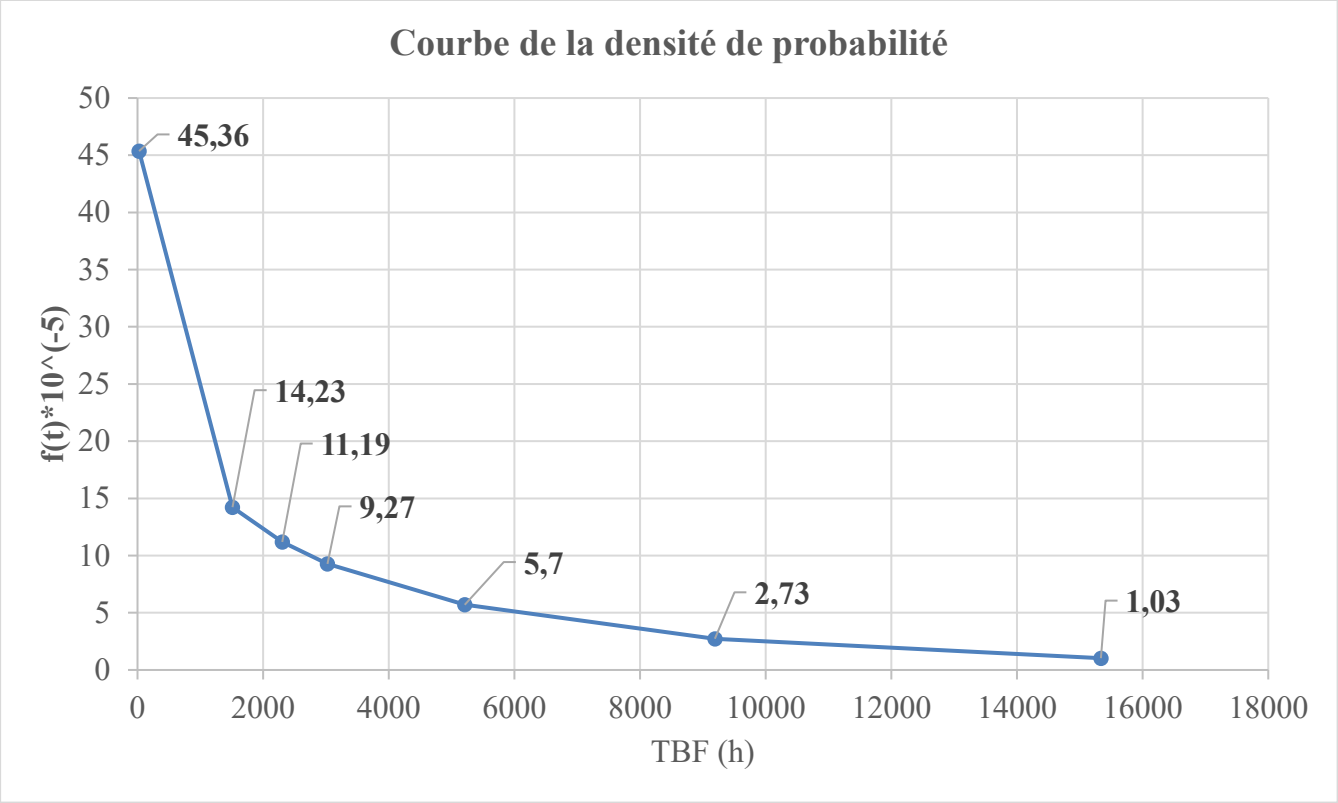


FIGURE IV.4. La courbe de la densité de probabilité

- **Constat**

Nous observons à travers la courbe que la fonction f(t) diminue avec le temps jusqu'à ce qu'elle prenne des valeurs nulles.

➢ **Fonction de répartition F(t)**

On procède de la même manière pour le calcul que $\boldsymbol{F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}}}$

On calcule les valeurs F(t) pour différents TBF. Les résultats donnés sur le tableau IV.7

Tableau IV.7. Fonction de répartition

TBF	F(t)
25	0.014100695
1512	0.325654302
2304	0.425487223
3024	0.498829814
5209	0.658077679
9191	0.817305528
15336	0.923742188

- **Courbe de fonction de répartition F(t)**

Représentation graphique de la fonction F(t), C'est une fonction strictement croissante comme montré sur la Figure IV.5

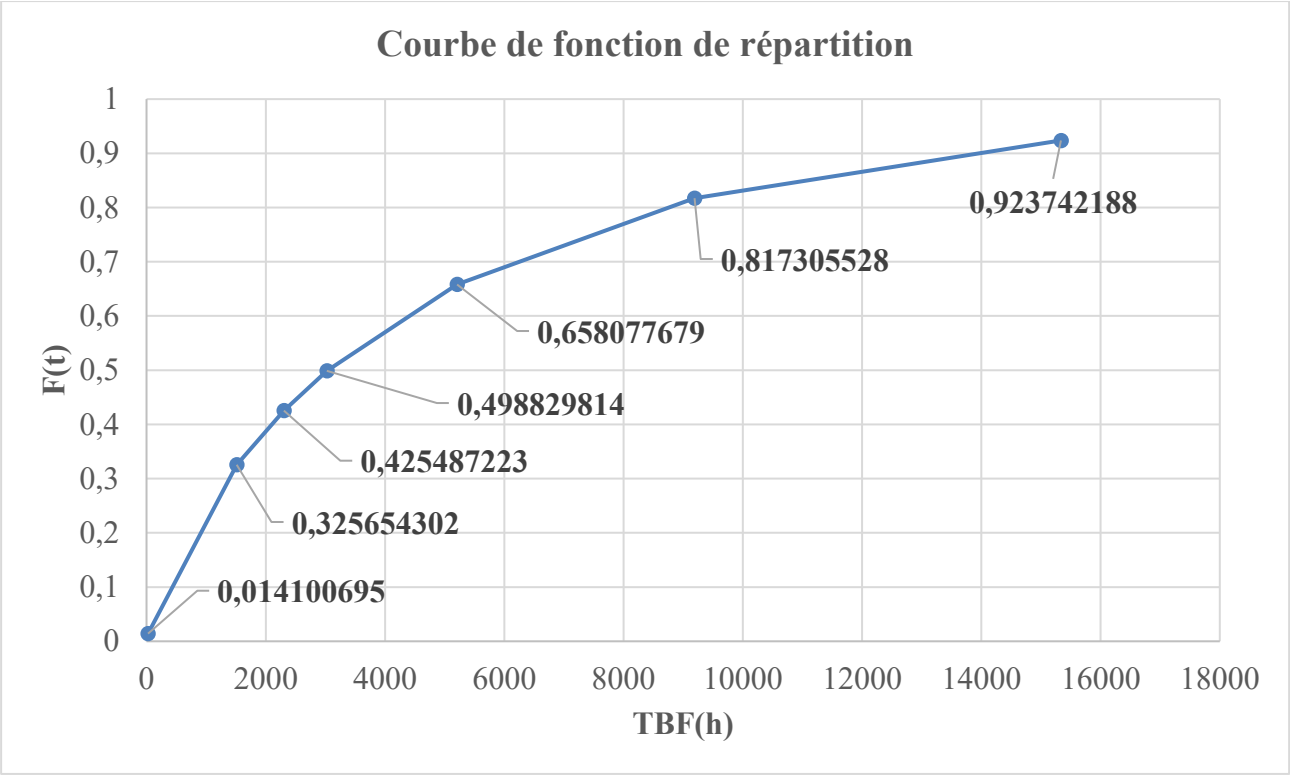


FIGURE IV.5. La courbe de fonction de répartition

Nous observons à travers la courbe que la fonction F(t) augmente constamment au fil du temps.

➢ **Le taux de défaillance $\lambda(t)$**

Sa fonction s'écrite comme suite :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \qquad (\mathbf{IV.9})$$

Tableau IV.8. Le taux de défaillance

TBF	$\lambda(t) * 10^{-4}$
25	4.60141
1512	2.1109
2304	1.94859
3024	1.85049
5209	1.66888
9191	1.49824
15336	1.35939

- **Courbe du taux de défaillance**

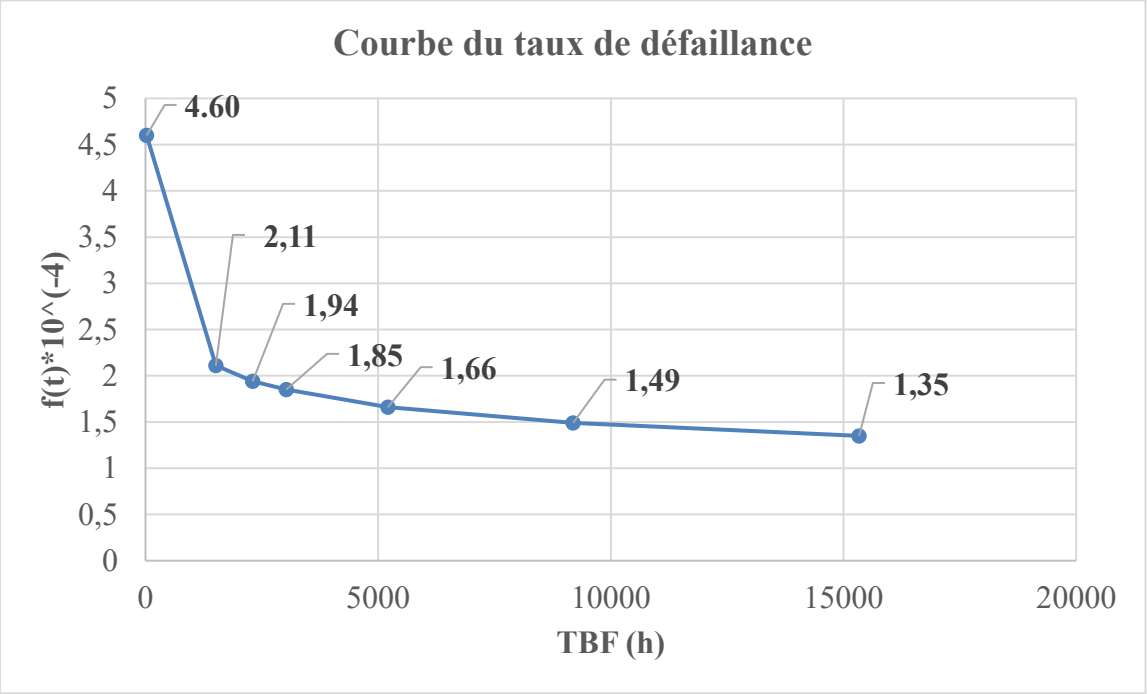


FIGURE IV.6. Courbe du taux de défaillance

- **Constat**

Nous observons à travers la courbe que la fonction λ(t) prend une grande valeur et diminue avec le temps

IV.5. Plan de maintenance

Tableau IV.9. Plan de maintenance de compresseur GA160 [42]

Fréquence	Heures Totales	Opération
Tous les jours	8	Contrôler les données à l'écran
Tous les jours	8	Pendant la charge. Contrôler l'évacuation des Condensats
Tous les jours	8	Contrôler le niveau d'huile. Avant le démarrage. Le niveau doit Se situer au-dessus du voyant.
Tous les 3 mois	-	Vérifier l'absence de fuites d'air. D'eau et d'huile.
Tous les 3 mois	-	Vérifier l'absence de contamination sur la surface du refroidisseur d'huile et d'air. Nettoyer l'extérieur si nécessaire.
Tous les 3 mois	-	Vérifier l'état de l'ensemble ventilateur
Tous les 3 mois	-	Vérifier l'état des filtres à air et des filtres d'armoires. Les remplacer si nécessaire.
Voir Huiles	-	Vidanger l'huile.

➢ **Solution recommandée [43]**

Nous recommandons des solution pratiques pour notre équipement (compresseur ATLAS COPCO GA160) suivants :

- **Système de contrôle "Elektronikon "**

Assure la gestion complète du compresseur et du convertisseur intégré, garantissant une sécurité optimale selon les paramètres définis.

- **Réglage de la pression**

Permet de choisir une pression entre 4 et 13 bars grâce à un programmateur électronique, réduisant ainsi la consommation énergétique.

- **Conception spéciale du moteur et du convertisseur**

Un moteur avec des roulements protégés assure une efficacité maximale sur toute la plage des vitesses.

- **Moteur adapté aux basses vitesses**

Le moteur électrique est conçu pour fonctionner efficacement faible vitesse avec un système de refroidissement renforcé.

- **Certifications EMC**

Tous les compresseurs GA VSD d'Atlas Copco a passé des tests EMC, garantissant qu'ils n'interfèrent pas avec d'autres sources externes.

- **Réduction des vibrations**

Des améliorations mécaniques ont été réalisées pour minimiser les vibrations, quelle que soit la vitesse de fonctionnement.

- **Stabilité en conditions extrêmes**

Le convertisseur haute efficacité, placé dans une armoire refroidie et pressurisée, garantit un fonctionnement stable même à des températures ambiantes allant jusqu'à 50 °C (standard jusqu'à 46 °C).

- **Contrôle du bruit et des vibrations**

Les compresseurs sont conçus pour fonctionner sur toute la plage de fréquences sans instabilité. Avec un VSD externe, la plage de fonctionnement pourrait être limitée, ce qui entraînerait des pertes d'énergie et une instabilité de la pression.

- **Prolongation de la durée de vie des composants**

Le ventilateur de l'armoire maintient les composants électriques au frais et limite la pénétration de poussière, augmentant ainsi leur longévité.

- **Stabilité de la pression du réseau**

La pression est maintenue dans une plage proche de 0,10 bar, garantissant une performance stable et fiable.

IV.6. Conclusion

Dans ce chapitre on a tenté d'exploiter l'historique de panne, en suite les paramètres de Weibull ont été calculés puis testés par le test de KOLMOGOROV SMIRNOV (détermine l'écart entre la fonction théorique et la fonction réelle).

Dans ce cas nous proposons la gestion des stocks comme un remède pour améliorer les paramètres de maintenance en général

Finalement, l'amélioration de la fiabilité du compresseur passe obligatoirement par une analyse des défaillances avec une étude détaillée de leurs causes de leurs modes et de leurs conséquences.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

A la fin de cette étude nous avons tiré les points suivants :

- A partir de l'historique de pannes de compresseur GA 160, nous avons appliqué la méthode d'analyse prévisionnelle de Pareto, ce qui nous a permis de tracer la courbe ABC. L'interprétation de cette courbe a permis d'identifier les causes majeures de temps d'arrêt, notamment l'élévation de la température et les fuites d'huile, qui représentent les principales sources d'indisponibilité de l'équipement.
- Ensuite, une étude de fiabilité a été réalisée pour ce compresseur à l'aide de la loi de Weibull. Les résultats obtenus ont été validés par le test de Kolmogorov-Smirnov (K-S), confirmant l'adéquation du modèle. Le papier de Weibull issu de cette analyse a permis de déterminer plusieurs fonctions essentielles : la fonction de fiabilité, la densité de probabilité, la fonction de répartition ainsi que le taux de défaillance. Les résultats de cette analyse ont été exprimés en fonction du temps de bon fonctionnement (TBF), mesuré en heures. Il ressort clairement que la fiabilité du compresseur GA 160 diminue au fil du temps, en raison des phénomènes naturels de dégradation et d'usure des composants internes.
- Enfin, Il est essentiel de noter que le maintien d'une fiabilité opérationnelle de 80 % exige une intervention régulière et systématique environ toutes les 749,41 heures de fonctionnement. Cette fréquence garantit non seulement la performance optimale du système, mais également la durabilité des composants clés. En adoptant une approche proactive de maintenance, il devient possible de minimiser les risques de pannes imprévues, d'optimiser les coûts d'exploitation et de garantir une continuité de service fiable. Cela souligne l'importance cruciale d'une gestion rigoureuse des cycles d'entretien dans toute stratégie de maintenance industrielle.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

[1] Douma, S et Douma, A (2020) “Amélioration de fiabilité du compresseur centrifuge BCL406 par l’application de la maintenance préventive“, université d’Ibn Khaldoun - Tiaret

[2] Benaicha, H (2015) “Analyse des stratégies de maintenance des systèmes de production industrielle "Thèse de doctorat en électrotechnique, Université d’Oran Mohammed Boudiaf.

[3] Anonyme (2021). Les différents types de maintenance. Tribofilm.

https://www.tribofilm.fr/les-differents-types-de-maintenance/

[4] Drid, S (2023),"Maintenance et sûreté de fonctionnement, Document de recherche, Université de Batna 2

[5] Rezgi, I (2017) cours maintenance industrielle, université de Ouargla

[6] Kadari, E.H et Belabes, Z (2017), "Contribution à la solution des problèmes de maintenance par l'utilisation des outils de diagnostic de défaillances dans les Installations hydrauliques", Mémoire Master, université Mohamed Boudiaf - M’Sila.

[7] Jourden, P., et J. P. Souris. (1998),"Pratique de la Maintenance Industrielle." Dunod édition, Paris.

[8] Cheurfi, A et Amarache, S (2017), "Etude et maintenance du compresseur centrifuge BCL-406Problème d’encrassements", Mémoire de Master, Université M’hamed Bouguera Boumerdes.

[9] Basile, O (2001), "Modélisation de la fiabilité des équipements mécaniques". Travail de fin d’études, Faculté Polytechnique de Mons,

[10] Ngantsui. L, Ngantsui. B (2015) "mise en place d’une politique de maintenance du système de climatisation à eau glacée du siège de la beac de brazzaville", Mémoire de Master.

[11] Jackadit. (2016). Introduction au concept FMD : Fiabilité - maintenabilité

[12] Barger.P (2003), "Evaluation et Validation de La Fiabilité et de la disponibilité des Systèmes d’automatisation à intelligence distribuée, en phase dynamique", Thèse de Doctorat de l’UHP Nancy 1, France.

[13] Pages, A. et Gondran, M. (1980). Fiabilité des systèmes. Collection de la direction des études et recherches, Librairie Eyrolles, France.

[14] Benkhelifa.A(2011) "Fiabilité des équipements de D.T.M., analyse fonctionnelle et implications organisationnelles de la fonction maintenance de transport" mémoire de master, université d’Ouargla.

[15] Zille. V (2009), "Modélisation et Évaluation des stratégies de maintenance complexes sur des systèmes multi-composants", Thèse de doctorat de l'Université de Technologie de Troyes.

[16] Birolini. A (1997), " Qualité et fiabilité des systèmes techniques ". Ed Springer

[17] Hathat. A et Deblaoui .H (2015), "Etude analytique FMD d'une turbine DR990, Mémoire de Master, Université Ouargla.

[18] Chapouille. P (1980), "Fiabilité. Maintenabilité", Techniques de l'ingénieur 6 : T4300-T4305.

[19] Bellaouar. A et Beleulmi. S (2014), polycopié de cours"FMD fiabilité, maintenabilité et disponibilité "université Constantine 1.

[20] Feghoul, M et Farradj, M (2020), "Calcul FMD d'un compresseur à vis ", université d'Ibn Khaldoun - Tiaret

[21] Pearl J, (1988), " Raisonnement probabiliste dans les systèmes intelligents : Réseaux d'inférence plausible ". Library of congress cataloging in publication data.

[22] Destoop.T (1989) "Compresseurs volumétriques", École Universitaire d'Ingénieurs de Lille (EUDIL).

[23] Chabane. S, Mesai .M et Bouchareb T.C (2021), "Etude energetique d'un compresseur centrifuge multi-étage K101A, université de Ouargla.

[26] Dryden, R. (2013) World's largest jet engine gets Greener, Machine Design. https://www.machinedesign.com/news/article/21831687/worlds-largest-jet-engine-gets-greener

[24] Maamoune. S, Lebssisse. N (2011), "Adaptation d'un nouveau système d'étanchéité (la garniture sèche) au compresseurs K201B "université Kasdi Merbah-Ouargla.

[25] Benrezzak. S (2012), "Étude de la performance d'un Compresseur centrifuge multi-étages K101 A de la station d'Oued Noumer" Mémoire de Master, université de Tlemcen.

[27] Centrifugal compressor - DENAIR compressor (2022) Denair Energy Saving Technology. Disponible à l'adresse : https://www.denair.net/Centrifugal Compressor/188.html (Consulté le 05 Mai 2025).

[41] Loudini. S, Khelifi. Y et Khelif. S.E (2024) "Compresseur Centrifuge", Mémoire licence, université de Batna 2.

[28] ENSPM (2005), "Technologie et fonctionnent des compresseurs" formation industrie.

[29] Khelifi. Y. I et Ihamouiene.M(2020), Etude de la problématique du compresseur centrifuge, université Saad Dahleb, Blida

[30] Compresseurs à Pistons (2025) ESM Distribution. Disponible à l'adresse : https://www.esm-distribution.fr/compresseurs/article/compresseurs-a-pistons (Consulté 08 Mai 2025).

[31] Cheurfi. A et Amarache.S (2017),"Etude et Maintenance du compresseur centrifuge Bcl-406 Problème d'encrassements, université Boumerdes.

[32] Pierreprovot (2009) Tge Hanzelet (et 1ge), WORDPRESS. Disponible à l'adresse : https://pierreprovot.wordpress.com/tag/pompe/ (Consulté le 10 Mai 2025).

[33] Douaba. N et Berouba.S (2017), "Analyse analytique FMD et AMDEC d'un compresseur à vis-ATLAS COPCO ZE3", université Kasdi Merbah Ouargla.

[34] Akian .M (2023), "Conception, calcul et dimensionnement des compresseurs" Université Abdelmalek Essaâdi - Maroc.

[35] Benhamel .H et Gherras. Y (2014),"Influence des systèmes VSV (variable stator vannes) sur les performances de la turbine à gaz LM2500+"Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen.

[36] Kasameyer, R. (2011), "Managing lubricant viscosity to maintain compressor health, Machinery Lubrication". Disponible à l'adresse : https://www.machinerylubrication.com/Read/28521/lubricant-viscosity-compressor (Consulté le 10 Mai 2025).

[37] KAMEL (2011) compresseur vis principe stal, azprocede. http://www.azprocede.fr/Schema_GC/picture.php?%2F959

[38] TU-SEIKI. (2015). Z Screw technology. Disponible à l'adresse : https://tu-seiki.com/en/category/news/specialized-knowledge/ (Consulté le 04 Mai 2025).

[39] Ladraa. A et Oukicha. N (2015) " Maîtrise et Fiabilisation des compresseurs de secteur adaptation de la laverie DAOUI "Université Sidi Mohammed Ben Abdellah Fès.

[40] Grant, I. (2023), Rotary Screw Compressor, Air Engineering Group Store.

[42] Atlas Copco, GA 160 APF267777(2022), Manuel d'instructions.

[43] Atlas Copco, compresseurs rotatifs à vis à injection d'huile, GA 160-315 (VSD) (160-315 kW/200-350 ch), Document de recherche, 2015.

ANNEXES

Les annexes tableaux

Annexe 01 : Distribution de Weibull (valeurs des coefficients A et B)

β	A	B	β	A	B	β	A	B
0,2	120	1901	1,7	0,8922	0,54	4,4	0,9146	0,235
0 ,25	24	199	1,75	0,8906	0,525	4,5	0,9125	0,23
0 ,3	9,2625	50,08	1,8	0,8893	0,511	4,6	0,9137	0,226
0,35	5,291	19,98	1,85	0,8882	0,498	4,7	0,9149	0,222
0,4	3,3234	10,44	1,9	0,8874	0,486	4,8	0,9116	0,218
0,45	2,4686	6,46	1,95	0,8867	0,474	4,9	0,9171	0,214
0,5	2	4,47	2	0,8862	0,463	5	0,9162	0,21
0,55	1,7024	3,35	2,1	0,8857	0,443	5,1	0,9192	0,207
0,6	1,546	2,65	2,2	0,8856	0,425	5,2	0,9202	0,203
0,65	1,3663	2,18	2,3	0,8859	0,409	5,3	0,9213	0,2
0,7	1,2638	1,85	2,4	0,8865	0,393	5,4	0,9222	0,197
0,75	1,1906	1,61	2,5	0,8873	0,38	5,5	0,9232	0,194
0,8	**1,133**	**1,43**	2,6	0,8882	0,367	5,6	0,9241	0,191
0,85	1,088	1,29	2,7	0,8893	0,355	5,7	0,9251	0,186
0,9	1,0522	1,17	2,8	0,8905	0,344	5,8	0,9226	0,165
0,95	1,0234	1,08	2,9	0,8919	0,334	5,9	0,9269	0,183
1	1	1	3	0,893	0,316	6	0,9277	0,18
1,05	0,9803	0,934	3,1	0,8943	0,325	6,1	0,9266	0,177
1,1	0,9649	0,878	3,2	0,8957	0,307	6,2	0,9294	0,175
1,15	0,9517	0,83	3,3	0,897	0,299	6,3	0,9302	0,172
1,2	0,9407	0,787	3,4	0,8984	0,292	6,4	0,9331	0,17
1,25	0,99314	0,75	3,5	0,8997	0,285	6,45	0,9313	0,168
1,3	0,9236	0,716	3,6	0,9011	0,278	6,5	0,9316	0,167
1,35	0,917	0,667	37	0,9025	0,272	6 ,55	0,9321	0,166
1,4	0,9114	0,66	3,8	0,9083	0,266	6,6	0,9325	0,166
1,45	0,9067	0,635	3,9	0,9051	0,26	6,65	0,9329	0,164
1,5	0,9027	0,613	4	0,9064	0,254	6,7	0,9335	0,163
1,55	0,8994	0,593	4,1	0,9077	0,249	6,75	0,9336	0,162
1,6	0,8966	0,574	4,2	0,9086	0,244	6,8	0,9334	0,161
1,65	0,8942	0,556	4,3	0,9102	0,239	6,9	0,9347	0,15

Annexe 02 : Test K-S (KOLMOGOROV SMIRNOV)

N	Niveau significatif				
	α = 0.20	α = 0.15	α = 0.10	α = 0.05	α = 0.01
1	0.900	0.925	0.950	0.975	0.995
2	0.684	0.726	0.776	0.842	0.929
3	0.565	0.597	0.642	0.708	0.828
4	0.494	0.525	0.564	0.624	0.733
5	0.446	0.474	0.510	0.565	0.669
6	0.410	0.436	0.470	0.521	0.618
7	**0.381**	0.405	0.438	0.486	0.577
8	0.358	0.381	0.411	0.457	0.543
9	0.339	0.360	0.388	0.432	0.514
10	0.322	0.342	0.368	0.410	0.490
11	0.307	0.326	0.352	0.391	0.468
12	0.295	0.313	0.338	0.375	0.450
13	0.284	0.302	0.325	0.361	0.433
14	0.274	0.292	0.314	0.349	0.418
15	0.266	0.283	0.304	0.338	0.404
16	0.258	0.274	0.295	0.328	0.392
17	0.250	0.266	0.286	0.318	0.381
18	0.244	0.259	0.278	0.309	0.371
19	0.237	0.252	0.272	0.301	0.363
20	0.231	0.246	0.264	0.294	0.356
25	0.210	0.220	0.240	0.270	0.320
30	0.190	0.200	0.220	0.240	0.290
35	0.180	0.190	0.210	0.230	0.270
>35	1.07 /√n	1.14 /√n	1.22 /√n	1.36 /√n	1.63 /√n

Annexe 03 : Conditions de référence du compresseur GA 160

Pression d'entrée en absolu	bar (a)	1
Humidité relative de l'air	%	0
Température d'entrée d'air	°C	20
Pression nominale de service		Voir Spécification des compresseurs
Température d'entrée de l'agent de refroidissement	°C	20

Annexe 04 : Lectures importantes du compresseur GA 160

Pression de sortie du compresseur	bar(e) (psig)	Dépend des pressions de décharge et de charge programmées
Perte de charge des filtres à air	bar	Inférieur à 0.05
Différence de pression du séparateur d'huile	bar	Inférieur à 0.8
Pression d'injection d'huile des éléments compresseurs	bar(e) (psig)	Dépend des pressions de décharge et de charge programmées
Température de sortie du compresseur, Compresseurs Pack refroidie par air	°C	Environ 28
Température d'entrée d'air de refroidissement du compresseur Pack	°C	Inférieure à 46
Température d'entrée d'air de refroidissement du compresseur Pack (version pour température ambiante élevée)	°C	

Annexe 05 : Limites du compresseur GA 160

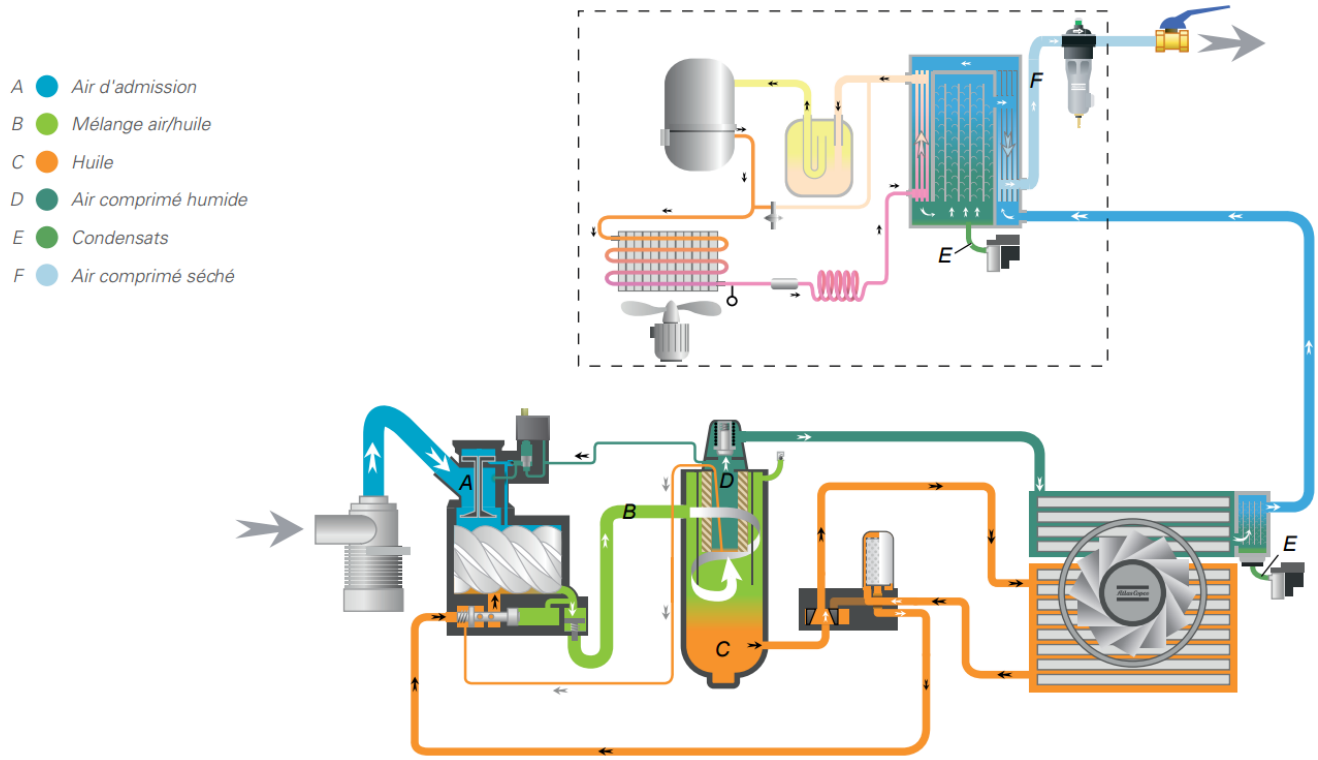
Température d'entrée d'air/ambiante minimum	°C	0
Température d'entrée d'air/ambiante maximum	°C	46
Température d'entrée d'air/ambiante maximum des compresseur Pack (version pour température ambiante élevée)	°C	55
Température d'entrée d'air de refroidissement minimum	°C	0
Température d'entrée d'air de refroidissement maximum	°C	46
Température d'entrée d'air de refroidissement maximum	°C	55
Pression maximum de service		Voir la section spécification des compresseurs

Annexe 06 : Données pour des compresseurs Pack 50 Hz, 7,5 bar (108,8 psi)

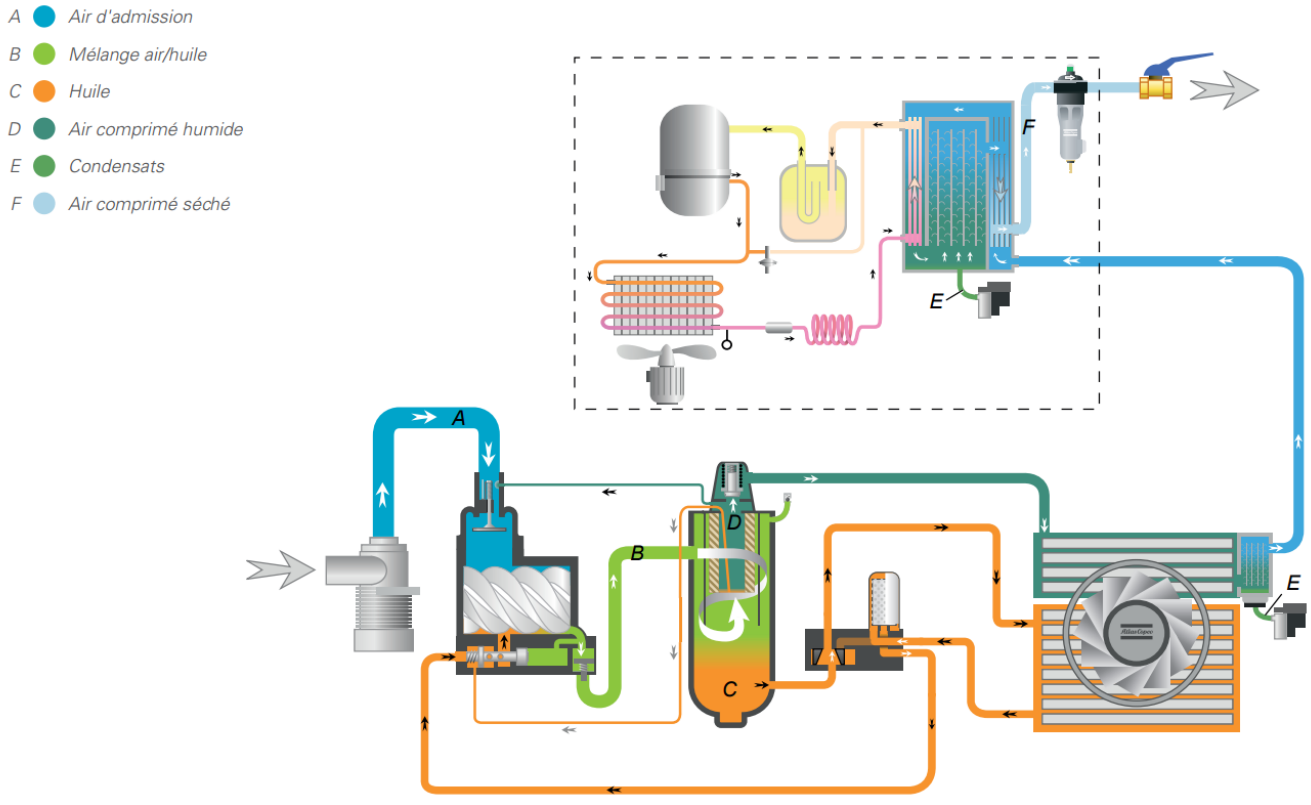
	Unités	**GA 160**
Pression effective de service	Bar(g)	7
Vitesse de l'arbre de moteur	Tr/min	2980
Pression effective de service maximum	Bar(g)	7.5
Puissance d'entrée électrique total, pression maximale	KW	181.3
Niveau sonore moyen	dB (A)	78
Capacité d'huile (environ)	I	110

Les annexes figure

Annexe 01 : Entraînement à vitesse fixe GA160



Annexe 02 : Entraînement à vitesse variable GA160



Résumé

Les compresseurs occupent une place essentielle dans le domaine industriel en raison de leur rôle crucial dans le fonctionnement des usines. Leur importance opérationnelle impose une surveillance continue et régulière, afin de garantir des performances optimales et d'assurer la continuité de la production.

Dans ce travail, nous avons réalisé une analyse de la fiabilité d'un compresseur à vis de type ATLAS COPCO GA160. Cette étude nous a permis d'élaborer un plan de maintenance adapté, visant à améliorer la fiabilité de l'équipement. Ce plan repose sur les résultats des calculs des paramètres de fiabilité, déterminés à l'aide de la loi de Weibull, et constitue une base pour une stratégie de maintenance plus efficace et proactive.

Mots clés : Compresseur, Fiabilité, Maintenance, loi de Weibull, méthode ABC.

Abstract

Compressors play a vital role in the industrial sector due to their essential function in factory operations. Their operational importance requires continuous and regular monitoring to ensure optimal performance and the continuity of production.

In this study, we conducted a reliability analysis on a screw compressor of the type ATLAS COPCO GA160. Based on the results of this analysis, we developed a maintenance plan aimed at enhancing the reliability of the equipment. This plan is built upon the calculated reliability parameters, determined using the Weibull distribution, and serves as a foundation for a more effective and proactive maintenance strategy.

Key words : Compressor, Reliability, maintenance, Weibull's law, ABC method.

ملخص

تلعب الضواغط دورًا مهمًا في القطاع الصناعي نظرًا لوظيفتها الأساسية في تشغيل المصانع. وتقتضي أهميتها التشغيلية أن تكون خاضعة للمراقبة المستمرة والدورية لضمان الأداء الأمثل واستمرارية الإنتاج.

في هذا العمل، قمنا بإجراء تحليل للموثوقية على ضاغط لولبي من نوع ATLAS COPCO GA160 وقد مكنتنا نتائج هذا التحليل من إعداد خطة صيانة تهدف إلى تحسين موثوقية هذا المعدّ. تستند هذه الخطة إلى حسابات معلمات الموثوقية المستخرجة باستخدام توزيع ويبل (Weibull) وتشكل أساسًا لاعتماد إستراتيجية صيانة أكثر فعالية واستباقي

الكلمات المفتاحية : ضاغط ، الموثوقية، الصيانة ، قانون ويبل ،ABC