



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 غرداية

N° d'enregistrement
.....

Université de Ghardaïa

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم الآلية والكهروميكانيك

Département Automatique et Electromécanique

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine: ST

Filière: Electromécanique

Spécialité: Maintenance Industrielle

Thème

Optimisation de la Maintenance Préventive par les
Méthodes FMD et AMDEC d'un Compresseur
AtlasCopco

Déposé le : 12/06/2021

Par

HANNAI YACINE & ABDELBAKI MENNA

Devant le jury composé de :

.....	Univ Ghar daia	Evaluateur
.....	Univ Ghar daia	Evaluateur
Zitani Brahim	MAA	Univ Ghar daia	Encadreur

Année universitaire : 2020/2021

Résumé

Dans le domaine industriel, le monde a une grande exigence de la machine soit pour le transport, la production électrique ou la transformation de matières premières et du moment où la concurrence est intense dans le secteur économique, la concentration des efforts est sur la maximisation de l'utilisation de machine et l'amélioration de la disponibilité.

Notre étude est consacrée à l'optimisation de la maintenance d'un compresseur de type intégrés dans les turbomachines, car ces derniers ont une grande importance dans les usines, on conséquence, ils méritent une surveillance continue et une étude de fiabilité, maintenabilité et de disponibilité pour l'assurance de bonne performance.

En fin pour prouver l'intérêt de l'étude AMDEC dans l'optimisation de la maintenance on a effectué une étude de cas sur un compresseur pour évite les pannes.

Abstract

In the industrial field, the world has a great requirement for machines either for the transport, the electric production or the transformation of raw materials and since the ongoing intense competition in the economy field, so the focus is on the maximum utilization of the industrial machines by increasing the availability of the equipment to its maximum.

Our study is made on a compressor that is considered as an important turbo machinery equipment, due to their great importance in factories; consequently, they need a continuous monitoring of reliability, maintainability and availability for the insurance of good performance

Finally, in order to prove the interest of the AMDEC study in the optimization of the maintenance, a case study was carried out on the compressor to minimize breakdowns

Keyword: reliability- maintainability- maintainability-AMDEC

ملخص

للصناعة موضع هام ودور كبير في الحفاظ على الاقتصاد من خلال النقل والإنتاج وتصنيع مواد الخام.... الخ وفي ظل المنافسة الشديدة في المجال الصناعي تعمل الشركات على تحسين وضعها من خلال تحليل وتحسين معداتها.

دراستنا هذه حول الضواغط التي تعتبر من التربينات والتي لها أهمية كبيرة في المصانع ولذلك تتطلب مراقبتها مراقبه مستمرة ومنتظمة من أجل التحسين في الموثوقية والصيانة الجيدة لضمان الأداء الأحسن من خلال قابليتها للصيانة.

وفي الأخير لطريقة AMDEC نتائج جيدة من خلال دراسة الضاغط والتي تسمح بتنبؤ وتحليل الأعطاب ومعرفة مظاهرها وكذلك حساب درجة الخطورة لهذه الاعطاب

كلمات مفتاحية: الموثوقية- قابلية الصيانة- الوفرة - AMDEC

Remerciement

Nous remercions en premier lieu Dieu de nous avoir donné la santé, la force, et la volonté pour réaliser ce mémoire

Toutes nos infinies gratitudes à notre encadreur. Monsieur Zitani Brahim pour son suivie et ses aides précieuses

Nous remercions aussi les membres de jury qui nous ont fait l'honneur d'accepter d'évaluer notre travail

Notre sincère reconnaissance Mr Arrif mohamed a la tete du departement et a tout nos enseignants au département ST

Dédicace

J'ai le grand honneur de dédier ce modeste travail :

A ceux qui m'ont encouragé et soutenu moralement et matériellement pendant les moments plus difficiles durant ma vie.

A ma très chère mère, qui me donne toujours l'espoir de vivre et qui n'a jamais cessé de prier pour moi
A mon très cher père QUE DIEU AIT PITIE DE LUI

A ma très chers ma femme et mes frères.

A toute ma grande famille : Hannai

A mes très chers amis : FAKHAR –M, RAMMA-ABD et BOUASRIA-H.

A tous mes amis partout et en particulier. Et à mes très chers amis à l 'Université GHARDAIA

A la fin je dédie très chaleureusement Mr : ZITANI BRAHIM

YACINE – HANNAI

Table des matières

Résumé	i
Remerciement.....	ii
Dédicace	iii
Table des matières	iv
Liste des Tableaux.....	vi
Liste des figures	vii
Liste des abréviations explicitées	ix
Introduction Générale.....	1
I. Chapitre I Présentation de l'unité ALFA PIPE	3
Introduction	4
I.1. Présentation de l'Unité	4
I.2. Identification de la machine et description générale :	8
I.3. Zone de contrôle Ultrasonique du matériau de base:	16
I.4. Fabrication de tubes :	31
I.5. Revêtement des tubes :	33
I.6. Contrôle qualités des tubes :	34
I.7. Présentation du département maintenance:	36
I.8. Certifications:	40
II. Chapitre II Généralités Sur les Compresseurs.....	41
Introduction	42
II.1. Historique	42
II.2. Définition	42
II.3. But de la compression	42
II.4. Classification.....	42
II.5. Les compresseurs dynamiques	43
II.6. Compresseur Volumétrique.....	45
II.7. Types du compresseurs en fonction de débit et de la pression.....	51
Conclusion.....	51
III. Chapitre III Généralités sur la fonction maintenance.....	52
Introduction	53
III.1. La maintenance	53
III.2. Etude de la fiabilité	56
III.3. La maintenabilité.....	60
III.4. Disponibilité.....	61
III.5. Loi de Pareto	61

III.6. Etude AMDEC	62
Conclusion.....	65
IV. Chapitre IV Etude Analytique FMD et AMDEC.....	66
Introduction :.....	67
IV.1. La Methode de Pareto	68
IV.2. La Methode de Weibull :.....	69
IV.3. Etude AMDEC	78
Conclusion.....	79
Conclusion générale	80
Références bibliographiques	81

Liste des Tableaux

Tableau I-1: la gamme de production des tubes [1].	5
Tableau I-2: Description générale de la machine à souder S-SPM-2000. [5].	8
Tableau I-3: Caractéristique technique du tube. [5].	8
Tableau I-4: Bobines feuillards laminés à chaud.	9
Tableau I-5: Données techniques générales de conducteur auxiliaire : [5].	12
Tableau I-6: Données techniques générales : [5].	13
Tableau I-7 :Données techniques générales [5].	15
Tableau I-8 : Unité de fraisage : [5].	16
Tableau I-9 : Données techniques générales : [5].	18
Tableau I-10: Fraise de rognage [5].	19
Tableau I-11 : Fraise de profil [5].	19
Tableau I-12 : Données techniques générales : [5].	20
Tableau I-13 : Données techniques générales : [5].	21
Tableau I-14 : Données techniques générales : [5].	23
Tableau I-15 : Données techniques générales : [5].	25
Tableau II-1: les différents types des compresseurs [4]	50
Tableau III-1 : les niveaux de maintenance	54
Tableau III-2 : La grille AMDEC	63
Tableau 0-3 : les indices de défaillance	64
Tableau IV-1: Dossier historique de compresseur ATLAS-COPCO- ZE3 [14].	67
Tableau IV-2 : L'analyse ABC (Pareto)	68
Tableau IV-3 : Fonction de répartition réelle	69
Tableau IV-4: test K-S (kolmogrov-smirnov) d'après la table de K-S :	70
Tableau IV-5: Calcul la fonction de la densité de probabilité Courbe de la densité de la probabilité f(t).	72
Tableau IV-6: Fonction de répartition.	73
Tableau IV-7: Calcul de la fiabilité.	74
Tableau IV-8 : le taux de defaillance	74
Tableau IV-9: La maintenabilité du compresseur Courbe de maintenabilité.	75
Tableau IV-10 Tableau de disponibilité.	76
Tableau IV-11: Tableaux d'AMDEC.	78
Tableau IV-12 Plan Preventif.	79

Liste des figures

Figure I-1: Vue générale sur l'unité ALFA PIPE.....	4
Figure I-2 la machine à souder	7
Figure I-3: Dispositif de debobinage.....	9
Figure I-4 : Chariot de transport de bobines.....	10
Figure I-5 : Supports de bobine (dévidoir).....	11
Figure I-6 : Bras de presseur.	Error! Bookmark not defined.
Figure I-7 : Ciseau.....	11
Figure I-8: Dispositif de dressage.	12
Figure I-9 : Zone de contrôle Ultrasonique du matériau de base.	16
Figure I-10 : Guidage de feuillards.	17
Figure I-11 Dispositif de fraisage.....	18
Figure I-12 Fraiseuse de profil.	19
Figure I-13 Nettoyage de feuillard.	20
Figure I-14 : Les bras de guidage de feuillard superficiels.	21
Figure I-15 : Corps de formage.	22
Figure I-16 : Commande de la fente de soudage.....	24
Figure I-17 : Poste de soudage extérieur.....	25
Figure I-18 : Lunette auxiliaire.	26
Figure I-19 : Lunette de commande.	26
Figure I-20 : Support de tubes.....	27
Figure I-21: Grille de sortie.....	28
Figure I-22 : réparation des défauts manuellement	29
Figure I-23: La machine d'essais hydrostatique.....	29
Figure I-24: Vue de la chanfreinée de tubes.....	30
Figure I-25: machine de contrôle ultrason automatique.....	30
Figure I-26: la carte du tube	31
Figure I-27: stocke des bobines non préparée	31
Figure I-28: soudage extérieur et int de tube.....	32
Figure I-29 :Oxycoupage par chalumeur et par plasma	33
Figure II-1: Classification des compresseurs	43
Figure II-2: Les types des compresseurs dynamiques [2]	43
Figure II-3: Compresseur axiaux du GE J79.....	44
Figure II-4 : Compresseur centrifuge – vue d'ensemble.....	44

Figure II-5 : Compresseur centrifuge – vue éclatée	45
Figure II-6 : Les types des compresseurs volumétriques [2]	45
Figure II-7:Compresseurs alternatifs et le compresseu volumétrique rotatif.....	46
Figure II-8 : Principe de Compresseurs rotatifs à palettes	46
Figure II-9 : Schéma de cycle de compresseurs à spirales [3]	47
Figure II-10: Compresseurs rotatifs à lobes	48
Figure II-11 compresseurs à Vis [11].....	48
Figure II-12: Principe de fonctionnement des deux rotors du compresseur [11].....	49
Figure II-13: Composantes du compresseur à vis [11]	49
Figure II-14 : Schéma du compresseur ATLAS-COPCO – ZE3	50
Figure II-15: Types de compresseurs en fonction de débit et de la pression [2].....	51
Figure III-1 : Les types des maintenances.....	54
Figure III-2: Politiques de maintenance [6]	56
Figure III-3 : Courbe en baignoire	58
Figure III-4 : Représentation sur graphique à échelle fonctionnelle de la distribution de Weibull (graphique d’Allan Plait).....	59
Figure III-5: redressement de la courbe par translation Ce redressement peut se faire par tâtonnement ou avec la relation :.....	60
Figure IV-1 : La Courbe d’ABC	68
Figure IV-2: papier de Weibull en logiciel minitab17	70
Figure IV-3: La Courbe Densité De Probabilité (logiciel matlab) Analyse de la courbe :	72
Figure IV-4: La Courbe De Fonction Répartition (logiciel matlab)	73
Figure IV-5 : La Courbe De la Fonction Fiabilité (logiciel matlab)	74
Figure IV-6: Le courbe taux de défaillance (logiciel matlab)	75
Figure IV-7: La Courbe de Maintenabilité (logiciel matlab) Analyse de la courbe :	76
Figure IV-8 La Courbe de disponibilité (logiciel matlab) Analyse de la courbe :.....	77

Liste des abréviations explicitées

TTR :	Temps de réparation
TBF :	Temps de bon fonctionnement
UT :	Temps entre défaillances
R(t) :	Fonction de fiabilité
F(t) :	Fonction de défaillances
f (t) :	Densité de probabilité
λ (t) :	Taux de défaillance
MUT :	Moyenne temps entre défaillance
MTTR :	Moyenne de temps de réparation
μ :	temps de réparation
MTBF :	Moyenne de Temps de bon fonctionnement
F :	Fiabilité
M :	Maintenabilité
D :	Disponibilité
β :	Paramètre de forme
γ :	Paramètre de position
η :	Paramètre d'échelle
AMDEC :	Analyse des Modes des Défaillance de leurs Effets et de leur Criticité

Introduction Générale

Introduction générale

Actuellement l'Algérie est en face de grands changements dans l'économie nationale. Le développement des différentes industries (lourde, légère, de l'énergie, de la chimie et de la pétrochimie, etc.) exige un système d'appareillage qui permet d'améliorer le travail, accélérer les rythmes de productivité, augmenter le volume des produits finis.

Parmi les machines ayant un rôle primordial dans les domaines d'activité industrielle, on peut citer les compresseurs. Pour être en mesure de choisir des compresseurs selon les exigences technologiques et de les exploiter d'une façon efficace, un spécialiste doit parfaitement connaître les constructions de ces machines, leur principe de fonctionnement et la base théorique qui sert à expliquer leurs caractéristiques.

Les compresseurs sont des appareils qui transforment l'énergie mécanique fournie par une machine motrice en énergie de pression, en réalisant un accroissement de pression d'un fluide à l'état gazeux. Le mécanicien doit être en mesure de choisir des compresseurs selon les exigences technologiques, les paramètres principaux, les règles de l'entretien et la base théorique pour prévoir l'état de la machine dans les différentes conditions d'exploitation.

L'absence de données fiables et d'outils efficaces de traitement de ces données a réduit la fonction maintenance à des tâches de dépannage, et par le fait même, à une fonction dont les coûts ne cessent d'augmenter et dont la contribution à la performance de l'entreprise n'est pas évidente. Les responsables des services de maintenance dans les entreprises ne sont pas toujours en mesure de défendre rigoureusement leur budget d'opération et encore moins leur contribution à l'efficacité de l'entreprise.

L'application des méthodes prévisionnelles de maintenance à des matériels à haute production est moins coûteuse que la perte de production due un arrêt du matériel. L'arrêt d'une seule machine peut entraîner l'arrêt de toute la ligne.

Ces quelques considérations amènent à penser que, de plus en plus, la fonction maintenance prend une part importante dans la production, d'où la nécessité de lui donner au sein des autres fonctions de la production les responsabilités qui lui incombent et les moyens de les assurer. Toutefois, quels que soient le coût et l'importance de la maintenance, celle-ci n'est pas un but, mais un moyen pour réaliser la production et assure sa qualité.

Le but de ce travail est une analyse FMD, et AMDEC d'un compresseur à vis du type Atlas Copco ZE3, le mémoire présentant ce travail comporte quatre chapitres, une introduction et une conclusion générale.

Le premier chapitre présente d'entrée en général.

Le deuxième chapitre l'étude bibliographique sur les turbomachines et aussi nous allons faire l'étude théorique des compresseurs "Généralité et description du compresseur à vis".

Le troisième chapitre présente l'état de la maintenance en général sous nom "Généralité sur la maintenance", lui-même décrivant les principaux concepts qui éclairent notre mémoire, la définition et l'organisation de la maintenance des équipements de production, les concepts de maintenance.

Enfin, le quatrième chapitre expose l'application analytique de cette technique sur l'équipement de production étudiée sous "étude FMD et AMDEC d'un compresseur ZE3".

I. Chapitre I

Présentation de l'unité ALFA PIPE

Introduction

Notre stage a été effectué au niveau de l'unité de fabrication des tubes souder en spirale ALFA PIPE GHARDAIA. La société qui nous avons choisit est implanté à la zone industrielle de Bounoura à Ghardaia, à 10km du chef-lieu de wilaya, l'usine occupe une superficie de 23000m² et son effectif s'élevé en moyenne à 500 employeurs.

Spécialisé dans la production et commercialisation de tube soudé en spirale destine à la construction de pipeline (gazoduc oléoduc), et aux infrastructures de transfert d'eau et travaux publique.

I.1. Présentation de l'Unité

Historique :

Les puits de pétrole et de gaz se trouvent à proximité de hassi R'mel et hassi massoud, la tuberie spiral (ghardaia) ne peuvent pas seul satisfaire les gros besoins de SONATRACH en matière de transport des hydrocarbures. Il a été de céder de créer cette 2eme unité similaire au 1^{er}.

La mise en chantier de l'unité a démarré en Avril 1974 par une allemande, et celle entrée en production en 1977 d'une capacité de 120000 tonnes annuelle, d'une équivalence de 375km de tube de 42 pouces de diamètre.

Les machines installées dans cette usine peuvent produire des tubes de 16 à 64 pouces de diamètre, 7,92 à 15mm d'épaisseur et d'une longueur de 7à13m.

Les bobines sont transportées par voie ferroviaire de Annaba à Touggourt ou elles stockées dans un dépôt d'une capacité de 40000 tonnes, pour être transporté par camion SNTR jusqu'au GHARDAIA (350km). Le transport constitue pour limiter un goulot d'étranglement qui gêne par fois les paramètres de production.



Figure I-1: Vue générale sur l'unité ALFA PIPE.

La gamme des tubes produits:*Tableau I-1: la gamme de production des tubes [1].*

Diamètre des tubes en pouces	16	24	30	36	42	48
Épaisseur en (mm)	5,0	7,5	9,0	11,0	12,0	15,0
Largeur des bandes (mm)	800	1200	1500	1800	1800	1800
Capacité de production (m de tube/heure)	57	47	42	34	24	14

Les machines de l'unité peuvent traiter des aciers laminés à chaud à très hautes limites d'élasticité dans les nuances **X60** à **X70**.

Les bobines utilisées pour la fabrication des tubes spirale sont livrées brutes, ces approvisionnements proviennent principalement de l'Allemagne ou la France. Les bobines utilisées peuvent avoir une épaisseur de **5** à **15** mm, une largeur de **600** à **1800**, un poids compris entre **29** et **36** tonnes, la production actuelle est de l'ordre de **130 000** tonnes/ans.

L'organisation fonctionnelle de l'unité:

L'organisation d'ALFA PIPE ghardaia regroupe 04 fonctions:

- **Fonction technique :**

Elle prend en charge : l'ordonnancement de la fabrication des tubes et son parachèvement, le revêtement des tubes, le contrôle qualité, la gestion de la maintenance, le dépannage, l'entretien préventif, la sous-traitance, la gestion des moyens de manutention et d'exécution des opérations de stockage.

- **Fonction commerciale :**

Elle assure l'ensemble des activités de vente et de relation avec les clients : L'assurance qualité et contrôle qualité des produits vendables, des bobines, des tubes et principaux produits de fabrication, la gestion des produits (tubes nus, tubes revêtus), la vente regroupant la programmation, la prospection, le marché, le suivi des contrats de vente, la fabrication, le recouvrement ...etc. Ainsi que le traitement des réclamations de la clientèle.

- **Fonction approvisionnement :**

Elle prend en charge les gros consommables (bobines, flux), l'achat de pièces de rechange, la prestation de services (sous-traitance), la gestion de stock des pièces de rechange et de consommables de fabrication, le transit de la douane.

- **Fonction Ressource Humaine et moyen Généraux :**

Elle recouvre les activités suivantes:

- ✓ **Ressource Humaine:** gestion du personnel (paie, gestion, carrière), le sociale, la formation et le recrutement, les relations professionnelles et le contrôle interne de la gestion du personnel.
- ✓ **Moyens Généraux:** relation extérieures (mission, accueil), entretien et nettoyage des locaux, entretien des vestiaires, gestion parc-véhicules, gardiennage et surveillance, sécurité et prévention industrielle; entretien de l'environnement extérieur, économat et bureau d'ordre.
- ✓ **Fonction finance et juridique:** elle assure les activités suivantes: budget, trésorerie, finance, gestion du patrimoine, assurance, fiscalité et juridique, comptabilité générale et analytique, contrôle de gestion [1].

Composition et structure :

La tuberie spirale est composée de 04 halls couvrant une superficie d'environ 18 000m², d'un bâtiment administratif et d'une sous-station électrique de 15 kV/380V (3 transformateurs de 1600kVA et 2 transformateurs d'éclairage). Les installations de procès sont réparties dans trois Bâtiments industriels :

- Le Bâtiment principal de production et contrôle des tubes nus, construit en 1968- 1969 d'une superficie 18438 m².
- Le bâtiment du revêtement extérieur tri couche, construit en 1993-1995, d'une superficie de 4480 m².
- Le bâtiment de revêtement intérieur, construit en 2001, d'une superficie de 2904 m².

Réseau de processus et interactions :

Ce réseau se consacre à trois activités majeures :



Les installations de la tuberie spirale :

Cette unité est conçue pour la transformation à froid des bobines de tôle en tubes soudés en spirales et elle est équipée de:

Zone fabrication : A Ce niveau la fabrication des tubes spiral

- **Basculeur de bobines :**

Les bobines de tôle arrivant à axe verticale sont mises à axes horizontale sur cette installation pour pouvoir être préparées.

- **Machine de préparation bobine :**

Cette machine est alimentée en bobines à axe horizontal par le pont roulant, la bobine ainsi placée et déroulée sur une certaine longueur pour subir plusieurs opérations

La première partie de la bobine est coupée d'équerre suivant l'axe de la bobine et elle est soumise à :

- Un contrôle dimensionnel (épaisseur, criques,...etc.)
 - Un contrôle visuel (empreintes, criques,...etc.)
 - Un contrôle ultrasonique pour détecter les éventuels défauts interne (des doublures).
 - Si le début de la bande ne présente pas des défauts, on considère que la bobine est apte à être consommée. Dans le cas où le début de la bobine contient des défauts, la bobine sera refusée.
- **Machine à souder :**

La TUBERIE spirale dispose de quatre (04) machines à souder identiques; qui permettent la réalisation de plusieurs opérations pour la fabrication du tube.

A) Le rabotage :

C'est une opération qui consiste à oxycouper la fine bande sur la machine et de raccorder le bout de la précédente bobine à la nouvelle par un soudage automatique sous flux. La durée de l'opération dure environ 30 minutes et nécessite l'arrêt de la production.

B) Le guidage :

Quatre (04) galets de guidage à commande hydraulique permettent un réglage rapide de la bande en cas de dérives dues aux variations de largeur bande.

C) Dressage bande :

Un train de rouleaux dresseurs assurent une parfaite planéité et contribuent au guidage de la bande.

D) Cisailage :

Des cisailles de rive permettant la mise en largeur définitive de la bande. Les chutes ainsi obtenues par cisailage sont coupées par simple rotation de deux (02) tourteaux hacheurs équipés de plusieurs couteaux en acier.

E) formage de la bande :

La bande est entraînée par deux (02) rouleaux cylindriques, elle subit un préformage par des galets cambreurs, des bras de guidage avec plaque d'usure en TEFLON maintiennent la bande. Celle-ci est introduite dans la cage de formage constituée de plusieurs trains de galets, ajustés suivant le diamètre à réaliser.

La bande ainsi formée, est soudée intérieurement, puis une demi-spire après extérieurement. Le procédé utilisé est le soudage automatique à arc immergé sous flux ; une centrale permet de récupération de flux en excès pour le recycler. Le tube formé est coupé à la longueur voulue par un chariot d'oxycoupage prévu à cet effet.



Figure I-2 la machine à souder

- **Deux machines nettoyage tubes :**

Le tube ainsi mis en longueur est nettoyé sur une machine qui le débarrasse de tous les déchets (flux, laitier....etc.).

✓ La nouvelle ligne de production :

Dans le but d'améliorer la production, l'entreprise a acheté un nouveau type de machine à souder en spirale S-SPM 2000, cette machine est entrée en production officielle en octobre 2017.

Il est conçu pour former des tubes en spirale à partir de bobines avec de grandes bandes (ruban), et souder ces tubes complètement à l'intérieur et à l'extérieur à l'aide d'un équipement de soudage SAW en technique multi-fils. .

La machine S-SPM 2000 est capable d'augmenter notre production de 200 000T à 400 000T ainsi que de fabriquer des tubes de grande épaisseur (25,4 mm), pour la première fois en Algérie.

I.2. Identification de la machine et description générale :

Tableau I-2: Description générale de la machine à souder S-SPM-2000. [5]

Type	Machine à former et à souder des tubes en spirale S-SPM-2000
N° de machine :	KP0J5801-02/03
Année de construction :	2014
Fabricant :	W+K IndustrieTechnik GmbH & Co. KG Hauert 12a 44227 Dortmund
Téléphone :	+49 (0) 231 – 79 22 11 – 0
Fax :	+49 (0) 231 – 79 22 11 – 9
Site Internet :	www.danieli-wk.de

La machine S-SPM 2000 est conçue pour former des tubes en spirale à partir de bobines à larges feuillards et souder complètement ces tubes à l'intérieur et à l'extérieur à l'aide d'un équipement de soudage SAW en technique multi-fil.

La machine S-SPM 2000 est essentiellement constituée des éléments suivants :

- ✓ Le **châssis d'entrée pilotable** sur laquelle sont montés tous les dispositifs nécessaires qui transforment les bobines en un feuillard de tôle approprié et le transportent vers le poste de formage.
- ✓ Le **poste de formage** dans lequel le feuillard de tôle préparé, retiré, rogné, transformé en tube en spirale et soudé complètement à l'intérieur.
- ✓ le **châssis de sortie** sur laquelle sont montés les dispositifs assurant le soudage extérieur et le contrôle de la soudure par ultrasons ainsi que les guidages et le dispositif de découpage de la ligne de tube fabriquée et le dispositif d'évacuation du tube coupé vers le système de transport des tubes.

Caractéristique techniques de la machine:

Tube:

Tableau I-3: Caractéristique technique du tube. [5]

Diamètre extérieur :	20"–80" 508 mm – 2 032 mm
Épaisseur de feuillard :	6,35 mm – 25,4 mm
Longueur de tube :	6,0 m – 18,0 m
Qualité de tube :	conformément à la spécification API 5 L numéro 44, octobre 2008
Qualité matériau :	max. X 100
Angle soudure en spirale :	10° - 45° en pas à gauche
Vitesse de soudage :	max. 2,5 m/min

Matériau de base :*Tableau I-4: Bobines feuillards laminés à chaud.*

Tolérance matériau :	selon DIN EN 10051
Largeur de feuillard :	1 100 mm – 2 050 mm
Sabre de feuillard :	longueur max. 20 mm / 10 m
Diamètre intérieur bobine :	700 mm – 900 mm
Diamètre extérieur bobine :	1 200 mm – 2 400 mm
Poids rouleau :	45 t max.
Qualité matériau :	X100 max.
Limite d'élasticité :	X100 690 N/mm ² min. 840 N/mm ² max.

Description des composants individuels de la machine:**Chassis d'entrée pilotage:**

Le châssis d'entrée complet se compose au total de quatre châssis individuels. Les différents châssis sont vissés ensemble sur la face frontale via des plaques de bridage. Sur le côté des châssis se trouvent des galets d'appui. Ils soutiennent le châssis et se déplacent sur les segments de courbe (02) faisant partie de la fondation. Sur le châssis se trouvent toutes les surfaces et perçages nécessaires au montage des différents éléments. [5]

Le châssis arrière (châssis n° 4) comporte le dispositif de réglage et de fixation hydraulique permettant de faire pivoter le châssis d'entrée vers l'angle correspondant pour la fabrication du tube en spirale. Sur le châssis n° 1 se trouve à l'avant le pivot, qui est fixé à la base du poste de formage avec un boulon. Le châssis n° 3 fait partie intégrante du dispositif de fraisage des bords longitudinaux.

Dispositif de debobinage :*Figure I-3: Dispositif de debobinage.*

Chariot de transport de bobines:

Le chariot de transport de bobines, disposé sur la partie avant du châssis de base d'entrée, sert à recevoir la bobine (feuillard de tôle enroulé) et, à l'aide d'un dispositif de déplacement hydraulique, conduit la bobine dans la position de réception par les supports de bobine.



Figure I-4 : Chariot de transport de bobines.

À l'aide des rouleaux rotatifs à entraînement hydraulique disposés sur le chariot de transport de bobines et des rouleaux presseurs supérieurs également entraînés hydrauliquement, la bobine est tournée de manière à ce que le début de feuillard soit séparé par le bas à l'aide du ciseau et enfilé par le conducteur auxiliaire ouvert.

Supports de bobine (dévidoir) :

Une fois le début de bobine fixé dans le conducteur auxiliaire, les deux supports de bobine pénètrent latéralement dans l'ouverture intérieure de la bobine et la soulèvent du chariot de transport de bobines pour permettre à ce dernier de retourner dans sa position de réception arrière.

Les deux supports de bobine sont reliés par des guidages linéaires au châssis de base d'entrée. Chaque support de bobine peut être déplacé dans le sens transversal par un vérin hydraulique. Chacun des plateaux tournants, équipés de broches de support et montés sur des roulements, intégrés dans les supports de bobine, est réglable en hauteur à l'aide d'un vérin hydraulique via un système de levier. Ces mouvements permettent la réception de bobines de différentes largeurs de feuillard et de diamètres. Les côtés intérieurs des plateaux tournants sont revêtus de plaques d'usure.

Lors de la production, les broches de support sont automatiquement positionnées en hauteur et déplacées de telle façon que le feuillard retiré de la bobine soit si possible toujours conduit verticalement vers le dispositif de dressage. Par le déplacement latéral des supports de bobine, le feuillard défilant est toujours maintenu au milieu de la machine lors de la production. La

position du feuillard en amont du dispositif de dressage est mesurée par le dispositif de régulation du milieu de feuillard et la position de la commande hydraulique des supports de bobine alors communiquée permet de positionner automatiquement les supports de bobine.



Figure I-5 : Supports de bobine (dévidoir).

Bras de presseur :

Le bras presseur est conçu comme une bascule où le système de pivot de la bascule est monté contre le dispositif de dressage. La bascule est munie à l'avant des rouleaux presseurs caoutchoutés et du moteur d'entraînement hydraulique qui entraîne les rouleaux via une chaîne. L'autre côté de la bascule comporte un vérin de calage hydraulique pour le pivotement de la bascule ou pour abaisser les rouleaux rotatifs sur la bobine. Les rouleaux presseurs sont maintenus dans leur position pendant et après le changement de bobine jusqu'à ce que toutes les premières spires de la bobine pendant le fonctionnement puisse être exclu.

Ciseau :

La cage de guidage du ciseau est montée sur le support de dressage de manière à ce qu'elle puisse positionner le burin contre la bobine pour la séparation. Pour cela, la cage de guidage est pivotable et le ciseau dans la cage de guidage est réglable en hauteur. Les deux mouvements sont effectués à l'aide d'un vérin hydraulique. Dès que le conducteur auxiliaire est fermé et par conséquent, que le début de bobine est fixé, le burin revient dans sa position de départ.



Figure I-6 : Ciseau.

Dispositif de dressage :

Le dispositif de dressage, disposé dans le sens de déplacement du feuillard en aval du débobinage, est fermement vissé sur le châssis d'entrée. Dans et sur la construction de soudage de la cage sont intégrés le conducteur auxiliaire, le dispositif de dressage, le burin, le presse-tôle et le dispositif de retenue.

Le dispositif de dressage a pour fonction de lisser le « bac » présent dans le feuillard de tôle passant. Les ondulations dans le feuillard de tôle qui sont plus petites que l'écart de rouleau horizontal des galets redresseurs ne peuvent pas être éliminées. Il en va de même pour les paliers et les particules entraînés à la fin de la bobine qui se trouvent sur le feuillard après le déroulement du feuillard dans le laminoir.



Figure I-7: Dispositif de dressage.

Le dispositif de dressage est constitué des composants suivants :

Conducteur auxiliaire :

Le conducteur auxiliaire permet de pousser le début de bobine par le dispositif de dressage fermé jusqu'à ce qu'il puisse être repris par le chariot de serrage du soudage des feuillards. Sinon, le conducteur auxiliaire n'exerce pas de force propulsive sur le feuillard. Lors de la production, le conducteur auxiliaire est ouvert et les rouleaux de commande tournent à couple réduit en fonction de la vitesse de l'installation.

Le conducteur auxiliaire est essentiellement constitué des éléments suivants :

- Deux cylindres de commande montés sur roulements
- Dispositif de serrage hydraulique pour le cylindre de commande supérieur
- Deux unités d'entraînement constituées d'une combinaison d'entraînement avec moteur d'entraînement fixé par brides.

Tableau I-5: Données techniques générales de conducteur auxiliaire : [5].

Diamètre de cylindre :	460 mm
Puissance d'entraînement env. :	2 x 44 kW
Couple max sur le cylindre de commande :	2 x 95 000 Nm
Cylindre de pression Ø :	400 / 200 mm
Cylindre de pression levage :	100 mm
Pression hydraulique max. :	200 bars

rouleaux de dressage :

Les 7 rouleaux de dressage sont exécutés de manière à ce que tous les cylindres supérieurs puissent être serrés séparément. La profondeur d'immersion des différents cylindres est indiquée sur le pupitre de commande. L'effet de lissage proprement dit est exécuté avec le 1er cylindre

supérieur et les deux cylindres inférieurs correspondants. Les autres cylindres font que le feuillard lissé sorte le plus horizontalement possible du dispositif de dressage.

La mise en contact de chaque cylindre supérieur s'effectue via 2 vérins hydrauliques équipés d'un système de mesure.

Les rouleaux de dressage sont essentiellement constitués des éléments suivants : Quatre cylindres inférieurs montés sur des roulements dans des logements de palier

Trois cylindres supérieurs montés sur des roulements dans des logements de palier réglables en hauteur

Trois dispositifs de serrage hydrauliques pour les cylindres supérieurs

Tableau I-6: Données techniques générales : [5].

Diamètre de cylindre :	322 mm
Vérin d'approche 1 et 2 cylindre supérieur :	Ø 280 / 200 mm
Vérin d'approche 3. Cylindre supérieur :	Ø 200 / 160 mm
Pression hydraulique :	200 bars
Force de réglage max. du 1er et 2ème cylindre sup.	2400 kN
Force de réglage max. du 3ème cylindre supérieur :	1200 kN

Dispositif de retenue de feuillard:

Le dispositif de retenue de feuillard empêche le rebondissement du début de bobine dû à l'effet de ressort de la bobine retirée lors de l'ajustement du début de feuillard après l'ouverture du dispositif de dressage et du conducteur auxiliaire.

Le dispositif de retenue est essentiellement composé des pièces suivantes :

- Deux consoles de logement soudées avec supports intégrés pour les vérins de calage et les guides pour les sabres de serrage
- Deux sabres de serrage avec chacun quatre galets de guidage sur roulements disposés transversalement par rapport au feuillard et serrés hydrauliquement

Chacun des sabres de serrage avec les galets de guidage est pressé par un vérin hydraulique sous / sur le feuillard à aligner. Ainsi, lors de l'ajustement automatique du début de feuillard, le feuillard ne rebondit pas dans le sens de déplacement, mais peut être déplacé par les galets de guidage transversalement par rapport au sens de déplacement.

Raboutage par Soudage:

Dispositif de Soudage des feuillards :

Dans le dispositif de soudage des feuillards, le début de feuillard de la nouvelle bobine est soudé avec le début de feuillard de la bobine déroulée transversalement par rapport au sens de production. La fin de feuillard est coincée et le bout résiduel inutilisable est coupé au moyen d'un dispositif de séparation au plasma. Le début de bobine étant également coupé, la fin de bobine séparée est convoyée transversalement hors de la ligne par le chariot de résidus de feuillards.[5]

La fin de feuillard et le début de feuillard sont ensuite fraisés sur leur face frontale avec le profil correspondant pour le soudage. Le début de feuillard est coincé dans le chariot de ramassage et le

chariot est pressé contre des butées. Ensuite, les deux fins de feuillards sont rassemblées et reliées par un soudage MAG et à l'arc. Un support de soudage hydraulique solvable avec support de bain de soudage posé évite tout passage du feu lors du soudage.

Le dispositif de soudage des feuillards est constitué des composants suivants:

Chariot de ramassage pour début de feuillards:

Le chariot de ramassage est soudé. Il est relié au châssis de base par des guidages linéaires et déplacé par un vérin hydraulique dans le sens de déplacement du feuillard. Le châssis du chariot comporte les points d'articulation pour le dispositif de serrage et l'unité d'ajustement (poussoir). Sur la face frontale en amont de la table de serrage se trouve un support de Soudage à serrage hydraulique. Sur le chariot se trouve une plateforme d'observation du processus de soudage qui est accessible par une échelle.

Poussoir:

Le poussoir est placé sur le chariot de ramassage du début de feuillard. Avant le serrage du début de feuillard de la nouvelle bobine avec le dispositif de serrage du chariot de début de feuillard, il est automatiquement ajusté au milieu de la machine à l'aide des deux pousseurs et du dispositif de régulation du milieu de feuillard.

Le feuillard est alors poussé au milieu de l'installation par des sabots palpeurs fixés sur des guidages linéaires au moyen de 2 vérins hydrauliques avec système de mesure intégré. Il est possible de modifier le milieu de l'installation par la saisie d'un offset.

Cage de ramassage pour fin de feuillard:

La cage de ramassage est soudée et vissée sur le châssis de base d'entrée. La cage est équipée des points d'articulation pour le dispositif de serrage. Au-dessus de la table de serrage se trouvent les surfaces de vissage pour la voie de guidage commune du chariot de fraisage et du chariot de séparation de soudage. Sous la table de serrage se trouvent les butées à pivotement hydraulique pour la position de fraisage et de soudage permettant le positionnement du chariot de ramassage avec le début de feuillard coincé.

Voie de guidage avec chariot de fraisage:

La voie de guidage pour ramasser le fraiseur à bords et du chariot de séparation de soudage est vissée sur la cage de ramassage pour la fin de feuillard.

Sur la voie de guidage se trouvent les guidages linéaires sur lesquels se déplacent les chariots pour le fraiseur à bandes et le chariot de séparation de soudage. Le chariot de fraisage est déplacé au moyen d'une vis à billes reliée à un accouplement à lamelles avec un motoréducteur triphasé. Le chariot de fraisage est muni de trous filetés pour recevoir le groupe de fraisage.

Chariot de Séparation De Soudage:

Le chariot de séparation de soudage se déplace également sur les guidages linéaires de la voie de guidage pour le chariot de fraisage. À l'avant, le chariot soudé est équipé d'une plaque réceptrice sur laquelle sont montés le dispositif de séparation et l'équipement de soudage. Via une courroie crantée attachée au chariot de séparation, ce chariot est déplacé par un motoréducteur réglé qui est fixé sur la voie de guidage. Les fins de course du chariot sont surveillées par des interrupteurs de fin de course.

Le dispositif de réception pour la torche à plasma est constitué d'un bras à pivotement hydraulique de 90° avec guidage linéaire monté et chariot entraîné électriquement avec logement de torche.

Cette exécution permet de séparer successivement la fin de feuillard et le début de feuillard avec la même torche.

Dispositif de Serrage:

Chaque chariot de ramassage est équipé d'un dispositif de serrage pour le serrage du début de feuillard et dans la cage de ramassage pour le serrage de la fin de feuillard. Le dispositif de serrage est constitué d'une barre de serrage avec des griffes de serrage vissées trempées qui pressent le feuillard sur la table de serrage correspondante via un système de levier hydraulique. Pour une transmission homogène de la force de serrage du feuillard, les griffes de serrage sont fixées à la barre de serrage par des rondelles-ressort.

Chariot de résidus de feuillards:

Le chariot de résidus de feuillards est constitué d'un châssis de base soudé à profils qui est monté de façon pivotable, en face du côté de commande, sur le châssis d'entrée et qui, lors du pivotement du châssis d'entrée, s'appuie sur le sol de la salle par des roulettes. En position de travail, le châssis de base est soutenu à la fondation par des vis de réglage. Dans le châssis de base, un châssis de roulement à roulettes avec flèche pour la réception des fins de feuillards séparées. L'entraînement s'effectue par un motoréducteur triphasé via une chaîne à rouleaux fixée sur le châssis de roulement. Les fins de course du châssis de roulement sont surveillées par des interrupteurs de fin de course. Un bac de récupération des scories est prévu des deux côtés de la flèche. Pour l'aspiration des gaz formés par la séparation au plasma, des canaux d'aspiration ont d'ores et déjà été prévus dans la table.

Le dispositif de Fraisage transversal :

Le dispositif de fraisage transversal est utilisé comme accessoire pour le fraisage de la nervure normale ou d'un chanfrein en Y (préparation de la soudure) pour le traitement du début et de la fin de la bobine dans une machine de soudage de tubes en spirale. Les deux fins de feuillards sont fraisées l'une après l'autre – pour le début de feuillard, la fraise est pivotée hydrauliquement d'environ 30 mm du bord de fraisage de la fin de feuillard. Un bac de récupération des copeaux pouvant être ouvert hydrauliquement pour le vidage se trouve sous la fraise.

Le dispositif de fraisage transversal est essentiellement constitué des éléments suivants :

- Unité de fraisage avec entraînement et dispositif de pivotement.
- Bac à copeaux ouvrable.
- Fraise avec tête de fraisage à deux rangées

Tableau I-7 : Données techniques générales [5].

Pression de service hydraulique :	160 bars
Largeur de transformation :	jusqu'à 2300 mm
Épaisseur de feuillard :	6 – 25,4 mm
Qualité de feuillard :	max. X 100 selon API 5L
Avance de fraisage selon l'épaisseur du feuillard, la profondeur de fraisage et la qualité du feuillard :	réglable de 0,3 à 3,0 m/min
Profondeur de fraisage :	max. 10 mm

Tableau I-8 : Unité de fraisage : [5].

Puissance nominale :	45 kW
Vitesse de rotation motrice :	1465 t/min
Vitesse de rotation broche :	162 t/min
Diamètre tête de fraisage :	400 mm
Poids total unité de fraisage :	env. 2600 kg

I.3. Zone de contrôle Ultrasonique du matériau de base:

La zone de contrôle Ultrasonic du matériau de base est constituée essentiellement des éléments suivants:

Bâti de base:

Les deux bâtis de base avec les galets de guidage verticaux se trouvent en amont et en aval du contrôle par ultrasons de la substance et sont vissés sur le châssis de base d'entrée. Leur fonction est de guider le passage en hauteur du feuillard pour que les éventuelles ondulations dans le feuillard n'endommagent pas les capteurs. [5]



Figure I-8 : Zone de contrôle Ultrasonique du matériau de base.

Poste d'élimination d'eau:

Le poste d'élimination d'eau assure l'élimination de l'eau de couplage, nécessaire au contrôle par ultrasons, du feuillard qui passe et le recueil de l'eau qui s'égoutte latéralement du feuillard pour la reconduire dans l'installation US.

Ce poste est essentiellement constitué des éléments suivants :

- Lèvre en caoutchouc pneumatique qui est abaissée sur le feuillard lors de l'arrêt de la machine pour que l'eau ne puisse plus retourner dans la zone du soudage des feuillards
- Bac de récupération d'eau sous l'unité complète
- Dispositif de raclage et de soufflage qui sèche la surface du feuillard

Zone des soignements de bande:

Guidage de feuillards :

Dans la zone d'entrée se trouvent deux guide-feuillards chargés de maintenir le feuillard passant

au milieu de la machine. En cas de largeurs de feuillard différentes, les galets de guidage sont automatiquement adaptés à la largeur de feuillard modifiée. [5]

Un guide-feuillard est directement monté en aval du soudage des feuillards. Il est chargé d'assurer que la fin de feuillard non guidée se trouve au milieu, depuis la bobine jusqu'au dispositif de serrage du dispositif de soudage des feuillards. L'autre guide-feuillard est disposé directement en amont de la machine de fraisage des bords longitudinaux. Celle-ci est chargée de centrer le feuillard lors de son passage par la machine de fraisage pour que le rognage de chaque côté du feuillard soit si possible de la même taille.



Figure I-9 : Guidage de feuillards.

Les guide-feuillards sont essentiellement constitués des éléments suivants :

- Barre de guidage soudée
- De chaque côté, deux galets de guidage trempés avec boudin qui sont logés dans un bras de levier.
- Deux dispositifs de serrage hydrauliques avec contre-palier qui pressent les bras de levier contre le feuillard avec les galets de guidage. Les vérins hydrauliques sont équipés d'un système de mesure permettant de mesurer et d'afficher la position du feuillard au milieu.

Dispositif de fraisage des bords longitudinaux de la band :

Le dispositif de fraisage des bords longitudinaux est composé de deux machines de fraisage individuel identiques qui sont montées sur un châssis de base commun. Le châssis de base fait partie du châssis de base d'entrée de la cintreuse et soudeuse de tubes en spirale.

Dans le dispositif de fraisage, le feuillard passant est rogné latéralement sur la largeur avec les chants correspondants pour le soudage. Le 1er poste de fraisage rogne env. 80 % de la largeur excédentaire du feuillard. Le 2ème poste assure le fraisage des 20 % de largeur excédentaire restants et le profil nécessaire pour le soudage.



Figure I-10 Dispositif de fraisage.

Les différentes têtes de fraisage sont chacune disposées dans un bras de levier réglable hydrauliquement. Chaque bras de levier est articulé sur un chariot de fraisage réglable sur la largeur de feuillard et, à l'avant, s'appuie par le haut sur le feuillard par des roulettes (copiage de la hauteur de la fraise). Dans le bras de levier, un dispositif règle les roulettes en hauteur. La position en hauteur de la fraise par rapport au feuillard est ainsi réglée, de même que la hauteur de nervure du profil à fraiser du bord de feuillard.

À l'avant, le chariot de fraisage est également équipé de roulettes sur lesquelles s'appuie le feuillard passant la mise en contact des fraises avec le feuillard (profondeur de fraisage) est effectuée par les chariots de fraisage qui peuvent être déplacés transversalement et individuellement sur le feuillard par des vis à billes et des motoréducteurs réglés.

En amont du 2^{ème} poste de fraisage, le dispositif de fraisage des profils, un système de mesure assure la mesure de la position du feuillard par rapport au milieu de la machine. Si le décalage de la mesure est plus grand que la profondeur de fraisage effective de la fraise de profil, l'unité de fraisage de profil entière est déplacée automatiquement vers le centre du feuillard. Ainsi, les contours de profil fraisés des deux bords de feuillard sont toujours les mêmes. Ceci est nécessaire pour le soudage ultérieur afin de mesurer la forme de joint via des caméras laser.

Sous la zone de travail des fraises et dans le chariot de fraisage se trouvent des ouvertures par lesquelles les copeaux de fraisage parviennent sur un convoyeur de copeaux (1 par poste) et dans des conteneurs placés en face du côté de commande.

Pour remplacer les têtes de fraisage, sur le haut, la zone de travail des fraises est protégée par un couvercle pivotant et surveillée électriquement par des interrupteurs de sécurité.

Au-dessus de chaque poste, un rail est monté au milieu au-dessus des fraises. Équipé d'un palan à chaîne électrique, il permet le montage et le démontage des têtes de fraisage.

Tableau I-9 : Données techniques générales : [5].

Largeur de fraisage :	min. 1 000 mm, max. 2 100 mm
Épaisseur de feuillard max. :	25,4 mm

Raccord hydraulique :	100 bars
Raccord d'air comprimé :	6 bars

Tableau I-10: Fraise de rognage [5].

Puissance d'entraînement par fraise :	40 kW
Opération de fraisage :	Synchronisation
Diamètre de fraisage :	600 mm
Profondeur de fraisage max. :	12 mm
Nombre de plaquettes :	2 x 28 unités

Tableau I-11 : Fraise de profil [5].

Puissance d'entraînement par fraise :	40 kW
Opération de fraisage :	Synchronisation
Diamètre de fraisage :	600 mm
Profondeur de fraisage max. :	8 mm
Nombre de plaquettes :	3 x 18 unités
Profil :	X avec 2 x 30°

**Figure I-11** Fraiseuse de profil.**Nettoyage de feuillard:**

Le nettoyage de feuillard a pour fonction de nettoyer les copeaux de fraisage et la calamine pouvant se trouver sur la partie supérieure du feuillard entrant dans le conducteur. Un ventilateur est installé à cet effet sur le conducteur qui souffle les copeaux résiduels du côté supérieur du feuillard par des conduites, des tuyaux et des buses réglables.



Figure I-12 Nettoyage de feuillard.

Conducteur Principal De La Bande :

Conducteur principal :

Avec le conducteur principal monté en amont du formage, toutes les forces de propulsions nécessaires au processus de fabrication des tubes en spirale sont transmises au feuillard. [5]

Le conducteur principal est constitué d'une cage fermée soudée stable dans laquelle sont logés les deux rouleaux entraînés chacun par un engrenage planétaire. Le cylindre supérieur est serré hydrauliquement par deux pistons plongeurs. La pression de serrage est réglable en fonction de la largeur et de l'épaisseur du feuillard ainsi que de la qualité du matériau. Le cylindre inférieur n'est pas réglable.

Tableau I-12 : Données techniques générales : [5].

Diamètre de rouleau :	670 mm
Vitesse max. :	2,5 m/min
Puissance d'entraînement :	2 x 44 kW
Couple d'entraînement :	2 x 370 000 Nm
Force de pression max. du cyl. supérieur :	8 000 kN
Cylindre de pression Ø :	500 mm
Cylindre de pression levage :	40 mm
Pression hydraulique max. :	200 bars

Dispositif de cambrage des bords de feuillard :

Le dispositif de cambrage des bords de feuillard est monté dans le sens de déplacement du feuillard directement derrière le conducteur principal.

Dans cette unité, lors du passage du feuillard, les bords de feuillard latéraux sont croqués de manière à ce que la remontée sur le tube formé et l'excentricité des deux bords de feuillard à côté de la soudure se situent dans le cadre de la tolérance admise.

L'unité est constituée de deux supports réglables sur la largeur de feuillard. Dans chaque support

sont montés trois rouleaux trempés qui se règlent de manière à ce que le contour nécessaire soit croqué au niveau des fins de feuillard lors du passage. Le réglage des rouleaux dépend de l'épaisseur du feuillard, de la qualité du matériau et de l'angle d'entrée du feuillard. Le réglage des deux supports sur la largeur du feuillard et le réglage en hauteur du rouleau de contre-appui supérieur s'effectuent par des broches à commande électromagnétique équipées d'un système de mesure. Les positions de ces réglages peuvent être enregistrées dans l'API et ainsi être reproduites ultérieurement. Toutes les autres broches de réglage pour le réglage du rouleau inférieur et de cintrage sont exécutées à la main.

Pour compenser les éventuelles tolérances du feuillard et des hauteurs excédentaires desoudure de la soudure transversale, le rouleau presseur supérieur est précontraint par un ensemble de ressorts.

Tableau I-13 : Données techniques générales : [5].

Largeur de feuillard :	1 100 à 2 000 mm
Diamètre de rouleau :	300 mm
Force de pression du rouleau presseur supérieur :	250 kN

les bras de guidage de feuillard :

Les bras de guidage de feuillard sont constitués de trois paires de barres qui sont montées entre le conducteur principal et le formage. Chaque paire de barres est constituée d'une barre revêtue de plastique montée sous le feuillard et d'une autre montée sur le feuillard. Celle-ci empêche le fléchissement du feuillard poussé par le conducteur principal vers le formage.



Figure I-13 : Les bras de guidage de feuillard superficiels.

Les deux paires de barres extérieures sont déplaçables transversalement en fonction de la largeur de feuillard. Les barres sont réglables dans la longueur pour les différents angles d'entrée ou largeurs de feuillard. Les barres inférieures sont réglables en hauteur sur la hauteur de passage du feuillard et en cas d'usure. Il en va de même pour les barres supérieures qui peuvent également être pressées sur le feuillard par des tendeurs.

Dispositif de Formage:

Corps de forme:

Le corps de forme est en forme de horloge a pour fonction de maintenir dans sa géométrie la boucle tubulaire de formée dans le système de cintrage à trois cylindres. Le guidage de la boucle tubulaire

est pris en charge par une cage de roulement. La cage de roulement est constituée de plusieurs barres qui sont réglables sur le diamètre de tube via un moteur. La position réglée des barres peut être enregistrée avec le diamètre de tube correspondant dans le terminal du pupitre de commande. En position de travail, les barres sont tendues hydrauliquement sur leurs bases. Sur les barres se trouvent les galets de guidage montés sur des roulements qui sont réglables en hauteur individuellement et réglables ensemble pour chaque barre à l'angle correspondant du dénivelé du tube. La cage de roulement est tendue sur le côté ouvert par un tendeur avec le châssis du système de cintrage à trois cylindres.



Figure I-14 : Corps de formage.

Le **corps de forme** est essentiellement constitué des éléments suivants :

Support soudé avec réceptacles et réglage en hauteur pour la flèche et la surface de vissage pour la poutre 9h00

Flèche soudée avec surfaces de vissage pour les poutres 10h30, 12h00 et 1h30

poutre 9h00, 10h30, 12h00 et 1h30 avec galets de guidage montés sur des roulements et dispositifs de réglage pour le réglage du dénivelé et du diamètre de tube.

Tendeur avec broche en pas à droite et à gauche et dispositif de serrage hydraulique.

Système de cintrage à trois cylindres :

Le feuillard entrant est transformé en tube dans le système de cintrage à trois cylindres. Le feuillard poussé par le conducteur principal est transformé par les rouleaux de formage du bras intérieur et des rouleaux des poutres 5h30 et 6h30 de manière à obtenir le diamètre de tube correspondant. Les différentes barres sont équipées de toutes les possibilités de réglage nécessaires:

Les possibilités de réglages sont les suivantes:

- ❖ **poutre 5h30** – Réglage longitudinal et transversal de la barre complète, réglage de l'angle des rouleaux de formage, réglage en hauteur des différents rouleaux de formage. Tous les réglages, sauf le réglage transversal, sont effectués manuellement.
- ❖ **poutre 6h30** – Réglage longitudinal et transversal de la barre complète, réglage en hauteur du rouleau de formage complet et de chaque rouleau de formage, réglage pivotant des rouleaux de formage complets sur le milieu du tube, réglage de l'angle des rouleaux de formage. Tous les réglages, sauf le réglage transversal, sont effectués manuellement.

- ❖ **bras intérieur (6h00)** – Réglage en hauteur motorisé du bras intérieur complet (en parallèle et incliné), réglage de l'angle des rouleaux de formage, réglage en hauteur des différents rouleaux de formage.
- ❖ L'**unité complète** peut ajuster hydrauliquement à la largeur de feuillard correspondante dans le sens horizontal sur l'axe du tube.

Le **système de cintrage à trois cylindres** est essentiellement constitué des éléments suivants :

- ◆ Cadre soudé fixé dans la fondation avec guidages longitudinaux pour la cage de ramassage et fixation pour le vérin de déplacement ainsi que perçages pour raccorder le châssis d'entrée
- ◆ Cage de ramassage soudée résistante avec perçages pour les bras intérieurs, surface traitées pour la fixation des poutres 6h30 et 5h30 et corps de forme ainsi du perçage pour raccorder le châssis de sortie.
- ◆ Bras intérieur avec système de direction pour le réglage en hauteur et trous filetés avec les chapes vissées pour recevoir les rouleaux de formage montés sur des roulements
- ◆ poutre 6h30 avec chapes vissées pour recevoir les rouleaux de formage montés sur des roulements et des dispositifs de réglage
- ◆ poutre 05h30 avec chapes vissées pour recevoir les rouleaux de formage montés sur des roulements et des dispositifs de réglage

Rouleaux de formage en matériau ultra résistant à l'usure dont le logement est constitué de paires de paliers à roulement pré-réglés spéciaux.

Tableau I-14 : Données techniques générales : [5].

Diamètre des rouleaux de formage :	225 mm
Force de flexion barre 6:00 :	4 200 kN

Chassis de sortie :

Le châssis de sortie complet se compose au total de trois châssis individuels. Les différents châssis sont vissés ensemble sur la face frontale via des plaques de bridage. Sous ces dernières se trouvent les galets d'appui sur lesquels s'appuient les châssis des segments faisant partie de la fondation. Sur les châssis se trouvent toutes les surfaces et perçages nécessaires au montage et au démontage des différents éléments. Sur le premier châssis en aval du formage est fixé le vérin pivotant hydraulique qui assure le réglage de la fente de soudage. Sur la partie avant du châssis est monté un timon mobile à serrage hydraulique. Le timon est fixé sur la base du poste de formage par un boulon au niveau du point de soudage. Ainsi, en cas de modification de dimensions, le pivot du châssis de sortie se trouve toujours sous le point de soudage.

Section De Soudage:

Commande de la fente de Soudage :

Avec la commande de la fente de soudage, la fente pré réglée par l'opérateur est maintenue constante pour le soudage du feuillard entrant avec la boucle tubulaire déformée. Deux galets palpeurs sont montés en amont du point de soudage sur le bord de feuillard entrant et un galet palpeur est monté sur la boucle tubulaire qui arrive. Ces galets sont pressés contre le bord de feuillard ou la boucle tubulaire par la pression de ressort au moyen d'un système à ciseaux. Entre les deux bras de cisaille, un système de mesure de course linéaire est monté qui mesure l'écart entre le bord de feuillard entrant et la boucle tubulaire qui arrive. En cas de modification de la fente, le tube est pivoté en arrière en « mode automatique » via la lunette de commande par pivotement du châssis de sortie sur la fente pré réglée pour que la fente réglée reste constante. La plage de pivotement du châssis de sortie est de $\pm 1,5^\circ$. Le décalage de la position du vérin pivotant par rapport à la position zéro est indiqué sur le pupitre de commande. Le vérin pivotant est équipé d'un système de mesure. [5]



Figure I-15 : Commande de la fente de soudage.

En mode Manuel, le pivotement du châssis de sortie est effectué manuellement par les touches de commande se trouvant sur le boîtier de contrôle sur place.

L'unité complète s'ajuste manuellement à la largeur de feuillard et au diamètre de tube correspondant via des commandes à broches.

Poste de soudage extérieur:

L'équipement de soudage SAW pour le soudage de la soudure extérieure est monté sur le poste de soudage extérieur. Le poste de soudage extérieur est relié au châssis de sortie par des guidages linéaires. Par la roue dentée et la crémaillère, le poste de soudage est ajusté dans le sens de la longueur du tube au dénivelé du tube correspondante via un entraînement électromécanique. La flèche, sur laquelle est monté l'équipement de soudage, se trouve sur le support. La flèche est reliée au support par des guidages linéaires et sa hauteur est ajustée au diamètre de tube correspondant avec la broche et l'entraînement électromécanique.



Figure I-16 : Poste de soudage extérieur.

Pour effectuer des travaux de réglage sur l'équipement de soudage, une plateforme de travail mobile se trouve au niveau de la flèche.

Support de soudage:

Sous le point de soudage se trouve le rouleau de déplacement à soulèvement et abaissement hydrauliques. Ces rouleaux ont pour fonction de soutenir les deux bords de feuillard de manière à ce que ceux-ci puissent être vissés sans décalage. Le réglage de ces rouleaux permet également, dans une certaine mesure, de corriger le diamètre du tube.

Tests de cordon de soudure par ultrasons :

L'équipement ultrasons pour contrôler la soudure extérieure est monté sur le poste ultrasons. Le poste US est relié au châssis de sortie par des guidages linéaires. Par la roue dentée et la crémaillère, il peut être ajusté dans le sens de la longueur du tube au dénivelé du tube au moyen d'un entraînement électromécanique. La flèche, sur laquelle est monté l'équipement à ultrasons, se trouve sur le support. La flèche est reliée au support par des guidages linéaires et sa hauteur est ajustée au diamètre de tube correspondant avec la broche et l'entraînement électromécanique. :[5]

Pour effectuer des travaux de réglage sur l'équipement à ultrasons, une plateforme de travail mobile se trouve du côté de la commande.

Tableau I-15 : Données techniques générales : [5].

Course dans l'axe longitudinal du tube :	2 500 mm
Réglage en hauteur :	1 660 mm

Section guide de tube :

Lunette auxiliaire :

La lunette auxiliaire est disposée sur la première partie du châssis de sortie. Sa fonction est de soutenir la ligne de tube qui vient d'être formée, jusqu'à ce que cette dernière soit reprise par la lunette de commande. :[5]

La lunette auxiliaire est constituée du bâti de base et des deux galets porteurs montés sur des roulements et réglables manuellement au diamètre et au dénivelé de tube.



Figure I-17 : Lunette auxiliaire.

Lunette de commande:

La lunette de commande est également disposée sur la première partie du châssis de sortie. La tube repose sur deux galets porteurs dans la lunette de commande. Les deux galets peuvent être ajustés d'une part au diamètre de tube au moyen de broches actionnées par un moteur électrique et d'autre part au dénivelé au moyen d'un mouvement rotatif manuel de l'unité de saisie des rouleaux.

Les entraînements pour le réglage du diamètre sont équipés d'un système de mesure. La position des rouleaux réglés peut être enregistrée pour être reproduite ultérieurement.

La lunette de commande fait également partie intégrante de la commande de la fente de soudage. En cas de modifications de la fente de soudage, le tube se trouvant dans la lunette de commande est saisi par le déplacement du châssis de sortie et modifie ainsi l'angle entre le feuillard entrant et le tube.



Figure I-18 : Lunette de commande.

Support de tubes :

Devant le chariot de séparation se trouvent deux supports fixes et derrière le chariot de séparation, un support de tube à abaissement hydraulique. Les supports de tubes ont pour fonction de porter le tube soudé de la lunette de commande aux abaisseurs de tubes. Sur chaque support de tubes se trouvent deux galets porteurs sur lesquels repose le tube. Ces galets porteurs peuvent être ajustés d'une part au diamètre de tube correspondant au moyen de broches et d'autre part au dénivelé correspondant au moyen d'un mouvement rotatif manuel du support de roulement. Pour que les galets porteurs n'exercent pas de pression sur le tube, le support de roulement est logé de façon flottante.



Figure I-19 : Support de tubes.

Section séparation de tube :

Le dispositif de séparation est monté sur la deuxième partie du châssis de sortie à l'arrière côté commande de la machine et a pour fonction de séparer la ligne de tube produite en continu aux longueurs de tube prescrites. La séparation s'effectue via le dispositif de séparation de plasma. La torche à plasma montée sur un chariot mobile dans l'axe longitudinal du tube est serrée pneumatiquement contre le tube et se déplace à la vitesse longitudinale du tube, jusqu'à ce que le tube individuel soit séparé de la ligne de tube (1 tour de tube). Un galet de copiage réglable, mis en contact avec la torche, assure l'écart constant entre la torche et la surface de tube. La vitesse de consigne du chariot lors du processus de séparation est transmise sur l'entraînement de chariot (servomoteur réducteur, roue dentée et crémaillère) par un capteur électronique qui enregistre la vitesse réelle du tube. :[5]

Sur le chariot, la torche peut être ajustée en hauteur ou au diamètre de tube avec une manivelle via un entraînement à broche.

Le **dispositif de séparation** est essentiellement constitué des éléments suivants :

- Bâti de base soudé avec guidages linéaires pour la réception du chariot de déplacement
- Chariot de déplacement avec guidage et l'entraînement à broche pour le passage de la torche.
- Unité d'entraînement pour le chariot de déplacement, composé d'un servomoteur réducteur, d'une roue dentée et d'une crémaillère
- Support de torche avec dispositif de serrage pneumatique de la torche à plasma
- Paroi de protection contre les étincelles de l'autre côté du tube
- Balai de masse à mise en place pneumatique pour l'installation de séparation à plasma.

Dispositif d'abaissement de tubes :

Sur la dernière partie du châssis de sortie se trouvent les 4 dispositifs d'abaissement. Ils ont pour fonction de soutenir le tube séparé et de le positionner de façon à ce qu'il roule latéralement de la machine côté fixation sur la grille de sortie après l'abaissement.

Les dispositifs d'abaissement sont constitués d'une tringlerie à levier qui peut être soulevée et abaissée hydrauliquement. Sur la tringlerie se trouvent les deux galets porteurs sur lesquels le tube est déposé ou soutenu. Ces galets porteurs peuvent être ajustés d'une part au diamètre de tube correspondant au moyen de broches et d'autre part au dénivelé correspondant au moyen d'un mouvement rotatif manuel du support de rouleau. Pour que les galets porteurs n'exercent pas de pression sur le tube, ils sont alignés de façon flottante.

Pour transporter le tube latéralement hors de la machine sans entraves, il faut qu'il y ait suffisamment d'espace entre la fin de tube séparée et le début du nouveau tube arrivant. À cet effet, un galet porteur est entraîné pour chaque abaisseur, faisant avancer le tube séparé à l'écart souhaité. Ensuite, le tube est abaissé sur la grille de sortie.

Grille de sortie :

Sur les 4 grilles de sortie inclinées qui sont fixées sur la fondation et alignées au-dessus du châssis de sortie, les tubes coupés aux longueurs souhaitées roulent jusqu'aux inserts du nettoyage des tubes. Les tubes arrivent sur les grilles de sortie par abaissement du dispositif d'abaissement.



Figure I-20: Grille de sortie.

✓ Zone visuelle :

A ce niveau, les opérations suivantes sont réalisées :

- Contrôle de l'aspect visuel de la tôle et du cordon.
- Contrôle dimensionnel (longueur, diamètre, épaisseur).
- Elimination par meulage de certains types de défauts.
- Transcription de ces informations sur la carte suiveuse du tube.
- (Signalisation des opérations qui sont réalisées sur le tube)

✓ Zone de réparation :

Equipée de deux postes à soudage manuel pour réaliser toutes les réparations de défauts préjudiciables de la soudure, signalés en amont par le contrôle visuel.



Figure I-21 : réparation des défauts manuellement

- **Tronçonneuse des tubes :**

Cette machine est utilisée pour l'oxycoupage des tubes suivant les instructions du contrôle visuel et figurant sur la carte suiveuse de tube.

- **Banc d'essais hydrostatique :**

Cette installation sert éprouver les tubes a pressionéquivalentes a 90 % du taux de travail de l'acier utilisé, cette opération a pour but de vérifier d'une part l'étanchéité du tube, et d'autre part le comportement du tube lors de la montée en pression (résistance de la tôle et du cordon de soudure).



Figure I-22: La machine d'essais hydrostatique

- **Deux chanfreineuses des tubes :**

Pour permettre l'opération de soudage manuel, le tube est chanfreiné sur cette installation suivant les normes de travail. L'angle obtenu est en général de 30° à 35° avec un talon de 1.5mm.



Figure I-23: Vue de la chanfreineuse de tubes.

- **Machine de contrôle ultrason automatique :**



Figure I-24: machine de contrôle ultrason automatique

Le cordon de soudure est contrôlé par une machine électrique à émission ultrason à l'aide de deux (02) palpeurs à angle situés de part et d'autre de cordon de soudure. La tôle est également contrôlée par un palpeur plan en mouvement de translation entre les deux spires.

- **machines de contrôle radiographique et radioscopique :**

Chaque défaut de soudage repéré à l'ultrason automatique, fait l'objet d'une première radiographie au rayon X. un second appareillage radiographique, identique au précédent et spécialisé au prise de la radiographie des soudures d'extrémités, la radioscopie utilise un écran fluorescent visualisant les défauts, mais la radiographie ; elle utilise des films de radiographie. Ces installations sont isolées par un écran de plomb, permettant la protection des personnels contre les rayons X.

✓ **Zone de contrôle final :**

Au niveau de ce stand, les opérations suivantes sont réalisées :

- contrôle visuel et dimensionnel.
- Vérification de la carte suiveuse du tube, 02 cas peuvent se présenter :

-le tube ne comporte pas des défauts et les opérations mentionnées sur la carte suiveuse sont réalisées, dans ce cas la tube reçoit un numéro d'expédition et suit son chemin au parc de stockage.

-Le tube comporte un défaut ou bien l'opération mentionnée sur la carte n'a pas été réalisée, dans ce cas le tube retourne en atelier pour subir les prestations manquantes.

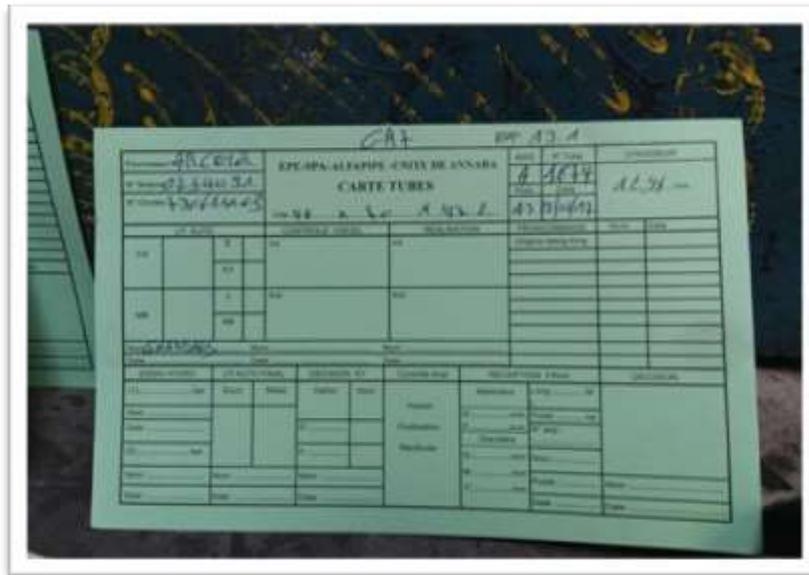


Figure I-25: la carte du tube

I.4. Fabrication de tubes :

La matière première de fabrication sous forme de bobines est importée de l'étranger (Allemagne ou France).



Figure I-26: stocke des bobines non préparée

Elle comprend deux phases principales :

- ✓ Le formage et soudage des tôles (bobines).
- ✓ Le parachèvement des tubes.

Formage des bandes :

Le formage en hélice est obtenu par l'introduction de la bande dans une cage à galets au diamètre et à l'angle de l'hélice des tubes à fabriquer ; l'effort poussant est transmis à la bande par deux pinch-Rolls entraînés par un ensemble moto réducteur de 45 kW.

Moyennant certains réglages, d'ailleurs très limité le temps, ce type de cage permet de passer toutes les épaisseurs de 5 à 15mm et toutes les bandes de 600 à 1800 mm pour une gamme de diamètre s'étendant du 16" au 48" soit de 406 à 1220mm.

Soudage des bandes :

Une fois enroulées en hélice, les bandes sont soudées par un procédé dit à l'arc immergé sous flux deux passes successives, l'un à l'intérieur du tube, à l'accostage des rives, l'autre d'extérieur, une demie spire plus loin.

La préparation des bords pour soudage se fait sur le châssis amont de la machine ou sont fixés les dispositifs de planage de la tôle, de cisailage et de chan-freinage. Avec l'emploi de bobine importée comportant des risques d'oxydation de la tôle, la machine est de plus équipée de dispositifs de brossage énergétique de la face intérieur du tube après chan-freinage.

Lors du soudage, l'accostage des rives est contrôlé par un système automatique de réglage de la fente de soudage, la machine conçue pour passer des bandes présentant un cambrage de l'ordre de 25 mm sur une longueur de 10 m.

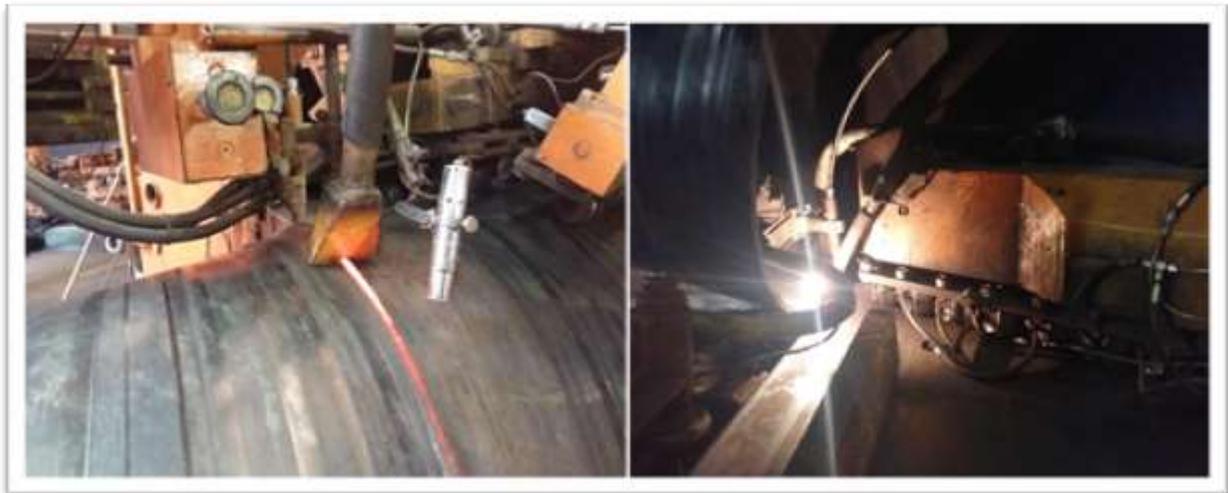


Figure I-27: soudage extérieur et int de tube

Oxycoupage des tubes :

Lorsque le tube a atteint sa longueur programmée, il aura un oxycoupage automatique sur le châssis arrière de la machine spirale, puis évacué sur grilles de stockage.



Figure I-28 :Oxicoupage par chalumeur et par plasma

I.5. Revêtement des tubes :

Revêtement extérieur :

Domaine d'application :

- Canalisation enterrée ou posée en surface.
- Canalisation émergée en eau douce ou salée. Le revêtement est constitué de :
 - Une couche de résine époxydique appliquée par pulvérisation électrostatique de 50 à 80 microns d'épaisseur.
 - Une deuxième couche en copolymère destiné à assurer l'adhérence polyéthylène.
 - Une couche de polyéthylène extrudé.

Les avantages de revêtement extérieur en polyéthylène se caractérisent par une grande inertie chimique, une excellente adhérence de revêtement sur le corps de l'acier, un apport au réseau d'une résistance fiable vis-à-vis des sols agressifs et des courants vagabonds.

Revêtement intérieur :

Il se fait en résine époxy pour les tubes destinés au :

- Transport et à la distribution du gaz sec.
- Transport du gaz humide, d'eau potable brute et industrielle.

L'aspect du revêtement est brillant, lisse et répond aux exigences de la norme API RP 51E



Figure I-29: Revêtement extérieur et intérieur du tube.

I.6. Contrôle qualités des tubes :

Contrôle de fabrication en ligne:

De façon effectuer un contrôle sérieux des qualités dimensionnelles des tubes, des stands de contrôle dimensionnel et visuel ont été implantés derrière les machines spirales et après essai hydrostatique, afin d'obtenir un suivi systématique de la qualité de chaque tube, aux différents points de vue longueur, diamètre, rectitude, ovalisation, effet de toit des soudures, aspect extérieur des cordons, état du métal de base.

De plus, compte tenu des exigences imposées par l'industrie pétrolière les opérations de contrôle du métal de base et de cordon de soudure sont très poussées et ont requis la mise en place à la turberie d'un laboratoire d'essais mécaniques et l'installation dans l'atelier d'un matériel de contrôle non destructif important.

Contrôle destructif et essais de laboratoire :

Ces contrôles portent essentiellement:

- D'une part, sur la qualité du feuillard.
- D'autre part, de la soudure obtenue à la machine à souder en spirale.

Ces différents contrôles nécessitent le découpage d'un grand nombre d'éprouvettes sur bobine et sur tubes à tous les niveaux de fabrication. Leur conditionnement se fait au niveau du laboratoire sur machine outils.

a- Qualité de feuillard: Les hautes caractéristiques demandées aux bobines requièrent un contrôle sévère des qualités du métal employé :

- Contrôle des caractéristiques mécaniques des bobines d'une même coulée, principalement limite élastique (E), limite de résistance à la traction (R) et allongement, ces contrôles se font sur tête de bobine avant formage et sur tubes après formage.
- Contrôle de l'analyse chimique du métal suivant les différents critères de soudabilité.

b- Qualité du joint soudé :

- Contrôle des caractéristiques mécaniques, principalement limite de résistance à la traction transversale et essai pliage.
- Prises de macrographies et micrographies assurant le suivi des réglages des variables de soudage des machines.

Contrôles non destructifs en ligne :

Ces contrôles mettent principalement en œuvre les techniques ultrasonique, radiographique et radioscopique.

a- Contrôle des têtes de bande :

La recherche des défauts des têtes de bande, en particulier des doubles laminages, se fait à l'aide d'appareils manuels à ultrasons au niveau de la machine de préparation des bobines.

b- Contrôle continu du cordon de soudure sur la machine spirale :

La recherche des défauts internes du cordon de soudure, en particulier inclusions gazeuses et fissures, se fait à l'aide d'un appareillage à ultrasons automatique sur la machine spirale. Deux capteurs émetteur récepteurs disposés de chaque côté du cordon et en contact avec le tube, testent la soudure et déclenchent des jets de peinture au droit des défauts hors tolérance.

Cette localisation des défauts éventuels facilitera la recherche de leur importance et de leur type par radiographie.

c- Radiographie des défauts de soudage :

Chaque défaut de soudage repéré aux ultrasons automatique sur la machine spirale est l'objet

d'une radiographie aux rayons X, l'appareillage de prise de radiographie est disposé en fosse et permet le traitement de 30 films/heure.

L'interprétation des films peut conduire à la réparation du défaut par gougeage et soudage manuels.

Les défauts réparés manuellement font tous l'objet d'une nouvelle radiographie qui a pour but de constater la qualité de la réparation.

L'appareillage de radiographie est complété par l'équipement de radioscopie qui permet de suivre en continu la qualité du cordon de soudure sur un écran de télévision, cette opération se pratique en particulier lors des sondages à 100% de la qualité des soudures ou lors de l'étalonnage des installations de contrôle automatique de la soudure aux ultrasons.

d- Radiographie des soudures d'extrémités de tube:

Un second appareillage de radiographie, indiqué à la première cité, est spécialisé dans la prise de radiographie des soudures d'extrémités.

Il est en effet important de pouvoir livrer des soudures d'extrémités très saines et éviter des défauts risquant d'apparaître au moment de la réalisation des soudures de chantier.

Il s'agit donc là d'un suivi systématique de la qualité des extrémités des cordons de soudures qui par ailleurs ont déjà été testées à l'ultrason automatique.

e- Contrôle ultrasonique des extrémités de tubes:

Dans le même esprit, le métal de chaque extrémité de tube est testé à l'aide d'appareils à ultrason manuels de façon à localiser puis écarter par oxycoupage tout défaut de laminage tel que dédoublement ou feuilletage.

f- Essais hydrostatiques :

Conformément aux règlements de sécurité des gazoducs et oléoducs actuellement en vigueur, chaque tube produit est éprouvé à une pression correspondant à un taux de travail d'environ 90% de sa limite élastique.

Cette épreuve est faite avant radiographie des extrémités de tubes et doit permettre de faire apparaître éventuellement les fissures de cordons des soudures qui n'auraient pas été détectées par ultrason.

Elle a d'autre part, comme conséquences favorables, de normaliser les tensions internes du métal du tube et de relever légèrement les valeurs de la limite élastique.

Cette épreuve se fait sans expansion proprement dite, le procédé de formage en spirale permettant d'obtenir des tubes très ronds.

- Caractéristique de l'installation d'essais hydraulique :

- Pression d'épreuve maximale : 210 bars.
- Pompe basse pression de 6000 m³/h.
- Longueur des tubes pouvant être éprouvés : 7 à 15 m.
- Diamètre des tubes : jusqu'à 48".
- Effort de serrage des plateaux sur tube contrôlé par balance hydraulique.
- Enregistrement graphique des épreuves.
- L'ensemble de l'appareillage est disposé en fosse. [1]



Figure I-30 Résultat del'essai hydrostatique se forme graphe.

I.7. Présentation du département maintenance:

Processus maintenance :

Le processus Maintenance est constitué de différentes fonctions qui peuvent être classées en deux catégories :

Les fonctions de base :

- ✓ La Préparation
- ✓ L'ordonnement
- ✓ La programmation des réparations
- ✓ L'approvisionnement et la distribution des moyens nécessaires.
- ✓ La réalisation des travaux de maintenance
- ✓ La collecte des informations sur les réparations.
- ✓ La collecte des informations sur les pannes.

Les fonctions complémentaires :

- ✓ Les études d'amélioration.
- ✓ La planification et la standardisation de la programmation des travaux.
- ✓ La gestion budgétaire.

– Préparation

La préparation des travaux nécessite le plus de rigueur possible dans la collecte des informations pour définir le triplet « symptôme, cause et remède de panne ». Les informations peuvent être collectées par plusieurs intervenants avec pour support la GMAO mais nécessitent toujours rigueur et objectivité.

-Analyse de panne : l'application d'une méthodologie d'analyse de panne est conseillée pour diminuer le temps de réparation : une procédure basée éventuellement sur une méthodologie (5 pourquoi, QQQCP) est préconisée. Dans le cas où l'entreprise a mis en place une GMAO, l'utilisation de l'AMDEC (analyse des modes de défaillances selon leurs effets et leur criticité) sera un outil très performant.

- Ordonnement

La fonction d'ordonnement permet d'organiser le travail à réaliser :

- prévoir la chronologie du déroulement des différentes tâches de maintenance,
- optimiser les moyens nécessaires en fonction des délais,
- ajuster la charge,
- contrôler l'avancement et la fin des travaux,

- analyser les écarts entre les prévisions et les réalisations,
- avoir une vision à long terme (plan de charge annuel), à moyen terme et à court terme.

Planification de la maintenance

Elle Comporte:

- ✓ La préparation
- ✓ L'ordonnancement
- ✓ La programmation des réparations
- ✓ L'approvisionnement et la distribution des moyens nécessaires.

Les trois premières fonctions « La préparation, L'ordonnancement, La programmation Des réparations) sont intimement liées avec la quatrième fonction (L'approvisionnement et la distribution des moyens nécessaires) et l'une agit directement sur les autres.

La programmation des travaux de maintenance doit assurer :

- Le suivi de l'état technique des installations,
- L'élaboration des listings des travaux,
- La préparation des travaux.

Elle se trouve complétée par :

- L'approvisionnement et la distribution des ressources,
- L'élaboration du planning de lancement des travaux

le suivi de l'état technique des installations :

Le suivi et la gestion de l'état technique des installations constituent la première tâche du département de maintenance. Cette tâche se situe en amont de tout le processus de la programmation des travaux.

Des visites journalières d'inspection sont assurées par le technicien de zone.

Il utilise pour cela un support appelé « planning de visite » par zone et par spécialité, indiquant :

- Les points à contrôler
- La fréquence de contrôle (périodicité)
- Fiche de visite:

Après la visite, le technicien de zone établit un listing de l'état technique des équipements suite :

- inspections
- incidents
- réparations La fiche de visite comporte:
 - ✓ L'unité : fabrication, revêtement intérieur, revêtement extérieur.
 - ✓ La spécialité et le code spécialité : mécanique, électrique, hydraulique, électronique,
 - ✓ L'installation
 - ✓ Le sous-ensemble
 - ✓ L'imputation [4]
 - ✓

Préparation des travaux :

Sur la base de la fiche de visite, il sera procédé à :

a) la détermination des ressources :

- humaines
- matériels
- documentaires
- budgétaires

Pour l'effectuer, le technicien de zone fera appel à son expérience propre, aux informations recueillies à la faveur d'opérations similaires et par référence aux standards existants.

b) La vérification de la disponibilité des ressources :

Le préposé à cette tâche devra faire l'inventaire des ressources disponibles et programmer l'acquisition de celles qui ne le sont pas encore.

Approvisionnement et distribution des ressources :

La disponibilité de la PDR constitue un préalable à toute action de maintenance.

L'importance de l'approvisionnement des PDR est capitale. Les structures chargées de l'approvisionnement des ressources assurent :

- L'expression des besoins en affinant les prévisions,
- La gestion des stocks en corrigeant les paramètres de gestion,
- Le suivi des achats,
- Le stockage (magasinage),...etc.

Planning de lancement :

Le planning des travaux à réaliser sera élaboré.

Les actions figurant sur le listing des travaux et ne pouvant être réalisées par manque de ressources, seront planifiées en fonction des dates prévisionnelles d'acquisition des moyens.

Contrôle et réception :

Une fois les travaux lancés, il convient de suivre leur déroulement pour, éventuellement, décider de la conduite à tenir en cas d'imprévu. A l'issue de la réalisation des travaux, l'installation réparée devra être réceptionnée (fiche de réception) après essai de bon fonctionnement.

Exécution des travaux de maintenance:**Travaux programmes (maintenance systématique):****a) préparation :**

Après réception des demandes de travail (BT, DI) et du planning, l'Exécution est chargé de:

- Vérifier la faisabilité des travaux.
- Vérifier la disponibilité des PDR et des outillages spéciaux.
- Désigner les agents.
- Les doter en outillage nécessaire.
- Déterminer les mesures de sécurité à prendre.

b) Exécution du travail :

L'exécution doit être conformément au planning et selon les règles de l'art, en relation avec les responsables de la zone.

Face à des situations imprévues, des mesures seront prises avec les responsables de la zone concerné afin d'éviter des arrêts intempestifs et une surconsommation de PdR.

dépannage (maintenance corrective) consiste à remettre en état de marche une installation qui s'est arrêtée suite à une anomalie quelconque.

Le dépannage (maintenance corrective) est une fonction immuable de la maintenance.

Il peut être réduit à des seuils acceptables grâce à la mise en œuvre de la maintenance préventive, mais il ne peut pas disparaître complètement.

Contrôle et collecte des informations:

La collecte des informations sur les travaux effectués suite à réparation ou panne, se fera sur la base des documents suivants :

- Les bons de travail (BT)[4].
- Les demandes d'intervention (DI).
- Les bons d'incidents (BI).
- Les carnets de quart (carnets de poste).
- Les rapports d'intervention suite à panne.

Ces informations doivent être relevées par le responsable de la zone concernée et contrôlées par la suite par l'ingénieur de spécialité.

Amélioration élémentaire

Pour un bon fonctionnement, il est capital d'en assurer le Feed-back (retour d'informations). Ces informations recueillies relatives aux travaux réalisées, aux pannes et à l'état techniques des équipements doivent être traitées et permettre des améliorations au niveau de la programmation des travaux.

La prise en charge des fonctions de base constitue une condition sine qua non avant de prétendre à l'atteinte des stades évolués de maintenance. Le fait de réduire les pannes tant en amplitude qu'en fréquence, et réaliser les travaux de maintenance suite à inspection concourra à enregistrer des résultats plus appréciables.

Organigramme maintenance ALFA APIPE :

L'entreprise est dotée d'un organigramme pour le département de maintenance (Figure I.16) [4]. Le service le plus important reste les méthodes car elles doivent programmer les opérations de maintenance. Pour la réalisation, 3 services assurent les demandes. Il s'agit de services des 3 spécialités (Mécanique, Electrique et Maintenance spécialisée). Cette dernière assure des activités propres au processus de fabrication des tubes comme le déroulement des bobines et les opérations d'oxycoupage.

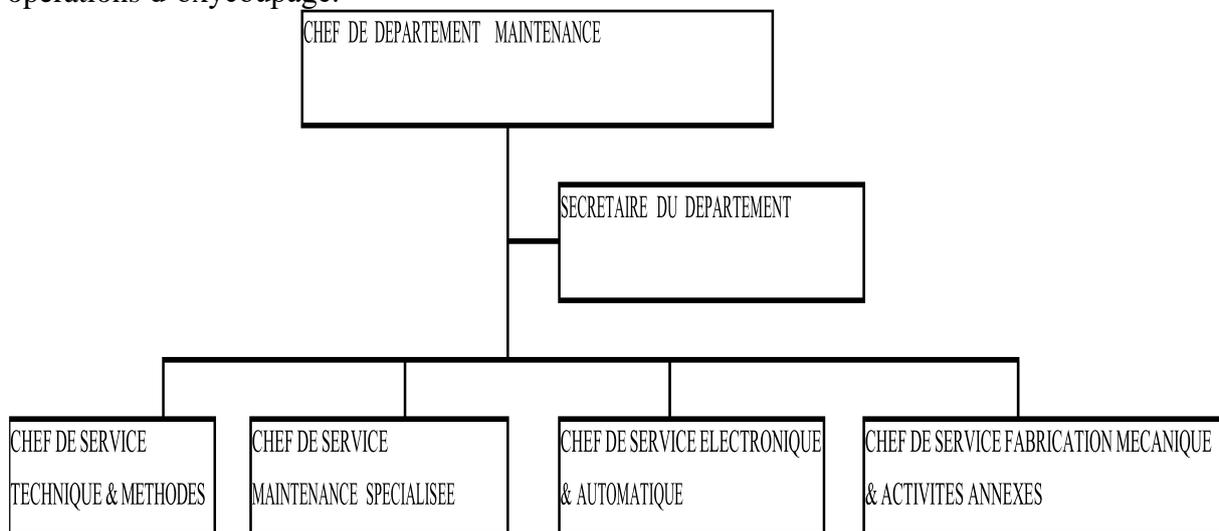


Figure I-31: Organigramme service maintenance ALFA PIPE.

I.8. Certifications:

QUALIFICATIONS :

ALFAPIPE Tuberie de Ghardaïa est certifiée API Q1 et ISO 9001 depuis le 02 janvier 2001.
Le tube fabriqué par ALFAPIPE Tuberie de Ghardaïa est certifié API SL.

REGISTRATION NO. TS-0314

Certificate of Registration

The American Petroleum Institute certifies that the quality management system of

ALFAPIPE-TUBERIE DE GHARDAIA
Zone Industrielle de Boumoura
Ghardaia
Algeria

has been assessed by the American Petroleum Institute and found to be in compliance with the following:

ISO/TS 29001

The scope of this registration and the approved quality management system applies to the

Manufacture and Coating of Line Pipe

API accredits the organization's certification for registering

Section 7.3, Design and Development

Effective Date: July 14, 2008
Expiration Date: July 14, 2011
Registered Since: June 11, 2007

W. De Witte
Manager of Operations, API

API ISO/TS 29001 Registered

REGISTRATION NO. Q1-0499

Certificate of Registration

The American Petroleum Institute certifies that the quality management system of

ALFAPIPE-TUBERIE DE GHARDAIA
Zone Industrielle de Boumoura
Ghardaia
Algeria

has been assessed by the American Petroleum Institute and found to be in compliance with the following:

API Specification Q1

The scope of the registration and the approved quality management system applies to the

Manufacture and Coating of Line Pipe

API approves the organization's certification for executing

Section 7.3, Design and Development

Effective Date: July 14, 2008
Expiration Date: July 14, 2011
Registered Since: June 11, 2007

W. De Witte
Manager of Operations, API

API Spec Q1 Registered

II. Chapitre II

Généralités Sur les Compresseurs



Introduction

Les turbomachines sont aujourd'hui utilisées dans des nombreux domaines, comme la production d'énergie, l'automobile, la propulsion aéronautique, ... Leur fonctionnement est basé sur le transfert d'énergie entre une partie mécanique tournante et un fluide. Cet échange peut être à la fois génératif (compresseur, pompe) comme réceptif (turbine).

II.1. Historique

Les premiers compresseurs, qui découlaient de la construction des machines à vapeur, étaient en disposition horizontale avec une ou deux lignes de cylindres disposées de part et d'autre d'un volant ou d'un moteur. Vers le milieu du 19^e siècle, la connaissance des grands principes de la thermodynamique permit de voir l'intérêt d'une compression multi-étage, avec refroidissement intermédiaire. À la fin du 19^e siècle, les constructeurs souhaitaient augmenter les vitesses de rotation afin de diminuer l'encombrement et d'augmenter les performances de ces machines. On vit alors la nécessité d'utiliser des clapets automatiques. Hanns Hörbiger, en 1895, à Vienne, rendit possible le souhait des constructeurs en leur proposant les premiers clapets automatiques. L'augmentation de la vitesse de rotation du vilebrequin obligea à repenser la composition de la structure, pour des raisons d'équilibrages des efforts. [1]

II.2. Définition

Un compresseur est une machine qui réduit le volume et accroît ainsi la pression d'une quantité d'air donnée par des moyens mécaniques. L'air ainsi comprimé possède une énergie potentielle élevée, lorsque l'on supprime la pression extérieure, l'air se dilate rapidement. La force d'expansion de l'air comprimé a de nombreuses applications.

II.3. But de la compression

La compression en général, peut être imposée par la nécessité technique de déplacer une certaine quantité de gaz d'un système à une certaine pression, vers un autre système à une autre pression plus élevée.

Cette opération a pour but de:

- Faire circuler un gaz dans un circuit fermé.
- Produire des conditions favorables (de pression) pour des réactions chimiques.
- Envoyer un gaz dans un pipe-line de la zone de production vers l'utilisateur.
- Obtenir de l'air comprimé pour la combustion.[4]

II.4. Classification

Les compresseurs peuvent être classés selon plusieurs caractéristiques

- Mouvement des pièces mobiles (mouvement linéaire, rotatif).
- le principe de fonctionnement (volumétrique, dynamique).
- Les compresseurs d'air.
- les compresseurs des gaz. [4]

Il existe deux grandes familles de compresseurs, les compresseurs volumétriques et les turbocompresseurs ou dynamique. Dans les premiers, de beaucoup les plus importants en quantité, l'élévation de pression est obtenue en réduisant un certain volume de gaz par action mécanique.

Dans les seconds, on élève la pression en convertissant, de façon continue, l'énergie cinétique communiquée au gaz énergie dépression, Cet échange d'énergie est dû à l'écoulement autour des aubages dans la roue.

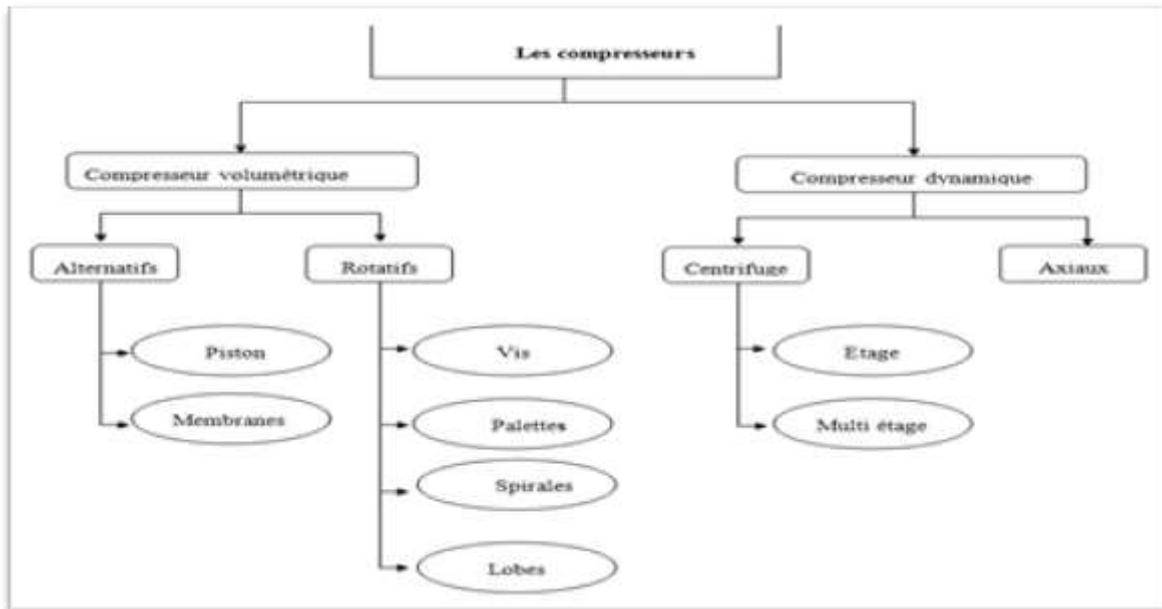


Figure II-1: Classification des compresseurs

Il existe deux grandes catégories de compresseurs :

II.5. Les compresseurs dynamiques

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

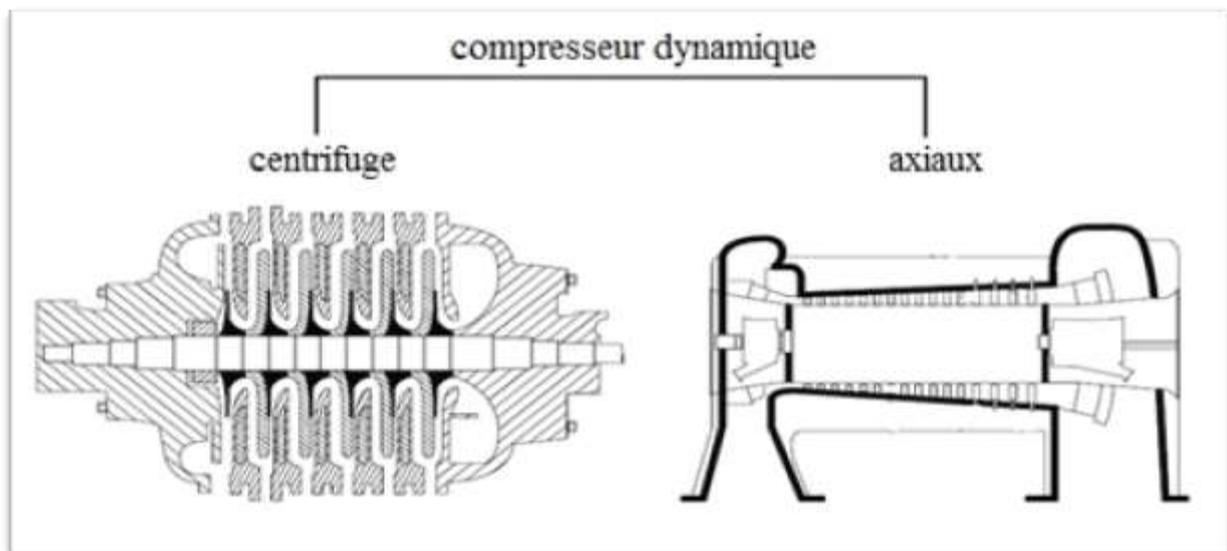


Figure II-2: Les types des compresseurs dynamiques [2]

II.6.1 Les compresseurs axiaux

a) Définition

Le compresseur axial est un compresseur dont le flux d'air suit l'axe de rotation, et dont le fluide de sortie a un mouvement radial. Il génère un flux continu d'air comprimé et fournit un rendement

élevé pour une masse volumique donnée et une section donnée du compresseur. Il est nécessaire d'avoir plusieurs étages de pales pour obtenir des pressions élevées et des taux de compression équivalents à ceux d'un compresseur centrifuge. [5]

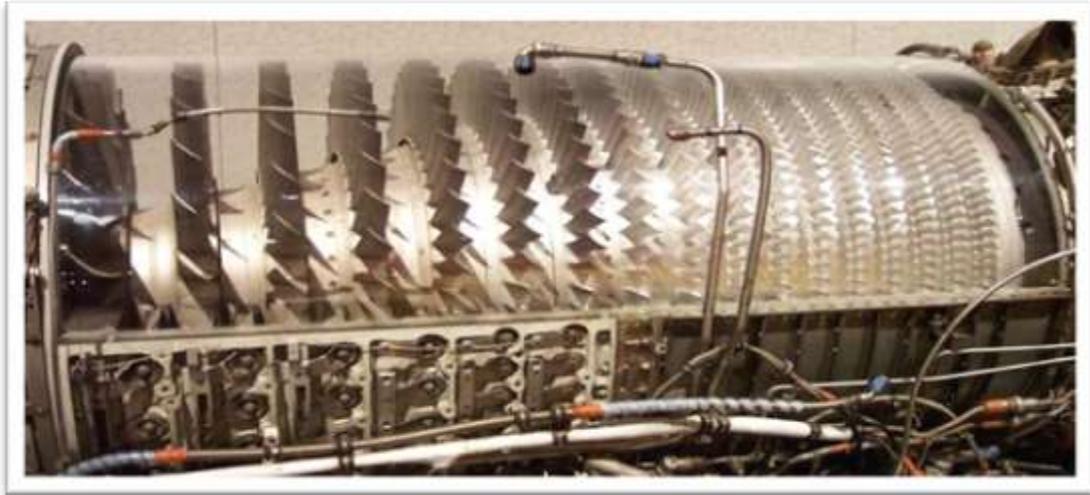


Figure II-3: Compresseur axiaux du GE J79

II.6.2 Les compresseurs centrifuges

a) **Définition** Ces compresseurs sont très utilisés en raffinage et dans l'industrie chimique et pétrochimique, ils sont très compacts et peuvent développer des puissances importantes comparées à leur taille dans leur plage de fonctionnement, ils n'engendrent pas de pulsation de pression au niveau des tuyauteries, ces qualités permettent des installations légères, pour l'environnement de ces compresseurs.

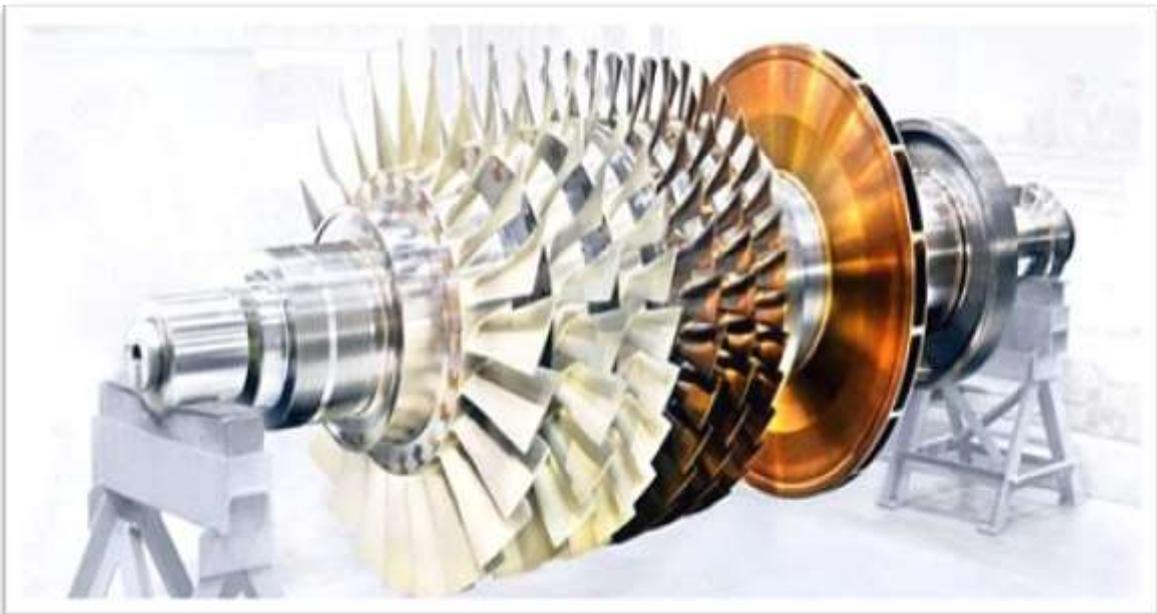


Figure II-4 : Compresseur centrifuge – vue d'ensemble

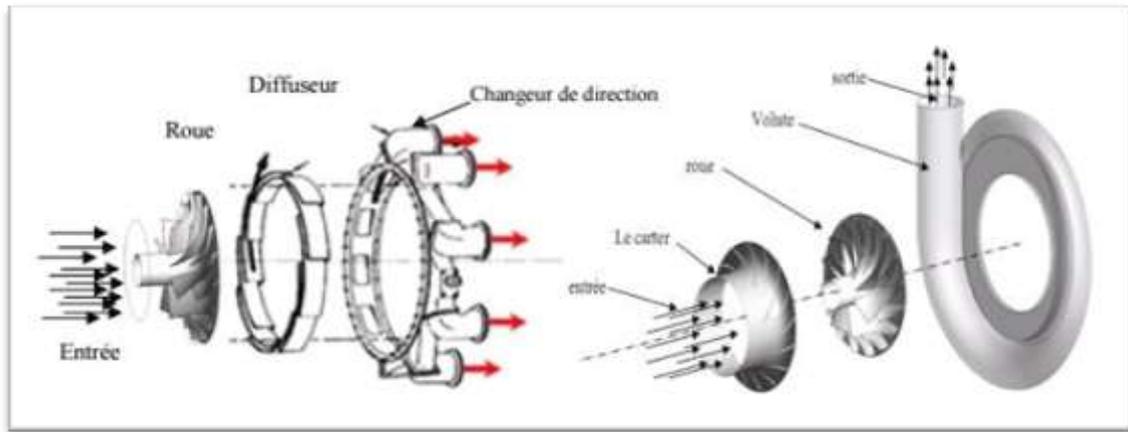


Figure II-5 : Compresseur centrifuge – vue éclatée

II.6. Compresseur Volumétrique

Compresseur volumétrique ont pour principe général la variation de volume d'une cavité entre l'entrée et la sortie de la machine, il est classes en deux types :

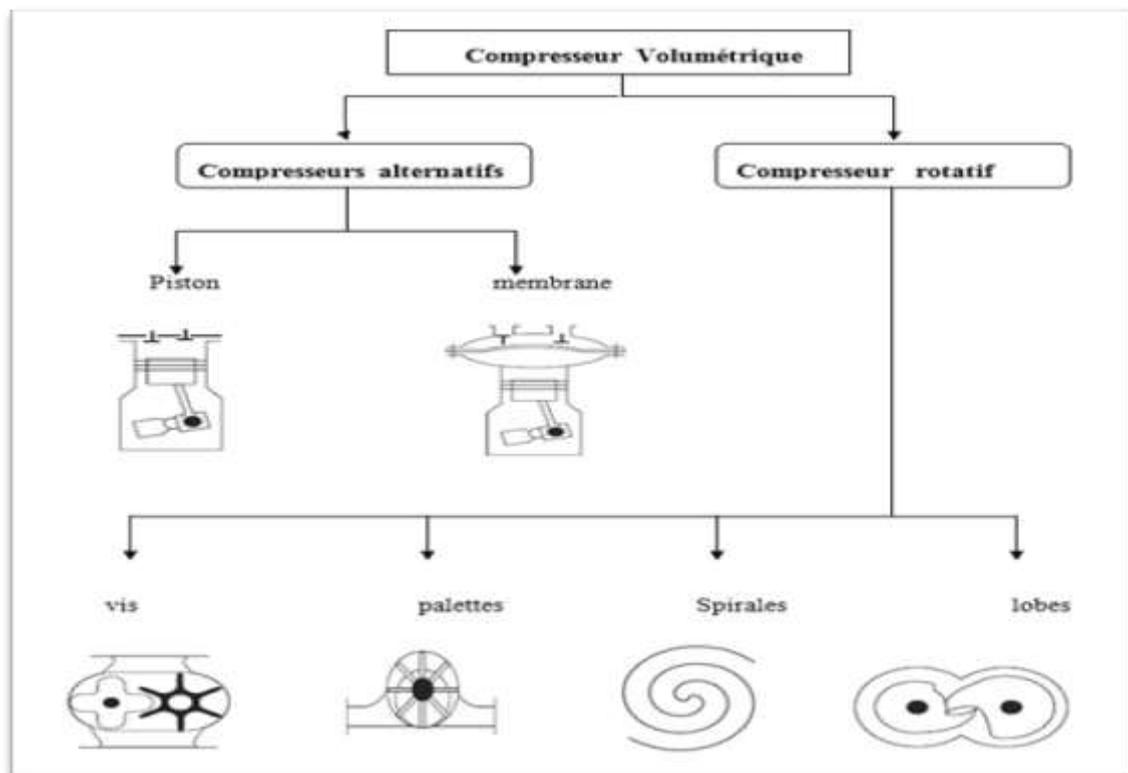


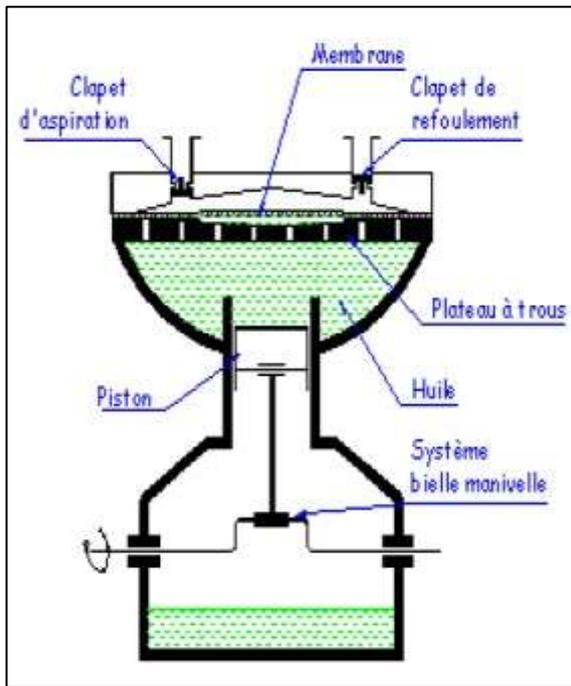
Figure II-6 : Les types des compresseurs volumétriques [2]

II.7.1 Compresseurs alternatifs

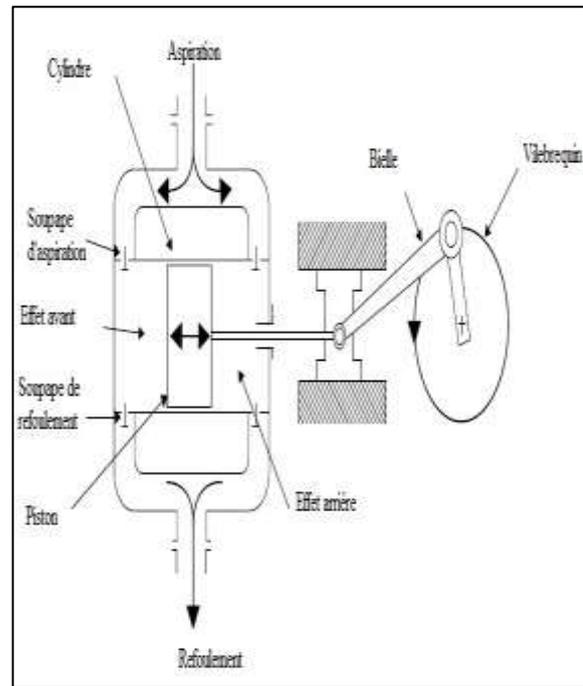
Le gaz est introduit dans un espace limité par des parois métalliques (cylindre et piston).

L'espace à disposition du gaz est réduit (le piston avance) et par conséquent la pression augmente, quand la pression est pareille à celle du circuit de haute pression le gaz est refoulé.

On distingue deux types :



Compresseur à membrane



Compresseur à piston

Figure II-7: Compresseurs alternatifs et le compresseur volumétrique rotatif

II.7.2 Compresseurs rotatifs à palettes

a) Compresseurs rotatifs à palettes

Définition

Le compresseur à palettes est un compresseur dit à rotation. Il est constitué d'un stator cylindrique dans lequel tourne un rotor excentré. Ce dernier est muni de rainures radiales dans lesquelles coulisent des palettes qui sont constamment plaquées contre la paroi du stator par la force centrifuge [12]

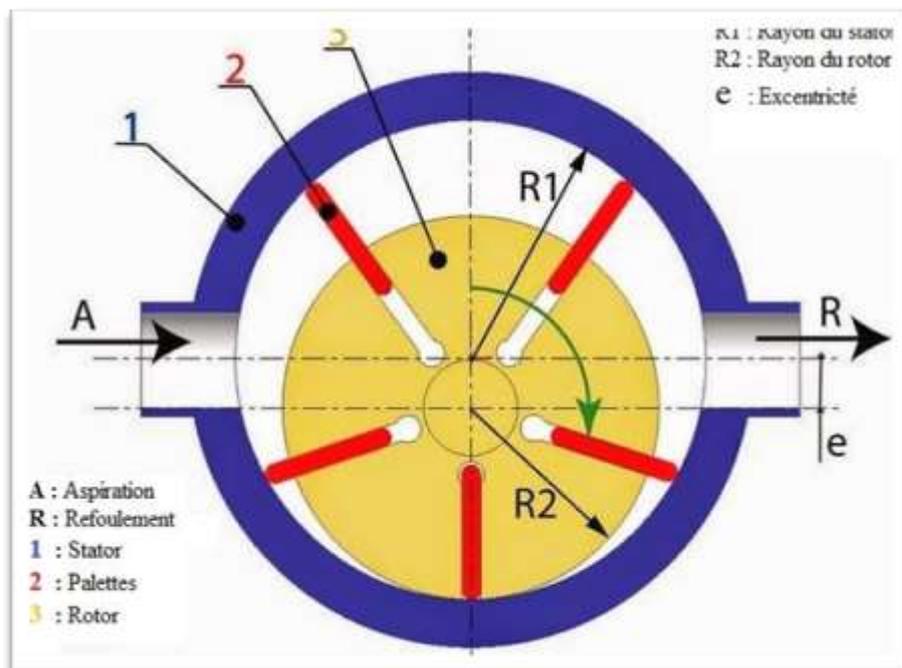


Figure II-8 : Principe de Compresseurs rotatifs à palettes

b) Compresseurs rotatifs à Spirales

Le compresseur rotatif à spirale est composé de spirales fixes et de spirales mobiles. Il est entraîné par la poulie d'un vilebrequin. Grâce à un arbre excentrique, la spirale mobile se rapproche et s'écarte de la spirale fixe, l'air emprisonné est comprimé dans cet espace et est chassé vers le centre du compresseur (sortie), puis vers le conduit d'admission du moteur.

Dans un compresseur scroll Co-rotatif, les deux centres des volutes sont décalés avec suffisamment de précision pour que les deux spirales s'effleurent. Ces deux spirales sont en rotation autour de leur centre respectif, Elles tournent dans le même sens et à la même vitesse, Le système peut être utilisé soit en compresseur soit en turbine suivant le sens de rotation des volutes, Le volume des poches formées entre les deux spirales varie avec la rotation de celles-ci et entraîne la compression du fluide. [3]

Cette image représente un cycle de compresseurs à spirales

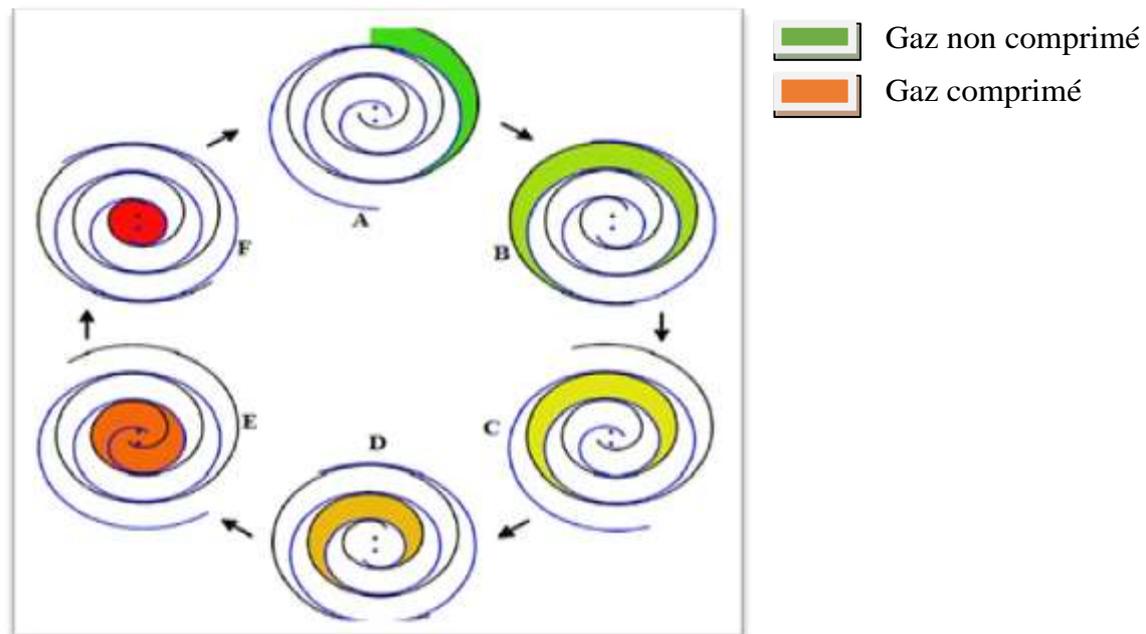


Figure II-9 : Schéma de cycle de compresseurs à spirales [3]

c) Compresseurs rotatifs à lobes

Ces compresseurs, appelés également à piston rotatif, sont réalisés par deux rotors conjugués dont l'un tourne à l'intérieur de l'autre, le rotor intérieur ayant une dent de moins que le rotor extérieur. Comme dans le cas du compresseur roots, l'entraînement et la synchronisation des rotors sont obtenus par un engrenage associé aux rotors et extérieur à la chambre de compression. L'engrenage est à denture intérieure et le rapport des nombres de dents pignon/couronne est identique au rapport des nombres de dents rotor intérieur/rotor extérieur.

Du fait du mouvement de la dent du rotor intérieur dans le creux du rotor extérieur, il est possible de réaliser avec ce type de compresseur une compression interne dont le rapport est fonction de la position de l'ouverture de l'orifice de refoulement par rapport à la rotation des lobes. [4]

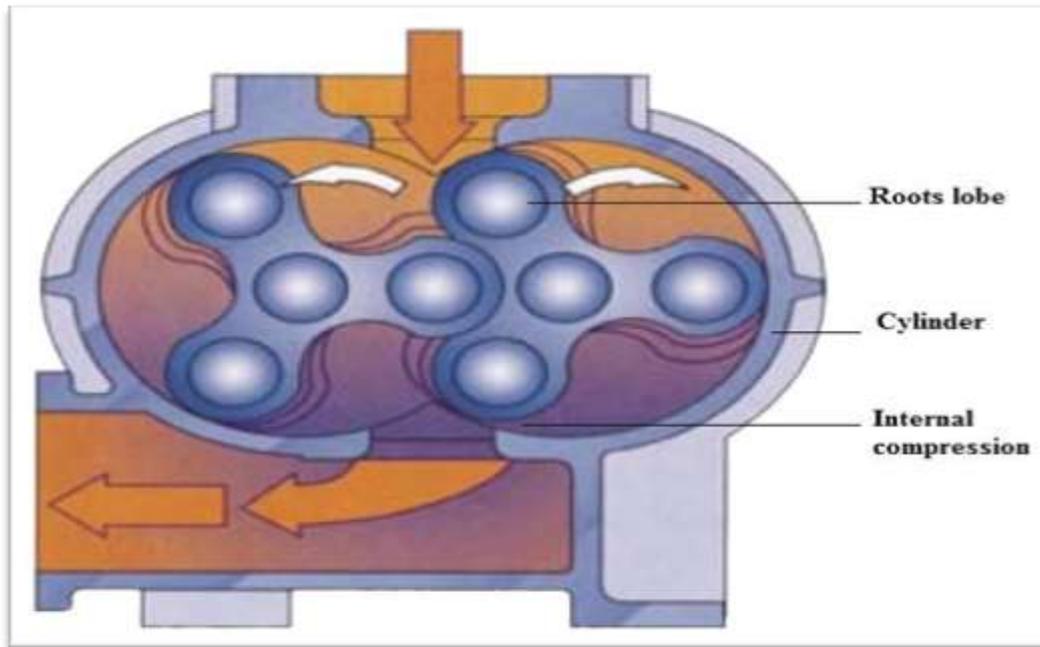


Figure II-10: Compresseurs rotatifs à lobes

d) Compresseurs rotatifs à vis i.

Définition

Un Compresseur rotatif est un compresseur volumétrique dans lequel la compression est obtenue par rotation de deux organes faisant varier le volume d'une chambre de compression.

Ce type de compresseur est muni de rotors à la place de pistons, et évacue l'air (ou le gaz) comprimé de façon continue, sans pulsations. Le compresseur rotatif le plus commun est le compresseur à vis.

Le type de compresseur choisi pour notre étude est Le compresseur Atlas Copco ZE3, du groupe GICA de l'unité de distribution du ciment de Touggourt. Le compresseur est destiné à assurer de l'air comprimé à 6 bars pour la montée du ciment dans les réservoirs de presque 26 mètres de hauteur. [11]

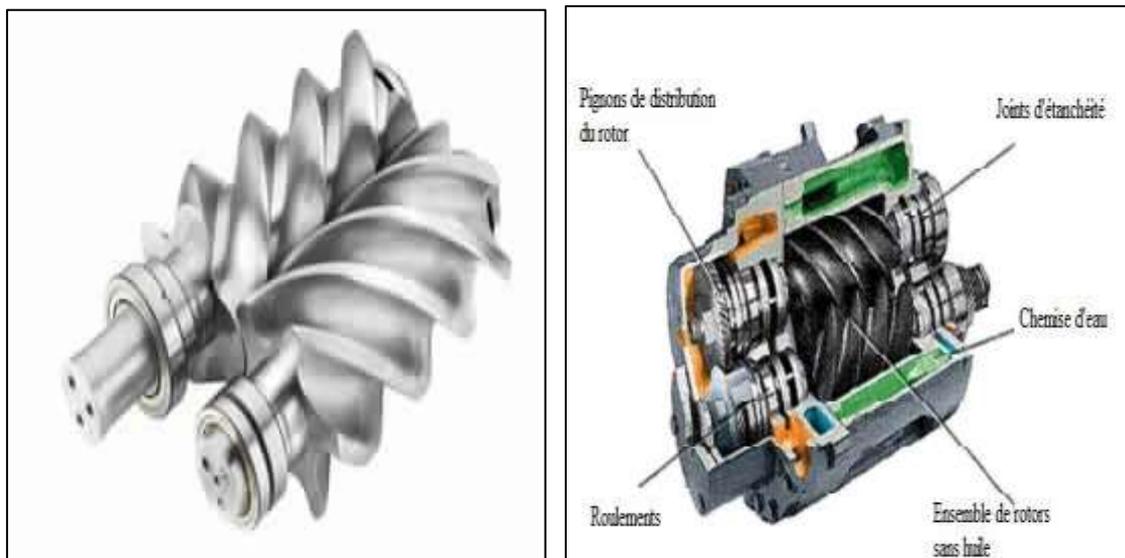


Figure II-11 compresseurs à Vis [11]

Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement d'un compresseur à vis est simple.

Ce type de compresseur se constitue d'un rotor male et d'un rotor femelle à denture hélicoïdale. 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 transporté le long de la vis de l'orifice d'aspiration à l'orifice de refoulement d'une façon continue.

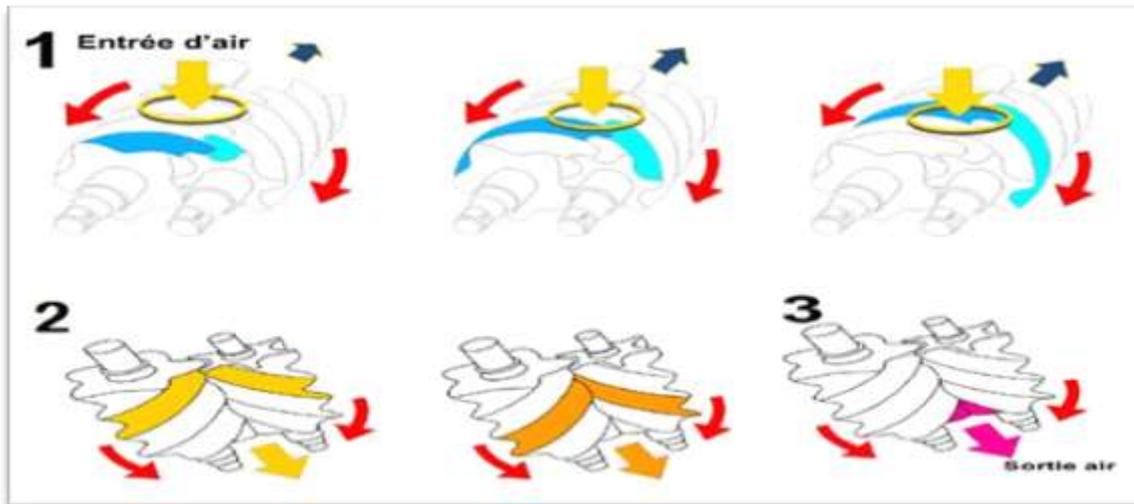


Figure II-12: Principe de fonctionnement des deux rotors du compresseur [11]

1. **Aspiration** : l'air entre par l'orifice d'aspiration dans les spires des rotors ouvertes de la cote aspiration.
2. **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.
3. **Evacuation** : la compression est terminée, la pression finale est atteinte, le refoulement commence. Le dessin suivant illustre le mécanisme du compresseur à vis ZE3 :

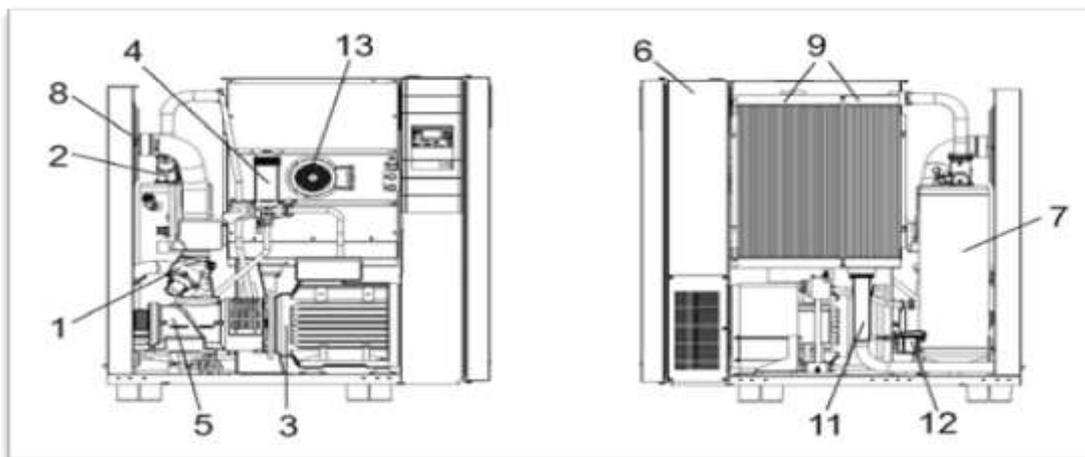


Figure II-13: Composantes du compresseur à vis [11]

- | | |
|---------------------------|--|
| 1 Soupape d'admission | 2 Clapet anti retour à pression minimale |
| 3 Moteur | 4 Filtre à huile |
| 5 Bloc compresseur | 6 Armoire électrique |
| 7 Réservoir séparateur | 8 Filtrent air D'huile |
| 9 Refroidisseur air/huile | 11 Séparateur cyclonique |
| 12 Purgeur de condensats | 13 Moteur ventilateur |

iv. Avantages

- Le débit est continu sans pulsations, ce qui est préférable pour la filtration.
- Ils sont faciles à installer directement sur le sol.
- Ils sont peu bruyants.
- Ils sont très fiables.
- L'entretien se résume au changement de l'huile et des filtres.

Inconvénients

- Consomme plus d'énergie que les autres types de compresseurs.
- Ils ne dépassent généralement pas en sortie une pression de 15 bars.
- Leur coût est assez élevé.
- Ces compresseurs ont un taux de compression limité.

Schéma de la compresseur ATLAS-COPCO - ZE3

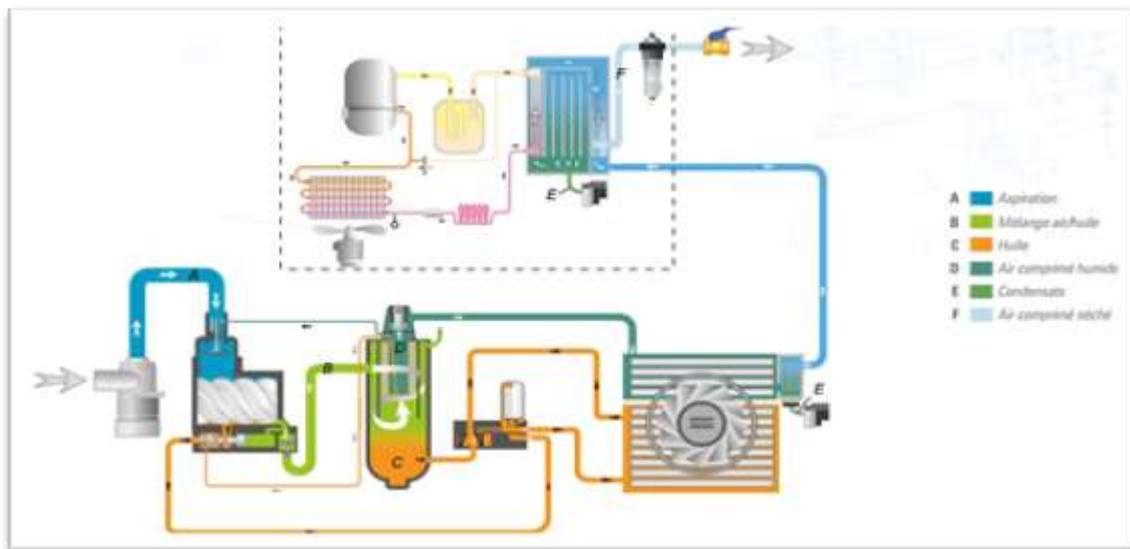


Figure II-14 : Schéma du compresseur ATLAS-COPCO – ZE3

Comparaison du compresseur à vis et les autres types des compresseurs

Tableau II-1: les différents types des compresseurs [4]

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

II.7. Types du compresseurs en fonction de débit et de la pression

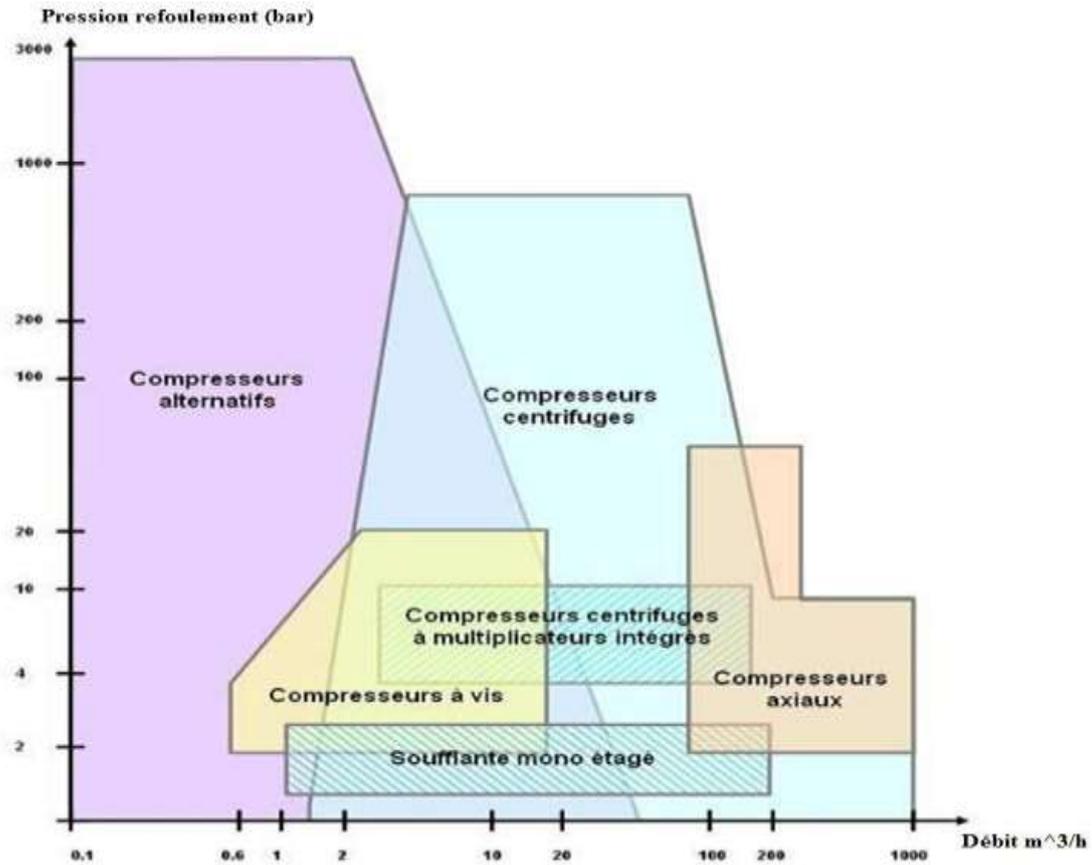


Figure II-15: Types de compresseurs en fonction de débit et de la pression [2]

Conclusion

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

III.Chapitre III

Généralités sur la fonction maintenance

Introduction

La maintenance s'inscrit parmi les contraintes que rencontre tout exploitant d'une installation industrielle. Plus généralement, une installation de production nécessitant un ensemble de moyens matériels et humains n'est en mesure d'assurer le service qu'on lui demande qu'après avoir surmonté diverses contraintes, dont la maintenance des équipements de production utilisés. Construire une usine ou un atelier ne sert à rien en l'absence de production significative, ou de personnel qualifié, ou d'un système d'organisation permettant le maintien en état des installations.

La maintenance joue un rôle de plus en plus important dans la productivité de l'entreprise. La maintenance n'a plus pour seule vocation d'assurer le bon fonctionnement.

III.1. La maintenance

Définition de la maintenance

D'après la norme AFNOR X 60-000 (Association française de normalisation), La maintenance est l'ensemble des 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. [7]

Importance et rôle de la maintenance

L'importance et le rôle de la maintenance sont illustrés par la nécessité d'assurer la disponibilité permanente et le bon fonctionnement des installations matérielles de production. Le rôle de la maintenance serait, en définitive, de permettre aux autres services de l'entreprise de remplir leurs fonctions en obtenant le rendement optimum des investissements. [6]

Les objectifs de la maintenance

C'est la nature de l'entreprise qui dicte les objectifs du service de maintenance clairement définis par une politique bien déterminée à partir de la prise en compte de trois facteurs essentiels :

- Facteur technique.
- Facteur économique.
- Facteur humain et écologique.[6]

a) 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.

b) Objectifs économiques

- 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.

c) Objectifs humains et écologiques

- Réduire les accidents de fonctionnement (Notion de sécurité) et améliorer les conditions de travail
- Etudier 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.).

Les cinq niveaux de maintenance

La norme NF X 60-010 définit, à titre indicatif, cinq « niveaux de maintenance » : [6]

Tableau III-1 : les niveaux de maintenance

Niveau	Personnel d'intervention	Moyens
1	Exploitant sur place.	Outillage léger défini dans les instructions d'utilisation.
2	Technicien habilité, sur place.	Idem, plus pièce de rechange trouvées à proximité sans délai.
3	Technicien spécialisé, sur place ou en local de maintenance.	Outillage prévu plus appareils de mesure, banc d'essai, contrôle,...etc.
4	Equipe encadrée par un technicien spécialisé ou en atelier central.	Outillage général plus spécialisé, matériel d'essais, de contrôle, ...etc.
5	Equipe complète, polyvalente, en atelier central.	Moyens proches de la fabrication par le constructeur.

Les différentes formes de maintenance

Les diverses options susceptibles d'être mis en œuvre par le service de maintenance relèvent de deux principes fondamentaux : [7]

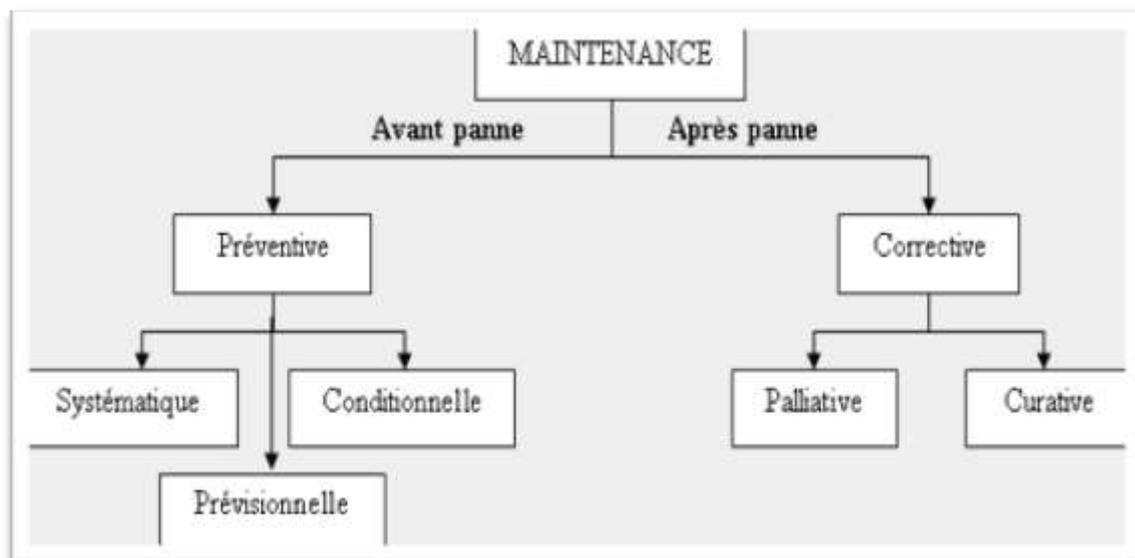


Figure III-1 : Les types des maintenances

1) La maintenance préventive

Elle doit permettre d'éviter les défaillances des matériels en cours d'utilisation. Selon l'AFNOR : « La maintenance préventive est une maintenance ayant pour objet de réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation d'un bien ». La figure (II.2) représente la courbe de la maintenance préventive. La maintenance préventive se subdivise en trois types :

a) Maintenance systématique

Selon l'AFNOR : « Maintenance effectuée selon un échéancier établi selon le temps ou un nombre prédéterminé d'unités d'usage ».

Exemple

- Lubrifier les boîtes de vitesse des fraiseuses toutes les 200 heures
- Changer les filtres des moteurs des chargeurs tous les 500 Km
- Changer les roulements de guidage des broches des tours tous les 5000 heures
- Nettoyer les glissières chaque jour
- Vérifier la tension des courroies chaque semaine ; ...etc.

b) Maintenance conditionnelle

Selon l'AFNOR : « Maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé ». Ces indicateurs sont généralement les vibrations, pression, bruit, température, ...etc.

Exemple

- Procéder à un équilibrage des ventilateurs si le niveau vibratoire atteint 60 μm (Seuil d'alarme).
- Prévoir un changement de roulement s'il y a une évolution de l'accélération mesurée à ce point.
- Vérifier les fours si les capteurs thermiques indiquent une chute de température dans la tuyauterie, ...etc.

c) Maintenance prévisionnelle

Parfois appelée « maintenance prédictive », la maintenance prévisionnelle est, selon l'AFNOR, « Maintenance exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien ». Elle est basée sur l'analyse de l'évolution des paramètres techniques qui permettent de quantifier l'état du bien et de déceler les dégradations potentielles dès leur apparition, elle permet d'anticiper et de prévoir au mieux le moment où l'intervention devra être réalisée.

Maintenance corrective

Selon toujours la norme AFNOR « Ensemble des activités réalisées après la défaillance d'un bien ou la dégradation de sa fonction pour lui permettre d'accomplir une fonction requise, au moins provisoirement, ces activités comportent notamment la localisation de la défaillance et son diagnostic, la remise en état avec ou sans modification, le contrôle du bon fonctionnement ».

Il y a deux types de Maintenance corrective :

a) Maintenance palliative (Dépannage)

C'est une remise en état de fonctionnement effectuée in-situ parfois sans interruption du fonctionnement de l'ensemble concerné. Elle a un caractère « Provisoire » et doit être suivie par une action corrective durable.

b) Maintenance curative

Il s'agit des réparations faites in-situ ou en atelier central parfois après dépannage, ce type de maintenance a un caractère « définitif ».

Politiques de maintenance

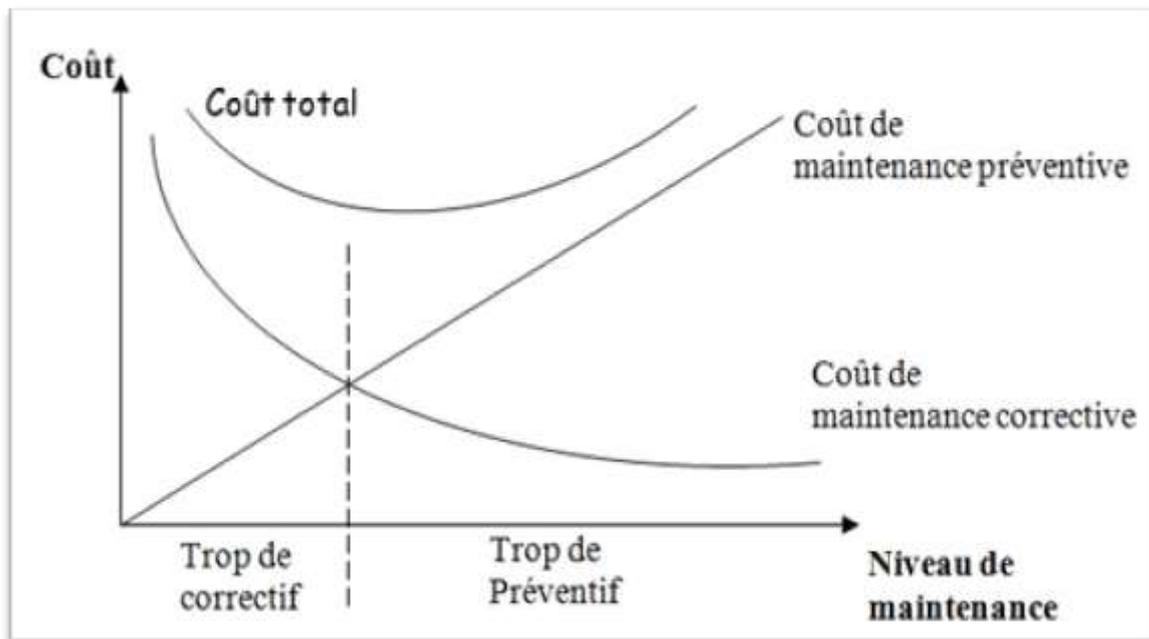


Figure III-2: Politiques de maintenance [6]

Les opérations de maintenance

Ces opérations trouvent leur définition dans la norme NF X 60-010 et NF EN 13306).

a) Le dépannage C'est une action ou opération de maintenance corrective sur un équipement en panne en vue la remettre en état de fonctionnement.

b) La réparation C'est une intervention définitive et limitée de maintenance corrective après panne ou défaillance. L'équipement réparé doit assurer les performances pour lesquelles il a été conçu.

c) Les inspections Ce sont des activités de surveillance consistant à relever périodiquement des anomalies et exécuter des réglages simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique ni d'arrêt de l'outil de production ou des équipements.

d) Les visites Ce sont des opérations de surveillance qui dans le cadre de la maintenance préventive systématique, s'opèrent selon une périodicité prédéterminée.

e) Les contrôles Ils correspondent à des vérifications de conformité par rapport à des données préétablies suivis d'un jugement. [10]

III.2. Etude de la fiabilité

a) Notion de fiabilité d'un système

Un système peut être défini comme un ensemble de composants interdépendants, conçus pour réaliser une fonction donnée, dans des conditions données et dans un intervalle de temps donné, pour chaque système, il importe de définir clairement les éléments qui le caractérisent, à savoir : la fonction, la structure, les conditions de fonctionnement, les conditions d'exploitation, et l'environnement dans lequel il est appelé à opérer.

b) Définition

D'après la norme (NORME X60—500). La fiabilité est l'aptitude (la probabilité) d'une entité à accomplir une fonction requise pendant un intervalle de temps donné, dans des conditions données.

c) Objectifs de la fiabilité :

- Mesurer une garantie dans le temps ;
- Evaluer rigoureusement un degré de confiance ;
- Déchiffrer une durée de vie ;
- Evaluer avec précision un temps de fonctionnement ;
- Déterminer la stratégie de l'entretien ; - Choisir le stock.

d) Les 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 :

- La loi exponentielle
- La loi de WEIBULL
- La loi normale
- La loi log-normale (ou loi de GALTON)
- La loi binomiale
- La loi de POISSON ou loi de faibles probabilités

e) Modèle de WEI BULL

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 .

2) La densité de probabilité

La densité de probabilité d'une loi de weibull a pour expression :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \text{ avec } t \geq \gamma$$

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

3) b) La fonction de répartition

La fonction de répartition s'écrit :

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{II.02})$$

4) La fonction de fiabilité R(t)

La fonction de fiabilité s'écrit

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{II.03})$$

d) Le taux de défaillance (Taux d'avarie) Le taux de défaillance donné par :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1-F(t)} = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \cdot \frac{1}{e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}} \Rightarrow \lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}$$

Avec $\lambda(t)$ 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.

L'expérience montre que pour la plupart des composants, le taux de défaillance suit une courbe en baignoire représenté sur la figure suivante : [10]

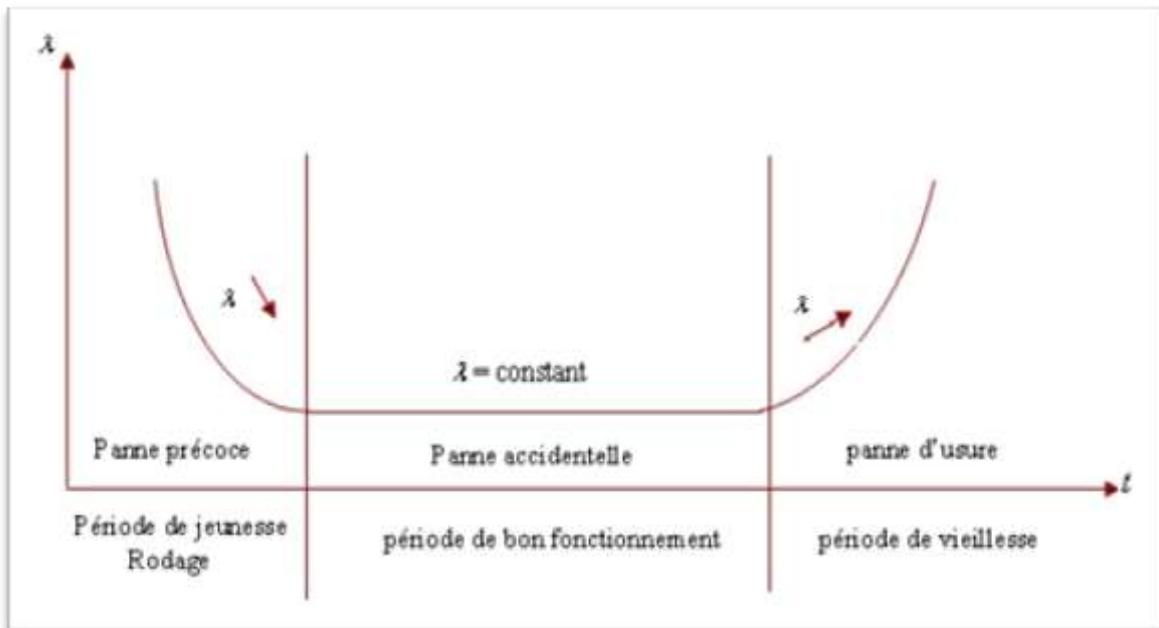
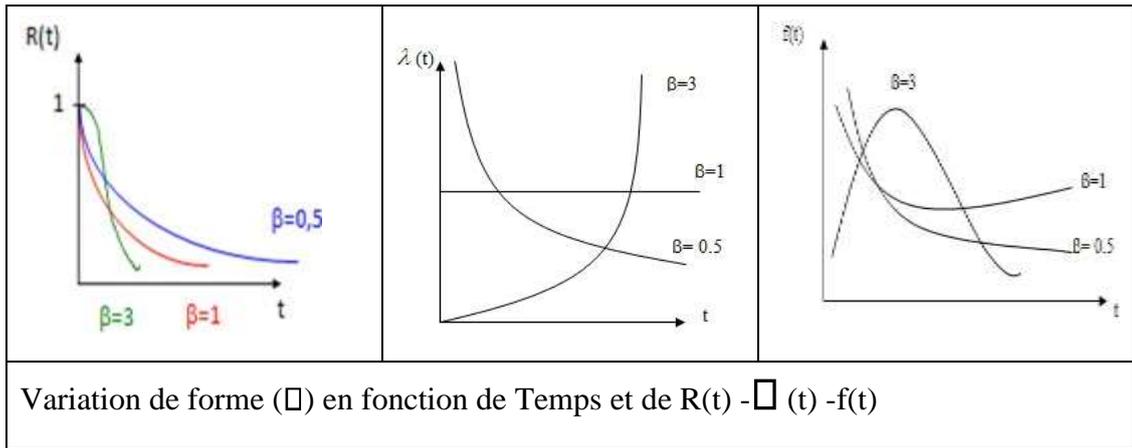


Figure III-3 : Courbe en baignoire

5) Paramètre de forme β

Si $\beta > 1$, le taux de défaillance est croissant, caractéristique de la zone de vieillesse

- $1,5 < \beta < 2,5$: fatigue
- $3 < \beta < 4$: usure, corrosion
 - Si $\beta = 1$, le taux de défaillance est constant, caractéristique de la zone de maturité
 - Si $\beta < 1$, le taux de défaillance est décroissant, caractéristique de la zone de jeunesse



6) Étude paramétrique du modèle de WEI BULL

Suivant les valeurs de β , le taux de défaillance est soit décroissant ($\beta < 1$) soit constant ($\beta = 1$), soit croissant ($\beta > 1$). La distribution de weibull permet donc de représenter les trois périodes de la vie d'un dispositif décrites par la courbe en baignoire.

Le cas $\gamma > 0$ correspond à des dispositifs dont la probabilité de défaillance est nulle jusqu'à un certain âge β .

7) Estimation des paramètres du modèle de WEI BULL

Un des problèmes essentiel est l'estimation des paramètres : (β, η, γ) de cette loi, pour cela, nous disposons de la méthode suivante :

a) Graphique à échelle fonctionnelle :

Pour la distribution de Weibull à 3 paramètres, on fait la transformation :

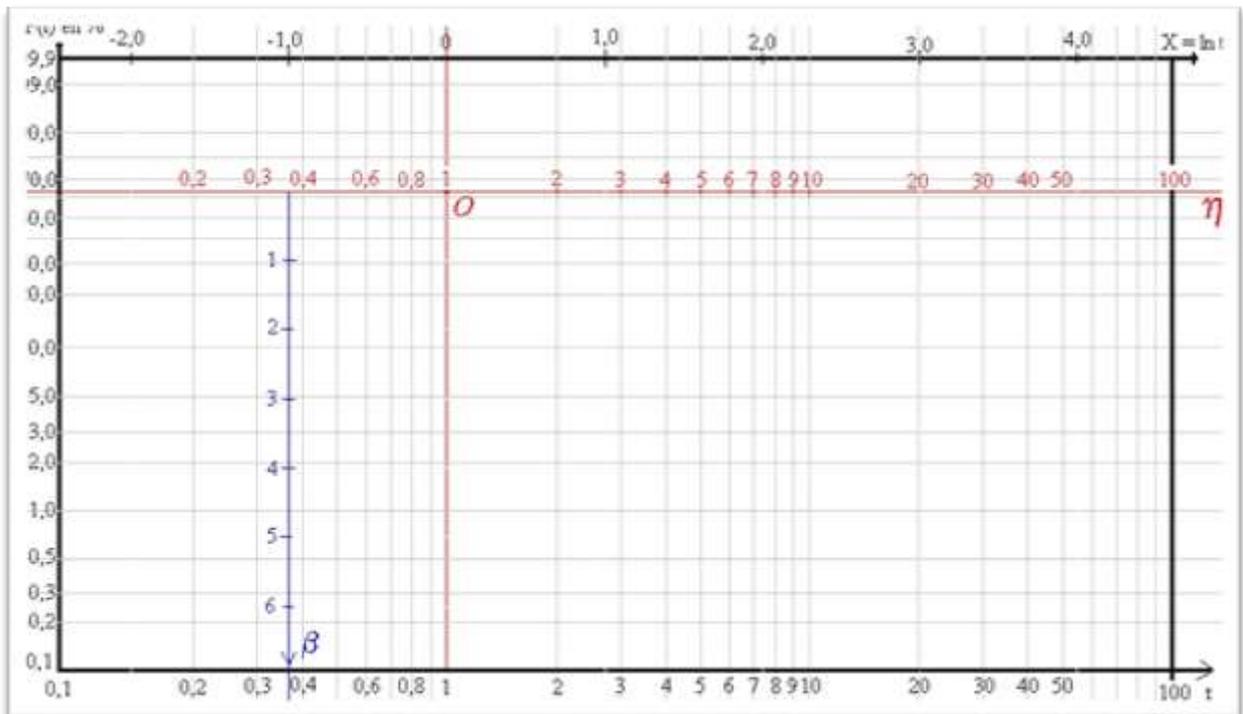


Figure III-4 : Représentation sur graphique à échelle fonctionnelle de la distribution de Weibull (graphique d'Allan Plait).

8) Recherche de γ

Si le nuage de points correspond à une droite, alors $\gamma = 0$. ($\gamma = 0$)

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 (γ) afin d'obtenir une droite comme le montre la figure suivante.

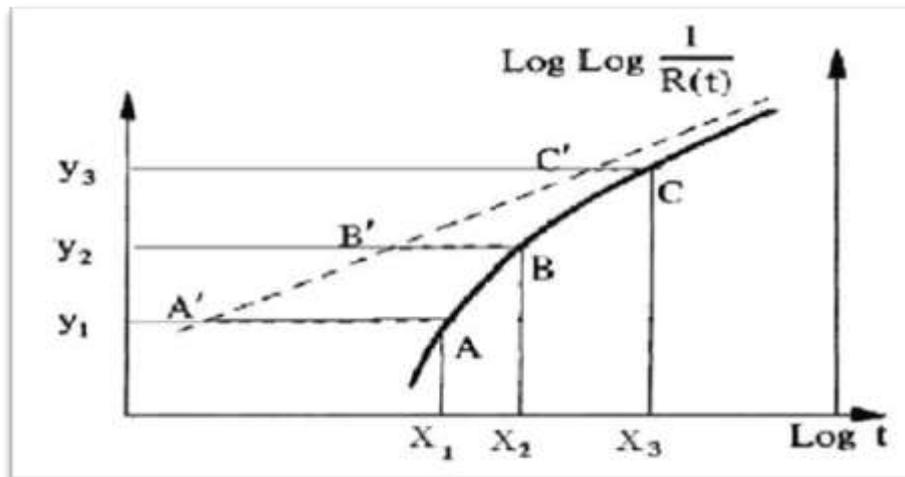


Figure III-5: redressement de la courbe par translation Ce redressement peut se faire par tâtonnement ou avec la relation :

$$Y = \frac{X_3 * X_1 - X_2^2}{X_3 + X_1 - 2X_2} \quad (II.05)$$

Considérons les points :

$A(X_1, Y_1)$; $B(X_2, Y_2)$; $C(X_3, Y_3)$

$Y_3 > Y_2 > Y_1$

$2Y_2 = Y_1 + Y_3$

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

Recherche de η

La droite de régression linéaire coupe l'axe A à l'abscisse $t = \eta$.

9) Recherche de β

- β est la pente de la droite de corrélation.
- On trace une droite parallèle à la droite de corrélation, et passant par $\eta = 1$ On lit ensuite β sur l'axe B.

III.3. La maintenabilité

La maintenabilité est « l'aptitude d'un dispositif à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir sa fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions, avec des procédures et des moyens précis ».

La maintenabilité caractérise la facilité de remettre ou de maintenir un bien en bon état de fonctionnement.

La maintenabilité est caractérisée par la moyenne des temps techniques de réparation MTTR : [8]

$$MTTR = \frac{\sum \text{Temps d'intervention pour } n \text{ pannes}}{\text{Nombre de pannes (n)}}$$

MTTR : (Mean Time To Repair) ou encore Moyenne des Temps Techniques de Réparation

III.1 Taux de réparation μ :

La probabilité de réparation d'un composant est principalement fonction du temps écoulé depuis l'instant de défaillance. Il existe un certain délai t avant que le composant puisse être réparé. Ce délai t comprend le temps de détection et le temps d'attente de l'équipe de réparation. [8]

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \text{(II.06)}$$

III.4. Disponibilité

C'est l'aptitude d'un bien sous les aspects combinés de la fiabilité, maintenabilité et de l'organisation de la maintenance à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions de temps déterminées.

Pour qu'un équipement présente une bonne disponibilité, il doit :

- avoir le moins possible d'arrêts de production,
- être rapidement remis en état s'il est défaillant.

La disponibilité relie donc les notions de fiabilité et de maintenabilité.

Les types de disponibilité

a) Disponibilité intrinsèque

Cette disponibilité est évaluée en prenant en compte les moyennes de bon fonctionnement et les moyennes de réparation, ce qui donne :

$$Di = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \text{(II.07)}$$

b) Disponibilité instantanée

Pour un système avec l'hypothèse d'un taux de défaillance λ constante et d'un taux de réparation μ constant, la disponibilité instantanée est :

III.5. Loi de Pareto

Origine de la méthode

Elle est issue des travaux de Wilfred Pareto (1848-1923) économiste italien né à Paris. Il constata en étudiant la répartition de l'impôt foncier aux USA que 15% des contribuables payaient 85% du total. Depuis, cette méthode se nomme loi de Pareto, loi des 15-85 ou 20-80.

Définition et intérêt de la méthode

Elle permet de choisir entre plusieurs problèmes ceux qui doivent être traités en priorité. Elle permet donc de distinguer d'une façon claire les éléments importants de ceux qui le sont moins. Elle évite ainsi de ne pas se laisser accaparer par des travaux certes utiles mais de très faible importance par rapport au volume des autres travaux.

C'est le cas d'un service maintenance, où les tâches sont nombreuses et la main d'œuvre est parfois insuffisante, de plus, les technologies récentes coûtent cher. Il convient par conséquent de s'organiser d'une façon rationnelle, ainsi en appliquant la méthode ABC de Pareto on peut

remédier à ce problème en déterminant exactement les types d'interventions à mener en priorité. [7]

Méthodologie

Elle consiste à classer les pannes par ordre croissant de coûts (heures ou argent), chaque panne se rapporte à une machine, ou rubrique. Puis à établir un graphique faisant correspondre les pourcentages de coûts cumulés aux pourcentages de types de pannes cumulés. On obtient ainsi un graphe montrant trois zones :

Zone A : Dans cette zone on constate que 20% des pannes représente 80% des coûts, c'est la zone de priorité.

Zone B : Dans cette zone, les 30% de pannes suivantes ne coûtent que 15% supplémentaires.

Zone C : Enfin, dans cette zone, les 50% de pannes restantes ne reviennent qu'à 5% des coûts.

III.6. Etude AMDEC

a) Présentation

L'AMDEC (**A**nalyse des **M**odes de **D**éfaillances, de leurs **E**ffets et de leur **C**riticité) est une technique d'analyse prévisionnelle de la fiabilité, de la maintenabilité et de la sécurité des produits et des équipements.

D'après AFNOR) L'analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leur criticités (amdec) est une méthode inductive permettant pour chaque composant d'un système, de recenser son mode de défaillance et son effet sur le fonctionnement ou sur la sécurité du système. [12]

b) Types d'AMDEC

Selon les objectifs visés plusieurs types de l'AMDEC sont utilisés lors de phases successives de développement d'un produit :

c) AMDEC produit

S'assurer que la conception du produit (appareil électroménager, sous-ensemble automobile, produit chimique...) satisfiera aux exigences des clients

d) AMDEC processus

- S'assurer que chaque étape de la fabrication du produit ne générera pas de défauts de Qualité
- Les sorties de l'étude sont : Modes opératoires de fabrication et Plan de contrôle

e) AMDEC machine

- S'assurer que les équipements, les machines fonctionneront avec la meilleure disponibilité possible
- Les sorties de l'étude sont
 - Modes opératoires de conduite et de maintenance
 - Formation du personnel (production et maintenance)
 - Politique de maintenance et de pièces de rechange
 - Modifications pour améliorer la fiabilité ou la maintenabilité
- Le présent document concerne essentiellement l'AMDEC Moyen

f) Terminologie

La Défaillance D'après la norme AFNOR X 60-500, une défaillance est la cessation de l'aptitude d'un élément à accomplir une fonction requise.

Mode de défaillance

Un mode de défaillance est la manière dont le système peut s'arrêter de fonctionner ou fonctionner anormalement. Le mode de défaillance est relatif à chaque fonction de chaque élément. Il s'exprime en termes physiques.

Exemples : rupture, coupure d'électricité, coincement, fuite...

Cause de défaillance

Une cause de défaillance est l'anomalie initiale pouvant conduire à la défaillance, par l'intermédiaire du mode de défaillance. La cause de défaillance d'un élément peut être interne ou externe à celui-ci. A un mode de défaillance peuvent correspondre plusieurs causes et réciproquement.

Exemples : sous dimensionnement, manque de lubrifiant, corrosion, cavitation...

Effet de défaillance

L'effet d'une défaillance est, par définition, une conséquence subie par l'utilisateur. Un même mode de défaillance peut engendrer plusieurs effets simultanés qui peuvent se cumuler et s'enchaîner. de même, plusieurs modes peuvent avoir le même effet.

Exemples : arrêt de production, déficit en eau potable...

Détection

La détection est un phénomène ou paramètre physique, anomalie ou symptôme, pouvant être observé, détecté ou mesuré de manière précoce et traduisant l'apparition, la propagation ou l'évolution d'un mécanisme de défaillance.

Indice de Fréquence « F »

Il représente le risque que la cause potentielle de défaillance survienne et qu'elle entraîne le mode potentiel de défaillance considéré. De ce fait, la notion de fréquence est relative à une combinaison cause mode. Finalement, la fréquence s'exprime par le nombre de défaillances de l'élément sur une période donnée.

Indice de Gravité « G »

Il se réfère à la gravité (ou sévérité) de l'effet de chaque défaillance, tel que ressenti par l'utilisateur. Ainsi, la notion de gravité est directement liée à l'effet de la défaillance.

Indice de Non Détection « D »

Il représente la probabilité que la cause (et/ou le mode) de défaillance supposée apparue atteigne l'utilisateur. La probabilité de non détection dépend d'une part de l'existence d'une anomalie observable de manière suffisamment précoce et d'autre part des moyens de détection mis en œuvre (ou envisagés) au moment de l'étude.

Criticité « C »

Pour chaque cause de défaillance, le produit des trois indices de fréquence, gravité et non détection est effectué. Le résultat donne l'indice de Criticité : $C=F*G*D$ [12]

g) La grille de AMDEC

Tableau III-2 : La grille AMDEC

PME :		Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leurs criticités						
Système : compresseur à vis			DATE :					
N	L'élément	fonction	modes de défaillance	cause	effet	détection	Criticité	Action
1	2	3	4	5	6	7	8	9

- 1 : Cette colonne permet d'inscrire le numéro de l'élément.
- 2 : Cette colonne permet d'inscrire la désignation de l'élément.
- 3 : Cette colonne permet d'inscrire la fonction réalisée par l'élément lors du fonctionnement normal.
- 4 : Cette colonne permet d'inscrire le mode de défaillance qui correspond à la manière dont l'élément peut être amené à ne plus assurer sa fonction.
- 5 : Cette colonne permet d'inscrire les causes ayant conduit à l'apparition de la défaillance du dispositif à travers le mode de défaillance de l'élément.
- 6 : Cette colonne permet d'inscrire les effets provoqués par l'apparition des modes de défaillance ; tels que perçus par l'utilisateur du dispositif.
- 7 : Cette colonne permet d'inscrire les modes de détection qui sont les signes provoqués par l'apparition de la défaillance, sans qu'elle n'ait encore générée l'apparition de conséquences.
- 8 : Ces colonnes permettent d'inscrire la valeur de la criticité **C**, calculée à partir de l'estimation des indices F, G et D.
- 9 : Cette colonne permet d'inscrire l'ensemble des mesures correctives décidées par le groupe de travail, pour éliminer les points critiques.[12]

h) Tableau les indices de défaillance

Tableau III-3 : les indices de défaillance

Indice	Valeur	Indice de défaillance
Indice de fréquence F	1	Défaillance pratiquement inexistante
	2	Défaillance rarement apparue (un défaut par années)
	3	Défaillance occasionnellement apparue (un défaut par trimestre)
	4	Défaillance fréquemment apparue (un défaut par mois)
Indice de gravité G	1	Défaillance mineure : aucune dégradation notable du matériel (TI < 10 min).
	2	Défaillance moyenne = une remise en état de courte durée (10 min < TI < 30 min).
	3	Défaillance majeure = une intervention de longue durée (30 min < TI < 90 min). Où Non-conformité du produit, constatée dans l'entreprise et corrigée.
	4	Défaillance catastrophique = une grande intervention (TI > 90 min) où Non-conformité du produit, constatée par un client aval (interne à l'entreprise).
	5	Sécurité/Qualité : accident provoquant des problèmes de sécurité des personnes, lors du dysfonctionnement ou lors de l'intervention. Où Non-conformité du produit envoyé en clientèle.
Indice de non détection D	1	Les dispositions prises assurent une détection totale de la cause initiale ou du mode de défaillance, permettant d'éviter les effets sur la production.
	2	Il existe un signe avant-coureur la défaillance mais il y a risque

i) Démarche pratique de l'AMDEC

L'emploi des AMDEC crée une ossature qu'il convient de compléter et d'outiller.

Pour cela une analyse plus fine de la pertinence des informations est nécessaire. Le groupe AMDEC est tenu de maîtriser la machine et de mettre à jour et s'assurer de la validité de toutes

les informations utiles à l'étude. Il appartient à ce groupe de s'appuyer sur le retour d'expérience de tous les opérateurs de tous les services de cycle de fabrication de produit, qui peuvent apporter une valeur ajoutée à l'analyse. [12]

La démarche pratique de l'AMDEC se décompose en 4 étapes suivantes :

Etape 1 : initialisation de l'étude qui consiste :

- La définition de la machine à analyser,
- La définition de la phase de fonctionnement,
- La définition des objectifs à atteindre,
- Constitution de groupe de travail, - La définition de planning des réunions,
- La mise au point des supports de travail.

Etape 2 : description fonctionnelle de la machine qui consiste

- Découpage de la machine, décision des actions à engager - Inventaire des fonctions de service,
- Inventaire des fonctions techniques.

Etape 3 : analyse AMDEC qui consiste :

- Analyse des mécanismes de défaillances, - Evaluation de la criticité à travers :
 - La probabilité d'occurrence F.
 - La gravité des conséquences G.
 - La probabilité de non détection D.

Etape 4 : synthèse de l'étude/décisions qui consiste :

- Bilan des travaux,
- Décision des actions à engager

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les trois principaux concepts de maintenance, la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité et AMDEC. On a aussi donné une vue globale sur la maintenance et son importance dans l'entreprise.

IV. Chapitre IV

Etude Analytique FMD et AMDEC

Introduction :

L'historique de panne (la compresseur ATLAS-COPCO ZE3) ; 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.
- Le calcul des heures de bon fonctionnement (TBF), qui résultent des différences entre deux pannes successives.

Tableau IV-1: Dossier historique de compresseur ATLAS-COPCO- ZE3 [14]

N°	Date de démarrage	Date d'arrêt	TBF (h)	TTR (h)	Cause	Action
1	12/02/2010	29/04/2010	1824	48	Haute température du palier avant	Changement d'huile
2	01/05/2010	14/09/2010	312	24	Haute température du palier arrière	Changement d'huile
3	15/09/2010	03/11/2010	1176	24	Vibration importante au niveau de la vis 1	Démontage et équilibrage de la vis 1
4	04/11/2010	09/02/2011	2088	48	Vibration sur palier avant et arrière	Démontage et équilibrage des vis 1 et vis 2
5	11/02/2011	25/03/2011	1008	10	Haute température des vis1 et vis 2	Changement d'huile
6	25/03/2011	12/07/2011	2616	20	Vibration importante au niveau de la vis 2	Démontage et équilibrage de La vis 2
7	13/07/2011	09/09/2011	1368	48	Bruit anormal du palier avant	Changement des roulements avant
8	11/09/2011	20/01/2012	3144	10	Haute température du palier avant	Changement d'huile
9	20/01/2012	30/03/2012	1680	45	Cisaillement de la vis 1	Changement la vis1
10	01/04/2012	05/07/2012	2280	22	Vibration importante au niveau palier arrière	Changement des roulements Arrière
11	06/07/2012	09/08/2012	816	8	Haute température du joint	Changement du filtre d'huile
12	09/08/2012	07/11/2012	2136	45	Cisaillement de la vis 2	Changement de la vis 2
13	09/11/2012	15/01/2013	1608	24	Haute température du palier arrière	Changement d'huile
14	16/01/2013	07/04/2013	1920	17	Haute température du joint	Changement d'huile

Pannes par ordre décroissant des heures des pannes puis procéder à l'établissement d'un graphe de Pareto

Tableau IV-2 : L'analyse ABC (Pareto)

N°	Organe	TTR(h)	Cumul TTR	% TTR	Nombre de panne	Cumul des pannes	%de pannes Cumulées
1	palier avant	106	106	26,97	3	3	21,42
2	palier arrière	70	176	44,78	3	6	42,85
3	La vis 1	69	245	62,34	2	8	57,14
4	La vis 2	65	310	78,88	2	10	71,42
5	palier avant et arrière	48	358	91,09	1	11	78,57
6	garniture mécanique	25	383	97,45	2	13	92,85
7	La vis1 et La vis 2	10	393	100	1	14	100

IV.1. La Methode de Pareto

Définition

Pour l'application de la méthode ABC, il faut en premier lieu faire un classement des pannes par ordre décroissant des heures des pannes puis procéder à l'établissement d'un graphe de Pareto.

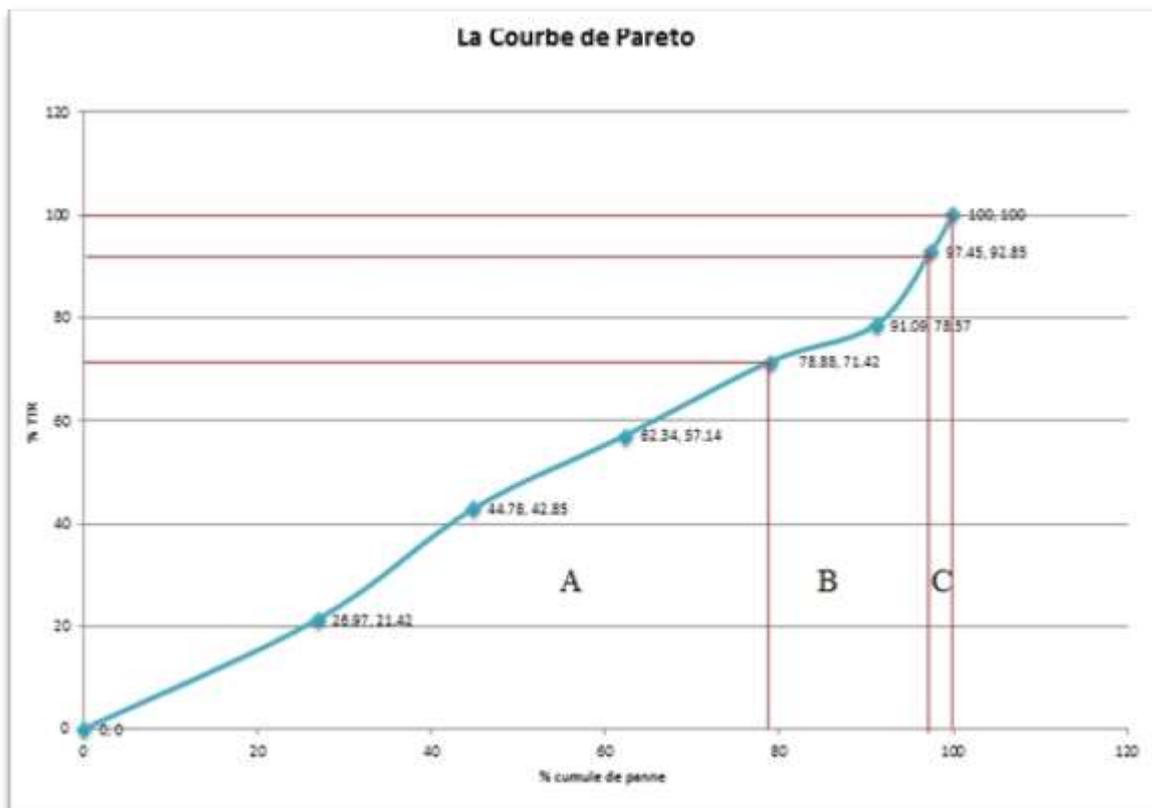


Figure IV-1 : La Courbe d'ABC

Interprétation des résultats

-Zone "A":

Dans la majorité des cas, on constate que environ 71.42% des pannes représente 78.88% des heures d'arrêts, ceci constitue la zone A, zone des priorités (palier avant -palier arrière - La vis 1- lavis2).

- Zone "B":

Dans cette tranche, les 21.4 % des pannes représentent 18.57 % supplémentaire (palier avant et arrière et garniture mécanique).

- Zone "C":

Dans cette zone les 7.15 % des pannes restantes ne représentent que 2.55% des heures d'arrêts (La vis1 et La vis 2).

IV.2. La Methode de Weibull :

Le tableau suivant comporte les TBF classés par ordre croissant, et les F(i) calculés par la méthode des rangs médians $F(i) = \frac{\sum n_i - 0,3}{N + 0,4}$ (dans notre cas $N = 14 \leq 20$) et on trace la courbe de Weibull

Tableau IV-3 : Fonction de répartition réelle

N°	TBF(h)	N	$\sum n_i$	F(i)	F(i) %
1	312	1	1	0,0486	4 ,86
2	816	1	2	0,1180	11,80
3	1008	1	3	0,1875	18,75
4	1176	1	4	0,2569	25,69
5	1368	1	5	0,3263	32,63
6	1608	1	6	0,3958	39,58
7	1680	1	7	0,4652	46,52
8	1824	1	8	0,5347	53,47
9	1920	1	9	0,6041	60,41
10	2088	1	10	0,6736	67,36
11	2136	1	11	0,7430	74,30
12	2280	1	12	0,8125	81,25
13	2616	1	13	0,8819	88,19
14	3144	1	14	0,9513	95,13

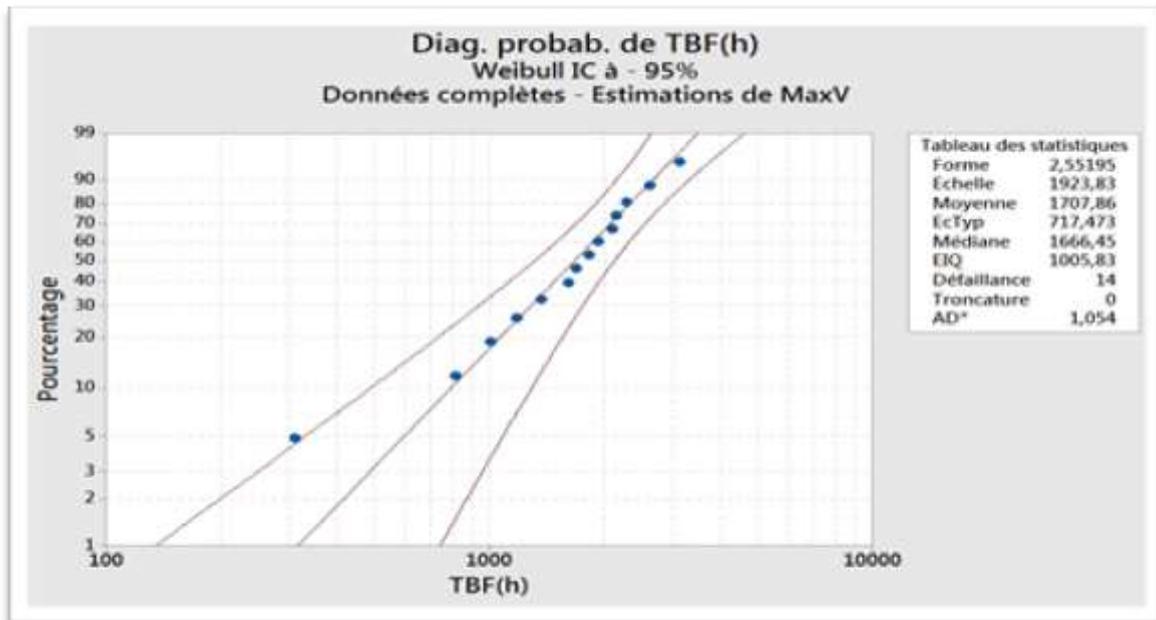


Figure IV-2: papier de Weibull en logiciel minitab17

$\beta=2,55195$

$h= 1923,83$

$\gamma= 0$ par ce que les pannes passent à l' origine du temps.

Test (KOLMOGOROV SMIRNOV)

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

Cette valeur est comparée avec $D_{n,\alpha}$ Qui est donnée par la table de Kolmogorov Smirnov (voir annexe1). Si $D_{n,max} > D_{n,\alpha}$ On refuse l'hypothèse.

Tableau K-S

Tableau IV-4: test K-S (kolmogrov-smirnov) d'après la table de K-S :

N°	TBF	F (i)	F(t)	$D_{Nmax} = F(i) - F(t) $
1	312	0,0486	0,00959042	0,03900958
2	816	0,1180	0,1060112	0,0119888
3	1008	0,1875	0,17482113	0,01267887
4	1176	0,2569	0,24781401	0,00908599
5	1368	0,3263	0,34222709	0,01592709
6	1608	0,3958	0,46888654	0,07308654
7	1680	0,4652	0,50718328	0,04198328

8	1824	0,5347	0,58224372	0,04754372
9	1920	0,6041	0,6302497	0,0261497
10	2088	0,6736	0,70841251	0,03481251
11	2136	0,7430	0,72910138	0,01389862
12	2280	0,8125	0,78617504	0,02632496
13	2616	0,8819	0,88817766	0,00627766
14	3144	0,9513	0,96987637	0,01857637

$D_{Nmax} < D_{Na}$ Ce qui veut dire que le modèle de Weibull est accepté.

Nous avons pris la valeur maximale $D_{Nmax} = |F(i) - F(t)|$.

$D_{Nmax} = 0,07308654$ tandis que $D_{N, \square} = D_{14, .20} = 0,274$ (voir annexe tab.1).

$0,07308654 < 0,274$ donc l'hypothèse du modèle de Weibull est acceptable

Exploitation les paramètres de WEIBULL :

a) Le MTBF

Le tableau de MTBF donne $A = 0,8873$ $B = 0,380$ (voir annexe tab.2).

$$MTBF = \frac{A\eta + \gamma}{B}$$

$$MTBF = 0,8873 * 1923,83 + 0 \quad MTBF = 1711,45 \text{ h.}$$

b) La densité de probabilité en fonction de MTBF

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

$$F(t) = \frac{2,55195}{1923,83} \left(\frac{1711,45}{1923,83}\right)^{2,55195-1} e^{-\left(\frac{1711,45}{1923,83}\right)^{2,55195}} = 0,00075$$

c) La fonction de répartition en fonction de MTBF

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

$$F(t=MTBF) = 0,52 = 52\%$$

d) La fiabilité en fonction de MTBF

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

$$R(MTBF) = 1 - 0,52 = 0,48 = 48\%$$

On remarque que la fiabilité du compresseur est faible

e) Le taux de défaillance en fonction de MTBF

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}$$

$$\lambda_{(t=MTBF)} = 0.00159 \text{ panne/heures.}$$

f) Calcul du temps souhaitable pour une intervention systématique

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

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

$$\ln R(t) = -\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta = \ln(0.8) \Leftrightarrow -[\ln R(t)]^{1/\beta} = t/\eta \Rightarrow t = \eta[\ln(1/R(t))]^{1/\beta}$$

$$T = 1923.83 \ln[(1/0.8)]^{1/2.55195}$$

$$t_{\text{sys}} = 1704.24 \text{ heures.}$$

Pour garder la fiabilité du compresseurs 80% il faut intervenir chaque temps systématique 1704.24 h.

Étude de modèle de weibull :

a) La fonction de la densité de probabilité

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

$$f(t) = \lambda(t) \cdot R(t)$$

Tableau IV-5: Calcul la fonction de la densité de probabilité Courbe de la densité de la probabilité f(t)

TBF	312	816	1008	1176	1368	1608	1824	1920	2088	2280	2616	3144
f(t) × 10 ⁻⁵	7,80	31,33	04,14	46,48	51,4	53,33	51,01	48,89	43,92	36,91	23,89	8,56

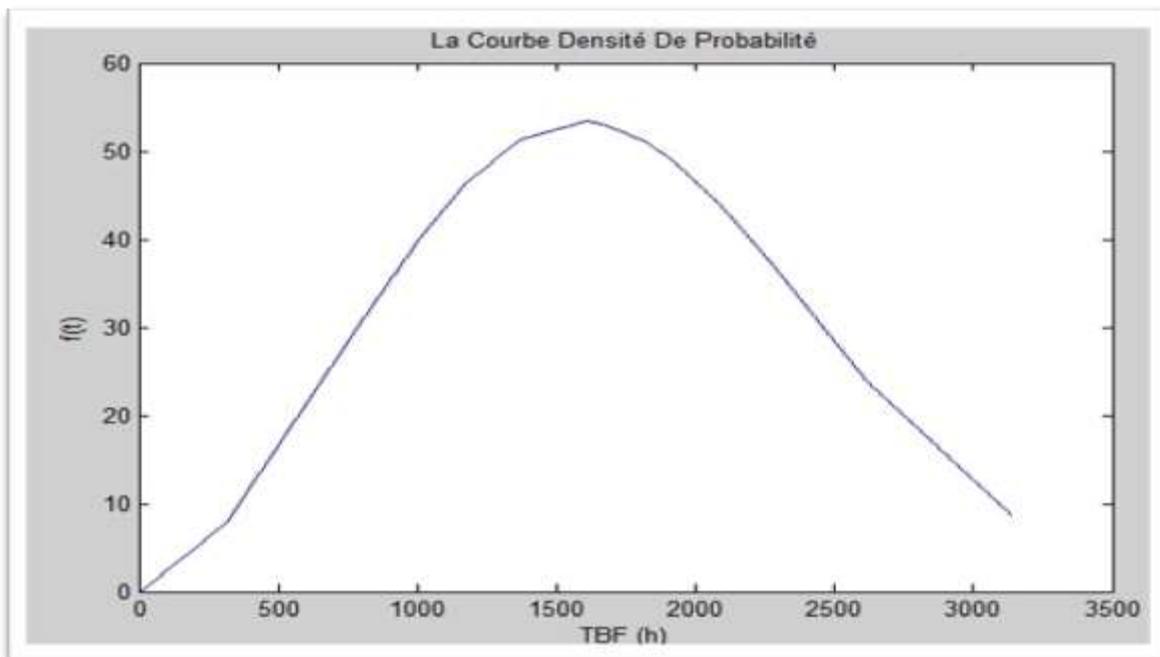


Figure IV-3: La Courbe Densité De Probabilité (logiciel matlab) Analyse de la courbe :

D'après cette courbe on remarque que la fonction $f(t)$ (densité de probabilité) augmente avec la progression du temps jusqu'à le temps ($t=1608h$) et après cette valeur la fonction $f(t)$ diminue avec le temps.

b) Fonction de répartition $F(t)$:

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

Tableau IV-6: Fonction de répartition

TBF	312	816	1008	1176	1368	1608	1824	1920	2088	2280	2616	3144
F(t)	0,009	0,10	0,17	0,24	0,34	0,46	0,58	0,63	0,70	0,78	0,88	0,96

Courbe fonction de répartition $F(t)$:

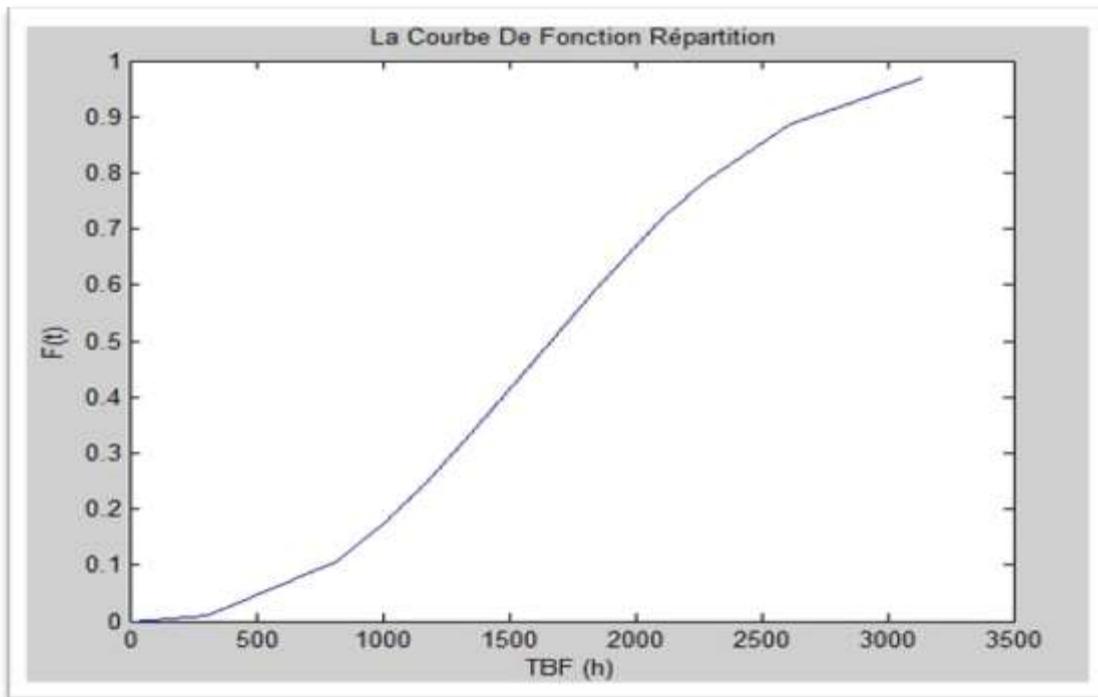


Figure IV-4: La Courbe De Fonction Répartition (logiciel matlab)

Analyse de la courbe :

La fonction de défaillance est croissante en fonction de temps, et pour $t=MTBF$,

$$F(MTBF) = 0,52 = 52\%$$

c) La fiabilité $R(t)$

La fonction fiabilité de celle de répartition : $R(t) = 1 - F(t)$, après calcul de la fiabilité du compresseur au temps $t=MTBF$, on trouve que la valeur n'est pas satisfaisante donc on peut dire que le compresseurs n'est pas fiable à $t=MTBF$

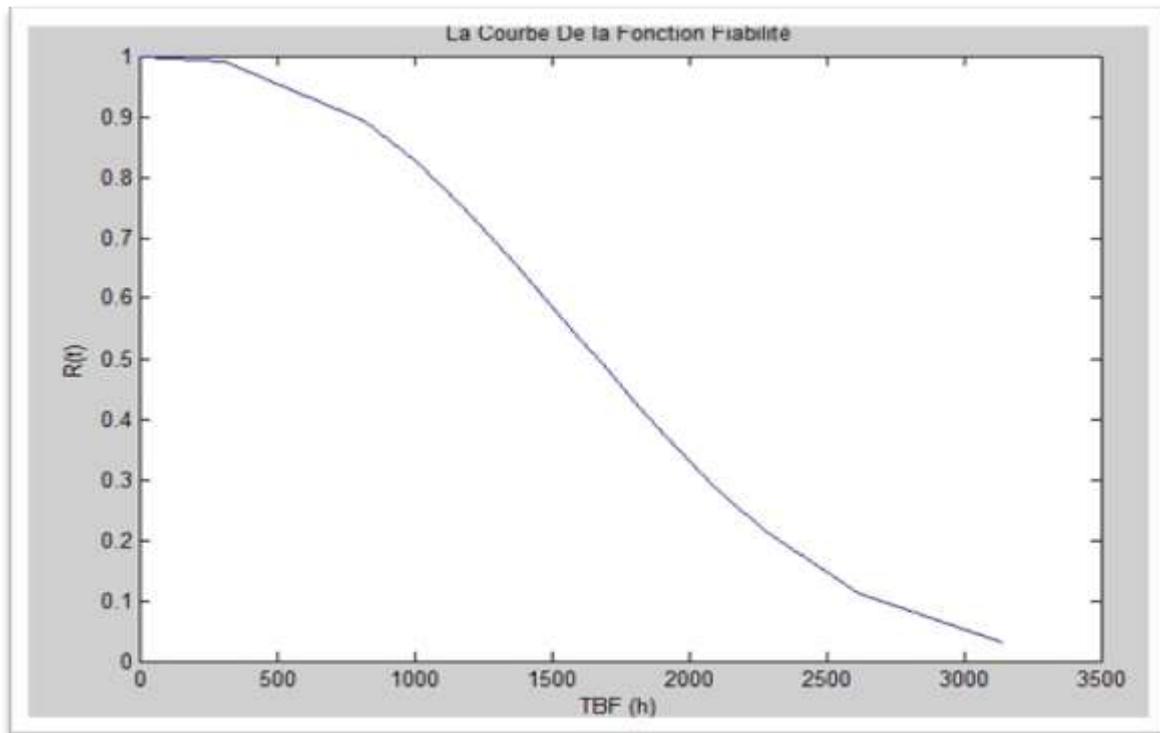
$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

$$R(t=MTBF) = 0,48$$

Tableau IV-7: Calcul de la fiabilité

TBF(h)	312	816	1008	1176	1368	1608	1824	1920	2088	2280	2616	3144
R(t)	0,99	0,89	0,82	0,75	0,65	0,53	0,41	0,36	0,29	0,21	0,11	0,03

Courbe de la fiabilité :

**Figure IV-5 : La Courbe De la Fonction Fiabilité (logiciel matlab)**

Analyse de la courbe :

Le graphe décroissant en fonction de temps ce qui fait expliquer par le phénomène de dégradation comme par exemple l'usure.

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.

d) Le taux de défaillance $\lambda(t)$

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1}$$

Tableau IV-8 : le taux de défaillance

TBF(h)	312	816	1008	1176	1368	1608	1824	1920	2088	2280	2616	3144
$\lambda(t) \cdot 10^{-3}$	0,07	0,35	0,48	0,61	0,78	1,004	1,22	1,32	1,50	1,72	2,13	2,84

Courbe du taux de défaillance :

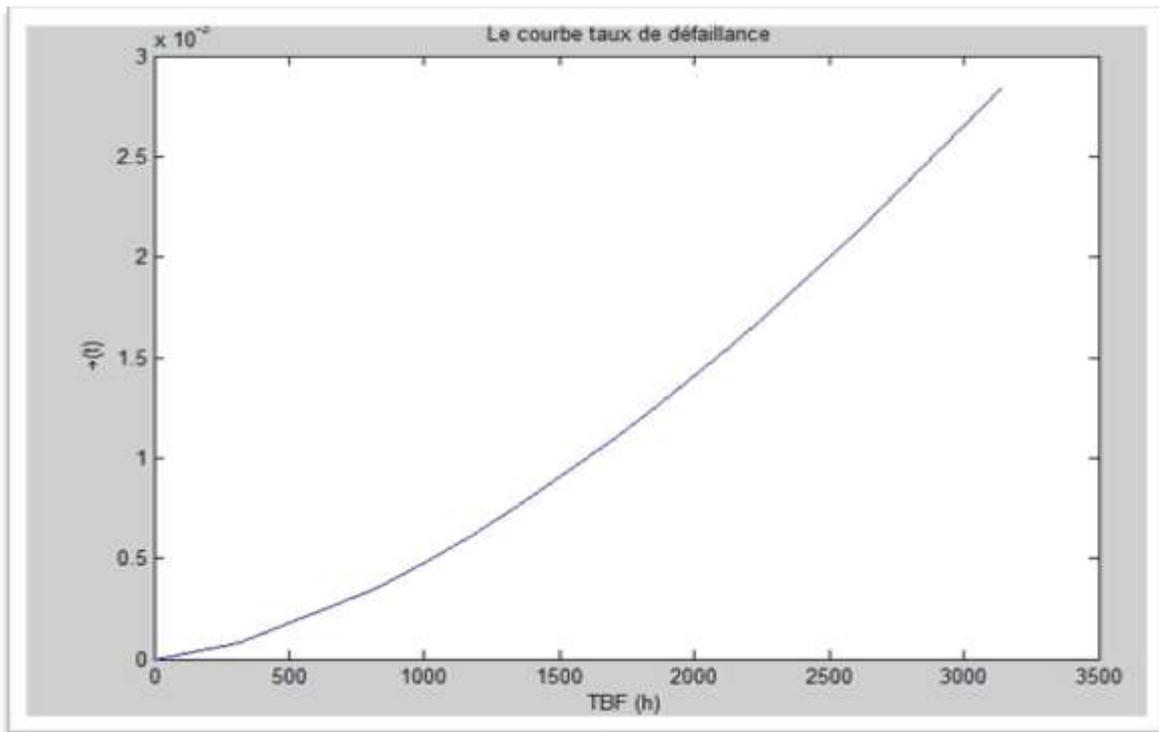


Figure IV-6: Le courbe taux de défaillance (logiciel matlab)

Analyse de la courbe :

Le taux de défaillance est croissant en fonction de temps.

Calcul de Maintenabilité du compresseur

D'après l'historique des pannes du compresseur :

$$MTTR = \Sigma TTR / N.$$

TTR : temps de réparation.

N : nombre de pannes.

$$MTTR = 393 / 14 = 28.07 \text{ h.}$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t}$$

Avec $\mu = 1 / MTTR = 1 / 28.07 = 0.0356$ intervention / heure.

Tableau IV-9: La maintenabilité du compresseur Courbe de maintenabilité

TTR(h)	20	40	60	80	100	160	180	200	220	240	260	280
M(t)	0,509	0,759	0,881	0,942	0,971	0,996	0,998	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999

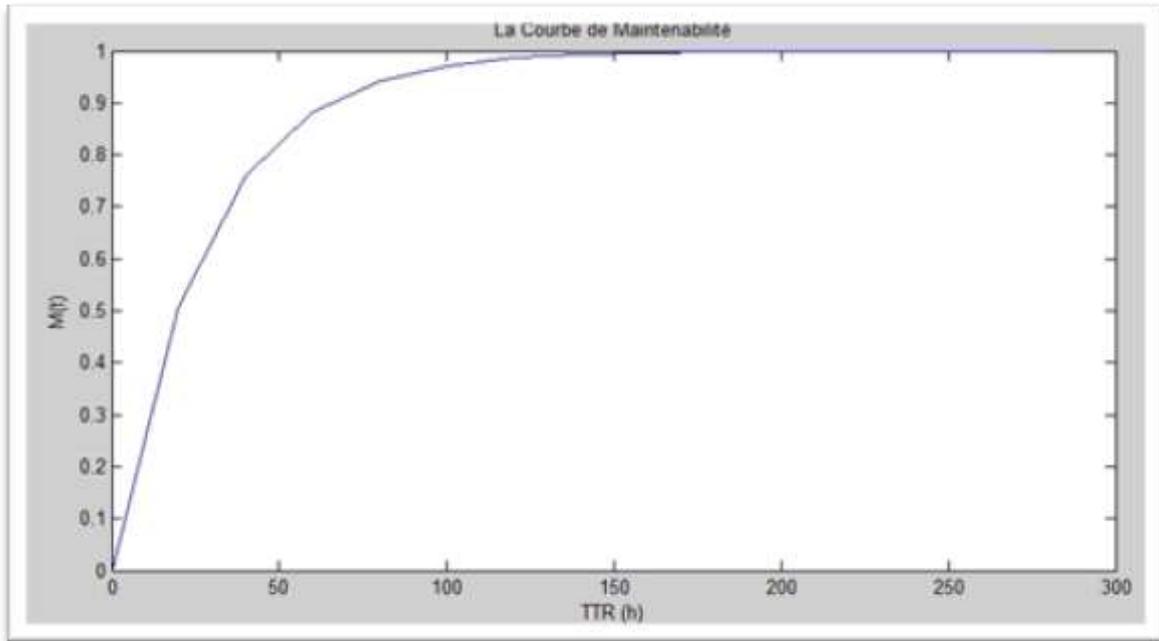


Figure IV-7: La Courbe de Maintenabilité (logiciel matlab) Analyse de la courbe :

La Maintenabilité est croissante en fonction du temps à l’instant T=260 heures, la maintenabilité est 99,99%.

IV.2.6 Calcul de la disponibilité du compresseur

a)Disponibilité intrinsèque au asymptotique

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} = \frac{1711,45}{1711,45+28,07} = 0.9838$$

b) Disponibilité instantané

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{1711,45} = 0.000584$$

$$MTTR = \frac{1}{\mu} \Rightarrow \mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{28,07} = 0.0356$$

$$\mu + \lambda = 0,0356 + 0,000584 = 0,0361$$

$$D(t) = \frac{0,0356}{0,000584+0,0356} + \frac{0,000584}{0,000584+0,0356} e^{-(0,000584+0,0356)t}$$

Tableau IV-10 Tableau de disponibilité

T(h)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
D(t)	0,721	0,502	0,349	0,243	0,169	0,118	0,082	0,057	0,039	0,027	0,019	0,013

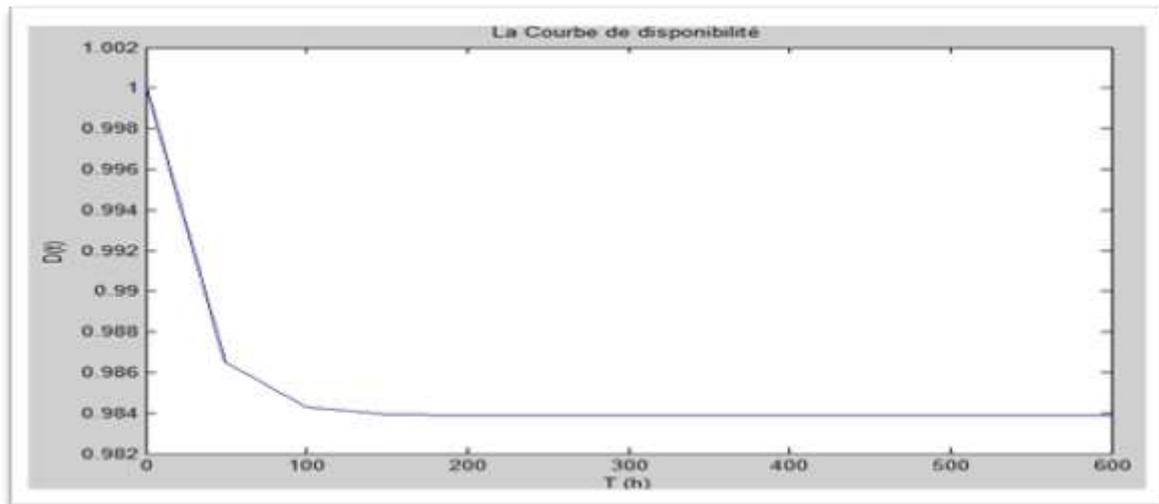
Courbe de la disponibilité

Figure IV-8 La Courbe de disponibilité (logiciel matlab) Analyse de la courbe :

La disponibilité est décroissante en fonction de temps, pour augmenter la disponibilité d'un compresseur consiste à diminuer le nombre de ses arrêts (augmentée sa fiabilité) et réduire le temps nécessaire pour résoudre les causes de ceux-ci (augmenté sa Maintenabilité).

IV.3. Etude AMDEC

L'AMDEC est une technique utilisée pour le développement des produits et des procédés afin de réduire les risques d'échecs et de documenter les actions entreprises pour la revue d'un processus. Il est aussi destiné à être utilisé pour les actions préventives. [13]

Tableau IV-11: Tableaux d'AMDEC

PME :		Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leurs criticités								
Sous-système : compresseur ATLAS COPCO-ZE3		DATE :								
L'élément	fonction	Modes de défaillance	Cause	effet	détection	Criticité				Action
						F	G	D	C	
Paliers roulement	Guider et supporter la vis	-usure -cassure	-Fatigue -vibration	Echauffement Blocage de vis	-Bruit échauffement	3	3	1	9	changement des roulements
La vis	Assurer le mouvement de rotation pour pression le fluide	Défaillance de la cage	Fatigue surcharge	arrêt de compresseur	visuel	4	4	1	16	Changement de la vis
Clapets d'aspiration et de refoulement	Faire passer le fluide dans un seul sens	-usure -colmatage	-Fatigue Mauvais fonctionnement de filtre	-Diminution de pression	visuel	2	2	2	6	-Changement de clapet -nettoyage ou changement de filtre
Filtre	Filtre d'huile	Pas de filtration	Filtre déchiré	Marche dégradée	auditif	3	2	1	6	Changement de filtre
Boite alimentation	Alimentation électrique	Compresseur ne démarre pas	pas de courant	Compresseur ne marche pas	visuel	2	2	1	4	-mettre le courant -changer le circuit de commande
Joint	Eviter les fuites	Fuite externe	-usure par le temps Mauvais positionnement	Baisse production air - arrêt	Auditif	2	2	2	8	Changement le joint

Conclusion

Dans ce chapitre, nous pouvons conclure que la FMD a un rôle très important dans l'industrie et en plus que ça, les méthodes de calculs des instruments de l'entreprise tel que les composants de compresseur. Ces méthodes ont permis de suivre en détail les problèmes et choisir une meilleure politique de maintenance, donc une bonne amélioration du travail.

Bien que simple, la méthode AMDEC s'accompagne d'une lourdeur certaine et la réalisation exige un travail souvent important et fastidieux.

- Néanmoins l'AMDEC fournit :
- Une autre vision du système,
- Des supports de réflexion, de décision et d'amélioration,
- Des informations à gérer au niveau des études de sûreté de fonctionnement et des actions à entreprendre.

Pour garder la fiabilité du compresseur 80% il faut intervenir chaque temps systématique 1704.24 h on cite quelques actions préventives de compresseur.

Tableau IV-12 Plan Préventif

Plan de maintenance préventive	Machine : Compresseur à vis ATLS COPCO-ZE3					
Operation executable en fonctionnement	Executant	Fréquence				
Operations		J	M	T	S	A
Vérifier le niveau d'huile du compresseur	Mécanicien	X				
Nettoyer la cartouche de filtre d'air Mécanicien	Mécanicien				X	
Remplacer la cartouche de filtre d'air	Mécanicien					X
Changer la cartouche de filtre d'huile	Mécanicien			X		
Vérifier le clapet de retour d'huile	Mécanicien					X
Contrôler le système de refroidissement	Mécanicien		X			
Vérifier le clapet d'aspiration	Mécanicien					X
Date :	J = jour, M mensuel, T = trimestrielle, S = semestrielle- A = annuelle					

Conclusion générale

Au terme de notre étude, nous pouvons constater et conclure qu'il est très important de définir la panne et comprendre les phénomènes des défaillances et de dégradation des équipements

Ainsi de connaître les comportements avec une étude détaillée de la Fiabilité et de la Disponibilité qui permet de choisir une meilleure politique de maintenance, ce qui donne la possibilité de réduire les temps d'arrêts, l'indisponibilité et les coûts de maintenance est tout cela pour concrétiser la meilleure organisation de maintenance.

Après avoir utilisé la loi de Pareto qui permet de choisir entre plusieurs problèmes ceux qui doivent être traités en priorité nous avons remarqué que :

Les éléments importants du compresseur et qui nécessitent des interventions à mener en priorité de ceux qui le sont moins, sont les **paliers et les vis**.

Après avoir étudié la fiabilité par la méthode FMD du compresseur à vis Atlas copco ZE3, nous avons trouvé la valeur du paramètre de forme supérieur à 1 ($\beta > 1$), ce qui signifie que ce compresseur est en **période de vieillesse**.

Pour garder donc sa fiabilité à 80% il faut intervenir chaque **1704 h**.

L'étude et l'analyse des modes de défaillance, leurs effets et leur criticité « AMDEC » a permis de dresser un tableau indiquant les organes ayant une criticité plus élevée : les paliers et les vis, ce qui confirme le résultat obtenu par la méthode ABC.

Enfin, à travers tous ces résultats, on a pu suggérer un plan de maintenance pour le compresseur étudié, qui vise à l'amélioration des actions de maintenance préventive, dans le but de le maintenir, et de prolonger sa durée de vie.

Comme perspective, on envisage pour les travaux futurs de faire une analyse des causes- effets par la méthode ISHIKAWA, cette dernière permettra d'identifier les causes possibles des pannes selon la loi des 5M, et d'en remédier.

Références bibliographiques

- [1] **Thierry DESTOOP** Compresseurs volumétriques Ingénieur de l'École Universitaire d'Ingénieurs de Lille (EUDIL),
- [2] **ENSPM formation industrie**, technologie et fonctionnement des compresseurs 11-04-2005
- [3] **Alain Anstett**, Projet, Réalisation d'un démonstrateur manuel de compresseur scroll Corotatif 2012-2013
- [4] **Maamoune Saad, Lebssisse Noureddine, Thème** (Adaptation d'un nouveau système d'étanchéité (la garniture sèche) au compresseurs K201B) université Kasdi Merbah-ouargla à 2010/2011
- [5] **BENHAMEL Houssameddine, GHERRAS Yassine** - Thème (Influence des systèmes VSV (variable stator vanes) sur les performances de la turbine à gaz LM2500+) Université Abou bekr Belkaid – Tlemcen 2013-2014
- [6] **Rezgi Imane**, cour maintenance industriel univ-ouargla 2017
- [7] **A. BELHOMME**, Cours de stratégie de maintenance 2010/2011
- [8] **N. Makni**, Cours de Fiabilité
- [9] **Adnane Rahmouni**, mémoire Fin d'Etudes (Etude AMDEC des machines photovoltaïques et plan de maintenance d'un compresseur) Université Sidi Mohammed Ben Abdellah Fès - 15 Juin 2012
- [10] **Hathat Abdelkader, Deblaoui Hicham** Mémoire (Etude analytique FMD d'une turbine DR990) université Kasdi Merbah – ouargla 2014/2015
- [11] **Ladraa Aicha, Oukicha Najwa** - projet de fin d'étude (Maîtrise et Fiabilisation des compresseurs de secteur adaptation de la laverie DAOUI) Université Sidi Mohammed Ben Abdellah Fès .15-06-2015
- [12] https://fr.wikipedia.org/wiki/Compresseur_m%C3%A9canique#.C3.80_palettes
- [13] **Brahim HERROU, Mohamed Elghorba**, L'AMDEC un outil puissant d'optimisation de la maintenance, application à une moto compresseur d'une PME marocaine- Ecole Nationale Supérieure d'Electricité et de Mécanique, Casablanca, Morocco 2005
- [14] **ALFAPIPE**, fiche de l'historique d'un compresseur à vis, GHARDAIA 2017
- [15] fr.wikipedia.org/wiki/Atlas_Copco