

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR ANNABA-UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA



جامعة باجي مختار عنابة

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIORAT
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

MEMOIRE

PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER

INTITULE

**ETUDE FMD ET ELABORATION D'UNE POLITIQUE DE
MAINTENANCE DU COMPRESSEUR K101/A DU BAC DE
STOCKAGE D'AMMONIAC
AU NIVEAU DE FERTIAL -ANNABA-**

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE

FILIERE : GENIE MECANIQUE

SPECIALITE : MAINTENANCE INDUSTRIELLE ET FIABILITE MECANIQUE

PRESENTE PAR : NAILI OUSSAMA

DIRECTEUR DU MEMOIRE : DR.BOUDECHICHE.S

DEVANT LE JURY

PRESIDENT : Pr.KHELIF.R

EXAMINATEURS :

- DR.BOURENENE.J	MCA
- DR.BOUDECHICHE.S	MCB
- DR.MERABTINE.A	MCB
- MR.OMRI.M	MAA

Année : 2015/2016

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à ceux que j'aime le plus au monde :

A celle qui m'a mise au monde, celle qui ma soutenue tout le long de mes études scolaires et n'a jamais cessé de consentir pour ma réussite et mon bonheur : « ma mère » à qui je dois le respect pour sa gentillesse, sa noblesse, sa bonté et son amour.

A mon père à qui je dois tout ; en témoignage de mon profond respect, j'espère qu'il sera très fier de moi.

A mon chère frère Chouaib qui n'a jamais cessé de me soutenir.

A mes amis que j'estime beaucoup.

N.Oussama

Remerciements

*J'exprime mes sincères remerciements à Allah le tout puissant
A mes parents pour leur contribution pour chaque travail que j'ai
effectué.*

*De même je tiens à remercier tout le personnel du département
mécanique en générale et en particulier mon encadreur
MR.BOUDECHICHE qui n'a pas hésité à m'aider, faciliter et me
guider dans la bonne voie pour achever ce travail*

*Je remercie aussi MR.BELHADI, mon tuteur ainsi MR.MESSAI
Mounir et toute l'équipe de la direction maintenance de l'entreprise
FERTIAL pour leur aide.*

*Sans oublier ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation
de ce travail, mes amis, mes collègues et tous les étudiants de la
promotion.*

N.Oussama

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I : Présentation de l'entreprise

I.1. Introduction.....	1
I.2. Historique de l'entreprise.....	1
I.3. Localisation du complexe.....	1
I.4. Les plateformes FERTIAL.....	2
I.4.1. Plateforme D'ANNABA.....	3
I.4.2. Les unités de l'entreprise.....	4
I.5. Différentes directions de FERTIAL.....	5
I.6. Production de l'entreprise.....	5
I.7. L'unité d'ammoniac.....	6
I.7.1. Présentation générale de l'unité.....	6
I.7.2. Généralités sur l'Ammoniac.....	6
I.7.2.a) Historique des conditions de synthèse de l'Ammoniac.....	6
I.7.2.b) Propriétés physiques.....	7
I.7.2.c) Propriétés chimiques.....	7
I.7.2.d) Objectif du procédé Kellogg.....	7
I.8. Processus principales de fabrication.....	8
I.9. Conclusion.....	9

CHAPITRE II : La Maintenance et sa nécessité dans l'entreprise

II.1. Introduction.....	10
II.2. La fonction maintenance.....	10
II.3. Politique de maintenance.....	11
II.4. Méthodologie de la maintenance.....	11
II.4.1. L'observation.....	11
II.4.2. L'analyse.....	12
II.4.3. La communication.....	12
II.4.3.A. La communication au sein du service maintenance.....	12
II.4.4. Les fonctions du service maintenance.....	13
II.4.4.1. Etude.....	13
II.4.4.2. Préparation.....	13
II.4.4.3. Ordonnancement.....	13
II.4.4.4. Réalisation.....	13
II.4.4.5. Gestion.....	14
II.5. Les objectifs de la maintenance.....	14
II.6. Les types de maintenance.....	15
II.6.1. Maintenance corrective.....	16
II.6.1.a) Maintenance curative.....	16

II.6.1.b) Maintenance palliative.....	16
II.6.2. La maintenance préventive.....	16
II.6.2.a) La maintenance systématique.....	17
II.6.2.b) La maintenance conditionnelle « prédictive ».....	17
II.7. Les types de maintenance dans les autres pays industrialisés.....	19
II.8. Les niveaux de maintenance.....	19
II.9. Les missions principales du service maintenance au sein de l'entreprise.....	20
II.10. Le système documentaire de la maintenance.....	21
II.11. Sous-traitance de la maintenance.....	22
II.12. La maintenance dans le complexe FERTIAL.....	23
II.12.1. Inspection.....	23
II.12.2. Position de la maintenance au sein de l'entreprise.....	23
II.12.3. Le but de la direction de maintenance dans FERTIAL.....	25
II.13. Conclusion.....	26

CHAPITRE III : Etude de fonctionnement du bac de stockage d'ammoniac et la relation avec les compresseurs K101/A/B/C

III.1. Introduction.....	27
III.2. Définition d'un bac de stockage.....	27
III.3. Types des bacs de stockages.....	27
III.3.1. Classement selon la configuration des réservoirs.....	27
III.3.1.1. Réservoirs cylindriques verticaux.....	27
III.3.1.2. Réservoirs cylindrique horizontaux.....	28
III.3.1.3. Réservoirs sphériques.....	28
III.3.1.4. Réservoirs sphéroïdaux.....	29
III.3.1.5. Réservoirs à double toit dôme conventionnel.....	29
III.3.1.6. Réservoir à toit dôme.....	30
III.3.1.7. Réservoirs à simple paroi.....	30
III.3.1.8 Réservoirs à double paroi.....	31
III.3.2. Classement selon la pression et le mode de stockage.....	32
III.3.2.1. Stockage des produits volatils.....	32
III.3.2.2. Stockages sous pleine pression.....	33
III.3.3.3. Stockage semi- réfrigérés.....	33
III.3.3.4. Stockages réfrigérés et cryogéniques.....	33
III.4. Construction des réservoirs réfrigéré et cryogénique.....	34
III.4.1 Référentiels de construction.....	35
III.4.2. Qualité des aciers utilisés dans la construction.....	35
III.5. Les accessoires des réservoirs de stockage.....	36
III.5.1 Accessoires d'accès.....	36
III.5.2 Accessoires de visite et de nettoyage.....	37
III.5.3 Accessoires et équipements critiques pour le fonctionnement.....	37
III.5.4 Accessoires de réchauffage et isolation.....	37

III.5.5 Accessoires de sécurité et de protection.....	37
III.6. Présentation du bac de stockage d'ammoniac 101T de FERTIAL.....	38
III.6.1. Le Bac de stockage d'ammoniac 101T.....	38
III.6.2. Les caractéristiques techniques du bac.....	39
III.6.3. Système d'entreposage et de transbordement d'ammoniac.....	39
III.6.4. Système d'entreposage de l'ammoniac.....	39
III.6.4.1. Principe de fonctionnement et la relation avec les compresseurs K101.....	39
III.6.4.2 Schéma de fonctionnement et relation avec les Compresseurs K101.....	42
III.6.5. Bassin de rétention.....	43
III.6.7. Système de réfrigération.....	43
III.6.8. Système de transbordement de l'ammoniac.....	43
III.6.8.1 Pompes de transfert.....	43
III.6.8.2. Pipeline.....	44
III.6.8.3. Système de retour des gaz.....	45
III.6.8.4. Fréquence des transbordements.....	45
III.6.8.5. Les infrastructures portuaires.....	45
III.6.8.6. Moyens de prévention et de protection.....	46
III.7. Les Equipements et les accessoires du bac de stockage.....	46
III.8. Problèmes de dégradation du bac de stockage.....	47
III.8.1 Dossier de suivi individuel.....	47
III.8.2 Dégradations potentielles des parois métalliques des réservoirs.....	48
III.8.3. Corrosion atmosphérique.....	48
III.8.4. Corrosion fissurante sous tension par l'ammoniac.....	49
III.8.5. Fatigue.....	49
III.8.7. Dégradations potentielles des accessoires.....	49
III.9. Conclusion.....	50

CHAPITRE IV : Etude du fonctionnement des compresseurs K101 A/B/C

IV.1. Introduction.....	51
IV.2. Généralité sur les compresseurs	51
IV.2.1. Définition.....	51
IV.2.2. Domaines d'applications.....	51
IV.2.3. Taux de compression.....	51
IV.2.4. L'aspect énergétique.....	52
IV.2.4.a. Température.....	52
IV.2.4.b. Travail de compression.....	52
IV.2.5. Les Différents types de compresseurs.....	53
IV.2.5 .a. Les compresseurs volumétriques rotatifs.....	54
IV.2.5.b. Les compresseurs dynamique (Turbocompresseurs).....	54
IV.3. Les compresseurs à vis.....	54
IV.3.1. Historique et domaine d'application du compresseur à vis.....	54
IV.3.2. Mécanisme de compression.....	56
IV.3.3. Principe de fonctionnement des compresseurs à vis.....	57

IV.4. Présentation du groupe de compresseurs K101 au sein du ‘‘bac de stockage’’	59
IV.4.1. Description des compresseurs K101	59
IV.4.2. Principe de compression des compresseurs K101	60
IV.4.3. Caractéristiques technique du compresseur	61
IV.4.4. Description des composants des compresseurs K101/A/BC	63
IV.4.5. Evaluation de l’huile	64
IV.5. Rôle des compresseurs K101/A/B/C dans l’installation	65
IV.6. Les paramètre de fonctionnement des compresseurs K101 A/B/C	68
IV.6.1. L’importance des paramètres de fonctionnement	68
IV.6.2. Les seuils d’alarme d’arrêt automatique	68
IV.6.3. Description des paramètres d’exploitation du groupe K101	70
IV.6.4. Fonctionnement des trois compresseurs	71
IV.7. Maintenance des Compresseurs K101	72
IV.7.1. Problème de lubrification	72
IV.7.2. Excès d’exploitation	72
IV.8. Conclusion	73

CHAPITRE V : Etude FMD des compresseurs K101/A/B/C du bac de stockage d’ammoniac

V.1. Introduction	74
V.2. FMD	74
V.2.1 La fiabilité	74
V.2.2. La maintenabilité	75
V.2.3. La Disponibilité	76
V.3. Les travaux de maintenance des compresseurs réalisée au complexe	76
V.3.1. Mesures de vibrations	76
V.3.2. Révisions mécanique	77
V.3.2.1 Groupe de compresseur C	77
V.3.2.2 Révision et remise en état du groupe K101 A	83
V.4. Analyse de l’historique des pannes des compresseurs K101/A/B/C	84
V.4.1. Diagramme de PARETO ou la méthode des 80-20	84
V.4.2. Objectif de la méthode	84
V.4.3. Mise en application de la loi Pareto pour les compresseurs	85
A) Historique des pannes du compresseur K101 B	85
B) Historique des pannes du compresseur K101 C	86
C) Historique des pannes du compresseur K101 A	87
D) Diagramme de Pareto des compresseurs	88
E) Constatation final	89
V.5. Etude FMD du compresseur K101/A	89
V.5.1. Détermination du Temps de bon fonctionnement	89
V.5.2. Application de la loi de WEIBULL à trois paramètres	89
V.5.2.1. Détermination de la fonction de répartition	91

V.5.2.2. Détermination des paramètres.....	92
V.5.3. Etude de la fiabilité.....	96
V.5.4. Fonction de fiabilité R(t).....	96
V.5.5. La fonction de répartition.....	97
V.5.6. Taux de défaillance.....	98
V.5.7. Densité de probabilité des défaillances.....	99
V.5.8. Etude de la Maintenabilité.....	99
V.5.9. Etude de la Disponibilité.....	100
V.5.9.1 Disponibilité instantanée.....	100
V.5.9.2 Disponibilité intrinsèque.....	101
V.6. Conclusion.....	102

Chapitre VI : Recommandations de maintenance pour les compresseurs

K101

VI.1. Introduction.....	103
VI.2. Localiser les équipements critiques.....	103
VI.2.1 Diagramme de Pareto.....	103
VI.2.2. La Méthode QQQQCP.....	103
VI.2.3. L'AMDEC.....	104
VI.2.4. Diagramme d'Ishikawa (diagramme causes/effets).....	105
VI.2.5. Brainstorming (LE REMUE- MENINGES).....	106
VI.2.6. TPM (Total Productive Maintenance.....	106
VI.2.6.1 Conditions de mise en place de la TPM.....	107
VI.2.6.2. Les étapes de la TPM.....	107
VI.2.6.3. Les tâches de l'auto-maintenance.....	107
VI.2.6.4. Les indicateurs de la TPM : TRS, TRG, et TRE.....	108
VI.2.7. Les 8D (8 Do).....	108
VI.2.8. PDCA (dite Roue de Deming).....	109
VI.2.8. LE BENCHMARKING (Analyse comparative).....	109
VI. 3. Les inconvénients de la sous-traitance.....	109
VI.4. Visions à long terme.....	110
VI.5. Planification de la maintenance préventive.....	110
VI.5.1. Etablissement du planning.....	111
VI.5.2 Contrôles non destructifs.....	111
VI.5.3. L'analyse des huiles.....	111
VI.5.4. Analyse vibratoire.....	112
VI.5.5. Thermographie infrarouge.....	113
VI.6. Proposition d'un programme de maintenance préventive pour les compresseurs.....	113
IV.8. Conclusion.....	116

Conclusion Générale

Bibliographie

Annexes

LISTE DES FIGURES

Chapitre I

Figure.I.1. Carte de localisation du complexe FERTIAL.....	2
Figure.I.2. Vue de l'entrée du complexe FERTIAL ANNABA.....	3
Figure.I.3. Les différentes unités de production du complexe FERTIAL.....	4
Figure.I.4. Organigramme des directions de FERTIAL.....	5
Figure.I.5. Schéma du procédé de fabrication de l'ammoniac.....	8

Chapitre II

Figure II.1. Les différentes tâches contenues dans la fonction maintenance.....	11
Figure.II.2. Les différents types de maintenance.....	15
Figure.II.3. La maintenance systématique en fonction du temps.....	17
Figure II.4. Structures principales de la division de la maintenance de FERTIAL.....	23
Figure II.5. Position du service maintenance dans l'entreprise.....	24
Figure II.6. Vue de la direction de maintenance (lieu du stage pratique).....	24
Figure II.7. L'atelier de maintenance.....	25

Chapitre III

Figure.III.1. Exemple d'un réservoir cylindrique vertical.....	28
Figure.III.2. Exemple d'un réservoir cylindrique horizontal.....	28
Figure.III.3. Exemple d'un réservoir sphérique.....	29
Figure.III.4. Réservoir cryogénique-réfrigéré destinés au stockage GPL et Ammoniac.....	30
Figure.III.6. Réservoir à simple paroi avec mur de rétention secondaire.....	31
Figure.III.7. Matériaux en fonction de la température d'emploi du produit stocké.....	36
Figure III.8 Le Bac de stockage d'ammoniac de Férial.....	38
Figure.III.9. La torchère de secours.....	40
Figure.III.10. Vue générale de l'ensemble d'installation et des pipes du bac de stockage.....	41
Figure.III.11. Schéma simplifié d'implantation du bac et des compresseurs K101A/B/C.....	42
Figure.III.12. Les pipes de transfert du bac de stockage.....	44
Figure.III.13. Salle de contrôle du bac de stockage d'ammoniac.....	47

Chapitre IV

Figure.IV.1. Diagramme Clapeyron de type de compression.....	52
Figure.IV.2. Les différents types de compresseurs selon l'élément de compression.....	53
Figure.IV.3. Le profil asymétrique des rotors.....	55
Figure.IV.4. Compresseur à vis (double Rotor).....	56
Figure.IV.5. Principe de fonctionnement de la compression.....	57
Figure.IV.6. Mécanisme d'aspiration et de refoulement.....	58
Figure.IV.7. Groupe de compresseur K101 A.....	59

Figure.IV.8. Schéma simplifié de fonctionnement du compresseur K101.....	61
Figure.IV.9. Groupe de compresseur K101-A et ses importantes composantes	62
Figure.IV.10. Description des composants des compresseurs K101.....	63
Figure.IV.11. Position des rotors dans le compresseur K101 (Sabroe 87).....	64
Figure.IV.12. Séparateur à bulles.....	65
Figure.IV.13. Manomètre d'aspiration.....	65
Figure.IV.14 Les Echangeurs E103A/B (condenseurs).....	66
Figure.IV.15 Schéma simplifié de la position des compresseurs dans l'installation.....	67
Figure.IV.16 Panneau de commande de compresseur et fonctions d'alarme.....	69
Figure.IV.17 Schéma du programme de fonctionnement des compresseurs.....	71

Chapitre V :

Figure.V.1. L'évolution de la durée de vie d'un équipement "Courbe en baignoire".....	75
Figure.V.2. Dépose du compresseur (rotor).....	78
Figure.V.3. Rotor Male et Trace de Vis.....	79
Figure.V.4 Présence des fissures sur l'arbre male du rotor.....	79
Figure.V.5. Disques d'accouplements totalement cassés.....	80
Figure.V.6. Présence d'huile dans les disques d'accouplement.....	81
Figure.V.7. Garniture sans des vis.....	81
Figure.V.8. Moteur électrique avec encrassage.....	82
Figure.V.9. Groupe de compresseur avec encrassage.....	82
Figure.V.10 Diagramme de Pareto pour K101/A/B/C.....	88
Figure.V.10 Papier d'Allen Plait (WEIBULL) et les résultats.....	92
Figure.V.11. Nuages de points de Bx et By et l'équation de la courbe de tendance.....	94
Figure.V.12. La fiabilité en fonction de T.....	96
Figure.V.13. La fonction de répartition.....	97
Figure.V.14. : le taux de défaillance en fonction de TBF (instantanée).....	98
Figure.V.15. la densité de probabilité de défaillance.....	99
Figure.V.16. La maintenabilité en fonction du TTR.....	100
Figure.V.17. La disponibilité en fonction de TBF.....	101

Chapitre VI :

Figure IV.1 Diagramme d'Ishikawa.....	107
Figure IV.2 Circuit des dossiers de la maintenance préventive.....	112

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I :

Tableau.I.1. Les différents produits fabriqués à FERTIAL.....5

Chapitre II :

Tableau II.1. Les niveaux de maintenance d'après L'AFNOR.....20

Chapitre III :

Tableau.III.1. Modes de stockage et types de réservoirs en fonction de produit stocké.....34

Chapitre IV :

Tableau.V.1. Résultats de mesure de vibration pour les compresseurs K101 A/B.....77

Tableau.V.2. Historique des pannes du compresseur B.....85

Tableau.V.3. Historique des pannes du compresseur C.....86

Tableau.V.4. Historique des pannes du compresseur A.....87

Tableau.V.5. Historique des pannes, TBF et TTR du Compresseur A.....90

Tableau.V.6 Détermination de la fonction de répartition.....91

Tableau.V.7. Les résultats de BetaX et BetaY.....93

Tableau.V.8. Fiabilité, Maintenabilité et Disponibilité du compresseur K101/A.....95

LISTE DES ABREVIATIONS

NPK : Azote, Phosphore, Potassium

UAN : Urée Acide Nitrique

SSP : Simple Super Phosphate

NINA : Unité Nitrique, Unité Nitrate de calcium

LT et HT: Low Temperature, High Temperature

AFNOR : Association Française de normalisation

FD : Fascicule de Documentations

NF : Norme Française

PNE : Point Normal d'Ebullition

Patm : Pression atmosphérique

EN : European Norm

API: American Petroleum Institute

CODRES : Code Français des réservoirs

BS : British Standard

SRM : Sveridge Rotor Maskiner

AMDEC : Analyse des Modes de Défaillances de leurs Effets et Criticités

TPM : Total Productive Maintenance

PDCA : Plan, Do, Check, Act

ISO: International Organization for Standardization

INTRODUCTION
GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

La maintenance industrielle est une fonction stratégique prioritaire dans les entreprises, qui a pour but d'assurer le bon fonctionnement des outils de production. Particulièrement liée au développement technologique, à l'apparition de nouveaux modes de gestion, à l'importance de réduire les coûts de production, elle est en constante évolution. Elle n'a plus aujourd'hui comme seul objectif de réparer l'outil de travail mais aussi de prévoir et d'éviter les dysfonctionnements et les anomalies. Ainsi, la recherche des performances des systèmes de production devenus complexe et mène la fonction maintenance à être responsable de la garantie de la disponibilité de tel système. Cette garantie doit être assurée dans des meilleures conditions économiques, sécuritaires, environnementales et techniques. En effet, la concurrence est devenue de plus en plus rude, toutes les entreprises sont tenues d'appliquer la maintenance grâce aux objectifs tracés.

Dans ce contexte, l'élaboration d'une politique de maintenance particulière pour des équipements critique est devenue indispensable pour les entreprises. Pour cela, Je me suis engagé pour une étude FMD d'un compresseur parmi les compresseurs K101/A/B/C du système de réfrigération du bac de stockage d'ammoniac qui est d'une importance primordial pour le reste de l'installation de l'unité de production.

Après une brève présentation du complexe industriel FERTIAL et ses unités de production (Chapitre I), le chapitre II montre la nécessité de la fonction de maintenance dans l'entreprise selon des normes qui représente l'exemple parfait pour les besoins d'une entreprise.

Dans le chapitre III, une description des différents types de bac et de réservoirs de stockage destinés à l'industrie sont cités, en plus du type de bac existant au niveau du complexe, avec une démonstration de la liaison entre les compresseurs et le cycle de réfrigération d'ammoniac.

Le chapitre IV est réservé aux équipements critiques et stratégiques pour le cycle de réfrigération de l'ammoniac (compresseurs K101/A/B/C). Après une description de types de compresseurs, ses caractéristiques, leurs fréquences de fonctionnement et leurs implantations dans l'installation du bac de stockage. Il a été constaté une grande influence de ces équipements sur les facteurs sécurité et fiabilité de l'installation.

Pour le chapitre V, une étude FMD est réalisée à l'aide de l'historique des pannes des compresseurs et la loi de PARETO pour objectif de déduire le compresseur qui a subi le plus d'anomalies et de dysfonctionnement pendant l'exploitation. Le modèle mathématique de la loi de WEIBULL a été appliqué en vue d'obtenir les paramètres de cette loi et pour déterminer les indicateurs de fiabilité afin d'évaluer le compresseur en question.

Pour achever ce travail, dans le chapitre VI des recommandations ont été proposées pour l'élaboration d'une meilleure politique de maintenance des compresseurs K101/A/B/C.

CHAPITRE I
PRESENTATION DE
L'ENTREPRISE

Chapitre I : Présentation de l'entreprise

I.1. Introduction :

La fabrication des différents types d'engrais rentre dans le cadre du développement de l'agriculture. À partir de là, la fertilisation des sols devient impérative suivant les études et orientations des spécialistes de l'agriculture (agronomie) qui définissent la nature et la composition des sols en différents éléments fertilisant de la plante.

A cet effet FERTIAL entreprise de fabrication des fertilisants contribue à l'échelle national et international dans ce domaine, et la fonction maintenance reste une fonction indispensable pour la survie de l'entreprise.

Dans ce chapitre on présente l'entreprise, ses unités de production, tout en concentrant sur le lieu du stage ; l'unité de production d'ammoniac.

I.2. Historique :

Le complexe des engrais phosphatés et azotés de Annaba a été construit en 1972 [1] par la société SONATRACH dans le but de satisfaire les besoins du pays en fertilisants et éventuellement exporter les excédents. En 1985 suite à la restructuration de SONATRACH, ASMIDAL a été créé pour prendre en charge la production, la commercialisation et le développement des engrais.

En 1997 ASMIDAL est retenue dans son plan de restructuration la filialisation des deux plates-formes de production d'Annaba et d'Arzew. En l'an 2000, les filiales ALZOFERT (Arzew) et FERTIAL (Annaba) ont vu le jour.

Enfin le 04 Aout 2005, ASMIDAL et le groupe Vilar Mir (Espagne) ont conclu un accord de partenariat pour les deux plates-formes (Arzew et Annaba) réservant une majorité de 66% à la partie espagnole.

I.3. Localisation du complexe :

L'ensemble des installations de FERTIAL se trouve sur la plateforme située au sud-est de la ville d'Annaba et plus exactement sur la route des salines.

Le complexe est bordé au Nord-Est par la Mer Méditerranée, au sud-est par L'oued Seybouse et la Cité Sidi Salem, au sud-ouest par la Route RN 44 et par la Cité de El Bouni et au Nord-Ouest par l'Oued Boudjima et la cité Seybouse. L'ensemble du complexe est clôturé ; un poste de garde se trouve à l'entrée.

La zone d'étude est située à l'extrême Nord-Est de l'Algérie, dans la wilaya d'Annaba. Dans la partie nord de la zone sont implantées les unités de production des engrais azotés et la Centrale Utilités. Dans la partie sud de la zone se trouvent les unités de productions des engrais phosphatés.

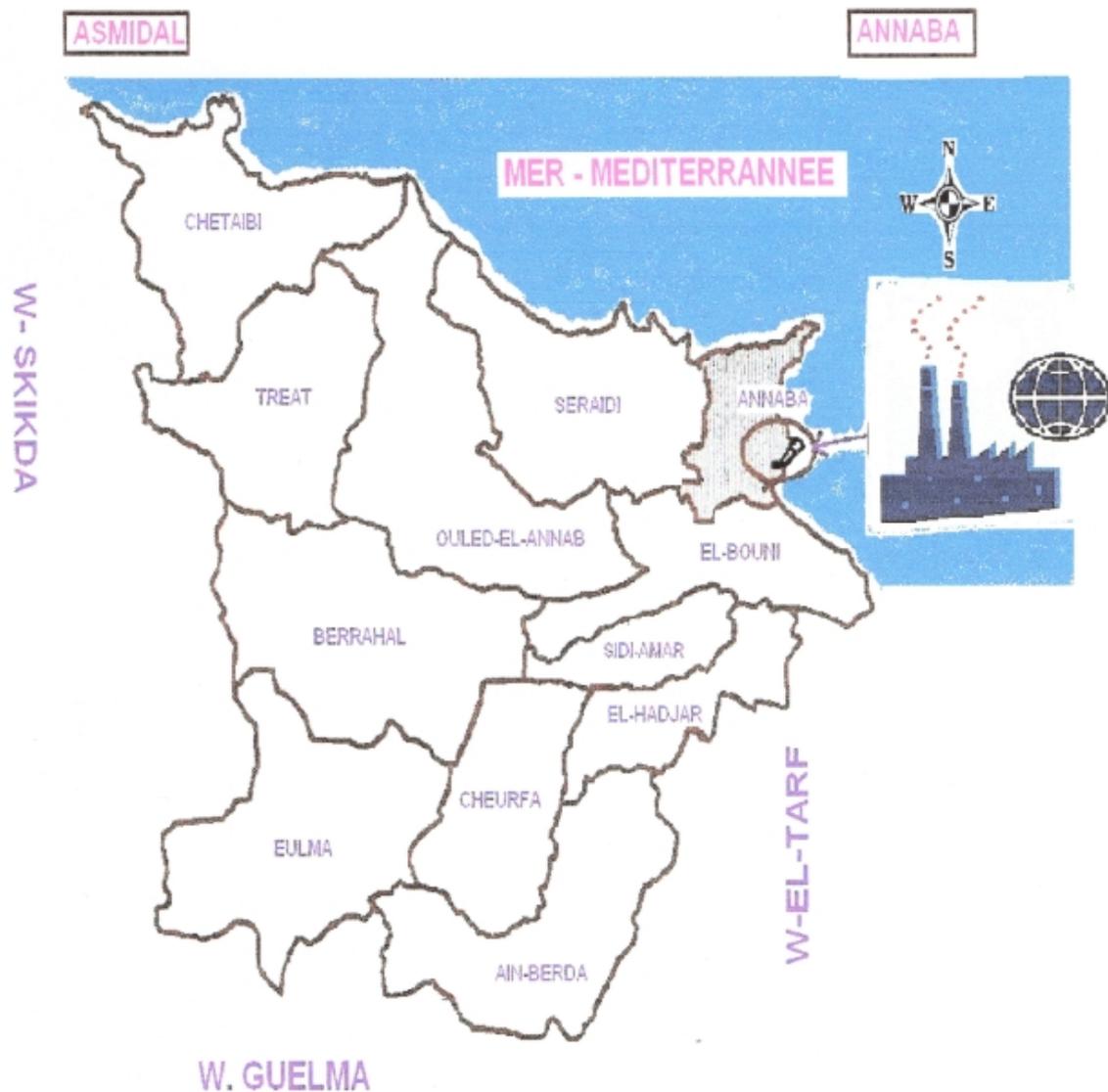


Figure.I.1 Carte de localisation du complexe FERTIAL

I.4. Les plates-formes FERTIAL :

FERTIAL, créé au 01 mars 2001, est passée à une société par action (spa) en 2005 pour 66% groupe espagnol Vilar Mir, 34% ASMIDAL-FERTIAL, Algérie). Elle se divise en deux pôles industriels :

a. La plate-forme ANNABA : complexe fabriquant des engrais azotés, phosphatés, de l'ammoniac (1000T/J) et du nitrate d'ammonium (1000 T/J).

b. La plate-forme ARZEW : complexe fabriquant des engrais azotés, de l'ammoniac (1000T/J) et du nitrate d'ammonium (1500T/J).



Figure.I.2 Vue de l'entrée du complexe FERTIAL ANNABA

I.4.1. Plateforme FERTIAL D'ANNABA :

La plate-forme d'Annaba est dirigée par un directeur générale et emploie environ 831 travailleurs. Dans le complexe, on distingue deux zones :

La zone Sud qui comprend les anciens ateliers dont le démarrage remonte à 1972 << engrais phosphatés >> et la zone Nord << engrais azotés >> qui comprennent les ateliers dits nouveaux dont le démarrage remonte à 1982.

ZONE SUD : elle est composée de trois unités principales :

- Une unité d'engrais NPK (azote, phosphore, potassium)
- UAN (urée acide nitrique) liquide.
- Une unité de production de super simple phosphate : SSP.

ZONE NORD : cette zone comprend cinq ensembles :

- Une unité de production d'acide nitrique.
- Une unité de nitrate de calcium.

- Une unité d'ammoniac.
- Une installation de manutention et de stockage.
- Une centrale utilité (centrale 2).

I.4.2. Les unités du complexe FERTIAL :

Le complexe est composé de 4 structures :

- Structure d'ammoniac : « Unité d'ammoniac et bac de stockage »
- Structure NINA « Unité Nitrique, Unité Nitrate de calcium ».
- Structure des engrais « Unité NPK, Unité SSP/Broyage, Unité UAN, Stockage des acides phosphorique et sulfurique.
- Structure des utilités« Pompage I et Pompage II »

Les unités sont résumé dans le schéma suivant (Figure I.3)

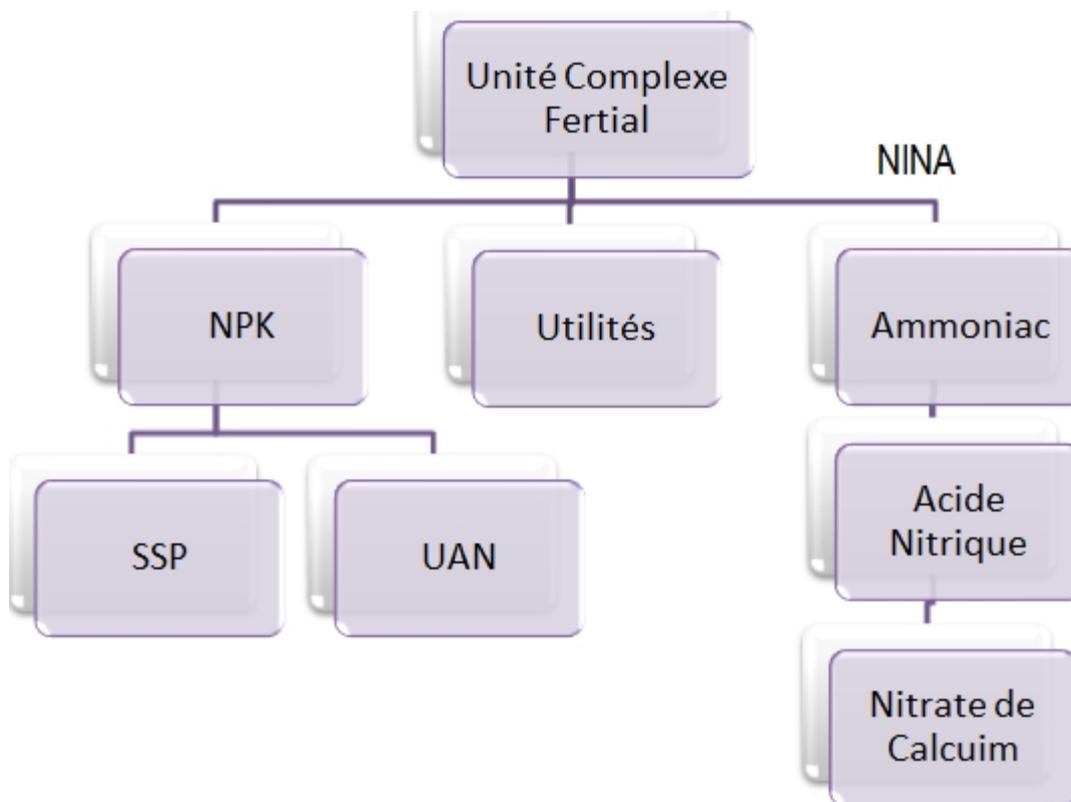


Figure.I.3 Les différentes unités de production du complexe FERTIAL

I.5. Différentes directions de FERTIAL :

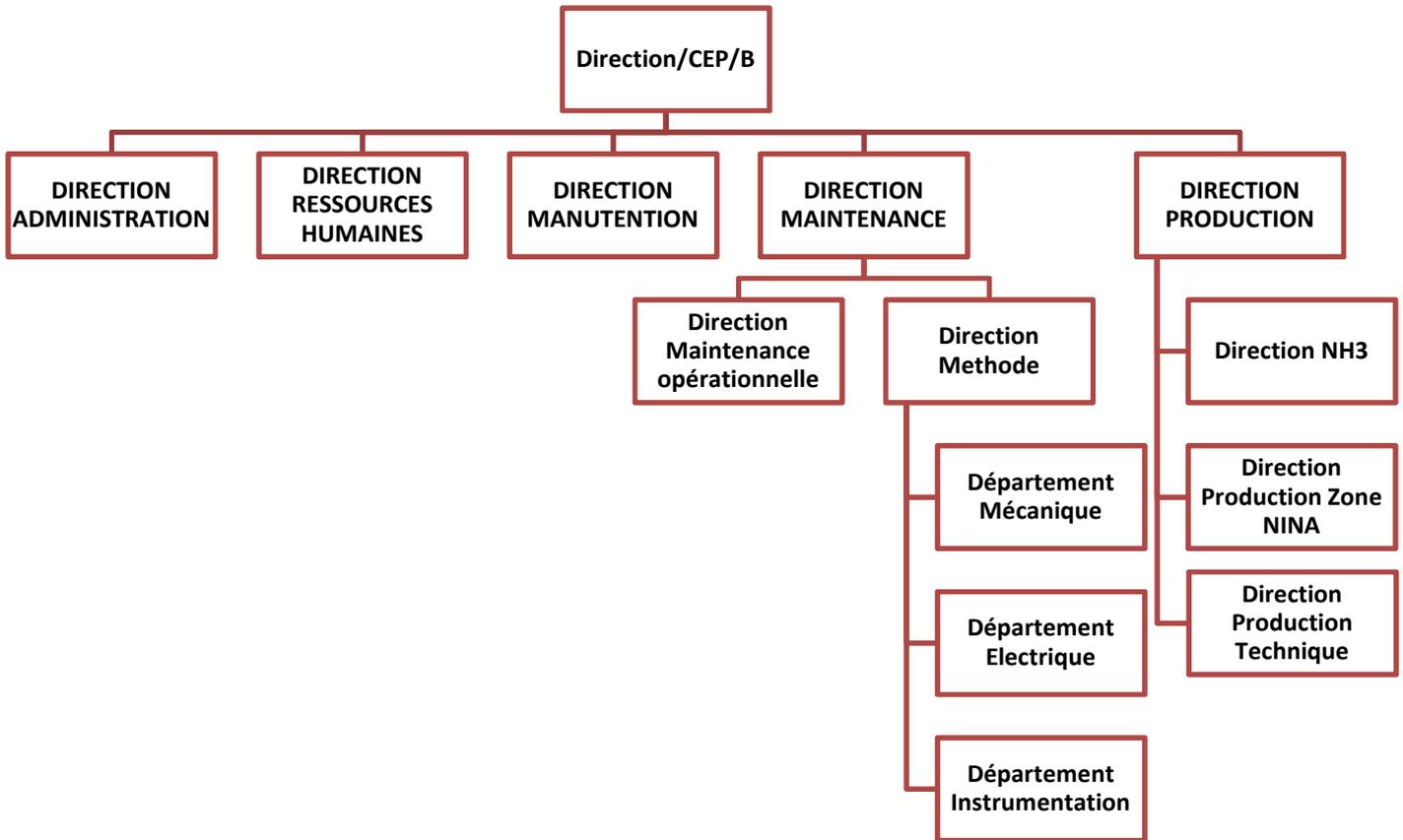


Figure.I.4 Organigramme des directions de FERTIAL

I.6. Production de l'entreprise :

Les différents produits fabriqués [1] sont regroupés (Tableau I.1).

Unités	Capacité (tonnes/an)	Capacité (tonnes/jour)
Engrais phosphaté (NPK)	550 000	1000
Super simple phosphate (SSP)	42 000	1200
Ammoniac (NH ₃)	330 000	1000
Acide nitrique(HNO ₃)	264 000	800

Tableau.I.1 Les différents produits fabriqués à FERTIAL

I.7. L'unité d'ammoniac :

I.7.1. Présentation générale de l'unité :

Produit	:	Ammoniac
Procédé	:	KELLOGG
Capacité de production	:	1000 tonnes métrique/jour
Année de construction	:	1977 par l'entreprise CREUSOFT LOIRE
Année de démarrage	:	1987

Phases principales de production :

- Désulfuration du gaz naturel
- Conversion de CO LT et HT
- Méthanation
- Synthèse d'ammoniac
- Reforming primaire et secondaire
- Décarbonatation du gaz de synthèse
- Compression du gaz de synthèse
- Réfrigération et stockage d'ammoniac

Principaux événement :

- 1987 Démarrage de l'unité
- 1990 Changement échangeurs et révision des compresseurs
- Changement de catalyseurs et échangeurs
- 2000 Révision de turbomachines

I.7.2 Généralités sur l'Ammoniac :

I.7.2.a) Historique des conditions de synthèse de l'Ammoniac :

Dans le passé, la technologie mise en œuvre pour la fabrication de l'Ammoniac variait assez largement ; la seule caractéristique commune à tous les procédés était la synthèse catalytique de l'Ammoniac sous haute pression.

Mis en évidence par Priestley en 1774, sa formule a été établie par Berthollet en 1785.

En 1914, Haber et Bosch ont commencé à fabriquer l'Ammoniac à partir de l'azote atmosphérique et l'hydrogène moléculaire, la réaction exothermique se déroulait à des températures et pressions élevées sur catalyseur à base de fer.

Chapitre I : Présentation de l'entreprise

Quatre ans plus tard, ce procédé a été perfectionné et exigeait une pression de 1000 bars et une température de 600°C.

Le choix de la pression de synthèse dépend de certain nombre de facteurs tels que : le type de catalyseur, la méthode de récupération du produit, la pureté de gaz de synthèse produit, et la technique de recyclage des gaz ; c'est ainsi que des unités ont opéré jusque vers 1965 à des niveaux de pression supérieurs à 300-350 bars.

I.7.2.b) Propriétés physiques :

L'Ammoniac est un gaz incolore, doté d'une forte odeur caractéristique. Il est nettement moins dense que l'air ; un litre pèse moins de 0,6 gr dans les conditions ordinaires.

L'Ammoniac est facile à liquéfier ; à 20°C, il suffit de le comprimer à 9 ATM. Sous la pression atmosphérique normale, l'Ammoniac liquide bout à -34°C. Commercialement, l'Ammoniac est vendu à l'état liquide dans des récipients en acier où la pression est de quelques atmosphériques.

L'Ammoniac est un gaz soluble dans l'eau ; à la température ordinaire, 1 litre d'eau en dissout environ 800 litre.

La solution commerciale, appelée ammoniacale, est un liquide incolore, un peu moins dense dans l'eau, de même odeur que le gaz ammoniac ; elle contient par litre environ 250 litre de gaz NH₃

I.7.2.c) Propriétés chimiques :

A la température ordinaire, le gaz ammoniac est un composé stable. Sa dissociation en hydrogène et azote ne commence que vers 450-500°C ; en présence de certains métaux comme le fer, le nickel, l'osmium, le zinc et l'uranium, cette décomposition commence dès la température de 300°C et elle presque complète vers 500-600°C.

Le gaz ammoniac brûle à l'air au contact d'une flamme en donnant principalement de l'azote et de l'eau.

L'Ammoniac réagit sur de nombreux oxydes et peroxydes : le peroxyde de chlore à froid, l'anhydride iodique à chaud, les perchlorates qui, vers 250°C donnent lieu à une réaction violente. A -80°C, le peroxyde d'azote solide et l'ammoniac liquide réagissent avec explosion.

I.7.2.d) Objectif du procédé Kellogg :

L'installation est calculée pour la production de 1000 tonnes par journée de production d'ammoniac liquide, en partant des matières premières préliminaires qui comprennent le gaz naturel, la vapeur de l'eau et l'air. Ceci s'accomplit par la méthode de reforming « Kellogg » à haute pression. (Figure I.5)

I.8. Processus principales de fabrication :

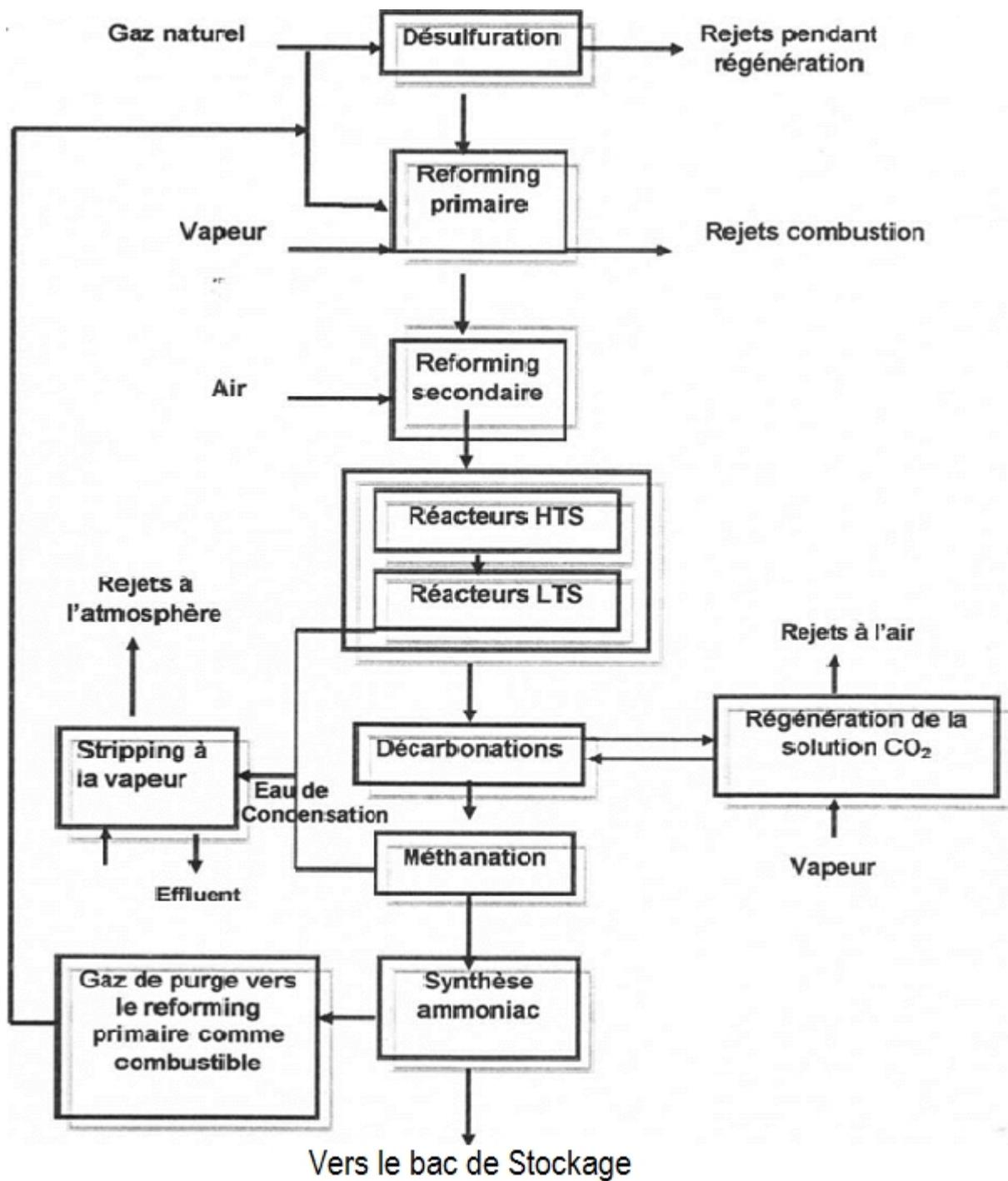


Figure.I.5 Schéma du procédé de fabrication de l'ammoniac Kellogg [1]

I.9. Conclusion :

L'entreprise FERTIAL avec toutes ses unités et ses activités joue un rôle capital dans le développement de l'industrie et de l'économie dans le pays. Ce complexe d'engrais azotés est l'un des leaders dans le domaine de production d'engrais phosphatés destinés à l'agriculture. L'unité de production de l'ammoniac constitue le poumon vital de ce complexe d'où la nécessité d'éviter son arrêt et son indisponibilité vu son importance.

CHAPITRE II

LA MAINTENANCE ET
SA NECESSITE DANS
L'ENTREPRISE

II.1. Introduction :

Une politique de maintenance a pour but de maintenir un équipement ou une installation de production dans un état permettant un fonctionnement sans défaillances et à moindre coût. Elle doit aussi assurer un travail de prévention pour objectif de permettre des arrêts et des interventions sans incidents majeurs avec des moindres risques et délai. La fonction maintenance joue un rôle primordial qui attache fortement la production et la rentabilité de l'entreprise. Cette fonction s'intègre également dans le processus de qualité de l'entreprise en mettant en place une démarche de progrès dans toutes ses activités, en assurant aussi une veille technologique constante et en exploitant au mieux les retours d'expérience.

Dans ce chapitre nous allons aborder les concepts de la fonction maintenance afin de déterminer sa nécessité dans l'entreprise.

II.2. La fonction maintenance :

La maintenance est une fonction capitale (figure II.1) pour toute entreprise. L'AFNOR, par la norme NFX60010, définit la maintenance comme : « l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé ». Donc maintenir c'est effectuer des opérations (inspection, réparation, révision....)

La définition de la maintenance fait donc apparaître 3 notions :

- **Maintenir** qui suppose un suivi et une surveillance ;
- **Rétablir** qui sous-entend l'idée d'une correction de défaut ;
- **Etat** qui précise le niveau de compétences et les objectifs attendus de la maintenance.

Dans une entreprise, quel que soit son type et son secteur d'activité, le rôle de la fonction maintenance est donc de garantir la plus grande disponibilité des équipements au rendement meilleur tout en respectant le budget alloué.

Le service de maintenance doit mettre en œuvre la politique de maintenance définie par la direction de l'entreprise ; cette politique devant permettre d'atteindre le rendement maximal des systèmes de production.

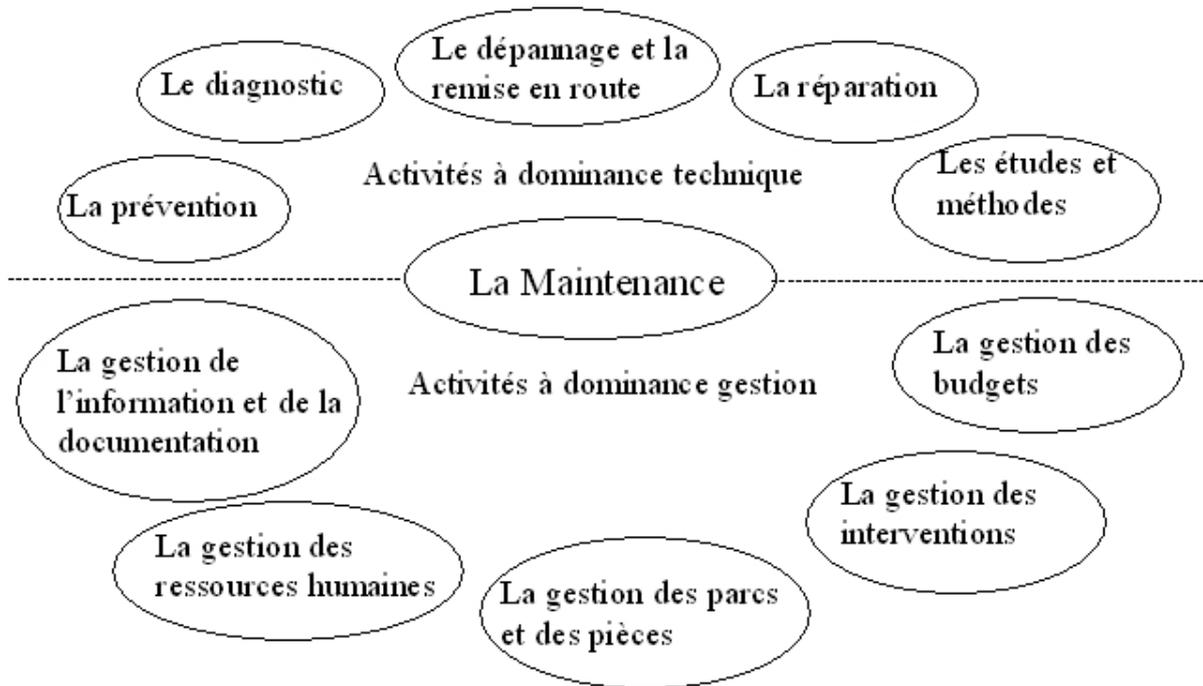


Figure II.1 Les différentes tâches contenues dans la fonction maintenance

II.3. Politique de maintenance :

Chaque service de maintenance dans une entreprise doit mettre une politique de maintenance définie par la direction de l'entreprise. Cette politique définit l'importance relative de la maintenance préventive, systématique ou conditionnelle, ainsi que correctif ou curatif. Elle est complétée par les décisions de gestion de la maintenance.

Elle a pour but d'atteindre le rendement prévu des systèmes de production.

Les équipements n'ont pas toujours la même importance dans une chaîne ou un processus de production, donc le service devra dans un cadre d'une politique de maintenance globale définir un ensemble de stratégies qui conviennent aux besoins de l'entreprise et qui permet d'affronter les différentes situations avec des avantages bien défini.

II.4. Méthodologie de la maintenance :

II.4.1. L'observation :

En maintenance, l'observation est le point de départ :

- De la détection d'une défaillance (écarts de l'événement constaté avec une situation normale),
- Du diagnostic technique (observation des symptômes),

- Du diagnostic gestionnaire (observation des indicateurs et de leurs tendances),
- De l'expertise de défaillance (observations complémentaires telles qu'examen micrographiques),
- Du dépannage et autres actions correctives. Et, de façon plus générale, du raisonnement inductif (généralisation opérée à partir d'observations singulières).

II.4.2. L'analyse :

L'analyse est la « décomposition d'un ensemble en éléments aussi simples que possibles ». Elle permet d'identifier les éléments d'un ensemble et de comprendre la nature des liaisons entre les éléments isolés d'une part, entre un élément et l'ensemble, d'autre part.

La méthode de cet ouvrage est de découvrir, dans une première partie, des aspects de la maintenance par analyses de situations. Nous découvrirons ainsi successivement :

- L'organigramme d'un service (analyse fonctionnelle),
- L'analyse du parc matériel par arborescence,
- Les analyses qualitatives de défaillances et quantitatives d'un échantillon de défaillances,
- L'analyse fiabiliste des comportements pathologiques,
- Les analyses de temps et de coûts de maintenance.

II.4.3. La communication [2] :

La communication est la transmission d'informations, par des supports variés, entre un émetteur et un récepteur. Dans un service, elle est le lien indispensable, entre l'action et la gestion (réflexion + décision). En maintenance, le flux majeur concerne la liaison entre le site à maintenir (l'action) et le bureau des méthodes (la gestion).

Des intervenants vers les gestionnaires, il s'agira de transmettre les paramètres caractérisant l'intervention telle qu'elle s'est réellement passée. Nous nommerons ce flux « le retour d'expérience local ». À l'inverse, les procédures de la préparation du travail seront transmises aux techniciens. Par nature, la préparation est constituée de « prévisions » (de temps, de coûts, de consommation, etc.) et d'« anticipations » (de risques, d'obstacles, de problèmes, etc.). Le cumul des retours d'expérience sur des années permet d'établir de bonnes prévisions. Et l'analyse des écarts entre la prévision et la réalité du terrain est source de progrès.

II.4.3.A. La communication au sein du service maintenance :

Nous allons décrire brièvement un système de communication assez traditionnel dans les services maintenance, relatif à une intervention corrective « lourde » prise entre la demande d'intervention et sa clôture. Nous utiliserons les abréviations suivantes :

- DT, demande de travail, ou DI, demande d'intervention, ouvrant un n° de référence, provenant du « client interne »,

- OT, ordre de travail, géré par l'ordonnancement,
- BT, bon de travail, accompagnant la préparation et retourné compléter après intervention,
- DA, demande d'approvisionnement,
- BSM, bon de sortie magasin.

II.4.4. Les fonctions du service maintenance :

Selon la norme (*FD X 60-000*) :

II.4.4.1. Etude :

Sa mission principale est l'analyse du travail à réaliser en fonction de la politique de maintenance choisie. Elle implique la mise en œuvre d'un plan de maintenance avec des objectifs chiffrés et des indicateurs mesurables.

II.4.4.2. Préparation :

La préparation des interventions de maintenance doit être considérée comme une fonction à part entière du processus maintenance. Toutes les conditions nécessaires à la bonne réalisation d'une intervention de maintenance seront ainsi prévues, définies et caractérisées. Une telle préparation devra bien sûr s'inscrire dans le respect des objectifs généraux tels qu'ils sont définis par la politique de maintenance : coût, délai, qualité, sécurité,...

Quel que soit le type d'intervention à réaliser, la préparation sera toujours présente. Elle sera :

- Implicite (non formalisée) : dans le cas de tâches simples, l'intervenant assurera lui-même, par expérience et de façon souvent automatique la préparation de ses actions ;
- Explicite (formalisée) : réalisée par un préparateur, elle donne lieu à l'établissement d'un dossier de préparation structuré qui, faisant partie intégrante de la documentation technique, sera utilisé chaque fois que l'intervention sera réalisée. Il sera donc répertorié et conservé sous réserve de mises à jour ultérieures.

II.4.4.3. Ordonnancement :

L'ordonnancement représente la fonction "chef d'orchestre". Dans un service maintenance caractérisé par l'extrême variété des tâches en nature, en durée, en urgence et en criticité, l'absence de chef d'orchestre débouche vite sur la cacophonie quel que soit le brio des solistes.

II.4.4.4. Réalisation :

La réalisation consiste à mettre en œuvre les moyens définis dans le dossier de préparation dans les règles de l'art, pour atteindre les résultats attendus dans les délais préconisés par l'ordonnancement.

II.4.4.5. Gestion :

La fonction gestion du service maintenance devra être capable d'assurer la gestion des équipements, la gestion des interventions, la gestion des stocks, la gestion des ressources humaines, et la gestion du budget.

II.5. Les objectifs de la maintenance :

La maintenance dans les entreprises a pour but de :

- **Assurer la production prévue (quantité) :** Les programmes et les quantités à produire doivent être revus tant par la production que par la maintenance en tentant de concilier les besoins des deux services. Il faut faire constamment des compromis entre les besoins de production et les arrêts nécessaires à la maintenance avant toutes défaillances. Il faut tenir compte de la disponibilité prévue des équipements et des arrêts imprévus pour connaître la totalité des arrêts. Tous ces efforts doivent avoir comme objectif de garantir un bon fonctionnement continu des équipements.
- **Maintenir la qualité du produit fabriqué (qualité) :** La qualité repose sur les méthodes de production, les matières premières, les méthodes de maintenance ou la détérioration progressive des équipements. La non-qualité coûte très cher à l'entreprise. Il faut savoir quelles sont les tolérances admissibles en qualité et les surveiller afin de rectifier les situations problématiques.
- **Respecter les délais (temps) :** Nous discutons ici tant des délais d'intervention maintenance préventive ou corrective que les délais de fabrication. Comme les programmes et calendriers de production ont été réalisés en collaboration entre la production et la maintenance, il est essentiel que le service maintenance respecte ses prévisions de temps d'intervention. Toute repose sur une planification et une organisation poussée des travaux.
- **Rechercher les coûts optimaux (rentabilité) :** Le service maintenance devra également être capable, pour respecter la production, la qualité et les délais, d'élaborer des devis précis de réparation reposant sur les diagnostics en profondeur touchant la cause de la détérioration ou de la défaillance et non seulement les symptômes. Le service maintenance doit pouvoir concurrencer l'entreprise externe. Cette habileté deviendra, de plus en plus, sa planche de salut face à la privatisation des services de maintenance.
- **Respecter les objectifs humains (sécurité) :** Les conditions de travail et la santé, sécurité au travail doivent devenir l'obsession du service maintenance. La fonction maintenance a toujours été et continuera d'être une fonction à haut risque tant pour son propre personnel que pour le reste des employés de l'entreprise, en particulier la production.

Toute intervention doit être accompagnée de mesures de réduction du risque. La même considération doit être présente à la fin des travaux où l'équipement et l'environnement est remis en état pour la production.

- **Préserver l'environnement (environnement) :** La maintenance doit souvent travailler en fonction de la présence de matières polluantes ou nuisibles pour l'environnement ou pour le personnel de l'entreprise. Comme certains équipements dédiés à la lutte contre la pollution ne contribuent pas directement à la valeur ajoutée du produit, la tentation est très forte de passer outre à sa maintenance surtout lorsque le personnel est surchargé.
- **Respecter le cadre législatif (lois) :** Un des défis le plus difficile de la maintenance est la compréhension et le respect du cadre législatif à tous les niveaux.

II.6. Les types de maintenance:

Le choix entre les méthodes de maintenance [2] (figure II.2) s'effectue dans le cadre de la politique de la maintenance et doit s'opérer en accord avec la direction de l'entreprise.

Pour choisir, il faut donc être informé des objectifs de la direction, des directions politiques de maintenance, mais il faut connaître le fonctionnement et les caractéristiques des matériels, le comportement du matériel en exploitation, les conditions d'application de chaque méthode, les coûts de maintenance et les coûts de perte de production.

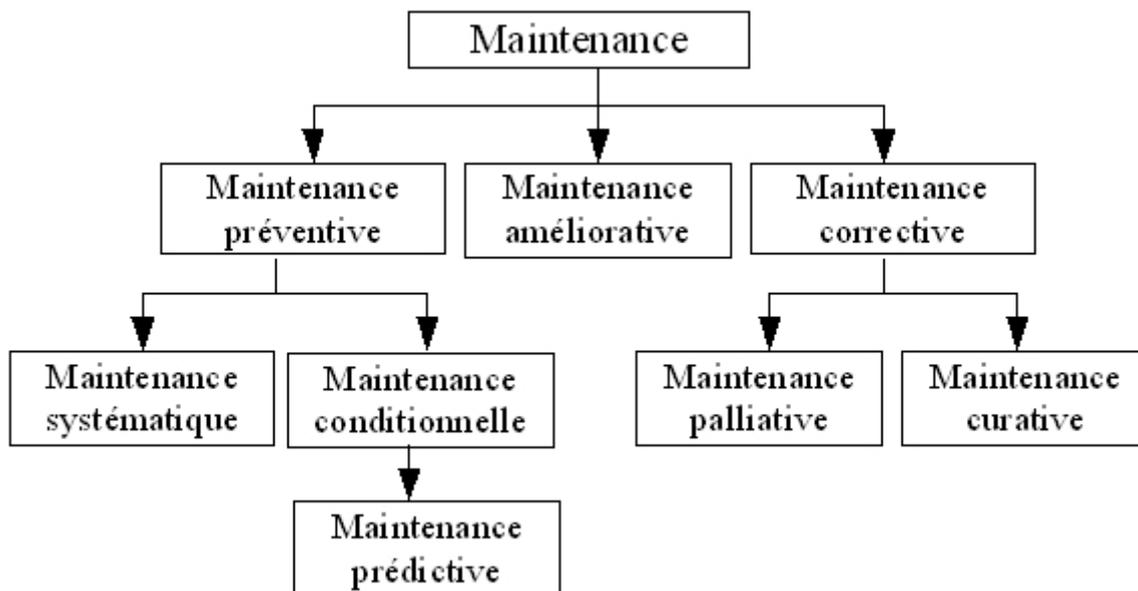


Figure.II.2 Les différents types de maintenance

II.6.1. Maintenance corrective :

D'après la norme AFNOR X60-010 la maintenance corrective est l'opération de maintenance effectuée après défaillance, ce type de maintenance vise à intervenir à la suite d'une défaillance, « curative » ou « palliative ».

II.6.1.a) Maintenance curative :

Maintenance réalisée suite à un dysfonctionnement de l'équipement. Elle consiste à le remettre en état de fonctionnement en procédant à des réparations complètes.

Elle conduit à des actions de diagnostic permettant d'identifier les causes de la panne ou défaillance et de préciser les opérations de maintenance nécessaires pour la remise en état. Ces opérations peuvent être: une rénovation ou une révision (dans certains cas).

II.6.1.b) Maintenance palliative :

C'est la maintenance qui permet de remettre en état de fonctionnement un équipement de façon provisoire. Elle est effectuée dans des conditions extrêmes et imposée par l'une des situations suivantes:

- * Un manque de pièces de rechange pour effectuer les travaux de réparation nécessaires;
- * Des contraintes de production à satisfaire, ne permettant pas d'avoir suffisamment de temps pour intervenir ;
- * Un manque de compétences capables d'exécuter les travaux.

C'est une maintenance dans laquelle on tente seulement d'agir sur les effets sans se préoccuper des causes qui les produisent. Par conséquent elle ne permet pas d'éviter une répétition de certains types de pannes.

II.6.2. La maintenance préventive :

D'après la norme AFNOR X60-010 c'est une maintenance effectuée dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un système, d'un bien ou d'un service rendu, c'est une maintenance prévue, préparée et programmée avant la date probable d'apparition d'une défaillance.

Elle vise les principaux objectifs suivants:

- Augmenter la fiabilité d'un équipement, donc réduire les défaillances en service : réduction des coûts de défaillance, amélioration de la disponibilité
- Augmenter la durée de vie d'un équipement.
- Améliorer l'ordonnancement des travaux, donc les relations avec la production.
- Réduire et régulariser la charge de travail.
- Faciliter la gestion des stocks (consommations prévues à l'avance).
- Assurer la sécurité (moins d'improvisations dangereuses).
- Plus globalement, réduire la part du "fortuit", améliorer les relations humaines (une panne imprévue est toujours génératrice de tensions)

II.6.2.a) La maintenance systématique :

C'est une maintenance effectuée selon un échéancier établi suivant le temps et le nombre d'unité d'usage.

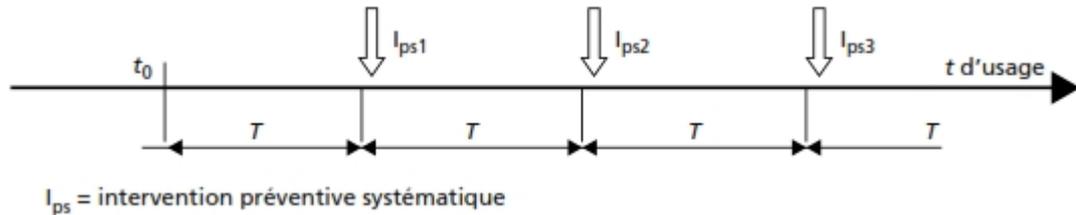


Figure.II.3. La maintenance systématique en fonction du temps

Dans la figure nous noterons T la période d'intervention prédéterminé, I_{ps} à chaque intervention préventive systématique.

Le but de cette maintenance est de maintenir le bon fonctionnement de l'équipement en procédant aux opérations suivantes :

- **Le remplacement :**

C'est le remplacement lors de la révision, des organes usés, des huiles, des filtres des joints d'étanchéité, des ressorts...

- **Le réglage :**

C'est le réglage des différents jeux de glissières, des tensions de courroies, des pressions et températures,...

- **Le contrôle :**

Contrôler les divers blocages, les niveaux d'huile,...

- **L'inspection :**

Vérification des côtes de pièce de l'équipement, si elles sont récupérables ou non.

- **La maintenance de ronde :**

C'est une maintenance effectuée par la surveillance des équipements.

II.6.2.b) La maintenance conditionnelle « prédictive » :

D'après la norme AFNOR X60-010 la maintenance conditionnelle se définit par 'l'autodiagnostic', l'information d'un capteur caractérisé par les mesures « vibration et bruit, huile, température ... »

- **L'analyse vibratoire :**

Toutes les machines en fonctionnement produisent des vibrations, en surveillant le niveau de

vibrations, il est par conséquent possible d'obtenir une information sur l'état de fonctionnement de la machine.

Adaptés à la maintenance conditionnelle des machines tournantes (pompes, alternateurs, ventilateurs, centrifugeuses, etc.), mais aussi de certains processus continus (machines papier, coulée continue, etc.) et de machines à mouvements alternatifs (moteurs thermiques, compresseurs, etc.).

- **Analyse des températures (Thermographie) :**

Une variation de température sur une machine est souvent signe d'une dégradation donc l'analyse de température des équipements peut permettre de prévenir une panne (on peut faire un bon diagnostic).

Cet outil est coûteux (caméra vidéo + imagerie numérique + logiciel associé pour stockage d'images), mais il est très polyvalent. Donnant une « image thermique » d'une zone suspecte, la thermographie IR permet de détecter à distance :

- des ponts thermiques en contrôle d'isolation pour économie d'énergie,
- des points chauds en équipements électriques (bobinage moteur, conducteur sous dimensionné, contrôle d'armoires électriques à distance...),
- des points chauds en mécanique (dégradation d'un palier),
- des points chauds en blindage de four (usure de réfractaire),
- des fuites (en canalisations enterrées).

- **Analyse des huiles :**

Le renseignement le plus important provient de l'examen des particules en suspensions dans l'huile, et en faisant l'analyse de ces particules on peut savoir l'état de dégradation des pièces de la machine (usure).

Proposé par les groupes pétroliers fournisseurs de lubrifiants, et adaptés à la maintenance des moteurs Diesel, des circuits hydrauliques et des systèmes mécaniques pour lesquels la qualité de l'huile est prédominante pour la durée de vie (gros réducteurs par exemple).

- **Les CND (contrôles non destructifs) :**

Comme leur nom l'indique, les CND ont vocation à contrôler l'état de pièces en cours ou en fin de fabrication. Mais leur utilisation en maintenance conditionnelle est envisageable comme outil permettant de visualiser des défauts débouchant ou internes. Le CND choisi permet de suivre leurs évolutions jusqu'à un seuil prédéterminé correspondant à un risque à prévenir, souvent une rupture mécanique. Toute fissure est une amorce de rupture.

La maintenance conditionnelle permet de :

- Diminuer le temps de réparation par le diagnostic et la localisation des anomalies plus possible en phase de marche
- Eliminer les arrêts et les démontages inutiles et nocifs
- Augmenter la durée accumulée d'usage

- Assurer une caractéristique de disponibilité

II.7. Les types de maintenance dans les autres pays industrialisés :

La maintenance productive est la forme de maintenance américaine ayant servi de base, dans les années 1970-1980, à la TPM.

La maintenance productive totale, ou TPM, est une marque déposée par JMA (Japan Management Association). Elle a été un vecteur du succès japonais des années 1980. Remarquons que la TPM a été « réimportée » aux États-Unis pour contrer l'importation massive des produits japonais. C'est vers 1982 que des groupes américains implantés en France ont cherché à adapter les concepts de la TPM à nos entreprises. Le paragraphe 10.2 lui est entièrement consacré.

La topomaintenance est une francisation de la TPM, marque déposée par SOLLAC (sidérurgie) à Fos vers 1975. Elle s'inscrit dans une démarche de qualité totale, tous les acteurs étant concernés par le rendement maximal des équipements tout au long de leur cycle de vie.

La logistique, concept américain, est une approche économique impliquant la maintenance et reposant sur l'optimisation du LCC life cycle cost (coût du cycle de vie) d'un équipement.

La térotechnologie est une forme anglaise de la maintenance : c'est la maintenance préventive plus la maintenance proactive.

II.8. Les niveaux de maintenance :

La maintenance et l'exploitation d'un bien s'exercent à travers de nombreuses opérations, parfois répétitives, parfois occasionnelles, communément définies jusqu'alors en 5 niveaux de maintenance [3].

Le classement de ces opérations permet de les hiérarchiser de multiples façons. Ça peut être en fonction des critères suivants :

Définir qui fait quoi au regard de chacun des niveaux de maintenance :

- Le personnel de production ;
- Le personnel de maintenance en tenant compte de la qualification de l'intervenant ;
- Le personnel de l'entreprise ou un sous-traitant ;
- Une combinaison des 3.

Le tableau (II.1) dans la page suivante montre les niveaux de maintenance selon AFNOR :

Niveaux	Type de travaux	Personnel d'intervention	Moyens
1 ^{er} Niveau	Réglages simples prévus par le constructeur au moyen d'organes accessibles sans aucun démontage d'équipement, ou échange d'éléments accessibles en toute sécurité.	Pilote ou conducteur du système	Outillage léger défini dans les instructions d'utilisation.
2 ^{ème} Niveau	dépannage par échange standard d'éléments prévus à cet effet, ou d'opérations mineures de maintenance préventive (rondes)	Technicien habilité	outillage léger défini dans les instructions d'utilisation et pièces de rechanges disponibles sans délai
3 ^{ème} Niveau	identification et pannes, réparation par échange de composants fonctionnels, réparations mécaniques mineures.	Technicien spécialisé	outillage prévu et appareils de mesure, banc d'essai, contrôle...
4 ^{ème} Niveau	travaux importants de maintenance corrective ou préventive	Equipe encadrée par un technicien spécialisé	outillage général et spécialisé, matériels d'essais, de contrôle...
5 ^{ème} Niveau	travaux de rénovation, de reconstruction ou réparation importantes confiées à un atelier central	Equipe complète et polyvalente	moyens proches de la fabrication

Tableau II.1 Les niveaux de maintenance d'après L'AFNOR

II.9. Les missions principales du service maintenance au sein de l'entreprise :

Nous pouvons caractériser la mission globale de la maintenance par la gestion optimisée du parc matériel en fonction des objectifs propres à l'entreprise. La maintenance est ainsi en prise directe avec la stratégie de l'entreprise à un moment donné. Par exemple, une ligne de production ne sera pas prise en charge avec le même soin préventif selon qu'elle est requise à sa capacité maximale de production, ou qu'elle n'est requise que de façon intermittente. D'où la nécessité de dégager une politique de maintenance :

– conforme aux textes réglementaires

- assise sur le soutien à la production (quantité, qualité et délais)
- intégrée à l'amélioration de productivité
- assurant la sécurité des biens et des personnes
- assurant l'amélioration de l'environnement interne et le respect de l'environnement extérieur.

Nous pouvons synthétiser les missions de la maintenance en les plaçant sur trois plans interdépendants.

- **Au plan technique :**

- accroître la durée de vie des équipements
- améliorer leur disponibilité et leurs performances

- **Au plan économique :**

- réduire les coûts de défaillance, donc améliorer la productivité et les prix de revient
- réduire le coût global de possession de chaque équipement sensible

- **Au plan social :**

- réduire le nombre des événements « fortuits », car moins d'interventions en urgence réduit le risque d'accidents
- revaloriser la nature du travail : équipe, polyvalence, qualité, initiatives, anticipation, etc.

Responsable de l'état et de la conservation du matériel, la maintenance ne peut imposer sa vision à long terme que si elle n'est pas en état de dépendance (hiérarchique et budgétaire) par rapport à la production.

II.10. Le système documentaire de la maintenance :

Il semble évident qu'aucune action technique importante et de qualité faire en maintenance sans référence documentaire. Le développement méthode va de pair avec sa responsabilité : «assurer la maîtrise de la documentation relative aux équipements», avec pour objectif principal la connaissance technologique et opérationnelle des équipements qui permet :

- la préparation d'interventions plus efficaces et plus sûres,
- l'aide aux techniciens d'intervention,
- la traçabilité des activités de terrain, aux fins d'amélioration de l'organisation,
- l'analyse du comportement des matériels, aux fins d'amélioration d'optimisation économique.

Il est évident que l'outil GMAO, par sa capacité à mémoriser et à traiter données et par sa vitesse d'accès à l'information, sera le vecteur principal de la maîtrise documentaire. Nous pouvons dire que la qualité du système documentaire destiné à définir, localiser, faciliter, valoriser et optimiser les actions de maintenance est une condition nécessaire à la qualité de la maintenance.

II.11. Sous-traitance de la maintenance :

Selon l'Association française de Normalisation (Afnor) : « la sous-traitance est définie comme l'opération par laquelle un entrepreneur confie par un sous-traité, et sous sa responsabilité, à une autre personne appelée sous-traitant, tout ou partie de l'exécution du contrat d'entreprise ou du marché public conclu avec le maître de l'ouvrage ».

Dans le domaine industriel, qu'il existe ou non un marché initial ou un contrat de principe préalable, la notion de sous-traitance est généralement utilisée dans un sens plus général. La sous-traitance industrielle consiste, pour une entreprise dite « donneur d'ordres », à confier la réalisation à une entreprise, dite « sous-traitant » (ou « preneur d'ordres »), d'une ou de plusieurs opérations de conception, d'élaboration, de fabrication, de mise en œuvre ou de maintenance. Ces opérations concernent un cycle de production déterminé. Le sous-traitant est tenu de se conformer exactement aux directives ou spécifications techniques (ou encore « cahier des charges ») que le donneur d'ordres arrête en dernier ressort.

La sous-traitance de la maintenance est un moyen de contrôler les dépenses. Plus que le donneur d'ordres, le sous-traitant doit veiller à la rentabilité du contrat.

Dans le complexe FERTIAL, la sous-traitance de la maintenance est très fréquente principalement pour les niveaux 3, 4 et 5, l'entreprise fait appel à d'autres entreprises parmi lesquelles SOMIAS (Filiale ASMIDAL).

Un étalonnage des équipements et des appareils se fait chaque 10ans dans le cadre de la sous-traitance qui est imposé par la loi.

II.12. La maintenance dans le complexe FERTIAL :

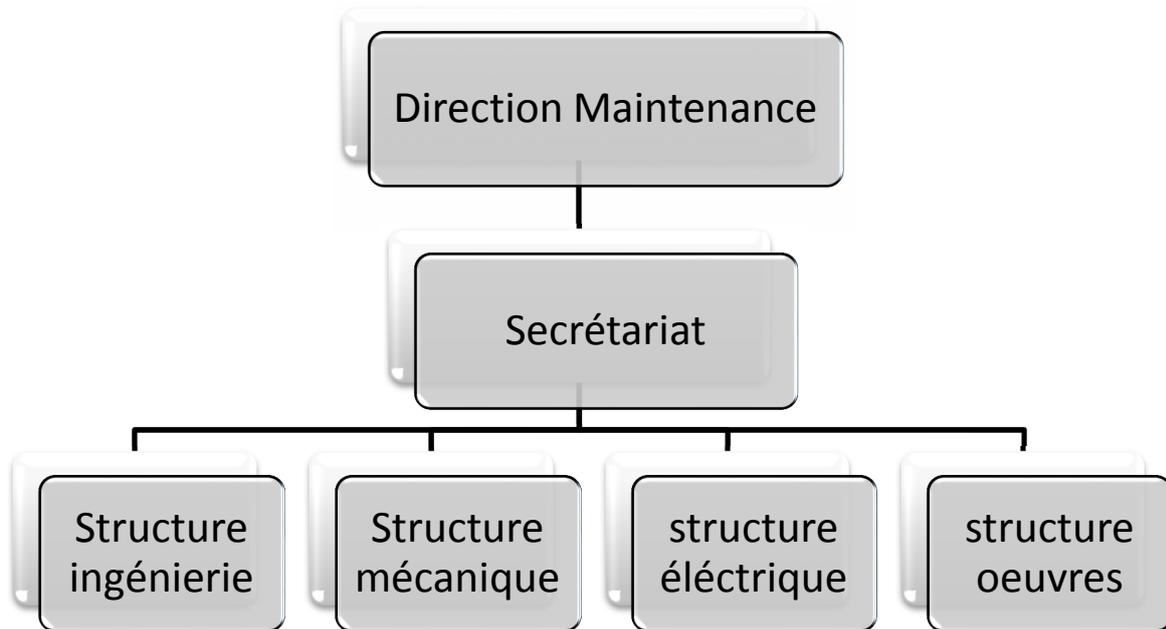


Figure II.4 Structures principales de la division de la maintenance de FERTIAL

II.12.1. Inspection :

L'inspection des installations est effectuée par les services d'inspection qui relève de la direction technique et le service prévention dépendant de la direction sécurité.

Il est à noter que ces inspections doivent porter sur l'ensemble des équipements et installations, et une coordination doit s'opérer entre les différents intervenants dans ce domaine à savoir: l'exploitant, la maintenance, la sécurité et le service technique d'inspection.

II.12.2. Position de la maintenance au sein de l'entreprise :

Une collaboration entre les différents services dans l'entreprise est très importante afin de contribuer aux développements de l'entreprise sur plusieurs aspects comme la maintenance et la sûreté de fonctionnement des équipements dans les différentes installations de l'usine.

Le service maintenance (figure II.6) est le sang qui coule dans l'entreprise, elle est essentiel pour la survie de l'entreprise.

La position du service maintenance au sein de l'entreprise est présentée dans (figure.II.5)

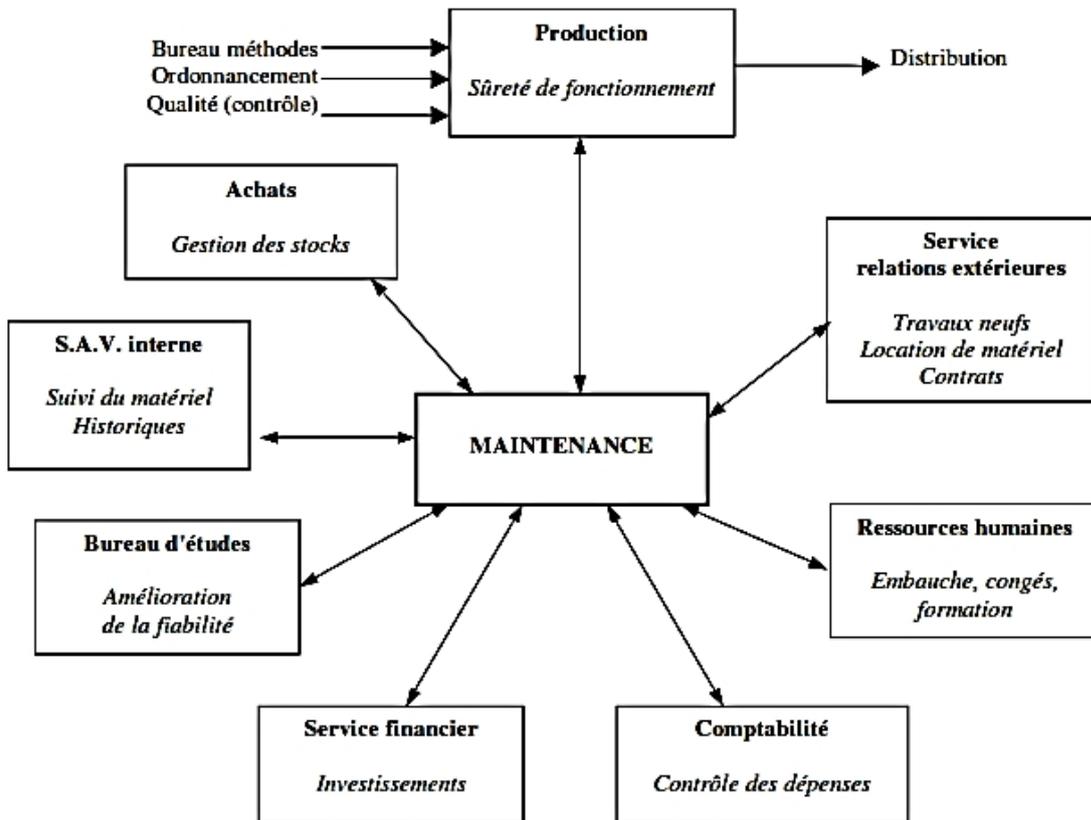


Figure II.5 Position du service maintenance dans l'entreprise



Figure II.6 Vue de la direction de maintenance (lieu du stage pratique)

II.12.3. Le but de la direction de maintenance dans FERTIAL :

- Maintenir les équipements dans un état fonctionnel et dans les meilleures conditions.
- Faire les opérations de maintenance dans l'atelier (voir figure II.7)
- Assurer la disponibilité maximale des outils de production.
- Maintenir les installations dans une propreté absolue.
- Respecter la fonction sécurité.
- Assurer une performance de haute qualité.
- Fournir un rendement maximal.
- Elaborer un plan de maintenance préventive pour les équipements.
- Collaborer avec le personnel des autres directions.
- Appel à la sous-traitance.
- L'approvisionnement des pièces de rechange.



Figure II.7 L'atelier de maintenance

II.13. Conclusion :

Le programme de maintenance et d'entretien préventif occupent une place centrale dans les activités du complexe FERTIAL, et ce, dans l'optique d'atteindre un double objectif préventif et économique, et de garantir une marche et une production sans risque d'arrêt non programmé.

La sous-traitance implique de nombreuses contraintes et son cout économique doit être déterminé par le département maintenance.

Une gestion de l'information informatisée relative au domaine de la maintenance s'est imposée dans cette démarche d'amélioration et développement de l'entreprise.

Il reste à dire que la maintenance est un processus essentiel dans l'entreprise et une coordination entre les différents intervenants doit s'intensifier.

Dans le chapitre suivant une étude sur le bac de stockage 101 T est réalisé en déduisant les équipements qui l'entourent. Cet équipement a une grande valeur technique, il est indispensable pour la l'entreposage, le transbordement d'ammoniac et pour toute l'entreprise.

CHAPITRE III
ETUDE DE
FONCTIONNEMENT
DU BAC DE STOCKAGE
D'AMMONIAC ET SA
RELATION AVEC LES
COMPRESSEURS K101

Chapitre III : Etude de fonctionnement du bac de Stockage d'ammoniac et sa relation avec les compresseurs K101

III.1. Introduction :

Le stockage massif des liquides, pour les différents produits rencontrés dans l'industrie du pétrole, de la pétrochimie et de la chimie, s'effectue principalement dans des réservoirs métalliques, de construction soudée, installés à l'air libre et reposant sur le sol (réservoir aérien).

Ces réservoirs ont des capacités très variables. Elles n'excèdent pas quelques centaines de mètres cubes pour de nombreux produits chimiques, tandis que, dans le domaine pétrolier, les réservoirs de pétrole brut par exemple dépassent de beaucoup ces limites.

Les produits stockés sont nombreux et différents. Pour chacun d'eux il existe une capacité de stockage fonctionnellement et économiquement adaptée aux caractéristiques du stock envisagé par l'entreprise.

Le travail consiste dans ce chapitre à étudier ces réservoirs afin de déduire le type existant dans le cas de l'entreprise FERTIAL ainsi que les équipements et les accessoires qui sont critiques pour le fonctionnement du bac.

III.2. Définition d'un bac de stockage :

Un bac de stockage est un réservoir ou une enveloppe cylindrique qui permet de recueillir et contenir les produits chimiques ou polluants qui peuvent accidentellement fuir hors de leur contenant d'origine.

III.3. Types des bacs de stockages:

III.3.1. Classement selon la configuration des réservoirs [4] :

III.3.1.1. Réservoirs cylindriques verticaux :

Ils reposent directement sur le sol ou sur une fondation par l'intermédiaire d'un fond plat. Ils sont habituellement équipés soit d'un toit fixe conique ou sphérique, soit d'un toit flottant qui repose sur le liquide et coulisse dans le piston formé par la robe du réservoir.

Lorsque ces réservoirs doivent supporter une légère pression, leur toit est généralement de forme sphérique et leur fond en périphérie peut être ancré sur une fondation circulaire en béton.

Il existe trois types de réservoirs cylindriques verticaux (figure.III.1) :

a) Les cuves ouvertes : ne comportent pas de toit et leur emploi est limité aux quelques liquides non toxique ou sans danger pour l'environnement, elles sont exposées à l'air libre.

b) Les réservoirs à toit fixe : sont pourvus d'un toit et permettent donc une meilleure conservation des liquides volatils, dangereux ou polluants.

Chapitre III : Etude de fonctionnement du bac de Stockage d'ammoniac et sa relation avec les compresseurs K101

c) **Les réservoirs à toit flottant** : comprennent une structure flottante, directement posée, installé soit dans une cuve ouverte, soit dans un réservoir à toit fixe. Ces réservoirs, en raison de leur remarquable capacité à réduire les évaporations, sont réservés au stockage des produits les plus volatils.



Figure.III.1 Exemple d'un réservoir cylindrique vertical

III.3.1.2. Réservoirs cylindrique horizontaux :

Depuis 1975, l'utilisation ces réservoirs (figure.III.2) de grande capacité s'est développée en Europe pour répondre essentiellement à des problèmes de sécurité de l'environnement. Ces stockages reposent le plus souvent directement sur le sol, sans fondation spéciale et sans berceau. Après construction, ils sont entièrement enfouis sous une couche de terre de l'ordre du mètre qui constitue une protection contre les incendies ou d'explosion.



Figure.III.2 Exemple d'un réservoir cylindrique horizontal

Chapitre III : Etude de fonctionnement du bac de Stockage d'ammoniac et sa relation avec les compresseurs K101

III.3.1.3. Réservoirs sphériques :

Appelés: sphères (figure.III.3), ils sont généralement supportés par des poteaux disposés au niveau de l'équateur ou, quelquefois, par une jupe métallique ou un massif de béton placé sous l'hémisphère inférieur. Ces ouvrages sont parfaitement adaptés aux stockages sous forte pression et permettent la réalisation économique de grandes capacités.



Figure.III.3 Exemple d'un réservoir sphérique

III.3.1.4. Réservoirs sphéroïdaux :

Ils sont appelés sphéroïdes. Pour certains produits sous pression moyenne, on peut recourir à des formes sphéroïdales dont la partie inférieure repose directement sur le sol préalablement préparé pour épouser la forme du réservoir. Cette formule de stockage n'est cependant pratiquement plus employée en raison du faible intérêt économique qu'elle présente en regard des difficultés de construction.

III.3.1.5. Réservoirs à double toit dôme conventionnel :

Ils se composent d'une capacité interne, qui contient le gaz liquéfié, comparable à un réservoir simple paroi conventionnel, et d'une enceinte extérieure. Cette enceinte, qui enveloppe le réservoir intérieur, ménage des espaces sous le fond, autour de la robe et sur le toit, dans lesquels est placée l'isolation. Les deux enceintes sont étanches l'une par rapport à l'autre et fonctionnent chacune sous des conditions de pression et de température différentes.

Chapitre III : Etude de fonctionnement du bac de Stockage d'ammoniac et sa relation avec les compresseurs K101

III.3.1.6. Réservoir à toit dôme :

Sur ces réservoirs l'isolation thermique de la robe et du toit est placée sur la face extérieure de l'ouvrage. Elle est de ce fait directement exposée aux intempéries (vent, pluie, gel, neige), celui la rend assez vulnérable, en particulier pour la surface couvrante toit dôme (figure.III.4).

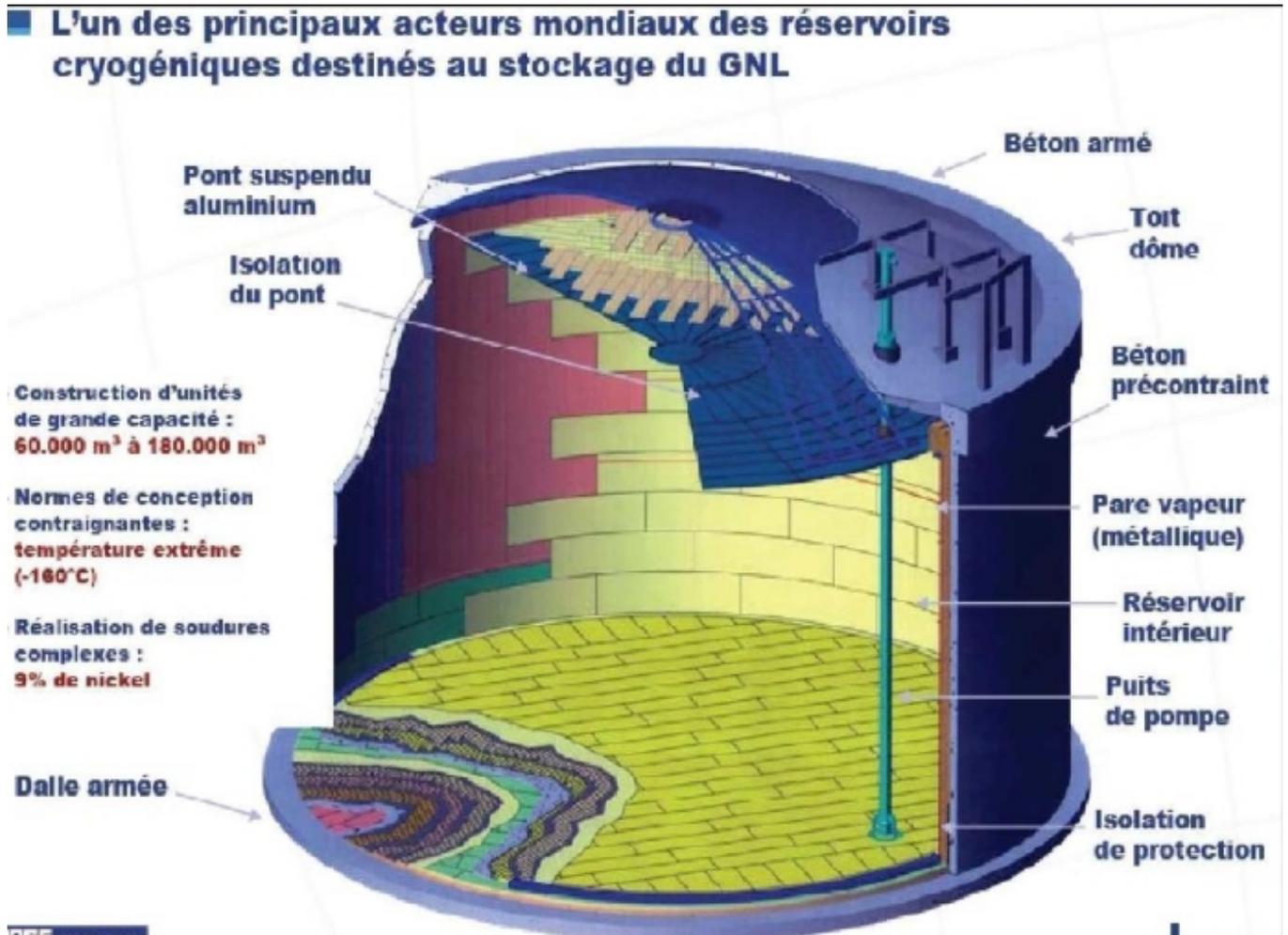


Figure.III.4 Réservoir cryogénique-réfrigéré destinés au stockage GPL et Ammoniac

III.3.1.7. Réservoirs à simple paroi :

Ce sont des réservoirs cylindriques verticaux (figure III.5 et III.6), à fond plat ancré, surmontés d'un toit dôme Ils comportent une isolation thermique placée, en principe, sur la face extérieure des parois. Ils sont employés pour les stockages réfrigérés et ne conviennent pas pour les réservoirs cryogéniques qui nécessitent une isolation plus performante.

Chapitre III : Etude de fonctionnement du bac de Stockage d'ammoniac et sa relation avec les compresseurs K101

III.3.1.8. Réservoirs à double paroi :

Le récipient de stockage proprement dit, constitué d'un réservoir cylindrique à fond plat avec ou sans toit dôme, est contenu et protégé par une seconde enceinte en contact direct avec l'air ambiant dont l'aspect est comparable à celui d'un réservoir à toit sphérique.

Le système isolant, plus important et plus performant que sur les réservoirs à simple paroi, est placé dans l'espace compris entre les deux réservoirs. Ce type de réservoir est utilisé pour les stockages réfrigérés et cryogéniques. Ils peuvent être conçus de manière conventionnelle ou avec une sécurité accrue. Dans ce dernier concept, on cherche à se prémunir contre les effets désastreux d'une défaillance accidentelle de la cuve interne qui conduirait à un épandage du liquide volatil froid sur le sol environnant de l'unité de stockage.

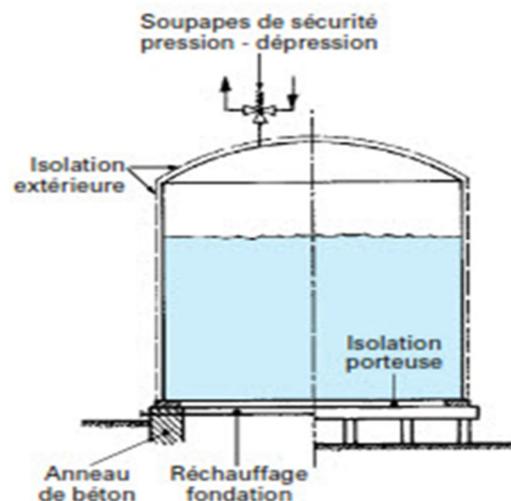


Figure.III.5 Réservoir à simple paroi métallique

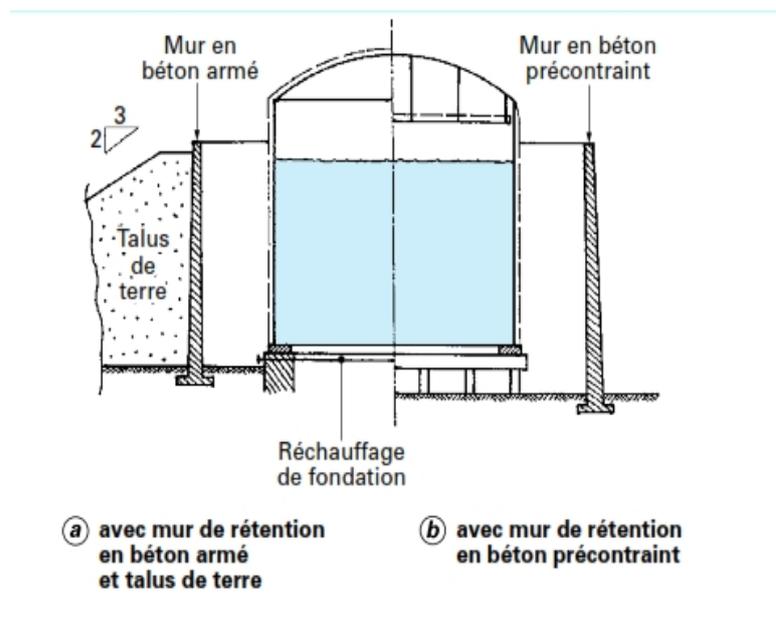
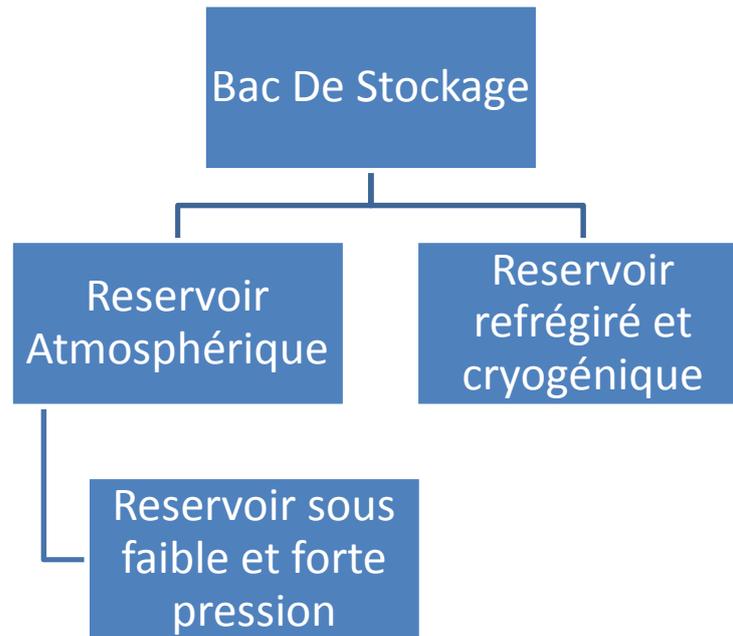


Figure.III.6 Réservoir à simple paroi avec mur de rétention secondaire

Chapitre III : Etude de fonctionnement du bac de Stockage d'ammoniac et sa relation avec les compresseurs K101

III.3.2. Classement selon la pression et le mode de stockage :

La géométrie des réservoirs dépend étroitement de la nature du produit stocké [4] et de sa volatilité à la température de stockage. Cette volatilité étant connue, différents modes de stockage peuvent être envisagés. On peut les classer en fonction de la pression et de la température de fonctionnement du liquide stocké, compte tenu de la relation qui existe entre ces deux paramètres.



III.3.2.1. Stockage des produits volatils:

La gamme des produits industriels stockés est très étendue et les caractéristiques de ces produits sont très différentes. Ils peuvent être stables, volatils, neutres, toxiques, corrosifs, inflammables, etc.

Ils se présentent le plus souvent en combinant plusieurs de ces propriétés. Dans la plupart des cas, ils sont considérés comme des produits dangereux pour l'environnement. Leur stockage est généralement réglementé et contrôlé par l'administration.

De toutes les propriétés qui caractérisent ces produits, il en est une qu'il est essentiel de bien cerner : il s'agit du degré de volatilité du liquide à la température de stockage. C'est à partir de cette propriété que l'on définit le type de réservoir à employer pour conserver le liquide dans le réservoir, il faut empêcher les évaporations de se dissiper dans l'atmosphère et, pour les contenir, il est nécessaire de les emprisonner dans une enceinte adaptée, lorsque le degré de volatilité du produit est très élevé, les émissions le sont également et il faut alors avoir recours à des enceintes non seulement étanches, mais aussi capables de résister à la pression développée par ces vapeurs captives.

Chapitre III : Etude de fonctionnement du bac de Stockage d'ammoniac et sa relation avec les compresseurs K101

La mesure de la volatilité d'un liquide est définie par sa tension de vapeur, qui est différente pour chaque liquide et dépend de la température de stockage

L'ébullition d'un liquide intervient à une certaine température lorsque sa tension de vapeur devient égale à la pression atmosphérique (1.013bar). ce point caractéristique est appelé point normal d'ébullition (PNE). Tout accroissement de température au-dessus de ce point entraîne une augmentation de la tension de vapeur. Par ailleurs, la volatilité d'un liquide est d'autant plus grande que son point normal d'ébullition est bas.

III.3.2.2. Stockages sous pleine pression :

Ils sont réalisés avec des réservoirs directement exposés à l'air ambiant sans isolation thermique ; la température du produit stocké est voisine de la température du site et la pression d'exploitation est maximale.

III.3.3.3. Stockage semi- réfrigérés :

Ils fonctionnent sous pression d'exploitation réduite, obtenue par abaissement de la température du produit, et comprennent une isolation thermique pour limiter l'entrée de la chaleur. Leur pression est limitée à une valeur intermédiaire comprise entre la pleine pression à température ambiante et la pression atmosphérique au PNE. Il en résulte que les épaisseurs de paroi des réservoirs sont moins importantes.

III.3.3.4 Stockages réfrigérés et cryogéniques :

Ils fonctionnent sous pression d'exploitation pratiquement nulle obtenue par abaissement de la température du produit jusqu'à son PNE. Les épaisseurs de paroi sont ainsi plus faibles, ce qui permet d'augmenter encore les capacités unitaires. Ils sont pourvus d'un système isolant dimensionné pour maintenir le produit à basse température.

Par ailleurs, avec ce mode de stockage, la quantité de produit stocké est plus grande, car la densité des liquides est maximale au PNE. Cette caractéristique constitue un avantage essentiel pour le transport sur grande distance. Elle est à l'origine des chaînes de liquéfaction et de distribution de gaz naturel qui existent entre les pays producteurs d'outre-mer et les pays industriels.

Par convention, on désigne par stockage réfrigérés, les réservoirs dont la température minimale est supérieure à -60°C car jusqu'à cette température, les réservoirs peuvent être réalisés avec des aciers au carbone classique. Les réservoirs cryogéniques couvrent la gamme de températures comprises entre -60 et -273°C . Ils sont construits avec des matériaux beaucoup plus résilients tels que les aciers alliés au Nickel (5 à 9 % de NI), les aciers inoxydables et les alliages d'aluminium.

Chapitre III : Etude de fonctionnement du bac de Stockage d'ammoniac et sa relation avec les compresseurs K101

Le Tableau III.1 résume, pour chaque mode de stockage, les conditions limites d'exploitation et donne un échantillonnage des produits qu'il est possible de stocker et le type de réservoir habituellement retenu :

Modes de stockage		Pression de vapeur absolue p et température de stockage θ du produit stocké	Exemples de produits stockés	Types de réservoirs recommandés
Stockage libre à température ambiante [2]	à pression atmosphérique	$p = p_{atm}$ $\theta = \theta_a$ ambiante	eau, incendie et industrielle, eau potable	Cuves ouvertes Réservoirs à toit fixe
		$p < 0,1$ bar (point d'éclair > 55 °C) $\theta = \theta_a$ ambiante	gazoles, fuels, huiles, bitumes, asphaltes, etc.	Réservoirs à toit fixe
		$0,1 \text{ bar} < p < 0,75$ bar (point d'éclair < 55 °C) $\theta = \theta_a$ ambiante	pétroles bruts, essences, carburants aviation, white-spirit, kérosène, benzène, toluène, etc.	Réservoirs à toit flottant (externe ou interne)
	sous faible pression	$p = p_p < 1,5$ bar $\theta = \theta_a$ ambiante	essences légères, pentane, etc.	Réservoirs à toit fixe ancré ou avec fond sphérique
	sous forte pression	$1,5 \text{ bar} < p = p_p < 3$ bar $\theta = \theta_a$ ambiante	essences légères, pentane, isopentane, etc.	Sphéroïdes
$1,5 \text{ bar} < p = p_p < 30$ bar $\theta = \theta_a$ ambiante		butane, butadiène, chlorure de vinyle, propane, propylène, ammoniac, chlore, etc.	Ballons et sphères	
Stockage à température contrôlée par réfrigération [3]	semi-réfrigéré (sous pression réduite)	$p_{atm} < p = p_{red} < 30$ bar 0 °C $> \theta = \theta_{red} > -30$ °C	propane, propylène, ammoniac, chlore, dioxyde de carbone, éthane, éthylène, etc.	Ballons et sphères à simple paroi avec isolation
	réfrigéré (au PNE)	$p = p_{atm}$ $\theta = \theta_{eb} > -60$ °C	butane, butadiène, chlorure de vinyle, propane, propylène, ammoniac, chlore, etc.	Réservoirs à simple ou à double paroi avec isolation renforcée
	cryogénique (au PNE)	$p = p_{atm}$ -60 °C $> \theta = \theta_{eb} > -200$ °C	éthane, éthylène, méthane, air, oxygène, azote, argon, etc.	Réservoirs à double paroi avec isolation renforcée
		$p = p_{atm}$ -200 °C $> \theta = \theta_{eb} > -273$ °C	hydrogène, hélium, etc.	Réservoirs à double paroi avec isolation sous vide

Tableau.III.1 Modes de stockage et types de réservoirs en fonction de produit stocké

III.4. Construction des réservoirs réfrigéré et cryogénique :

Par convention et en regard des matériaux mis en œuvre pour la construction des récipients contenant le produit liquide froid, on désigne par réservoirs réfrigérés les unités dont la température de stockage est supérieure à -60 °C et par réservoirs cryogéniques les unités qui fonctionnent au-dessous de cette température. La frontière de -60 °C correspond sensiblement

Chapitre III : Etude de fonctionnement du bac de Stockage d'ammoniac et sa relation avec les compresseurs K101

à la limite d'emploi des aciers au carbone faiblement alliés. Pour des températures d'exploitation plus basses et selon la norme NF EN 10 028, partie 4 on doit avoir recours à des aciers spéciaux alliés au nickel, à des aciers inoxydables austénitiques ou à des alliages d'aluminium. La figure illustre cette terminologie pour les produits les plus couramment stockés sous pression atmosphérique.

III.4.1. Référentiels de construction:

Ces réservoirs sont généralement construits selon les référentiels suivants :

- EN14015 - Spécification pour la conception et la fabrication de réservoirs en acier, soudés, aériens, à fond plat, cylindriques, verticaux, construits sur site destinés au stockage des liquides à la température ambiante ou supérieure
- API 650 "Réservoirs soudés en acier destinés au stockage de produits pétroliers" ou les versions précédentes telles que l'API12C (Voir Annexes figure 2).
- CODRES Division 1 - Code français de construction des réservoirs cylindriques verticaux en acier (U.C.S.I.P. et S.N.C.T.).
- De manière moins fréquente, les codes suivants ont pu être utilisés :
 - British Standard BS 2654 "Construction de réservoirs verticaux non réfrigérés en acier pour l'industrie pétrolière, à partir de tôles de robe soudées bout à bout"
 - DIN4119 - Code de construction des réservoirs verticaux allemands
 - NF EN 12285-2
 - CODAP

III.4.2. Qualité des aciers utilisés dans la construction des réservoirs réfrigéré et cryogénique [5] :

On emploie pour les stockages semi-réfrigérés et réfrigérés des aciers (figure.III.7) au carbone non alliés ou faiblement alliés au nickel. Ce sont des aciers normalisés au carbone-manganèse calmés au silicium qui peuvent comporter une addition de nickel (0,5 %). Leur emploi est limité à des températures supérieures à -60 °C. Ils sont définis par la norme NF EN 10 028

Pour les stockages cryogéniques, on utilise des aciers alliés au nickel du type trempés et revenus ou doubles normalisés et revenus, selon la norme NF EN 10 028,. Ce sont principalement des aciers à 5 % de nickel jusqu'à -120 ou -140 °C selon les normes employées, et à 9 % de nickel jusqu'à -200 °C. Pour des températures plus basses et jusqu'au voisinage du zéro absolu, on a recours soit à des aciers inoxydables austénitiques nuances X5CrNi 18-10 (type AISI-304) ou X2CrNi 18-9 ou 19-11 (type AISI-304L) de la norme NF EN 10 028 partie 7, soit à de l'acier Invar à 36 % de nickel, soit à des alliages d'aluminium à 4 % de magnésium (type 5083-0) de la norme NF EN 485.

Chapitre III : Etude de fonctionnement du bac de Stockage d'ammoniac et sa relation avec les compresseurs K101

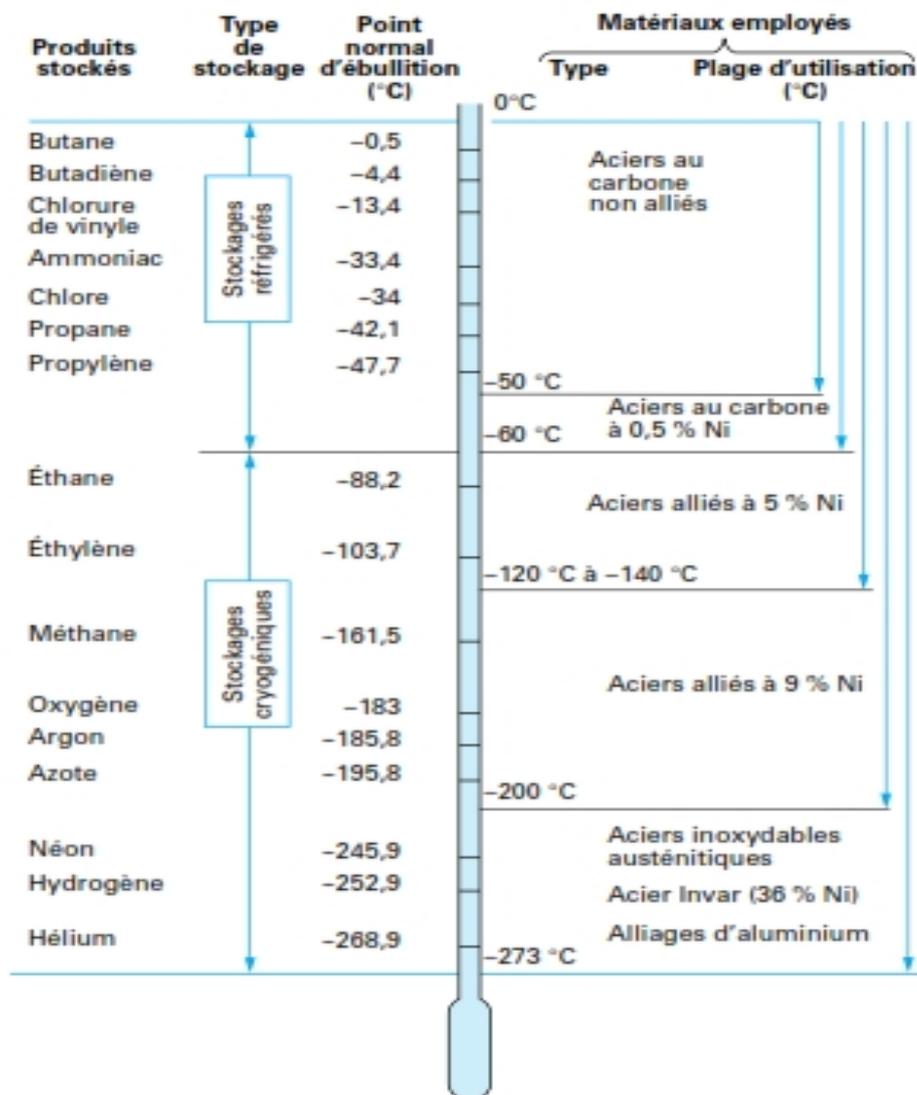


Figure.III.7 Matériaux en fonction de la température d'emploi du produit stocké

III.5. Les accessoires des réservoirs de stockage :

Les réservoirs comportent une ou plusieurs tubulures d'entrée et de sortie des produits selon leur capacité ; la tubulure d'entrée est généralement située à la base du réservoir à environ 0.50m du fond pour laisser un volume mort où les dépôts peuvent s'accumuler, ou pour permettre le stockage sur un plan d'eau. On évitera l'emploi de piquages d'entrée en haut de la robe, car la chute du produit refoulé dans le réservoir crée toujours une certaine densité d'électricité statique.

En plus de ces tubulures, le réservoir doit comporter un grand nombre d'accessoires (Voir Annexes Figure 1) qui représentent une partie importante du coût total de l'installation, étant

Chapitre III : Etude de fonctionnement du bac de Stockage d'ammoniac et sa relation avec les compresseurs K101

donné leur diversité et souvent la haute qualité requise pour certains d'entre eux. On distingue en générale les accessoires suivants :

III.5.1 Accessoires d'accès :

Ils comportent : escaliers, garde-corps, passerelles. Ils ont été standardisés par le bureau de normalisation du pétrole (BNP)

III.5.2 Accessoires de visite et de nettoyage :

La visite se fait par des trous d'homme dont la construction est également normalisée. Ces accessoires permettent le nettoyage et l'élimination des boues, sédiments, de la rouille et de l'eau qui peuvent s'accumuler au fond.

Les opérations de nettoyage sont délicates et nécessitent un dégazage soigné du réservoir. Cette opération peut se faire, par exemple, par l'adaptation sur un trou d'homme du toit d'un ventilateur aspirant à l'intérieur du réservoir, après ouverture des trous d'homme de la basse de la robe. Plus simplement. On opère le dégazage à la vapeur d'eau.

Il existe des dispositifs automatiques de projections de produit de nettoyage et également des procédés d'extraction automatique des boues.

III.5.3 Accessoires et équipements critiques pour le fonctionnement :

Ce sont les accessoires qui sont indispensables pour le fonctionnement du réservoir ou du bac de stockage tel que ; les pompes, compresseurs, ballons, échangeurs (condenseurs), pipelines, soupapes d'évacuation, torchère.

III.5.4 Accessoires de réchauffage et isolation :

Dans le cas des produits lourds et visqueux, il faut prévoir soit le maintien en température, soit la possibilité de réchauffer par exemple le calorifugeage du réservoir.

III.5.5 Accessoires de sécurité et de protection :

Ils sont variés et coûteux. Leur rôle est d'assurer la protection des réservoirs contre divers risques.

Chapitre III : Etude de fonctionnement du bac de Stockage d'ammoniac et sa relation avec les compresseurs K101

III.6. Présentation du bac de stockage d'ammoniac 101T de FERTIAL :

III.6.1. Le Bac de stockage d'ammoniac 101T :

Le bac de stockage (figure.III.8) reçoit l'ammoniaque à -33°C et 70 m bars. Ce bac de diamètre 52,220 mm et de hauteur de 7,220 mm a une capacité de 20000 tonnes. Les pompes (110J/JS) refoulent jusqu'à 1000 tonnes par jour.

Le produit arrive par le haut du bac sous forme de pluie où une partie des vapeurs dégagées est liquéfiée. La partie non liquéfiée est comprimée avec des compresseurs (K101 A/B/C) jusqu'à 14 bars, puis refoulée au ballon d'aspiration (101V) ou elle est refroidie à -2°C .

Les vapeurs qui sortent du ballon d'aspiration sont comprimées à 14,1 bars, puis condensées par l'eau de mer dans les condenseurs appropriés. Les condensats sont dirigés vers un réservoir (102V) à 13,8 bars et 38°C ; ensuite le liquide accumulé dans le réservoir 102V va être introduit dans le ballon 101V où il est détendu à 3 bars et -2°C . Le liquide se trouvant dans le ballon d'aspiration sera utilisé comme agent frigorigère du gaz de déroulement après avoir été détendu.

L'ammoniac liquide sera renvoyée vers le bac de stockage 101 T.



Figure III.8 Le Bac de stockage d'ammoniac de Ferial

Chapitre III : Etude de fonctionnement du bac de Stockage d'ammoniac et sa relation avec les compresseurs K101

III.6.2. Les caractéristiques techniques du bac :

Construit par	: TOKYO KANETSU K.K. (Société japonaise)
Date de construction	: 1986
Capacité de stockage	: 20 000 tonnes
Diamètre	: 52 220 mm
Hauteur	: 7 220 mm
Pression intérieur du bac maximal	: 70m/bars
Capacité de refoulement/J	: 1000 tonnes/J

III.6.3. Système d'entreposage et de transbordement d'ammoniac :

Les systèmes d'entreposage et de transbordement de l'ammoniac du complexe FERTIAL comprennent les principales composantes décrites ci-après. Le bac d'entreposage d'ammoniac et le pipeline ont été installés en 1987 (figure.III.10).

III.6.4. Système d'entreposage de l'ammoniac :

III.6.4.1. Principe de fonctionnement et la relation avec les compresseurs K101/A/B/C :

Le bac d'entreposage est à simple paroi, d'une capacité de 21,651 tonnes métriques, il est utilisé pour entreposer l'ammoniac devant être notamment transporté au port pour chargement sur des bateaux ou inversement pour recevoir de l'ammoniac du port afin de combler les besoins du complexe FERTIAL. Le réservoir est situé sur le site connu sous « usine d'ammoniac », à environ 650 mètres au sud-est d'une zone résidentielle (cité Seybouse).

- Le réservoir répond aux exigences du standard **API 620** s'appliquant à des réservoirs à basse pression, soudés, de grande capacité. Ce standard est mondialement reconnu et utilisé ;
- Une surépaisseur de corrosion n'est pas en contradiction avec le standard.

Le réservoir opère près de la pression atmosphérique, il est maintenu à une température d'environ -33°C (température d'ébullition de l'ammoniac à cette pression) par condensation et réfrigération des vapeurs d'ammoniac en équilibre au-dessus de l'ammoniac liquide, à l'aide d'un système de réfrigération.

Le réservoir est alimenté en ammoniac liquide de l'unité de synthèse de l'ammoniac à un débit de 1000 t / jour en continu, ou à un débit de 500 à 1000 t/h en provenance du port, de façon intermittente.

Des transmetteurs de pression permettent de mesurer la pression de vapeur dans le réservoir qui, à cette température, doit être entre -6 et 70 mbar. Lorsque la pression atteint cette dernière limite, les compresseurs du système de réfrigération K101/A/B/C démarrent et amènent le vaporisât vers le système de réfrigération, ce qui permet de condenser l'ammoniac et de le circuler au réservoir. Ceci a pour effet d'enlever de la chaleur du réservoir, ce qui fait diminuer la pression de vapeur d'ammoniac (figure III.11)

Chapitre III : Etude de fonctionnement du bac de Stockage d'ammoniac et sa relation avec les compresseurs K101

Dans le cas où la pression deviendrait supérieure à la limite, et où le système de réfrigération ne serait pas fonctionnel (ou insuffisant). Le vaporisât serait acheminé à une torchère (Figure III.9) où il serait brûlé grâce à la combustion du gaz naturel. Dans le cas où la pression dans le réservoir serait supérieure à la pression de réglage des soupapes de sûreté (5 au total) qui varie de 58 à 70 mbar, et dans le cas où ni le système de réfrigération, ni la torchère ne serait fonctionnels ou suffisants, les soupapes de sûreté libéreraient les vapeurs vers l'atmosphère.

Dans le cas d'une pression sous la limite inférieure, des brise-vides feraient entrer de l'air dans le réservoir. Il serait ensuite nécessaire de purger les gaz contenus dans le réservoir avant de continuer l'opération normale. Des indicateurs de niveau permettent de mesurer le niveau du liquide lorsque le niveau maximum est atteint, l'alimentation en ammoniac provenant de l'unité de synthèse d'ammoniac ou des bateaux devrait être interrompue automatiquement. Des thermocouples permettent aussi de mesurer la température dans le réservoir à différentes hauteurs.

Un dispositif d'arrosage d'une capacité de 2 l / min / m² est en place sur la robe et le toit du réservoir. Ce dernier est constitué de 2 cerceaux de gicleurs autour du bac lesquels créent un écran d'eau autour du bac. Des lances opérées manuellement à partir de 4 camions incendie ainsi qu'à partir d'autres emplacements à proximité du bac peuvent être utilisées pour limiter les émissions d'ammoniac à l'atmosphère en cas de fuite du bac.

Vingt-et-un détecteurs d'ammoniac sont présents sur le site : 3 sur les compresseurs du système de réfrigération, 6 sur les pompes, 2 sur les compresseurs du système de retour des gaz et en fin 10 autour du bac d'entreposage.

Chapitre III : Etude de fonctionnement du bac de Stockage d'ammoniac et sa relation avec les compresseurs K101



Figure.III.9 La torchère de secours



Figure.III.10 Vue générale de l'ensemble d'installation et des pipes du bac de stockage

Chapitre III : Etude de fonctionnement du bac de Stockage d'ammoniac et sa relation avec les compresseurs K101

III.6.4.2 Schéma de fonctionnement et relation avec les Compresseurs K101/A/B/C :

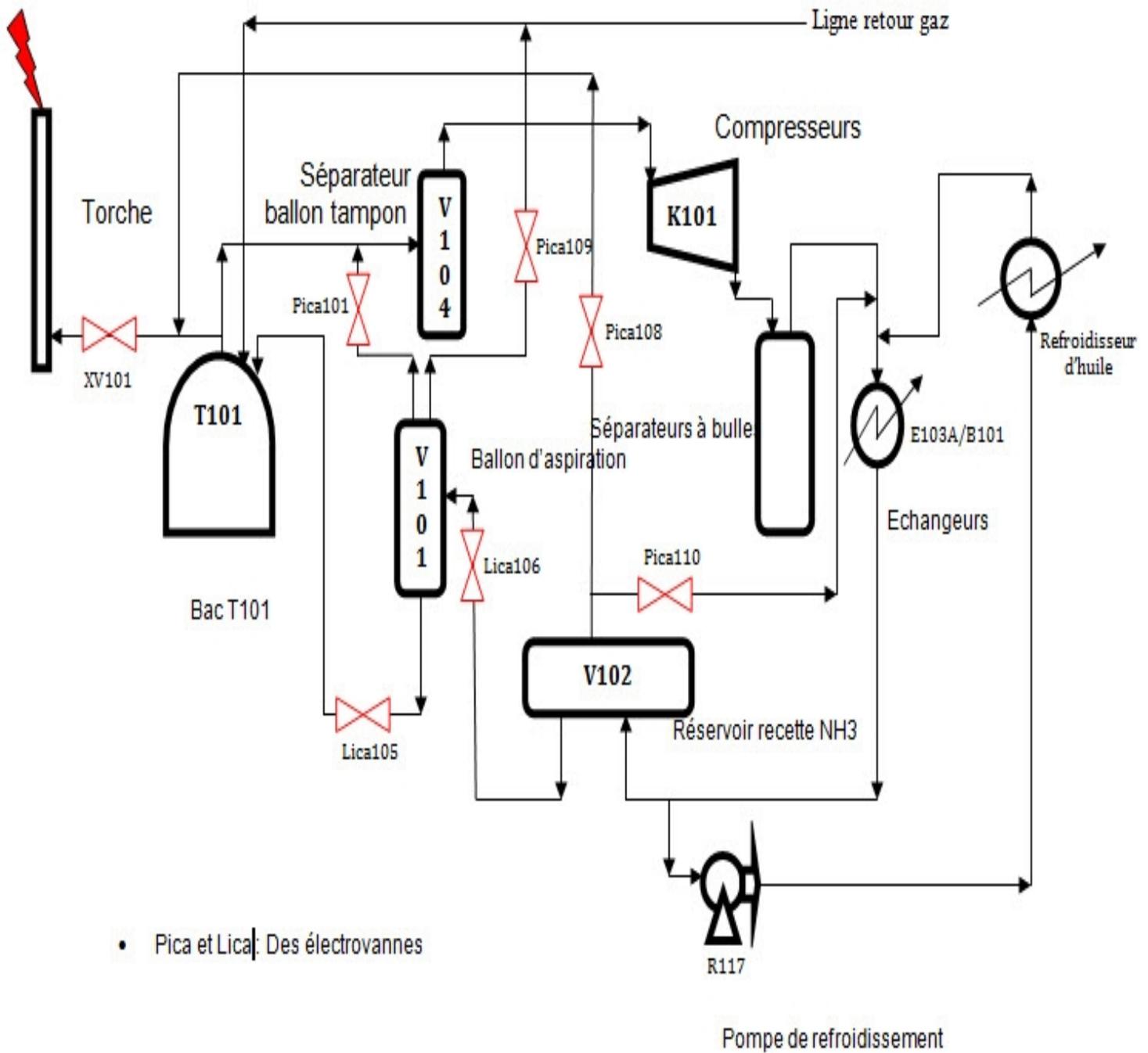


Figure.III.11 Schéma simplifié d'implantation du bac et des compresseurs K101A/B/C.

Chapitre III : Etude de fonctionnement du bac de Stockage d'ammoniac et sa relation avec les compresseurs K101

III.6.5. Bassin de rétention :

Le réservoir est entouré d'un bassin de rétention permettant de retenir l'ammoniac liquide en cas de fuite. Le volume du bassin est de 44 100 m³ (140 m X 90 m X 3,5 m), ce qui représente 140% de la capacité du réservoir d'entreposage. Le bassin de rétention qui est établi sur un sol sablonneux, absorbant ainsi l'ammoniac liquide, est ceinturé d'un mur de rétention en béton et d'un caniveau lequel évacue l'ammoniac liquide vers la mer en cas de fuite ou de déversement.

III.6.7. Système de réfrigération :

Le système de réfrigération inclut des compresseurs qui amènent les vapeurs du réservoir d'entreposage vers la réfrigération, où elles sont condensées et recirculées au réservoir.

Selon la description de l'unité de réfrigération, Le produit arrive par le haut du bac sous forme de pluie où une partie des vapeurs dégagées est liquéfiée. La partie non liquéfiée ou évaporée doit passer par un séparateur (V104) de vapeur/liquide pour séparer la vapeur ensuite, elle doit être comprimée dans les compresseurs (K101 A/B/C) jusqu'à 14,1 bars et environ 80°C et en passant par des séparateurs à bulles pour séparer l'ammoniac et l'huile, puis refoulée aux échangeurs (E103/A/B) où elle est condensée et refroidie par l'eau de mer dans ces condenseurs.

Les condensats sont dirigés vers un réservoir de recette (102V) à 13,8 bars et 38°C ; ensuite le liquide accumulé dans le réservoir (102V) va être introduit dans le ballon (101V) où il est détendu à 3 bars et -2°C. Le liquide se trouvant dans le ballon d'aspiration sera utilisé comme agent frigorigène du gaz de déroulement après avoir été détendu.

Un ou plusieurs compresseurs peuvent être utilisés afin d'envoyer le vaporisât du réservoir d'entreposage au système de réfrigération, lorsque la pression à l'intérieur de celui-ci atteint les limites.

Dans le cas d'une défaillance du système de réfrigération, la pression dans le réservoir dépasserait la limite supérieure, ce qui déclencherait l'ouverture de la vanne vers la torchère ou même l'ouverture des soupapes de sûreté vers l'atmosphère.

III.6.8. Système de transbordement de l'ammoniac ;

III.6.8.1 Pompes de transfert :

Les pompes de transfert servent à envoyer l'ammoniac du réservoir d'entreposage vers le port par pipeline. L'ammoniac y est pompé à un taux normal de 500 t/h, pouvant aller jusqu'à 700 t/h. elle n'est utilisée que de façon intermittente, lors du chargement des bateaux.

Chapitre III : Etude de fonctionnement du bac de Stockage d'ammoniac et sa relation avec les compresseurs K101

III.6.8.2. Pipeline :

Le pipeline sert au transfert de l'ammoniac liquide à -33°C et pressurisé à 8 bars du réservoir d'entreposage au port de Annaba ou l'inverse (figure III.12).

Le pipeline consiste en une conduite à simple paroi de 45,7 cm de diamètre interne (matériau: ASTM A. 33 GR6). L'ammoniac y est pompé de façon intermittente à un taux normal de 500 t/h, pouvant aller jusqu'à 700 t/h, ce qui correspond à une vitesse superficielle de 1,3 à 1,9 m/s.

Le pipeline mesure environ 3000 mètres. Il est implanté sur un support à une élévation moyenne de 10 mètres par rapport au niveau de la mer : les points les plus bas et plus hauts sont respectivement de 3,5 et 15 mètres. Les différentes sections du pipeline sont construites en utilisant des conduites de 12 mètres de longueur et en fonction de la nature et des besoins de construction pour chaque tronçon (existence de lices, de courbures, etc.), il y a un raccordement par des tubes de différentes longueurs.

Le pipeline est muni de 10 purgeurs automatiques, qui se localisent généralement au niveau des points les plus hauts du pipeline et qui, lorsque la pression de vapeur dans le pipeline atteint une certaine limite, libèrent l'ammoniac vers le système de retour des gaz jusqu'à ce que la pression redevenue normale.



Figure.III.12 Les pipes de transfert du bac de stockage

Chapitre III : Etude de fonctionnement du bac de Stockage d'ammoniac et sa relation avec les compresseurs K101

III.6.8.3. Système de retour des gaz :

Le système de retour des gaz sert à réacheminer les vapeurs d'ammoniac relâchées dans le pipeline vers le système de réfrigération, qui les condense et les retourne au réservoir d'entreposage.

Il est constitué d'abord d'une conduite de 40,6 cm de diamètre interne, de même longueur que le pipeline et parallèle à celui-ci. Il comporte également une soufflante située dans le port, et qui permet d'envoyer les gaz purgés au système d'entreposage.

III.6.8.4. Fréquence des transbordements :

Le transbordement d'ammoniac liquide du bac d'entreposage vers le port via le pipeline pour le chargement des bateaux est réalisé de façon intermittente. Le nombre de chargements pour les trois dernières années est présenté ci - dessous :

- Année 1995 : 9 chargements ;
- Année 1996 : 4 chargements ;
- Année 1997 : 22 chargements ;
- Année 2004 : 19 chargements.

La capacité moyenne des chargements des bateaux varie de 8000 à 10000 tonnes métriques d'ammoniac liquide. Attendu que le taux de transfert d'ammoniac liquide varie de 400 à 700t.m/h, la durée d'un chargement fluctue de 11 à 20 heures approximativement.

En considérant l'année 2004, soit 19 chargements à raison de 400 t/h, le pipeline était en service durant 430 heures.

III.6.8.5. Les infrastructures portuaires :

Le système est doté de 3 bras de chargement, 1 seul bras est en service, il a une capacité de 500 t/h de débit en moyenne. Pour remplir un bateau, il faut compter sur une moyenne de 15 heures. Au démarrage de l'opération de chargement, il y a une mise à froid du pipe par l'envoi à faible débit de l'ammoniac liquide qui pousse le reste de gaz dans la conduite vers le pipe de retour pour être refroidie et liquéfié puis réinjecté dans le bac. Il faut 48 heures pour gonfler le réseau avant d'entamer le chargement du bateau.

Une vanne d'arrêt d'urgence arrêtant le chargement et isolant l'installation équipe chaque bras de chargement, elle peut être actionnée manuellement en cas de fuite d'ammoniac ou de fin de chargement. La pipe n'est pas dotée sur toute sa longueur de vannes d'isolement pour permettre d'isoler des tronçons de pipe dans le cas d'une fuite d'ammoniac ou pour réaliser des réparations.

Chapitre III : Etude de fonctionnement du bac de Stockage d'ammoniac et sa relation avec les compresseurs K101

III.6.8.6. Moyens de prévention et de protection :

Il faut remarquer qu'il n'existe pas de détecteur de gaz le long du pipe et au niveau du quai de chargement. On se contente des rondes des exploitants lors de la prise de poste et d'inspections ponctuelles de la pipe.

Durant le chargement, un camion incendie est toujours prêt à intervenir. Dans la zone, il y a le personnel de sécurité de FERTIAL et aussi celui de l'entreprise portuaire. Il existe une liaison radio (talkie-walkie) entre le personnel de sécurité en plus de la liaison téléphonique entre le port et le complexe.

Le personnel de sécurité est doté de masque à gaz. Des masques à gaz supplémentaires sont prévus pour remplacer les masques défectueux ou équiper d'autres personnes se trouvant dans la zone.

III.7. Les Equipements et les accessoires du bac de stockage :

Tous les équipements nécessaires pour le fonctionnement et le transfert de l'ammoniac vers le bac ou le contraire sont : Les pompes P101 (A/B/C) P102 (A/B/C), Pompe de réfrigération (R717) Les condenseurs E103 (A/B), les ballons V101 V102 V104, les vannes, les torches et le système de compresseurs K101 (A/B/C) que nous allons mener une étude dans le chapitre suivant.

Les équipements sont tous contrôlés par un opérateur dans la salle de contrôle à distance (figure.III.13). Les paramètres suivants doit être contrôlé :

- La pression dans le bac T101.
- La pression à l'aspiration et refoulement du compresseurs K101.
- La pression d'huile de lubrification.
- La température du gaz à l'aspiration et refoulement du compresseurs K101.
- La température d'huile de lubrification.



Figure.III.13 Salle de contrôle du bac de stockage d'ammoniac

III.8 Problèmes de dégradation du bac de stockage :

III.8.1 Dossier de suivi individuel :

Le réservoir fait l'objet d'un dossier individuel de suivi. Le contenu de ce dossier comprend les éléments suivants :

- Type et caractéristiques (dimensions, volume, calorifugé ou non, serpentin de réchauffage ...);
- Date de construction et code de construction utilisé ;
- Plans de construction ;
- Matériaux de construction, y compris des fondations ;
- Existence d'un revêtement interne ;
- Date de l'essai hydraulique initial ;
- Liste des produits successivement stockés dans le réservoir ;
- Dates, types d'inspections et résultats ;
- Dates et résultats des mesures réalisées sur le réservoir ;
- Réparations et modifications éventuelles et codes utilisés ;
- Incidents éventuels ;
- Dossier réchauffeur si existant.

Chapitre III : Etude de fonctionnement du bac de Stockage d'ammoniac et sa relation avec les compresseurs K101

III.8.2 Dégradations potentielles des parois métalliques des réservoirs :

Comme pour tous les équipements, il convient d'évaluer si les réservoirs cryogéniques et réfrigérés peuvent être affectés par leur environnement intérieur ou extérieur. Il est important d'identifier les différents modes de dégradation qui peuvent en résulter. C'est un préalable indispensable à la définition d'une politique d'inspection.

Bien que les retours d'expérience n'a pas encore mis en évidence de risque de corrosion interne, il est important de noter que les équipements en aval ou en amont de ces réservoirs et fonctionnant avec le même produit seraient les révélateurs précoces d'un mécanisme de corrosion car fonctionnant dans des conditions plus sévères, notamment une température plus élevée.

Les réservoirs de stockage cryogéniques et réfrigérés ont été généralement construits suivant des standards internationaux, comportant des préconisations relatives à l'inspection et aux contrôles des soudures, comportant à titre d'exemple des examens par radiographie ou encore le prélèvement de coupons, afin de garantir un bon niveau de qualité des soudures et de la construction.

Les produits contaminants éventuels (au sens de la compatibilité avec les matériaux du stockage) font l'objet de suivi en service et d'un traitement adapté.

III.8.3. Corrosion atmosphérique :

La corrosion atmosphérique des réservoirs cryogéniques et réfrigérés est évitée dès lors que la température de la paroi est inférieure à -10°C . La corrosivité d'une atmosphère est directement liée à la durée de persistance de l'humidité sur la surface exposée. En deçà d'une température de -10°C , la présence de l'humidité, qui se traduit par la présence d'un électrolyte liquide à la surface d'une paroi métallique, est exclue, ainsi que les phénomènes de corrosion induits.

Pour les réservoirs en acier au carbone :

- le toit peut être plus sensible à la corrosion extérieure car il est moins froid. Il doit faire l'objet d'inspections et de contrôles performants en service à partir de l'extérieur. Si nécessaire, des remises en état de la paroi du toit peuvent également être réalisées sans arrêt d'exploitation.
- Une entrée éventuelle d'oxygène par les événements de sécurité des réservoirs pendant les phases de vidange rapide du réservoir serait susceptible d'initier des corrosions dans les parties supérieures de la paroi pour les réservoirs en acier carbone. Pratiquement il n'en est rien, l'oxygène est éliminé par le système de refroidissement continu qui comporte toujours un dispositif d'élimination des gaz incondensables. De fait, aucune détérioration, provoquée par une corrosion généralisée, n'a été trouvée à l'intérieur des réservoirs cryogéniques dans le retour d'expérience mondial.

Chapitre III : Etude de fonctionnement du bac de Stockage d'ammoniac et sa relation avec les compresseurs K101

III.8.4. Corrosion fissurante sous tension par l'ammoniac :

La Corrosion fissurante sous tension est considérée comme le principal mécanisme de dégradation potentielle pour les réservoirs cryogéniques d'ammoniac.

III.8.5. Fatigue :

La fatigue a été avancée comme un mode possible de dégradation qui pourrait se produire du fait de la longue durée d'exploitation des réservoirs de stockage cryogénique et réfrigéré.

Certains réservoirs sont utilisés comme stockage intermédiaire d'unités de production et sont soumis à des variations réduites de niveau. Les autres sont utilisés principalement sur des terminaux de stockage et soumis à des variations plus importantes de niveau.

III.8.7. Dégradations potentielles des accessoires et les connexions des réservoirs réfrigérés :

Les dégradations potentielles des accessoires et des connexions des réservoirs cryogéniques sont principalement la corrosion extérieure ou la mise sous contrainte des piquages du réservoir du fait d'un défaut de support (blocage par la glace...). En effet, ces connexions peuvent présenter des défauts d'étanchéité de l'enveloppe du frigorifuge et donc développer de la corrosion externe sous frigorifuge, dans les zones où la température de peau du métal peut être supérieure à -10°C (circuits en services intermittents, zones en phase gaz et moins réfrigérées que les zones en phase liquide, dégradations de l'enveloppe isolante). Ces zones sont très facilement détectées lors des visites et inspections extérieures car elles sont couvertes de glace.

La vérification du support des tuyauteries et accessoires de tuyauteries devra être effectuée régulièrement afin d'éviter tout risque de mise sous contrainte des piquages.

Si les services sont intermittents ou très peu réfrigérés, il peut y avoir fonte de la glace et développement de zones humides, très propices au développement de la corrosion extérieure. Ces zones doivent faire l'objet d'attention particulière pour enrayer le développement de la corrosion et parfaire l'étanchéité de l'isolant et de son enveloppe protectrice.

Si les services sont continus, il n'y a pas d'eau sous forme liquide due à la fonte de la glace et donc la corrosion devient négligeable, le contact avec l'oxygène de l'air n'étant pas assuré.

En cas de fuite avérée sur un accessoire ou une connexion, des mesures correctives seront mises en place dans les meilleurs délais, pour garantir la poursuite de l'exploitation en sécurité, dans l'attente d'une remise en état.

Chapitre III : Etude de fonctionnement du bac de Stockage d'ammoniac et sa relation avec les compresseurs K101

III.9. Conclusion :

Pour conclure on peut dire que dans le cas de FERTIAL, le bac de stockage d'ammoniac est un réservoir à simple paroi réfrigéré qui répond aux exigences du standard API 620 avec isolation renforcé et du calorifuge pour garder la stabilité de la température dans le bac, une surépaisseur de corrosion est bien présente.

Pour maintenir la pression et la température afin d'éviter toute pertes de production, risques inattendus d'explosion ou d'impulsion, un système de réfrigération est indispensable pour le fonctionnement et la protection du bac. Le système de réfrigération est composé de séparateur, des ballons d'aspiration, tampon et de recette NH₃ et le système de compresseurs K101/A/B/C que nous étudierons dans le chapitre suivant.

CHAPITRE IV
ETUDE DU
FONCTIONNEMENT
DES COMPRESSEURS
K101 A/B/C

Chapitre IV : Etude du fonctionnement des compresseurs K101 A/B/C

IV.1. Introduction :

Les compresseurs sont des équipements stratégiques dans l'industrie, ils peuvent affecter sur plusieurs aspects y compris l'aspect économique et sécurité. Ils sont des éléments essentiels pour le transfert énergétique de la source froide, maintenir la pression dans un endroit fermé et fournissent un travail mécanique pour comprimer et permettre la circulation du gaz ou du fluide frigorigène. Ils permettent également au fluide de circuler dans les installations.

Vu l'importance des compresseurs dans le fonctionnement du bac de stockage d'ammoniac, il est primordial de bien les maintenir.

Le présent chapitre, a pour but de différencier les compresseurs existant afin de mener une étude de fonctionnement du système des compresseurs connu sous des repères K101/A/B/C du 'bac de stockage d'ammoniac'.

IV.2. Généralité sur les compresseurs :

IV.2.1. Définition :

Un compresseur est une machine qui réduit le volume et accroît ainsi la pression d'une quantité d'air ou de gaz donnée par des moyens mécaniques. L'air ou le gaz 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.

IV.2.2. Domaines d'applications :

Les applications des compresseurs sont très diversifiées. La liste ci-après donne des exemples d'utilisation de ces machines :

- Fabrication d'air comprimé (air instrumentation, nettoyage de pièces, peinture...);
- Compression et déplacement des gaz procédés ;
- Transport des matières pulvérulentes (transports pneumatiques des poudres) ;
- Réalisation de vide et de dépression (distillation, cristallisation sous vide, évaporation...);
- Assainissement des locaux (ventilation, climatisation...);
- Brassage de bassins de fermentation.

IV.2.3. Taux de compression:

Le taux de compression [6] η_c est le rapport de la pression au refoulement P_2 à la pression d'aspiration P_1 .

$$\eta_c = P_2/P_1$$

La dénomination classique des machines suivant le taux de compression est :

- Ventilateur, pour ; $\eta_c < 1.3$
- Soufflantes ; $1.3 < \eta_c < 2$

Chapitre IV : Etude du fonctionnement des compresseurs K101

A/B/C

- Compresseurs pour ; $\eta_c > 2$

IV.2.4. L'aspect énergétique :

IV.2.4.a.Température :

La compression nécessite du travail et dégage de la chaleur ; elle contribue à l'augmentation de la température du gaz. Dans le cas d'une compression adiabatique, cette température est donnée par la relation :

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad \text{où } \gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

IV.2.4.b.Travail de compression :

Pour un compresseur parfait, le travail de compression (W_i) est égal au travail de transvasement du fluide (W_t) et vaut :

$$W_i = \int_1^2 v dP$$

Cette intégrale peut être déterminée par l'aire de la courbe $P=f(v)$ dans un diagramme de Clapeyron $P \cdot v$

La courbe est déterminée par le type de la compression :

- Compression isotherme (réalisée à constant soit $P \cdot v = \text{constant}$) ;
- Compression adiabatique (pas d'échange de chaleur avec l'extérieur soit :

$$(P \cdot v^\gamma = \text{constante où } \gamma = \frac{C_p}{C_v}) ;$$

- Compression polytropique (compression réelle déterminée par $P \cdot v^k = \text{Constant}$).

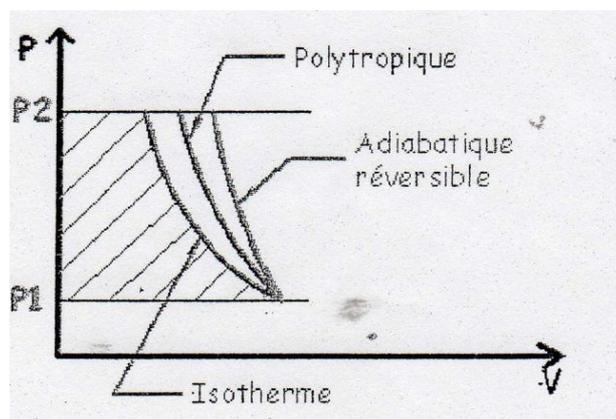


Figure.IV.1 Diagramme Clapeyron de type de compression

Chapitre IV : Etude du fonctionnement des compresseurs K101

A/B/C

Pour la compression isotherme par exemple, le travail de compression est représenté par l'aire hachurée de la figure précédente. On peut alors constater que :

$$W_{isotherme} < W_{polytropique} < W_{adiabatique}$$

Il est donc plus intéressant d'un point de vue énergétique de réaliser une compression isotherme.

En conséquence, pour fournir un travail minimum, il est souhaitable de refroidir le compresseur (ou le gaz entre 2 étages de compression) et de ne pas le calorifuger.

IV.2.5. Les Différents types de compresseurs :

Les compresseurs sont classés en deux catégories suivant le mode de transfert de l'énergie au gaz : les compresseurs et les compresseurs dynamiques (turbomachines). 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 de pression. Cet échange d'énergie est dû à l'écoulement autour des aubages dans la roue.

Présentons sur la figure ci-dessous, sous une forme arborescente les différentes technologies des compresseurs :

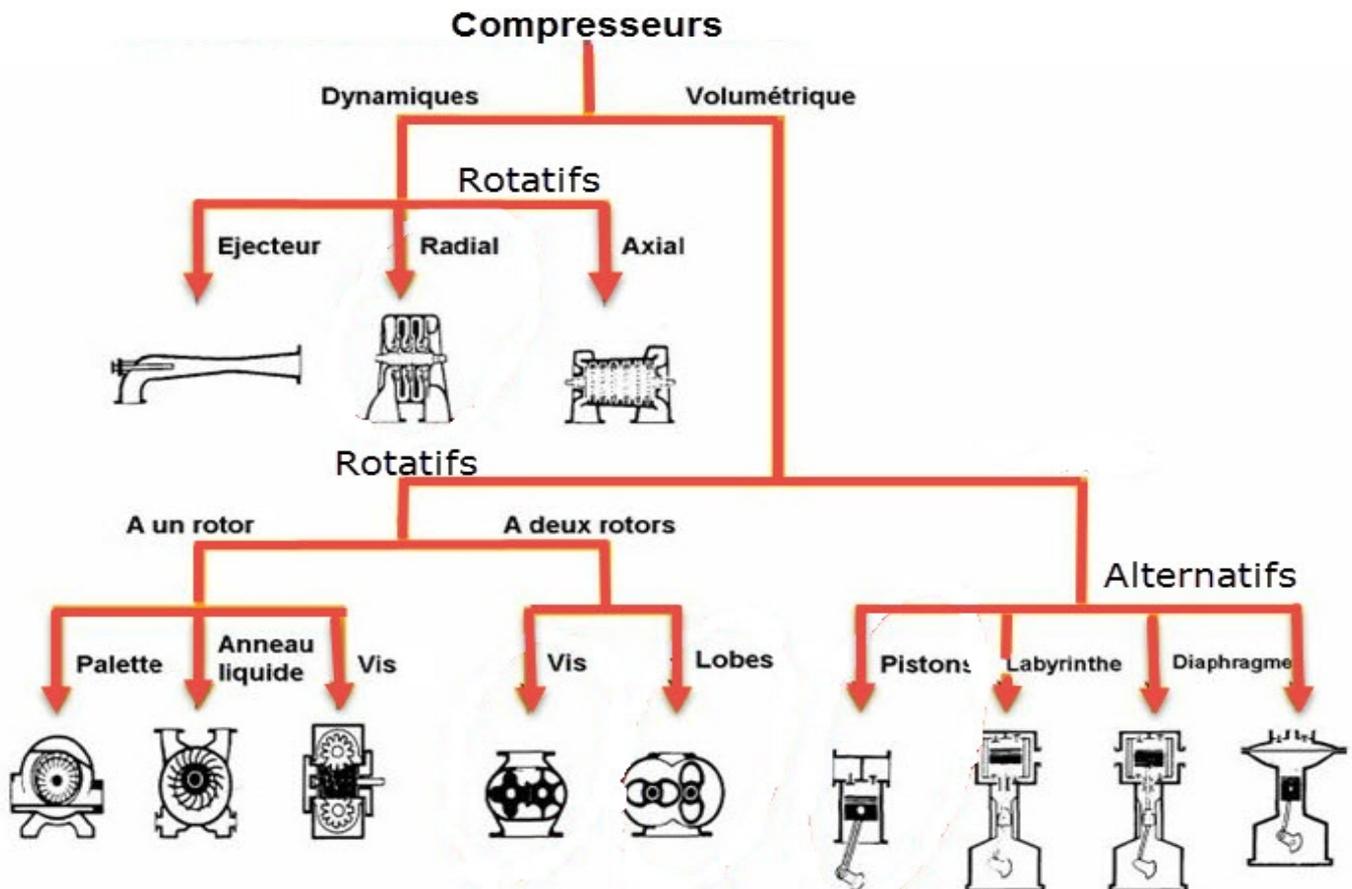


Figure.IV.2 Les différents types de compresseurs selon l'élément de compression

Chapitre IV : Etude du fonctionnement des compresseurs K101 A/B/C

IV.2.5 .a Les compresseurs volumétriques rotatifs :

Ces compresseurs tels que les compresseurs à piston compriment les gaz par réduction du volume. Parmi ces appareils : Les uns qui réalisent la compression progressivement dans une capacité fermée de volume, décroissant suivant un cycle semblable à celui qui est obtenue dans les compresseurs à piston.

Les autres transportent les gaz d'une enceinte à basse pression à une autre à pression élevée, le cycle est alors tout à fait différent.

IV.2.5.b Les compresseurs dynamique (Turbocompresseurs) :

Dans les turbocompresseurs, l'élévation de la pression résulte précisément d'une action sur la vitesse de fluide. Ici encore, l'énergie nécessaire au fonctionnement du compresseur est dépensée sous forme de travail, celui-ci est transformé sous forme d'énergie cinétique au fluide à comprimer, et cette dernière à son tour est transformée en pression. La mise en vitesse est obtenue en soumettant le fluide à l'action des roues à aubes ayant une grande vitesse rotative.

Ces machines assurent la compression grâce à la force centrifuge, dû au mouvement de rotation des roues munies d'aubes ou d'ailettes.

IV.3. Les compresseurs à vis :

IV.3.1 Historique et domaine d'application du compresseur à vis [7] :

Dans les années 30, SRM (Sveridge Rotor Maskiner), bailleur de licences des compresseurs double vis, appelé en ce temps-là Ljungstrom Stream Turbine and Co, s'engagea dans le domaine des turbines à gaz. À cette époque, les compresseurs de types centrifuge et axial posaient le délicat problème du pompage ; aussi, SRM lança le développement d'un nouveau compresseur tentant d'allier les demandes d'un haut rendement (de l'ordre de 85 %) sous les conditions de débit et de pression les plus variées avec un faible encombrement, un faible poids, ainsi que la possibilité d'être entraîné directement par une turbine.

Le choix s'est porté sur un compresseur volumétrique comportant deux rotors hélicoïdaux, fonctionnant à sec, avec de faibles jeux entre les parties en mouvement et le carter. Le rapport de compression était de 2 au maximum en un étage. L'idée de base provenait d'un brevet allemand de 1878. En parallèle avec l'entrée sur le marché des compresseurs secs, des travaux de Recherche et Développement étaient entrepris sur l'injection de fluide (huile) dans la cellule de compression pour le refroidissement, l'étanchéité et la lubrification. En injectant de l'huile en quantité et en qualité, les engrenages de synchronisation et les étanchéités d'arbre peuvent être supprimés et la vitesse réduite. Un système de séparation d'huile peut être utilisé à la sortie. Ce type de compresseur est moins sensible aux impuretés de l'air et demande moins de maintenance ; son développement commença dès 1955. Le compresseur à injection d'huile entra dans un nouveau domaine d'application : la compression de l'air.

Chapitre IV : Etude du fonctionnement des compresseurs K101 A/B/C

Plusieurs constructeurs de compresseurs comprirent l'intérêt de ce nouveau développement et prirent une licence dans les années 60.

À la fin de 1965, plus de 10 000 compresseurs à vis lubrifiés ont été construits.

Devant un tel succès, SRM lança un nouveau programme de Recherche et Développement pour adapter ce type de compresseur lubrifié à la compression de gaz frigorigère : une valve à tiroir est intégrée au compresseur, permettant d'adapter le débit dans le traité Génie énergétique.

Dans la dernière partie des années 60, des analyses théoriques et des efforts de Recherche et Développement ont permis d'améliorer les performances de ces compresseurs, dans le but d'entrer

Dans le marché des compresseurs d'air fixes et d'augmenter les puissances installées. Mais, au cours d'essais sur des compresseurs de gaz frigorigère à taux de compression élevé, il est apparu des instabilités de torsion, ce qui a amené à réétudier les profils. Le type asymétrique est apparu en 1970, avec une augmentation de 2 % du diamètre des rotors, l'entraxe et les diamètres primitifs ne variant pas. Les alvéoles et les lobes sont légèrement inclinés en avant par rapport à l'axe radial (figure IV.2).

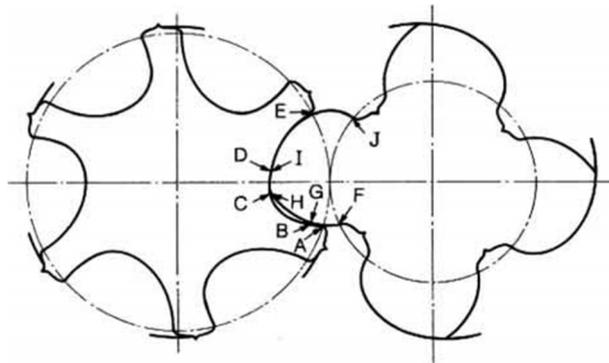


Figure.IV.3 Le profil asymétrique des rotors

Le profil asymétrique est construit avec un flanc menant une ligne génératrice et un flanc tirant un point générateur. Une ligne génératrice signifie que le flanc entier du rotor femelle (point D à E) génère le flanc menant du rotor mâle (point I à J), tandis que le point générateur signifie qu'un point sur un rotor (B sur le rotor femelle et H sur le rotor mâle) génère un flanc sur l'autre rotor. On a pu noter la suppression des instabilités de torsion, une cylindrée plus importante pour un même encombrement donné, une meilleure propriété d'engrènement, un plus petit blow-hole.

Le blow-hole est une zone de fuite reliant un espace inter-lobe à haute pression avec le précédent qui est à plus basse pression ; cela a une influence sur l'efficacité volumétrique et affecte la consommation d'énergie.

Chapitre IV : Etude du fonctionnement des compresseurs K101 A/B/C

Ce profil donne une meilleure efficacité volumétrique, permettant un gain estimé à 15 % par rapport au profil symétrique.

Les travaux de Recherche et Développement ont également porté sur la régulation des compresseurs frigorifique, les nouveaux matériaux pour les rotors et les méthodes de fabrication des rotors.

En 1982, SRM proposa le profil D. Il ne s'agit pas d'un profil spécifique, mais d'un système polyvalent pour déterminer le meilleur profil pour chaque application, prenant en compte performance, fiabilité et durée de vie. Il permet de faciliter l'usinage des rotors (figure.IV.3) et de faire d'autres choix pour les matériaux (aluminium recouvert de MoS, plastiques, etc.). C'est un profil adapté à la conception fabrication assistée par ordinateur.

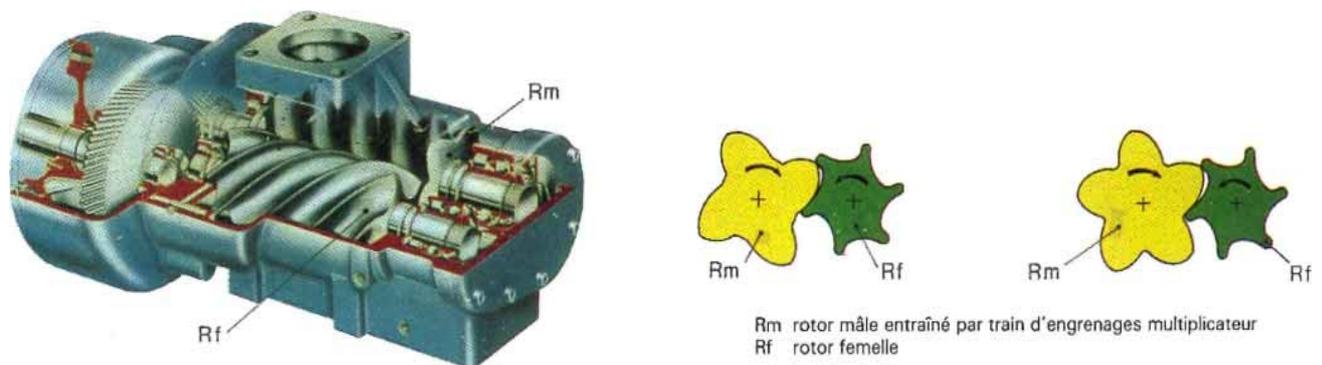


Figure.IV.4 Compresseur à vis (double Rotor)

IV.3.2. Mécanisme de compression :

La variation du volume occupé par le gaz que l'on désire comprimer est obtenue par le déplacement relatif de deux rotors à l'intérieur d'un carter de forme appropriée (figureIV.4). Les deux rotors ont des profils conjugués, l'un formant des lobes (rotor mâle), l'autre formant des alvéoles (rotor femelle). Ces profils sont décalés le long de l'axe de la machine suivant une hélice à pas constant, d'où le nom d'hélico-compresseur également donné à la machine.

Choisissons le moment où une alvéole du rotor femelle et le creux entre deux lobes du rotor mâle sont en communication avec la lumière d'admission (figureIV.5). La rotation fait découvrir un volume délimité par l'enveloppe des rotors, les parois de l'alvéole et les lobes correspondants. Ce volume se remplit de gaz par succion.

L'alvéole et les lobes, en tournant, dépassent la zone de la lumière d'admission. Le volume emprisonné définit la cylindrée par lobe et par tour de rotor mâle. Les rotors continuant à tourner, la section de fermeture créée par la forme conjuguée se déplace longitudinalement vers le refoulement ; ainsi, le volume emprisonné diminue et la pression du gaz augmente. Lorsque la pression du gaz atteint la valeur prédéterminée, le volume restant est en face de la lumière d'échappement. Le gaz ainsi libéré s'échappe dans le réseau d'utilisation. Les rotors

Chapitre IV : Etude du fonctionnement des compresseurs K101 A/B/C

continuant à tourner font disparaître complètement le creux formé par l'alvéole et les lobes. La totalité du gaz est refoulée dans le réseau. Cette dernière phase est comparable à celle du compresseur à pistons puisque le gaz à la pression du réseau d'utilisation est repoussé par le jeu de l'engrènement des rotors. Si la machine est bien adaptée, la pression du gaz emprisonné est sensiblement égale à la pression du réseau au moment précis où le volume s'ouvre vers l'échappement.

IV.3.3. Principe de fonctionnement des compresseurs à vis :

Le **compresseur à vis lubrifiées**, comme son nom l'indique, comporte deux vis qui permettent de comprimer l'air. On joue ici sur une diminution du volume pour augmenter la pression. Dans les cylindres qui utilisent des segments pour assurer l'étanchéité, il n'y a pas de frottement entre les vis mâle et femelle, c'est le film d'huile qui assure l'étanchéité.

La figure IV.6 représente : À gauche l'aspiration de l'air ambiant, à droite le refoulement de l'air comprimé :

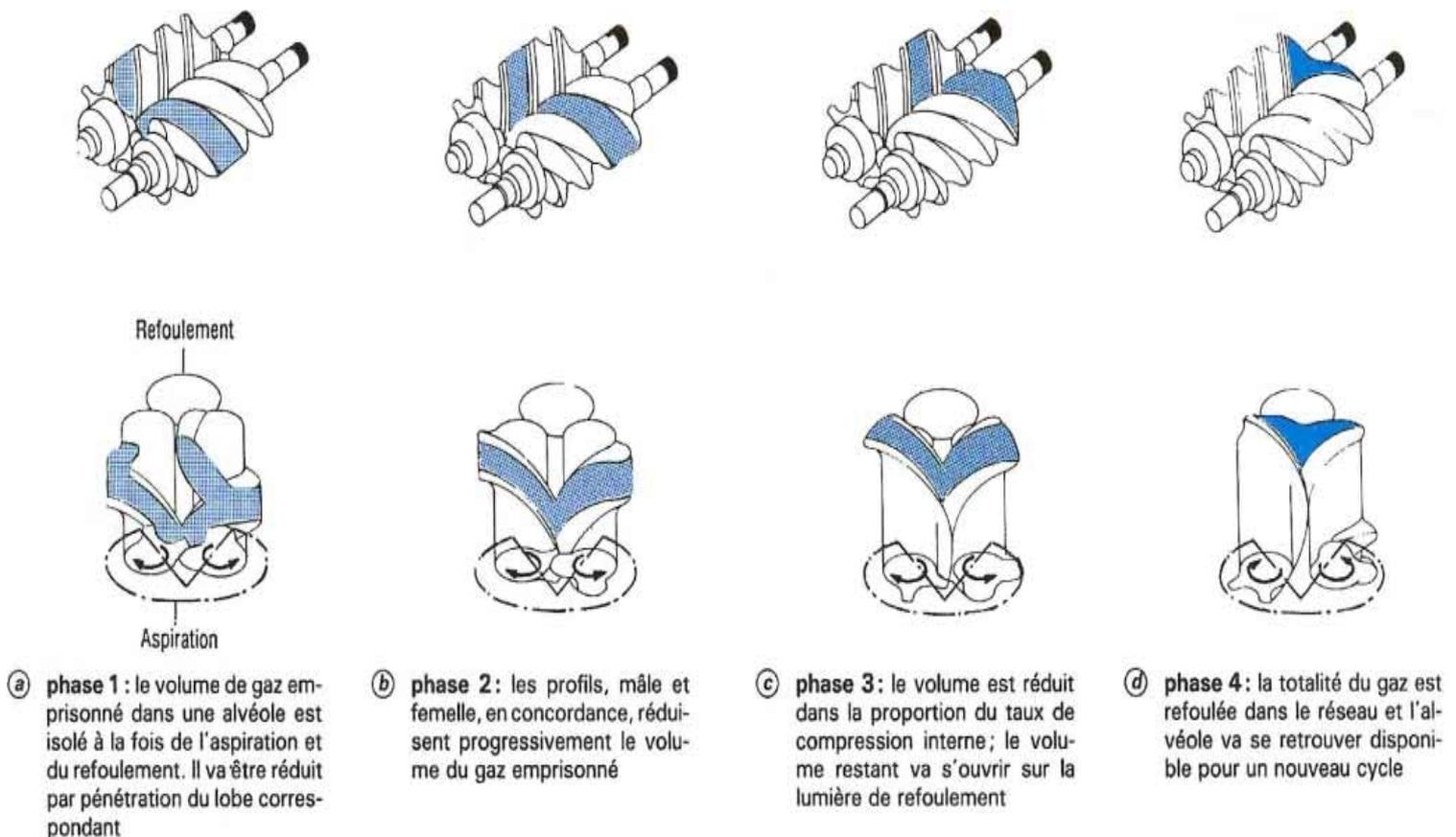


Figure.IV.5 Principe de fonctionnement de la compression



Figure.IV.6 Mécanisme d'aspiration et de refoulement

1. Phase d'aspiration : l'air entre par l'orifice d'aspiration dans les spires des rotors ouvertes du côté de l'aspiration.
2. Phase de 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. Phase d'évacuation : la compression est terminée, la pression finale est atteinte, le refoulement commence.

L'huile utilisée dans les **compresseurs à vis lubrifiées** est souvent refroidie. Car, contrairement aux compresseurs d'air à pistons, l'huile sert aussi à l'étanchéité des vis. Si l'huile est trop chaude, elle n'est plus assez visqueuse pour garantir l'étanchéité.

IV.4. Présentation du groupe de compresseurs K101 au sein du ‘bac de stockage’ :

IV.4.1. Description des compresseurs K101 :

Ce sont 3 moto-compresseurs volumétriques rotatifs à vis lubrifiées (SAB87) figure (IV.7), de la marque ‘Sabroe-York Réfrigération’ destinés pour maintenir la pression à l’intérieur du bac de stockage de l’ammoniac T101 et permettre la circulation du gaz non liquéfié dans l’installation. Ils fonctionnent sous la même température et pression qui se présente à l’intérieur du bac de stockage c’est-à-dire -33° et 0,035 Bar lors d’aspiration du gaz non liquéfié qui existe dans le bac.

Ils forment un cycle fermé de réfrigération qui fonctionnent jusqu’à la compression complète du gaz non liquéfié. Les compresseurs ont été mis en service en 2006. Ils assurent la continuité de la production dans toute l’installation.



Figure.IV.7 Groupe de compresseur K101 A

Chapitre IV : Etude du fonctionnement des compresseurs K101 A/B/C

IV.4.2. Principe de la compression des compresseurs K101 :

Le compresseur SAB 87 est un compresseur à vis avec régulation de puissance et injection d'huile figure(IV.8). Les deux rotors - mâle et femelle (figure.IV.11) - sont pourvus respectivement de 4 lobes (rotor mâle) et 6 lobes (rotor femelle) à profil asymétrique, licence SRM. Ils sont pourvus de paliers glissants du côté aspiration tandis que du côté refoulement, les paliers se composent d'un jeu combiné de paliers glissants et des roulements à billes qui absorbent les efforts respectivement radiaux et axiaux. Les efforts axiaux sont allégés à l'aide de pistons d'équilibrage rotatifs montés sur les rotors. Les rotors sont disponibles en jeux pour entraînement respectivement mâle et femelle. Le rotor d'entraînement est pourvu d'un tourillon.

Dans le compresseur est incorporé un grand filtre d'aspiration qui empêche de façon très efficace la pénétration dans le compresseur d'impuretés provenant de l'installation frigorifique et emportées par le gaz d'aspiration. Dans le carter du filtre d'aspiration est également incorporée une soupape à commande par vanne pilote qui protège le compresseur contre des pressions de refoulement trop élevées.

Pour assurer une filtration efficace de l'huile de graissage des paliers du compresseur, une cartouche filtrante est incorporée dans le bloc compresseur.

De plus, un clapet de non-retour incorporé dans le compresseur empêche la rotation en arrière de celui-ci lorsque le courant est coupé au moteur d'entraînement.

L'arbre d'entraînement est pourvu d'une garniture d'étanchéité du type à anneau-guide constituée d'une bague en fonte fixe avec joint torique pour étanchéité contre le couvercle de la garniture et d'un anneau en carbone rotatif et chargé par ressort, avec joint torique pour étanchéité contre l'arbre. La puissance du compresseur est réglable entre 10% et 100% au moyen d'un tiroir monté sous les rotors. Lorsque le tiroir de puissance s'éloigne de l'arrêt de tiroir, une fente apparaît, une partie du gaz aspiré retourne du côté aspiration. Plus la fente est large, plus la puissance du compresseur est réduite. Le déplacement du tiroir puissance s'effectue par voie hydraulique à l'aide d'un piston régulateur et sous la commande d'un système à électrovannes.

Le groupe de compresseurs est également équipé d'un système de réglage du rapport volumétrique V_i incorporé.

Chapitre IV : Etude du fonctionnement des compresseurs K101 A/B/C

IV.4.3. Caractéristiques technique du compresseur [8] :

• Nom du constructeur :	SABROE-YORK (JOHNSON CONTROLS)
• Type :	Moto-Compresseur à vis
• Année de mise en service	2006
• Type de vis :	Double vis mâle et femelle lubrifiés
• Poids du bloc :	1735 KG
• Poids de l'unité :	3690 KG
• Poids du rotor :	530 KG
• Largeur :	1370 mm
• Longueur :	3731 mm
• Diamètre du rotor :	267 mm
• Pression d'aspiration:	0.03 Bar (0.05 bar Max 0 bar Min)
• Pression de refoulement :	14 Bar (16 Max, 4 Min)
• ΔP MAX :	25,6 Bar
• Température aspiration MAX :	-23°
• Température après refoulement Max :	80° (130°Max, 0 MIN)
• Nombre de tours par minute :	2950 tr/min
• Capacité volume balayé :	2604 m ³ /h
• Nombre de tours par minute MAX :	3540 tr/min
• Capacité volume balayé MAX :	3125 m ³ /h
• Température d'évaporation :	-15°C
• Température de condensation :	+35°C
• La pression acoustique :	86 dB
• Type de réfrigérant :	R717

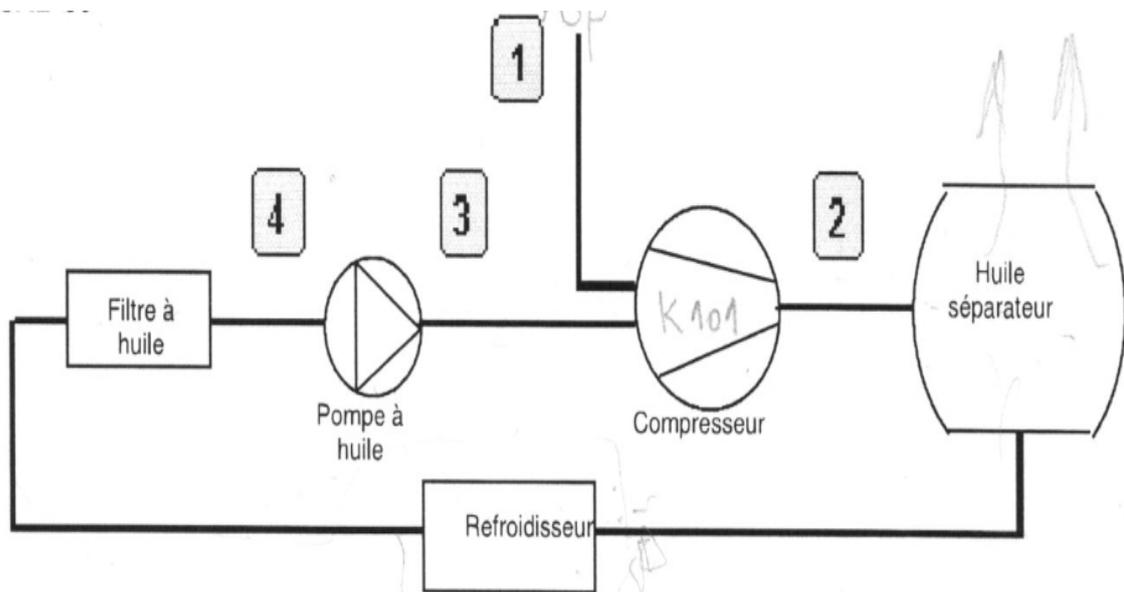


Figure.IV.8 Schéma simplifié de fonctionnement du compresseur K101

Chapitre IV : Etude du fonctionnement des compresseurs K101 A/B/C

Les importants composants du groupe de compresseurs sont présentés dans la figure IV.9.

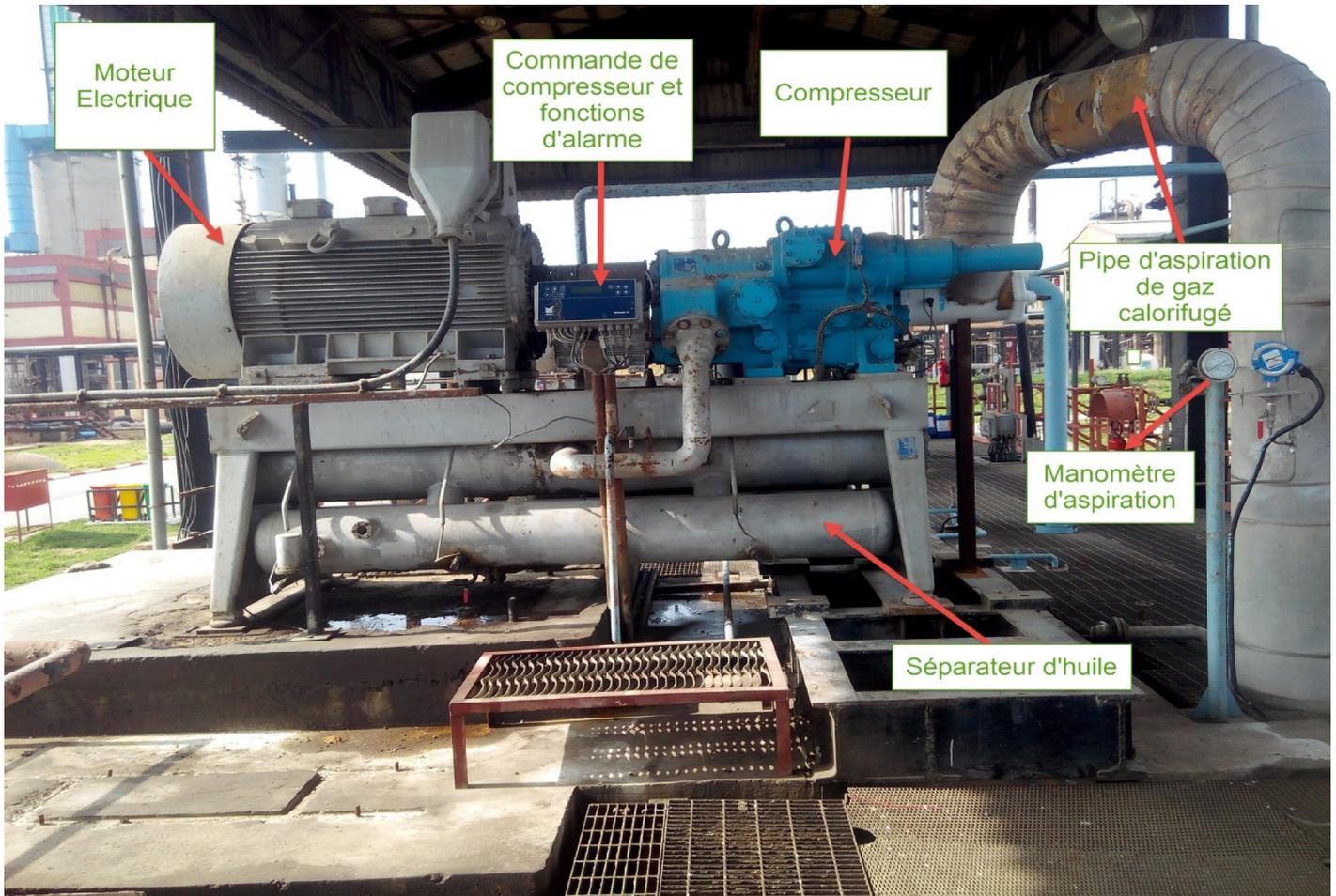


Figure.IV.9 Groupe de compresseur K101-A et ses composants importants

IV.4.4. Description des composants des compresseurs K101/A/B/C [8] :

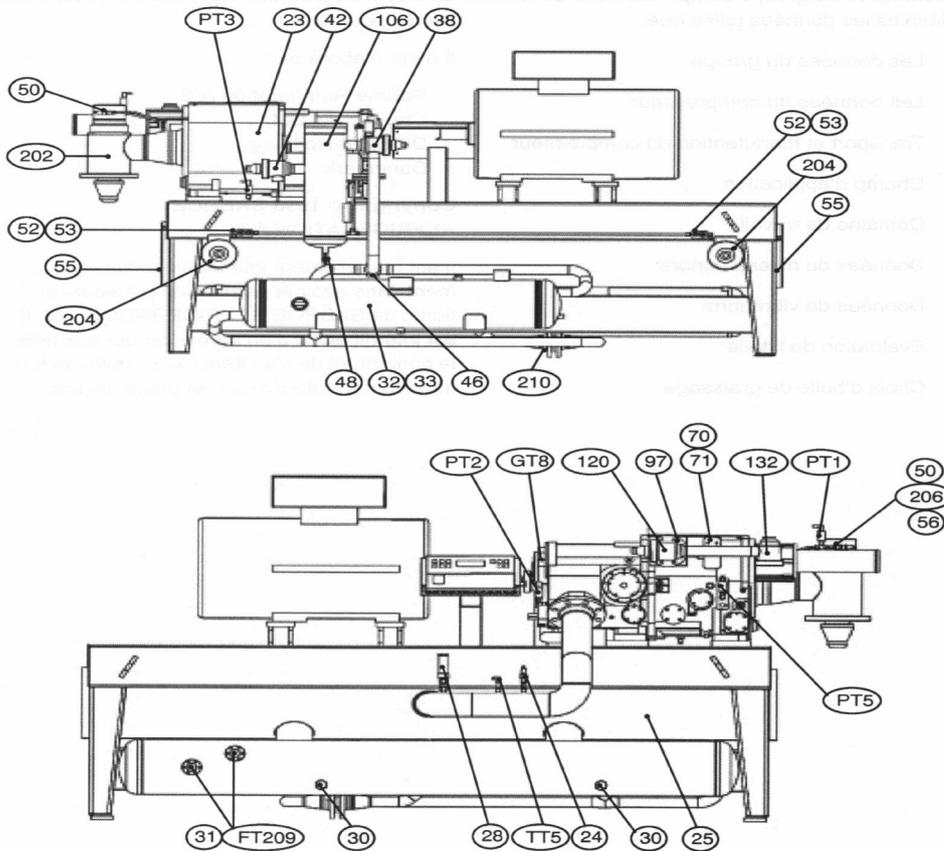


Figure.IV.10 Description des composants des compresseurs K101

Pour plus de schéma des composants et de profile voir Annexes figure 3 et 4 .

PT1 :Transducteur de pression (aspiration)	46 :Robinet thermostatique pour régulation temp huile
PT2 :Transducteur de pression	210 :Clapet anti-retour
PT4 :Transducteur de pression	48 :Robinet de purge de huile
PT3: Transducteur de pression (après filtre)	50 :Robinet d'arrêt
PT5 :Transducteur de pression (huile avant filtre)	52 :Buse/étrangleur
TT5 :Transducteur de température(gaz refoulé)	53 :Viseur
GT8 :Transmetteur de positions(tirroir puissance)	55 :Elément séparateur
23 : Filtre d'aspiration	56 :Clapet anti-retour
24 : Robinet de service(remplissage d'huile/purge air)	38 :Robinet d'arrêt avant filtre à huile
25 : séparateur huile	70 :Electrovanne
28 :soupape de sécurité au groupe	71 :Electrovanne
30 :élément chauffant dans le séparateur	97 :Raccord d'économiseur
FT209 : Interrupteur de niveau en séparateur d'huile	106 :Fitlre à huile externe
31 :viseur de niveau d'huile	120 :Soupape d'arrêt et de retenue
32 : Réfrigérant d'huile	132 :Filtre à liquide
33 :Réfrigérant d'huile	202 :Soupape d'arrêt et de retenue
42 :Robinet d'arrêt après fitlre à huile	204 :Robinet d'arrêt après séparateur d'huile
	206 :Buse

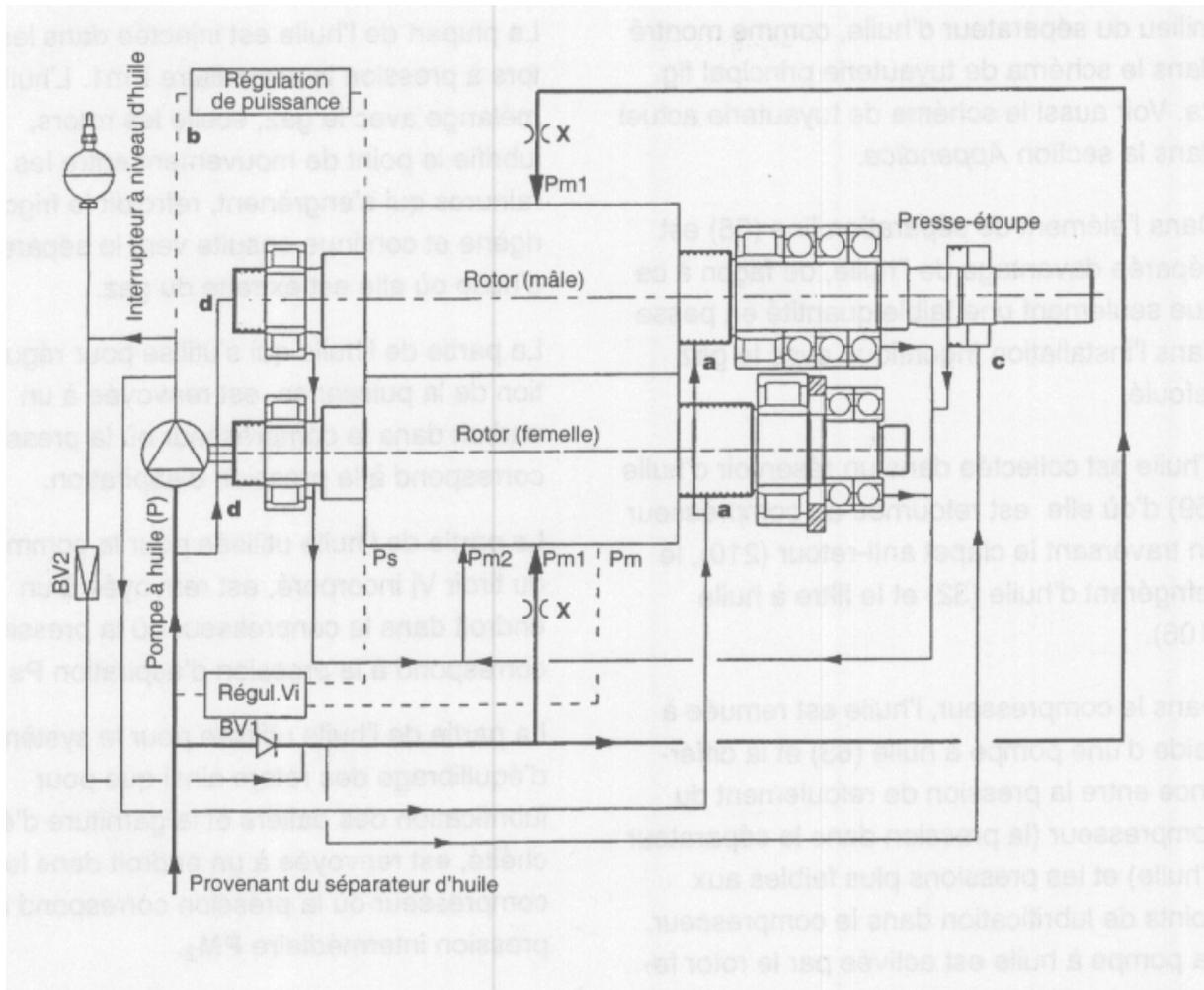


Figure.IV.11 Position des rotors dans le compresseur K101 (Sabroe 87)

IV.4.5. Evaluation de l'huile :

L'huile pour les machines frigorifiques constitue un élément vital du compresseur, du fait que non seulement elle lubrifie et refroidit les parties mobiles, elle empêche aussi la pénétration d'abrasifs dans les paliers.

Une analyse de l'huile peut ainsi donner des informations importantes sur l'état du compresseur.

Prélever de l'huile pendant la marche du compresseur, ce qui donne un échantillon représentatif. Avant de procéder un échantillonnage, le nettoyage de robinet de vidange est recommandé pour éviter de mélanger avec l'échantillon les impuretés s'étant éventuellement accumulées dans le robinet ou la tuyauterie.

Il existe deux manières d'évaluation de l'huile pour le groupe des compresseurs :

- Evaluation visuelle
- Evaluation par analyse

Chapitre IV : Etude du fonctionnement des compresseurs K101 A/B/C

IV.5. Rôle des compresseurs K101/A/B/C dans l'installation :

Le produit arrive par le haut du bac sous forme de pluie où une partie des vapeurs dégagées est liquéfiée. La partie non liquéfiée ou évaporée doit passer par un séparateur (V104) de vapeur/liquide pour séparer la vapeur ensuite, elle doit être comprimée dans les compresseurs (K101 A/B/C) jusqu'à 14,1 bars et environ 80°C et en passant par des séparateurs à bulles (figure IV.12) pour séparer l'ammoniac de l'huile, puis refoulée aux échangeurs (E103/A/B) (figure IV.14) ou elle est condensées et refroidis par l'eau de mer dans ces condenseurs.

Les condensats sont dirigés vers un réservoir de recette (102V) à 13,8 bars et 38°C ; ensuite le liquide accumulé dans le réservoir (102V) va être introduit dans le ballon (101V) où il est détendu à 3 bars et -2°C. Le liquide se trouvant dans le ballon d'aspiration sera utilisé comme agent frigorigène du gaz de déroulement après avoir été détendu.

Une pompe (R117) est liée avec les compresseurs dans le but d'injecter l'ammoniac pour refroidir l'huile qui est utilisée pour assurer l'étanchéité et le bon fonctionnement des compresseurs. Ces compresseurs sont liés à des manomètres et des capteurs (figure IV.13) qui permettent d'afficher la pression de refoulement et d'aspiration du gaz sur ces manomètres ou dans la salle de contrôle.



Figure.IV.12 Séparateur à bulles



Figure.IV.13 Manomètre d'aspiration



Figure.IV.14 Les Echangeurs E103A/B (condenseurs)

Un ou plusieurs compresseurs peuvent être utilisés afin d'envoyer le vaporisât du réservoir d'entreposage au système de réfrigération, lorsque la pression à l'intérieur de celui-ci atteint les limites.

Dans le cas d'une défaillance du système de réfrigération, la pression dans le réservoir dépasserait la limite supérieure, ce qui déclencherait l'ouverture de la vanne vers la torchère ou même l'ouverture des soupapes de sûreté vers l'atmosphère.

La figure(IV.15) dans la page suivante représente l'implantation des compresseurs dans l'installation :

Chapitre IV : Etude du fonctionnement des compresseurs K101 A/B/C

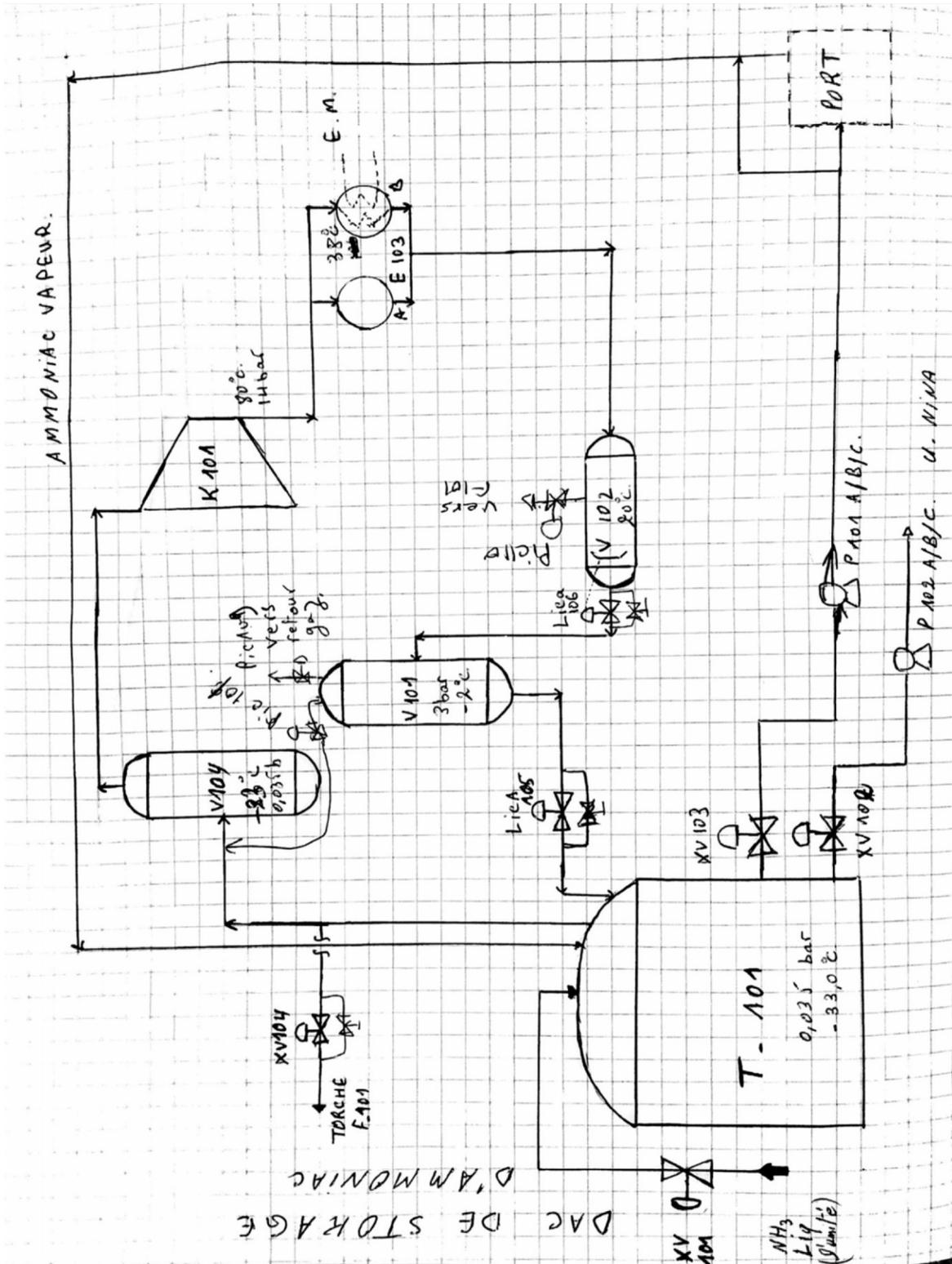


Figure.IV.15 Schéma simplifié de la position des compresseurs dans l'installation

Chapitre IV : Etude du fonctionnement des compresseurs K101 A/B/C

La légende :

F-101 : Torche de secours	E-103 A/B : Réchauffeur d'ammoniac (Condenseurs)
V-104 : Ballon Tampon/Séparateur	V-101 : Ballon d'aspiration
K-101A/B/ : Compresseurs à gaz	
V-102 : Bac de recette à ammoniac	
T-101 : Bac de stockage d'ammoniac	

IV.6. Les paramètres de fonctionnement des compresseurs K101 A/B/C :

IV.6.1. L'importance des paramètres de fonctionnement :

Avant toutes interventions ou une action de maintenance il faut d'abord connaître et prendre considération les paramètres de fonctionnement des compresseurs K101 tels que : la pression de refoulement et aspiration, la température, ΔP du filtre d'huile dans le but de protéger les équipements afin d'éviter quelque provocation d'une autre défaillance qui peut affecter sur les autres équipements de l'installation.

IV.6.2. Les seuils d'alarme d'arrêt automatique :

Toutes les opérations de commande du groupe compresseur sont réalisées à l'aide du panneau de commande (figure.IV.16) et son clavier (UNISAB II) . Les compresseurs sont dotés d'un système alarme automatique avec des seuils qui ont été définis et réglés par les responsables et les fournisseurs afin d'éviter des scénarios non prévus.

Les principaux seuils pour l'arrêt automatique sont :

- Une basse pression dans le bac T101.
- Niveau très bas dans le réservoir de recette V102.
- Niveau très haut de NH₃ dans le ballon d'aspiration V101.
- Température d'huile de refroidissement $\geq 75^{\circ}\text{C}$.
- Température de refoulement de l'ammoniac $\geq 130^{\circ}$.
- Augmentation ΔP de filtre d'huile.
- Augmentation ΔP de filtre d'aspiration de NH₃.
- Niveau bas d'huile de lubrification dans le compresseur.



Figure.IV.16 Panneau de commande de compresseur et fonctions d'alarme

Chapitre IV : Etude du fonctionnement des compresseurs K101 A/B/C

IV.6.3. Description des paramètres d'exploitation du groupe K101 :

YORK France

York International

SITE

FERTIAL

COMPRESSEUR / COMPRESSOR	K101 A	SAB 87
N° SERIE / SHOP N°		112744

DATE	9/02/2016
HEURE / TIME	14H

PARAMETRES FONCTIONNEMENT / REGLAGES SECURITE - OPERATING CONDITIONS / LIMITS SETTINGS

CONTROLE	
----------	--

HEURES DE SERVICE / ON TIME	amoinre 63 763 H	Unisab 18 H
DEPUIS DERNIER DEMARRAGE		18 H

voir TEMPO puis MAINTENANCE

MULTISAB

N° DEMARRAGE / START N°	1
N° SYSTEME / SYSTEM N°	2.02.2
COMPR. REGULATEUR/CONTROLLEUR	ASPIRATION

VALEURS ou REGLAGES / VALUES or SETTINGS

PRESSION ASPIRATION °C/R	°C -28.5
SUCTION PRESSURE	BAR 0.3
PREALARME HAUTE / HIGH WARNING	
PREALARME BASSE / LOW WARNING	5 B
ALARME BASSE / LOW ALARM	-0.1B
CONSIGNE ACTIVE/ACTUAL SET P.	-0.2 B
CONSIGNE 1 / SET POINT 1	0 B
CONSIGNE 2 / SET POINT 2	0 B
ZONE NEUTRE / NEUTRAL ZONE	3°C
BANDE PROPORTIONELLE / P.BAND	5°C

TEMP. ASP / SUCTION TEMP.	-15.4°C
SURCHAUFFE ASP./SUCT. SUPERHEAT	13.1°C
ALARME HAUTE / HIGH ALARM	110°C
PREALARME HAUTE / HIGH WARNING	100°C
PREALARME BASSE / LOW WARNING	2°C
ALARME BASSE / LOW ALARM	0°C
CONSIGNE 1 / SET POINT 1	0.5°C

PRESSION REFOULEMENT	°C 19.3
DISCHARGE PRESSURE	BAR 7.4
ALARME HAUTE / HIGH ALARM	16 B
PREALARME HAUTE / HIGH WARNING	15 B
ALARME BASSE / LOW ALARM	

TEMP. REFOULEMENT / DISCH.TEMP.	83.7°C
ALARME HAUTE / HIGH ALARM	125°C
PREALARME HAUTE / HIGH WARNING	115°C
PREALARME BASSE / LOW WARNING	-65°C
CONSIGNE 1 / SET POINT 1	40°C

SURCHAUFFE REF./DISCH.SUPERHEAT	64.3°C
PREALARME BASSE / LOW WARNING	10°C
ALARME BASSE / LOW ALARM	0°C
CONSIGNE 1 / SET POINT 1	

COURANT MOTEUR/MOTOR CURRENT	26 Amp
CONSIGNE ACTIVE/ACTUAL SET P.	
CONSIGNE 1 / SET POINT 1	
CONSIGNE 2 / SET POINT 2	

% TIROIR CAPACITE / CAPACITY SLIDE	100 %
------------------------------------	-------

VALEURS ou REGLAGES / VALUES or SETTINGS

SAUMURE / BRINE	
ALARME HAUTE / HIGH ALARM	
PREALARME HAUTE / HIGH WARNING	
PREALARME BASSE / LOW WARNING	
ALARME BASSE / LOW ALARM	
CONSIGNE ACTIVE/ACTUAL SET P.	
CONSIGNE 1 / SET POINT 1	
CONSIGNE 2 / SET POINT 2	
ZONE NEUTRE / NEUTRAL ZONE	
BANDE PROPORTIONELLE / P.BAND	

PRESSION HUILE / OIL PRESSURE	9.1 B
PREALARME BASSE / LOW WARNING	2.2 B
ALARME BASSE / LOW ALARM	1.5 B
CONSIGNE 1 / SET POINT 1	2.5 B
CONSIGNE 2 / SET POINT 2	4.0 B

PRESSION DIFF.HUILE/OIL DIFF.PRES.	1.7 B
ALARME HAUTE / HIGH ALARM	2.5 B
PREALARME HAUTE / HIGH WARNING	2.2 B

TEMPERATURE HUILE / OIL TEMP.	54.8°C
ALARME HAUTE / HIGH ALARM	80°C
PREALARME HAUTE / HIGH WARNING	70°C
PREALARME BASSE / LOW WARNING	25°C
ALARME BASSE / LOW ALARM	20°C
CONSIGNE 1 / SET POINT 1	50°C
ZONE NEUTRE / NEUTRAL ZONE	0°C
BANDE PROPORTIONELLE / P.BAND	100

CALIBRATION

PRES. ASPIRATION / SUCT.PRESSURE	0 B
CALIBR.	0.09
PRES. REF./ DISCH.PRESSURE	0 B
CALIBR.	0.20
PRES. HUILE / OIL PRESSURE	0 B
CALIBR.	0.05
PRES. DIFF. FILTRE / OIL DIFF.PRES.	0 B
CALIBR.	+0.05

PRES. INTERM./ INTERM.PRESSURE	
CALIBR.	
SAUMURE / BRINE CALIBR.	
SORTIE AUXILIAIRE /	
ENTREE 4-20 mA	
4 mA	
20 mA	
CONSIGNE /SET	

Chapitre IV : Etude du fonctionnement des compresseurs K101 A/B/C

IV.6.4. Fonctionnement des trois compresseurs :

L'évaporation de l'ammoniac provoque l'augmentation de la pression au niveau du bac de stockage d'ammoniac. Les compresseurs sont installés dans le but de maintenir la pression dans le bac au voisinage de 0,03 bar.

Un compresseur au moins doit être en service pour maintenir la pression. Lorsque la pression monte, un autre compresseur doit être en service avec l'autre compresseur. Si la pression monte encore un troisième compresseur doit répondre au besoin afin de contrôler la pression à l'intérieur du bac.

Donc la fréquence de fonctionnement des compresseurs dépendra de la pression dans le bac.

Ce programme d'utilisation est simplifié dans le schéma suivant (figure.IV.17) :

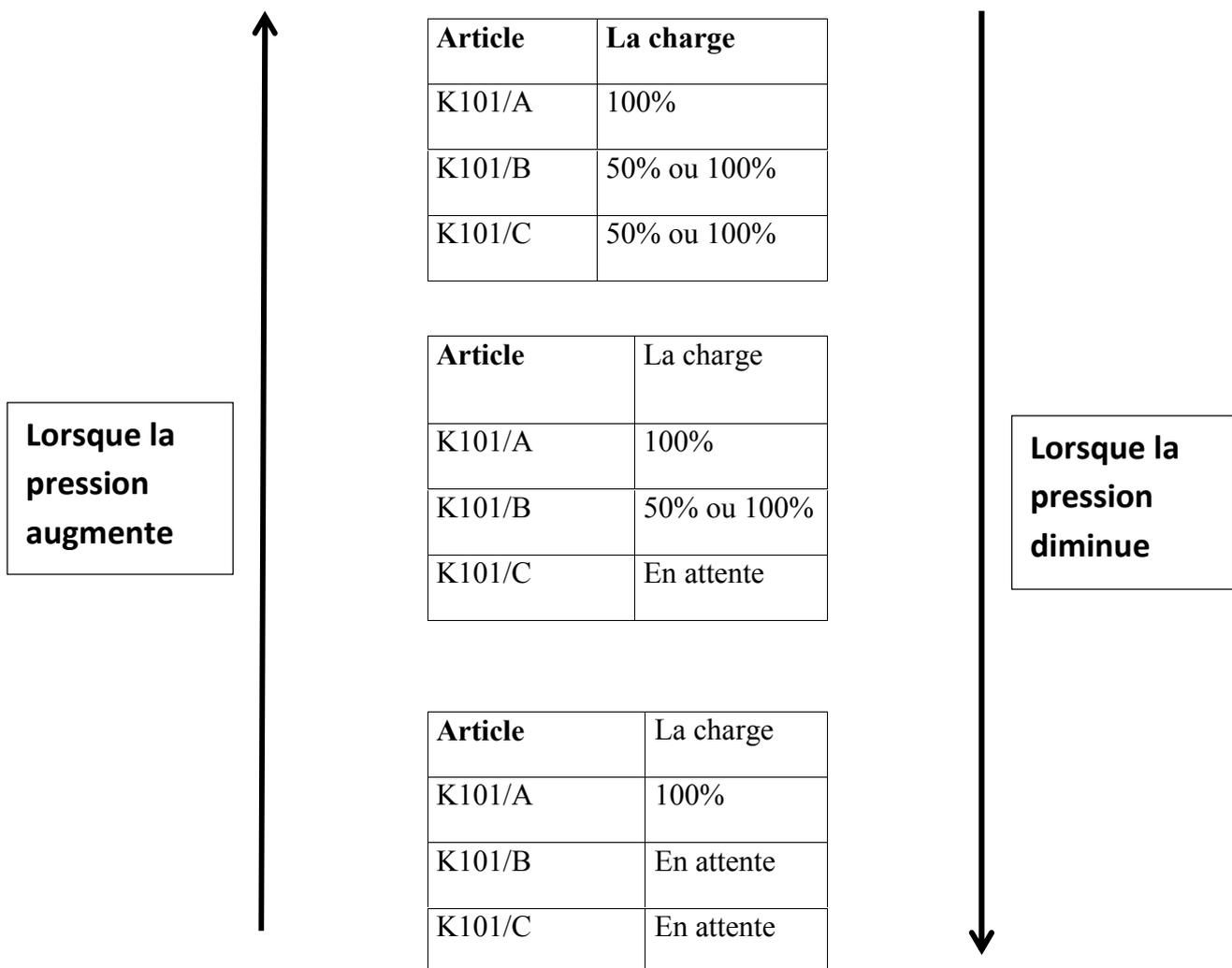


Figure.IV.17 Schéma du programme de fonctionnement des compresseurs

Chapitre IV : Etude du fonctionnement des compresseurs K101 A/B/C

IV.7. Maintenance des compresseurs K101 :

Les compresseurs K101/A/B/C jouent un rôle primordial dans l'installation du bac de stockage, pour cela il est inévitable de faire des inspections périodiques pour éviter toutes anomalies au niveau des compresseurs ou des équipements à voisinage.

Au niveau du complexe FERTIAL, l'équipe chargée de la maintenance dans la direction a créé un plan d'une maintenance préventive pour le groupe des compresseurs pour but d'éviter toute forme d'anomalie non prévue, mais malheureusement le plan n'est pas tenu en rigueur.

L'exploitation permanente de ces équipements a conduit l'entreprise à des problèmes techniques au niveau des compresseurs et des autres équipements qui persistent jusqu'à ce jour. Avec l'indisponibilité de l'ensemble des compresseurs et l'évaporation de l'ammoniac dans le bac de stockage l'allumage des torches de secours est indispensable pour la continuité de production.

Le manque d'une politique de maintenance organisée a conduit l'entreprise à réagir sous le cadre d'une maintenance corrective (révision, changement de PDR) à chaque fois lorsqu'une panne apparaissait pour l'ensemble des compresseurs.

Les travaux de maintenance réalisés sont : les vidanges, les mesures de vibrations, les révisions des moteurs et des compresseurs.

IV.7.1. Problème de lubrification :

Pour assurer l'étanchéité dans le groupe des compresseurs, le constructeur a mis des recommandations pour une utilisation des huiles spéciales normalisées.

Malheureusement l'entreprise n'utilise pas ces huiles spéciales, au lieu de ça elle emploie des huiles non normalisées qui sont produits en Algérie.

C'est l'un des facteurs le plus influant sur la dégradation du rendement des compresseurs, lorsque l'huile entre en contact avec l'ammoniac pour but de refroidir ce dernier, des masses d'huile s'entassent au niveau des filtres, ceci entraîne un nettoyage ou un changement des filtres et provoquent d'autres conséquences (arrêt de production, coût de maintenance, etc...).

IV.7.2. Excès d'exploitation :

Le but d'avoir installé trois compresseurs de la même marque et même caractéristiques, c'est d'avoir repartir les tâches de fonctionnement entre les compresseurs. En cas d'une grande quantité d'évaporation de gaz dans le bac, les 3 compresseurs sont destinés à compresser le gaz évaporé pour garantir la continuité de la production et la sécurité de l'installation.

L'entreprise n'a pas mis un programme de fonctionnement pour repartir les tâches de service des compresseurs c'est un dire un plan d'exploitation, ce qui résulte la dégradation de rendement des compresseurs et l'augmentation des pannes non prévues.

IV.8. Conclusion :

Les compresseurs K101/A/B/C sont des moto-compresseurs à vis à mono étage qui sont indispensables pour la continuité de la production et assurer la sécurité de l'installation. Ils maintiennent la pression du gaz non liquéfié à l'intérieur du bac.

L'indisponibilité des compresseurs est très critique, elle embrouille sur toute la chaîne de production et tous les cycles de réfrigération, donc ce sont le cœur de l'installation.

La relation entre le bac de stockage d'ammoniac et les accessoires de système de réfrigération est essentiel pour toute l'installation de production de l'ammoniac.

CHAPITRE V
ETUDE FMD DES
COMPRESSEURS
K101/A/B/C DU BAC DE
STOCKAGE
D'AMMONIAC

Chapitre V : Etude FMD des compresseurs K101/A/B/C du bac de stockage d'ammoniac

V.1. Introduction :

Dans le présent chapitre, nous allons faire une étude des paramètres de maintenance connues sous l'acronyme FMD (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité). Cette étude est basée sur une analyse de l'historique des défaillances pour l'ensemble des compresseurs K101/A/B/C du bac de stockage.

Un emploi de la loi de PARETO est recommandée pour déterminer le compresseur qui constitue le plus de pannes, de temps d'interventions et surtout lequel de ces compresseurs. Pour cela il faut utiliser le modèle de WEIBULL à trois paramètres pour trouver les différentes fonctions $f(t)$, $F(t)$, $R(t)$, $\lambda(t)$, $D(t)$, $M(t)$.

V.2. FMD :

V.2.1. La fiabilité : [9]

Aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise dans des conditions données pendant un temps donné (NF EN 13306) ou « caractéristique d'un bien exprimée par la probabilité qu'il accomplisse une fonction requise dans des conditions données pendant un temps donné » (NF X 60-500).

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

La notion de temps peut prendre la forme :

- De nombre de cycles effectués > machine automatique
- De distance parcourue > matériel roulant
- De tonnage produit > équipement de production

V.2.1.1. Le taux de défaillance :

Pour un système réparable, le taux de défaillance se traduit souvent par une courbe mettant en évidence 3 époques :

- Jeunesse (mortalité infantile, défaillance précoce) : en état de fonctionnement à l'origine (mise en service), période de rodage (pré usure).
- Maturité (période vie utile, de défaillances aléatoires) : période de rendement optimal du matériel, taux de défaillance constant. Les défaillances apparaissent sans dégradations préalables visibles, par des causes diverses.
- Obsolescence (vieillesse, usure). Un mode de défaillance prédominant, généralement visible, entraîne une dégradation accélérée, à taux de défaillance croissant (pour un mécanisme). Souvent on trouve une usure mécanique, de la fatigue, une érosion ou une corrosion. A un certain seuil de $\lambda(t)$, le matériel est « mort ». Il est alors déclassé, puis rebuté ou parfois reconstruit. La détermination de T (seuil de réforme), est obtenue à partir de critères technico-économiques.

Chapitre V : Etude FMD des compresseurs K101/A/B/C du bac de stockage d'ammoniac

L'évolution de la durée de vie d'un équipement peut être tracée selon une courbe appelée courbe en baignoire. Selon que l'équipement, soit de type électronique ou mécanique, les allures du taux de défaillance sont différentes.

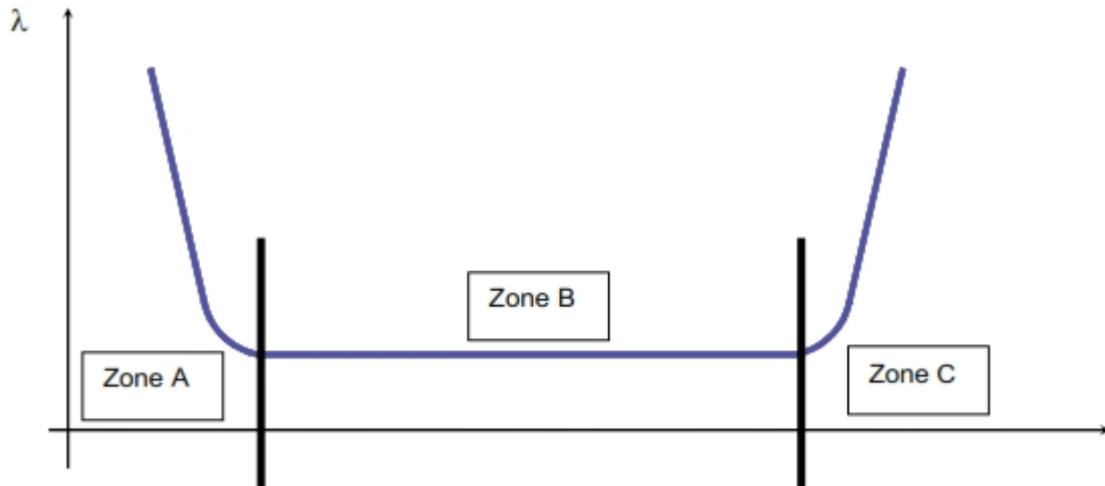


Figure.V.1 L'évolution de la durée de vie d'un équipement "Courbe en baignoire"

- Zone A > Epoque de jeunesse
- Zone B > Epoque de maturité, fonctionnement normal, défaillance aléatoire indépendante du temps.
- Zone C > Epoque d'obsolescence, défaillances d'usure ou pannes de vieillesse

Le taux de défaillance, noté $\lambda(t)$, est un indicateur de la fiabilité. Il représente une proportion de dispositifs survivants à un instant t .

Il caractérise la vitesse de variation de fiabilité au cours de temps. la durée de bon fonctionnement est égale à la durée totale en service moins la durée des défaillances.

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

V.2.2. La maintenabilité :

Dans des conditions données, la maintenabilité est l'aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état où il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits. C'est aussi la probabilité de rétablir un système dans des conditions de fonctionnement spécifiées, en des limites de temps désirées, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits.

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

Chapitre V : Etude FMD des compresseurs K101/A/B/C du bac de stockage d'ammoniac

On distingue :

- **La maintenabilité intrinsèque** : elle est « construite » dès la phase de conception à partir d'un cahier des charges prenant en compte les critères de maintenabilité (modularité, accessibilité, etc.).
- **La maintenabilité prévisionnelle** : elle est également « construite », mais à partir de l'objectif de disponibilité.
- **La maintenabilité opérationnelle** : elle sera mesurée à partir des historiques d'interventions.

V.2.3. La Disponibilité :

La disponibilité est l'aptitude d'un bien à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs est assurée. Les moyens autres que la logistique de maintenance (personnel, documentation, rechanges, etc.) n'affectent pas la disponibilité d'un bien.

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

On distingue :

- La disponibilité opérationnelle D_{op}
- Disponibilité opérationnelle globale D_g
- Disponibilité instantanée $D(t_i)$
- Disponibilité contractuelle D_c et disponibilité prévisionnelle D_{prev}

V.3. Les travaux de maintenance des compresseurs réalisés au complexe :

V.3.1. Mesures de vibrations :

Le service inspection est chargée de faire des mesures et de contrôle d'analyse vibratoire afin de déterminer la source d'anomalie et proposer les recommandations de remède pour les compresseurs.

Les résultats de cette maintenance préventive conditionnelle sont montrés dans le tableau suivant :

Chapitre V : Etude FMD des compresseurs K101/A/B/C du bac de stockage d'ammoniac

		K101-B		K101-C	
		Vibration	Roulement	Vibration	Roulement
1 Moteur	H	1.6	2.7	1.5	1.0
	V	1.9	3.2	1.8	0.45
	A	1.8		1.5	
2 Moteur	H	1.6	2.2	1.1	0.2
	V	1.5	2.6	1.4	0.12
	A	1.1		0.7	
3 Compresseur	H	2.2	0.27	2.0	0.8
	V	1.7	0.30	2.0	1.0
	A	1.1		1.3	
4 Compresseur	H	2.2	0.67	1.7	0.35
	V	2.3	0.50	2.6	0.72
	A	1.9		1.7	

Tableau.V.1 Résultats de mesure de vibrations pour les compresseurs K101 A/B

D'après les résultats obtenus le niveau de vibration des deux compresseurs est jugé acceptable. * **Valeurs relevées des roulements du moteur K101-B sont jugées trop élevées.**

Un changement des roulements signalé élevées est nécessaire pour le bon fonctionnement des groupes de compresseurs.

V.3.2. Révisions mécanique :

D'après l'équipe de maintenance de l'entreprise, la révision périodique et les travaux de maintenance sur les compresseurs se font par le fournisseur lui-même, et cela suite à une demande apriori.

Par contre les actions simples comme la vidange et le lignage par laser qui se font par l'équipe de maintenance de FERTIAL.

En réalité ; au lieu de faire la révision recommandé par le fournisseur aux environs de 40 000H de service, celle-ci se fait malheureusement aux environs de 60 000 H de service. Ce facteur influe énormément sur le rendement et la durée de vie de l'équipement.

V.3.2.1 Groupe de compresseur C :

Travaux effectués :

- Mise en sécurité électrique du groupe de la purge du groupe
- Vidange de l'huile du compresseur
- Démontage de l'accouplement

Chapitre V : Etude FMD des compresseurs K101/A/B/C du bac de stockage d'ammoniac

- Dépose du compresseur (figure.V.2)

Compresseur :

- Contrôle dimensionnel sur le bout de l'arbre du rotor male
- Vérification des disques d'accouplements (figure V.5)
- Etude de la faisabilité d'une réparation sur la portée de joint
- Nettoyage des rotors (figure.V.3 et V.4), des carters et de l'ensemble des pièces de boulonnerie du compresseur



Figure.V.2 Dépose du compresseur (rotor)



Figure.V.3 Rotor Male et Trace de Vis

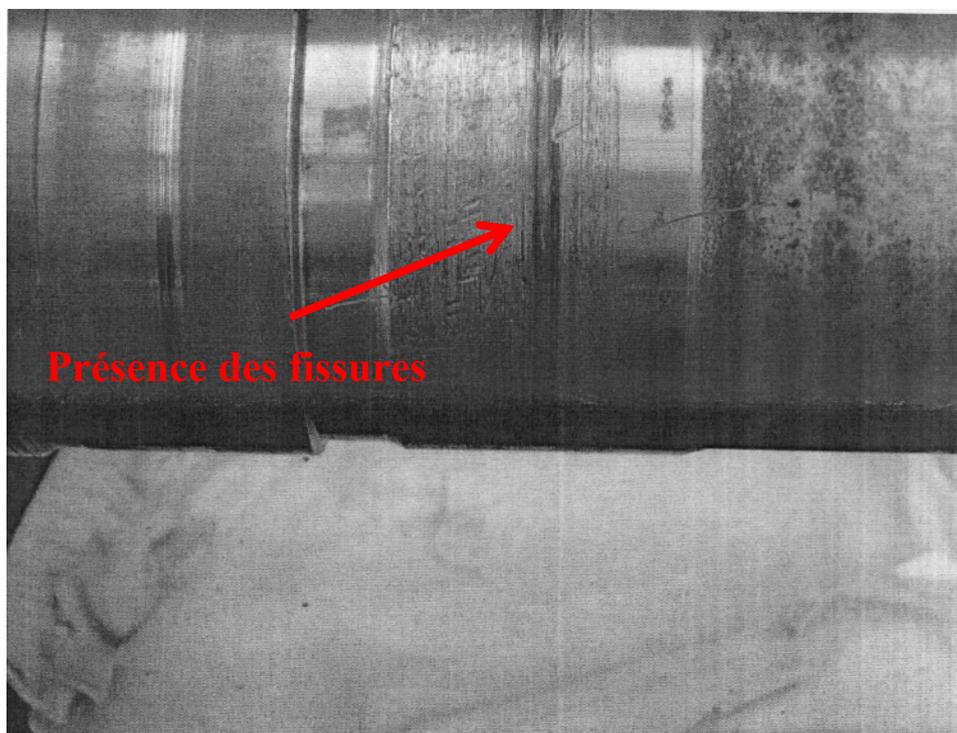


Figure.V.4 Présence des fissures sur l'arbre male du rotor

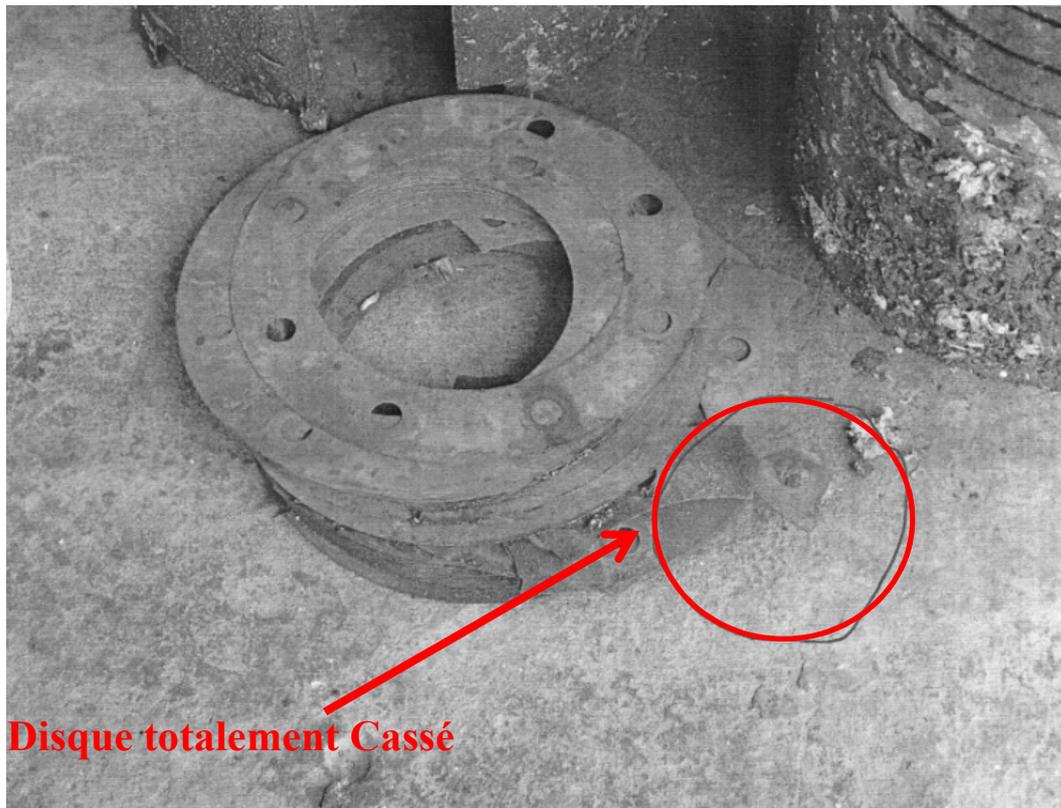


Figure.V.5 Disques d'accouplements totalement cassés

Groupe :

- Démontage pour le contrôle des clapets sur le refoulement (prévoir de nouveaux joints pour le remontage)
- Démontage des tuyauteries de réintégration d'huile pour un nettoyage ainsi que l'intérieur du séparateur d'huile
- Contrôle des régulateurs et des viseurs sur le retour d'huile
- Nettoyage du groupe et des portées de joint sur la repose du compresseur (figure.V.6 et V.7)
- Nettoyage du sol

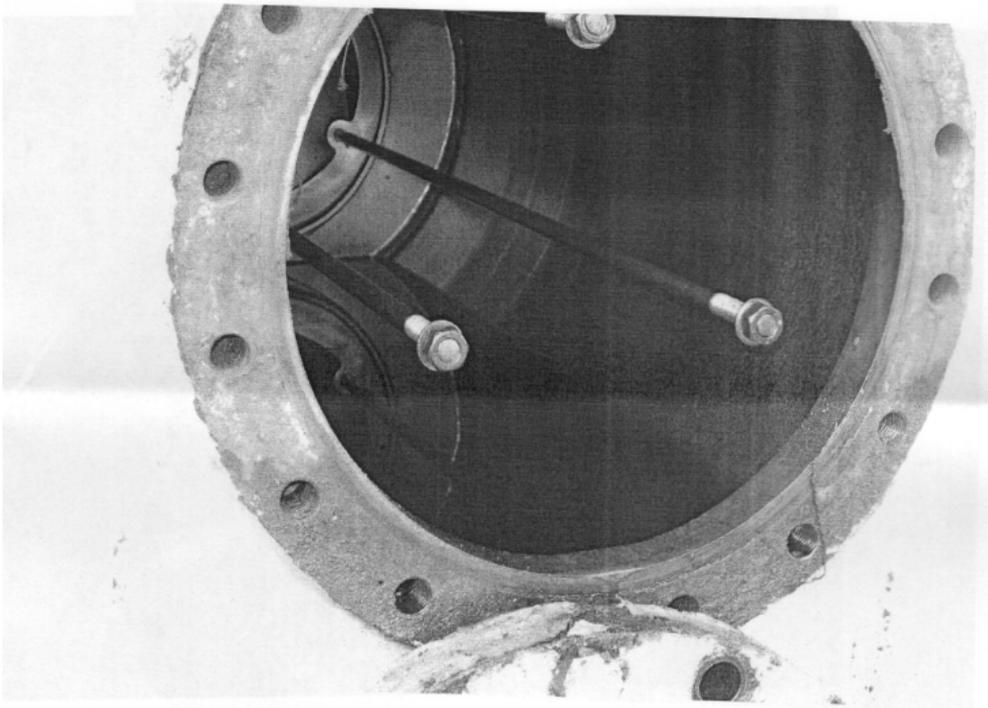


Figure.V.6 Présence d'huile dans les disques d'accouplement

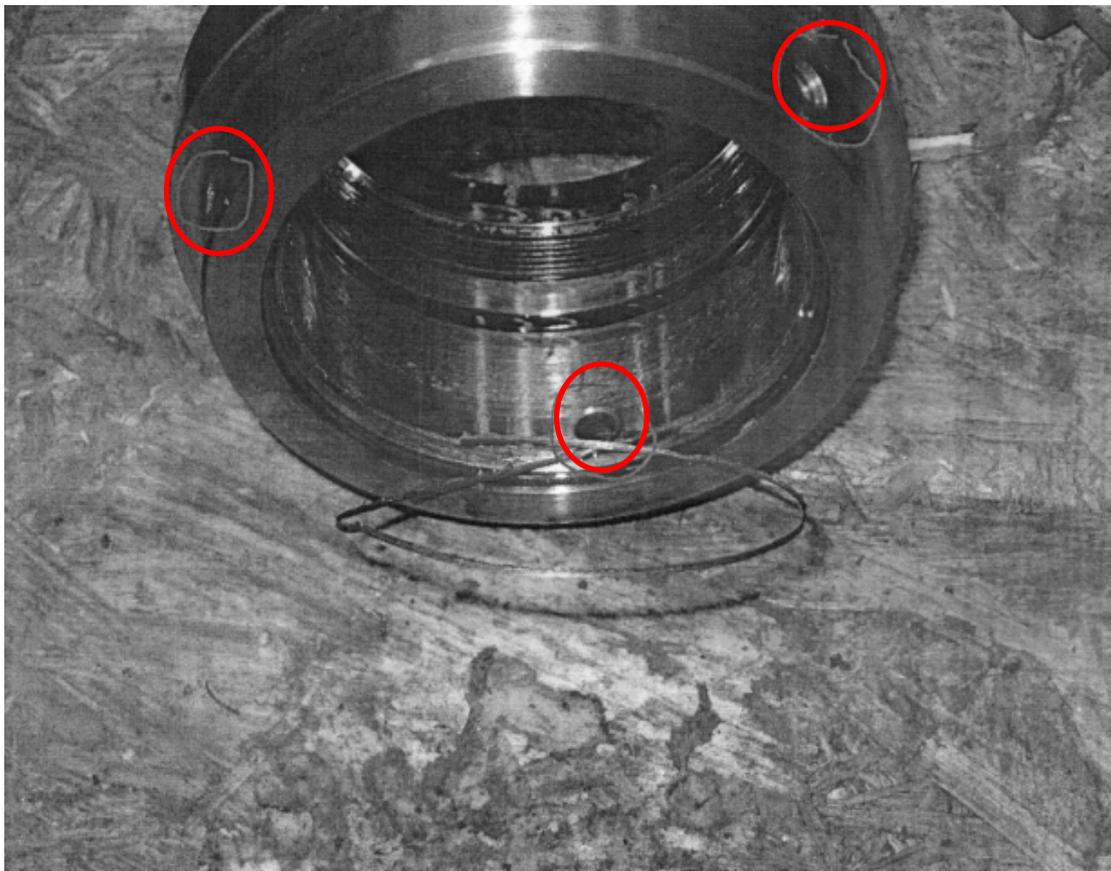


Figure.V.7 Garniture sans les vis

Chapitre V : Etude FMD des compresseurs K101/A/B/C du bac de stockage d'ammoniac

Moteur électrique :

- Dépose et révision complète du moteur (figure.V.8)
- Nettoyage du moteur, du ventilateur et de la grille de protection (figure V.9)
- Contrôle des enroulements
- Contrôle des roulements statique et dynamique
- Démontage des vis de maintien et de réglage, graissage de l'ensemble afin de faciliter le lignage

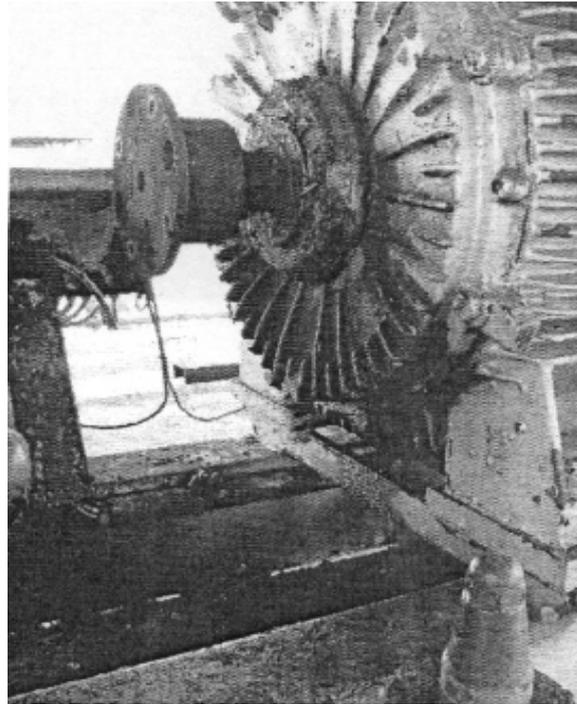


Figure.V.8 Moteur électrique avec encrassement

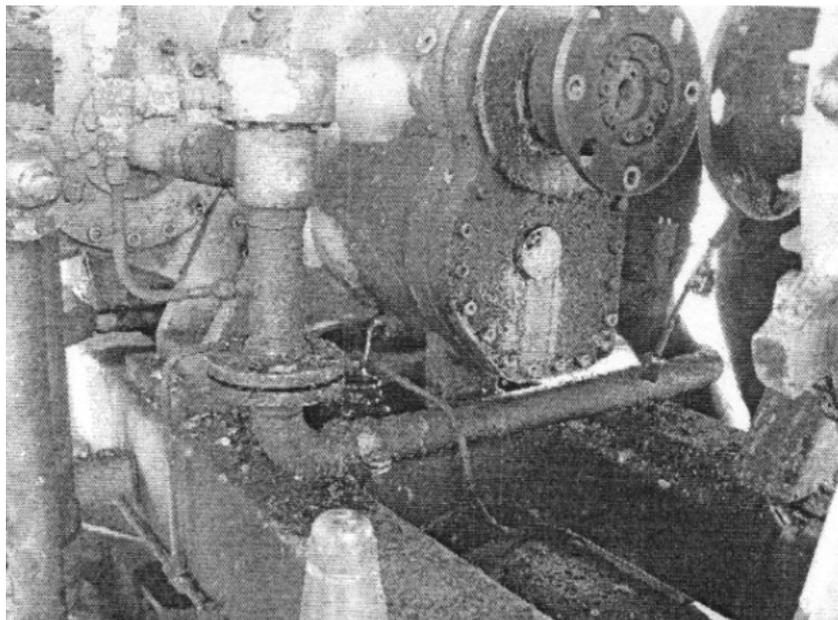


Figure.V.9 Groupe de compresseur avec encrassement

V.3.2.2 Révision et remise en état du groupe K101 A :

Temps de service : 63763 heures

Travaux effectué :

- Mise en sécurité électrique du groupe
- Purge du groupe
- Vidange de l'huile du compresseur
- Dépose du compresseur

a) Démontage du compresseur :

- Démontage de l'accouplement
- Démontage du filtre d'aspiration
- Démontage de l'ensemble garniture
- Dépose du cylindre et du mécanisme de réduction de puissance
- Dépose du piston d'équilibrage rotor male
- Dépose de la pompe à huile
- Démontage du tiroir de VI
- Démontage des 2 roulements de butée du rotor femelle
- Séparation des deux carters Asp. Ref.
- Démontage des 3 roulements de butée du rotor male
- Extraction des rotors mâle et femelle
- Dépose des 4 roulements à rouleaux

b) Remontage du compresseur :

- Nettoyage important des rotors et des carters avec les moyens technique mis à disposition par le client
- Contrôle visuel de l'ensemble des pièces mécanique.
- Changement des roulements à rouleaux
- Remise en place des rotors dans le carter d'aspiration
- Reprise du carter de refoulement
- Montage des roulements de butées sur les rotors et de cale de réglage sur le rotor male
- Réglage du jeu de refoulement à l'aide des écrous de maintien de roulement
- Mesure des jeux de refoulement.

Avec un jeu de cale sur le refoulement mâle = 0,15 mm
Femelle = 0,16 mm

- Nettoyage et remontage du piston d'équilibrage
- Montage d'une pompe à huile neuve et d'un clapet neuf

Chapitre V : Etude FMD des compresseurs K101/A/B/C du bac de stockage d'ammoniac

- Changement du filtre d'aspiration
- Remontage de l'ensemble du mécanisme de régulation de puissance, après avoir changé tous les joints torique et les joints à lèvres
- Remontage du VI
- Montage de la garniture d'étanchéité
- Reprise du compresseur sur le groupe

V.4. Analyse de l'historique des pannes des compresseurs K101/A/B/C :

L'analyse est basée sur l'historique des pannes que j'ai pu collecter au sein de l'unité d'ammoniac-FERTIAL avec l'aide des responsables de maintenance. L'historique des pannes enregistrées sont des pannes survenues lors d'exploitation et non pendant le standby.

En s'appuyant sur le diagramme de Pareto j'ai déterminé le compresseur qui constitue plus de pannes et plus d'interventions par rapport aux autres.

V.4.1. Diagramme de PARETO ou la méthode des 80-20:

Il s'agit d'une méthode de choix qui permet de déceler entre plusieurs problèmes [10], ceux qui doivent être abordés en priorité. La courbe ABC permet donc de distinguer de façon claire les éléments importants de ceux qui le sont moins ; et ceci sous la forme d'une représentation graphique.

Cette règle de répartition a été définie par Vilfredo PARETO (1848-1923, économiste italien qui, en étudiant la répartition des impôts aux Etats-Unis constata que 20% des contribuables payaient 80% de la recette de ces impôts). On l'appelle aussi la règle des 80-20.

D'autres répartitions analogiques ont pu être constatées ; ce qui a permis d'en tirer la loi des 20-80 ou la loi de Pareto. Cette loi peut s'appliquer à beaucoup de problèmes. C'est un outil efficace pour le choix et l'aide à la décision.

Elle permet de ne pas se laisser influencer par des travaux certes utiles, mais de très faible importance par rapport au volume des autres travaux.

Exemple de répartitions appliquées à la maintenance :

- 20% des systèmes représentent 80% des pannes.
- 20% des interventions représentent 80% des coûts de maintenance.
- 20% des composants représentent 80% de la valeur des stocks.

L'exploitation de cette loi permet de déterminer les éléments les plus pénalisants afin d'en diminuer leurs effets :

- Diminuer les coûts de maintenance.
- Améliorer la fiabilité des systèmes.
- Justifier la mise en place d'une politique de maintenance etc....

Chapitre V : Etude FMD des compresseurs K101/A/B/C du bac de stockage d'ammoniac

V.4.2. Objectif de la méthode :

L'objectif de cette méthode est de suggérer objectivement un choix ; c'est-à-dire classer par ordre d'importance des éléments (produits, machines, pièces, coûts, etc.) à partir d'une base de connaissance d'une période antérieure (historique de pannes par exemple).

Les résultats se présentent sous la forme d'une courbe appelée courbe ABC dont l'exploitation permet de détecter les éléments les plus significatifs du problème à résoudre et de prendre les décisions permettant sa résolution.

V.4.3. Mise en application de la loi Pareto pour les compresseurs :

A partir de l'historique des pannes des trois compresseurs on a eu les résultats des interventions importantes au cours de 6 ans de l'an 2007 à l'an 2012 qui sont résumés dans les tableaux 'Excel' ci-après :

A) Historique des pannes du compresseur K101 B :

N°=	Date et heure début d'arrêt	Date et heure fin d'arrêt	Désignation intervention	Durée de la panne/h(TTR)
1	04/04/2007 12:00	04/04/2007 14:00	Peinture de compresseur	2
2	23/04/2007 15:00	23/04/2007 15:55	Appoint d'huile	1
3	24/04/2007 09:00	25/04/2007 10:05	Démontage séparateur à bulle	25
4	09/05/2007 09:00	09/05/2007 15:05	Ouverture du filtre du compresseur	6
5	25/08/2007 14:00	25/08/2007 15:10	Appoint d'huile	1
6	19/08/2007 10:00	19/08/2007 13:00	Vérification Manomètre aspiration	3
7	09/10/2007 11:00	09/10/2007 17:13	Mise en place d'une conduite de dégazage	1
8	24/02/2008 10:00	24/02/2008 18:03	Changement filtre à huile	8
9	15/04/2008 12:00	15/04/2008 21:57	Fuite ammoniac Vanne refoulement	10
10	30/04/2008 07:00	01/05/2008 10:00	Changement des trois thermostats 108/A/B/C	27
11	11/10/2008 15:00	11/10/2008 18:11	Appoint d'huile et vérification filtre à huile	3
12	15/02/2009 12:30	11/10/2009 18:30	Remise en état du pressostat	6
13	14/03/2009 09:30	14/03/2009 15:30	Changement du thermostat TISH108A	6
14	08/07/2009 08:00	08/07/2009 13:56	Nettoyage filtre à huile	5
15	10/07/2009 09:10	10/07/2009 10:00	Remise en état	1
16	03/04/2010 08:30	04/04/2010 10:33	Changement huile	26
17	11/10/2010 11:30	12/10/2010 13:30	Vibration Moteur/Changement Roulements	26
18	24/02/2011 15:00	24/02/2011 16:03	Vérification indicateurs pression aspiration	1
19	27/05/2012 10:20	27/05/2012 12:25	Vérification sonde	2
20	23/12/2012 08:00	07/07/2012 14:00	Arrêt/Révision mécanique générale*	120
TOTAL				280

Tableau.V.2 Historique des pannes du compresseur B

Chapitre V : Etude FMD des compresseurs K101/A/B/C du bac de stockage d'ammoniac

*Commentaire : Pour le compresseur K101B, très peu d'opérations d'entretiens et de maintenance ont été réalisés par l'entreprise, ce qui a résulté un changement complet du compresseur en 2016.

B) Historique des pannes du compresseur K101 C :

N° =	Date et heure début d'arrêt	Date et heure fin d'arrêt	Désignation intervention	Durée de la panne/h
1	04/04/2007 12:00	04/04/2007 14:00	Peinture de compresseur	2
2	20/04/2007 11:10	20/04/2007 19:15	Changement huile graissage	8
3	23/04/2007 15:00	23/04/2007 15:55	Appoint d'huile	1
4	24/04/2007 09:00	24/04/2007 17:12	Démontage séparateur à bulle	8
5	04/07/2007 12:20	04/07/2007 12:30	Appoint d'huile	1
6	19/08/2007 10:00	19/08/2007 13:00	Vérification Manomètre aspiration	1
7	09/10/2007 11:00	09/10/2007 17:13	Mise en place d'une conduite de dégazage	6
8	27/10/2007 09:22	27/10/2007 11:22	Remise en fonctionnement automatique	2
9	18/10/2008 08:45	18/10/2008 10:15	Changement cartouche du filtre	1,3
10	30/04/2008 07:00	01/05/2008 10:00	Changement des trois thermostats 108/A/B/C	27
11	04/05/2008 10:40	04/05/2008 12:40	Changement cartouche huile	2
12	04/05/2008 14:30	04/05/2008 18:32	Nettoyage filtre aspiration	4
13	06/05/2008 13:30	06/04/2008 16:28	Changement manomètre aspiration	3
14	11/10/2008 15:00	11/10/2008 18:11	Appoint d'huile et vérification filtre à huile	6
15	15/02/2009 12:30	11/10/2008 18:30	Remise en état du pressostat	6
16	03/03/2009 09:15	03/03/2009 15:15	Changement thermostat TISH108	6
17	24/04/2010 08:32	24/04/2010 20:40	Mise en place d'une passerelle pour vanne alimentant le laveur	16
18	03/07/2011 11:08	03/07/2011 15:10	Changement sonde de température aspiration	4
19	09/02/2012 08:30	09/02/2012 20:33	Changement Bobine	12
20	02/09/2012 10:20	16/02/2012 09:15	Révision mécanique générale*	336
TOTAL				452,3

Tableau.V.3 Historique des pannes du compresseur C

*Commentaire : Quel que soit le temps d'intervention sur un de ces compresseurs, un autre compresseur peut être en panne aussi ; ainsi que le troisième, par conséquent l'allumage de la torche ou la détente des soupapes de sécurité sont prévisibles. Cette situation n'est pas recommandée.

Chapitre V : Etude FMD des compresseurs K101/A/B/C du bac de stockage d'ammoniac

C) Historique des pannes du compresseur K101 A :

N° =	Date et heure début d'arrêt	Date et heure de fin d'arrêt	Désignation intervention	Durée de la panne/h (TTR)
1	11/02/2007 07:30	11/02/2007 11:30	Changement connecteur pour sonde T°	4
2	04/04/2007 12:00	04/04/2007 14:00	Peinture des compresseurs	2
3	23/04/2007 15:00	23/04/2007 15:55	Appoint d'huile	1
4	24/04/2007 09:00	25/04/2007 10:12	Démontage séparateur à bulle	25
5	14/07/2007 08:00	14/07/2007 11:00	Vérification mécanique compresseur	3
6	14/08/2007 14:00	14/08/2007 15:11	Appoint d'huile	1
7	19/08/2007 10:00	19/08/2007 13:00	Vérification Manomètre aspiration	3
8	25/08/2007 08:30	25/08/2007 09:30	Appoint d'huile	1
9	25/08/2007 09:30	25/08/2007 19:30	Installation filtre séparateur d'huile	10
10	09/10/2007 11:00	09/10/2007 17:13	Mise en place d'une conduite de dégazage	6
11	16/04/2008 09:00	16/04/2008 21:00	Changement filtre à huile	12
12	19/04/2008 13:00	19/04/2008 14:10	Appoint d'huile	1
13	20/04/2008 15:00	20/04/2008 16:00	Appoint d'huile	1
14	30/04/2008 07:00	01/05/2008 10:00	Changement des trois thermostats 108/A/B/C	27
15	11/10/2008 15:00	11/10/2008 18:11	Appoint d'huile et vérification filtre à huile	3
16	15/02/2009 12:30	11/10/2008 18:30	Remise en état du pressostat de refroidisseur R717	6
17	20/03/2009 14:00	20/03/2009 18:00	Changement thermostat TISH108A	5
18	01/08/2009 10:30	01/08/2009 11:30	Vérification compresseur	1
19	02/08/2009 08:00	17/08/2009 08:00	Révision Mécanique générale	360
20	18/08/2009 08:00	18/08/2009 11:50	Remise en état de fonctionnement	4
21	26/01/2010 11:00	27/01/2010 12:45	Vérification asservissement + changement électrovanne	26
22	24/07/2010 07:30	25/07/2010 08:30	Changement BOBINE de charge	25
23	31/08/2010 09:00	31/08/2010 11:00	Vérification asservissement	2
24	06/09/2010 14:00	06/09/2010 19:00	Défaillance afficheur du compresseur	5
25	11/10/2010 09:00	11/10/2010 11:00	Vérification sonde	2
26	13/10/2010 08:00	13/10/2010 09:30	Changement afficheur du compresseur	1,3
27	02/03/2011 10:10	02/03/2011 22:20	Vibration moteur/changement roulements	12
28	22/06/2011 13:30	23/06/2011 00:00	Changement huile de graissage	24
29	07/10/2011 08:40	07/10/2011 20:44	Nettoyage filtre à huile	12
30	06/02/2012 16:00	06/02/2012 00:15	Vidange huile séparateur	8
TOTAL				593,3

Tableau.V.4 Historique des pannes du compresseur A

Chapitre V : Etude FMD des compresseurs K101/A/B/C du bac de stockage d'ammoniac

Commentaire* : D'après l'historique des pannes des compresseurs, plusieurs interventions ont été réalisées pour le compresseur K101/A avec un facteur temps très important.

D) Diagramme de Pareto des compresseurs :

Pour réaliser un diagramme de Pareto de haute précision, on a utilisé un logiciel de statistiques et de qualités connu sous le nom 'MINITAB'.

Les résultats sont montrés dans la figure ci-dessous :

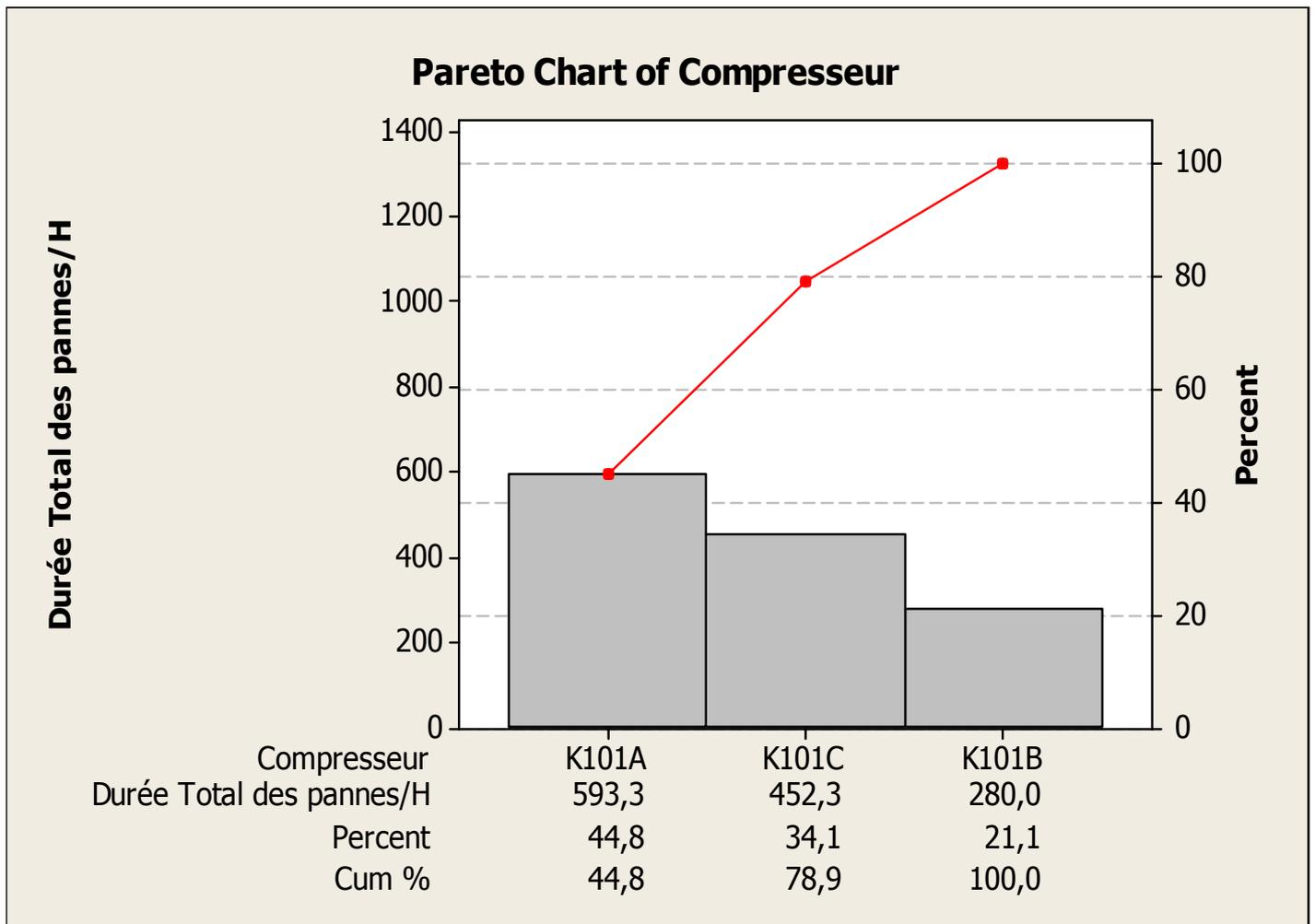


Figure.V.10 Diagramme de Pareto pour K101/A/B/C

Interprétation :

D'après ce diagramme, le compresseur 'A' représente une durée totale de 593,3 heures de pannes avec un pourcentage de 44 % et le compresseur C représente 452,3 heures de pannes avec un pourcentage de 34,1% par contre le compresseur 'B' représente 280 heures de pannes avec un pourcentage de 21,1%.

Chapitre V : Etude FMD des compresseurs K101/A/B/C du bac de stockage d'ammoniac

Avec le cumul des pourcentages, on constate que les compresseurs A et C représente approximativement 80 % de durée de pannes et d'intervention enregistrées alors que le compresseur B représente approximativement 20 % de durée de pannes.

E) Constatation finale :

On constate que le compresseur 'A' représente un grand pourcentage de durée de panne et d'intervention, ce qui influe sur le fonctionnement et le rendement normal des autres compresseurs et le bac de stockage en particulier. De ce fait l'étude FMD doit être réalisée pour celui-ci. Donc nous allons orienter notre étude en nous référant aux résultats précédents (le diagramme de Pareto) en fonction de l'historique des pannes du compresseur A

V.5. Etude FMD du compresseur K101/A :

D'après l'historique des pannes on peut déduire le temps de bon fonctionnement et le temps technique de réparation.

V.5.1. Détermination du Temps de bon fonctionnement :

La détermination du temps de bon fonctionnement et le temps de réparation pour chaque intervention est réalisée à l'aide de l'Excel (Voir le tableau V.5)

V.5.2. Application de la loi de WEIBULL à trois paramètres :

C'est un modèle Mathématique particulièrement bien adapté à l'étude statistique des défaillances [9][3].

La loi de WEIBULL est utilisée en fiabilité, en particulier dans le domaine mécanique, cette loi donne l'avantage d'être très souple et de pouvoir s'ajuster à des différents résultats d'expérimentations. WEIBULL donne le taux d'avarie $\lambda(t)$, c'est une formule générale dépendent de trois paramètres η qui rend compte avec une bonne précision dans une gamme étendue.

Donc c'est une loi de fiabilité à 3 paramètres qui permet de prendre en compte les périodes où le taux de défaillance n'est pas constant (jeunesse et vieillesse). Cette loi permet :

- Une estimation de la MTBF
- Les calculs de $\lambda(t)$ et de $R(t)$ et leurs représentations graphiques
- Grâce au paramètre de forme β d'orienter un diagnostic, car β peut être caractéristique de certains modes de défaillance

Chapitre V : Etude FMD des compresseurs K101/A/B/C du bac de stockage d'ammoniac

N°=	Date et heure début d'arrêt	Date et heure de fin d'arrêt	Désignation intervention	TTR	TBF
1	11/02/2007 07:30	11/02/2007 11:30	Changement connecteur pour sonde T°	4	989:30
2	04/04/2007 12:00	04/04/2007 14:00	Peinture des compresseurs	2	1248:3
3	23/04/2007 15:00	23/04/2007 15:55	Appoint d'huile	1	457:00
4	24/04/2007 09:00	25/04/2007 10:12	Démontage séparateur à bulle	25	17:05
5	14/07/2007 08:00	14/07/2007 11:00	Vérification mécanique compresseur	3	1917:48
6	14/08/2007 14:00	14/08/2007 15:11	Appoint d'huile	1	747:00
7	19/08/2007 10:00	19/08/2007 13:00	Vérification Manomètre aspiration	3	114:49
8	25/08/2007 08:30	25/08/2007 09:30	Appoint d'huile	11	139:30
9	09/10/2007 11:00	09/10/2007 17:13	Mise en place d'une conduite de dégazage	6	1071:3
10	16/04/2008 09:00	16/04/2008 21:00	Changement filtre à huile	12	4551:47
11	19/04/2008 13:00	19/04/2008 14:10	Appoint d'huile	1	64:00
12	20/04/2008 15:00	20/04/2008 16:00	Appoint d'huile	1	24:50
13	30/04/2008 07:00	01/05/2008 10:00	Changement des trois thermostats 108/A/B/C	27	231:00
14	11/10/2008 15:00	11/10/2008 18:11	Appoint d'huile et vérification filtre à huile	3	3917
15	15/02/2009 12:30	11/10/2008 18:30	Remise en état du pressostat de refroidisseur R717	6	3042:1
16	20/03/2009 14:00	20/03/2009 18:00	Changement thermostat TISH108A	5	3835:3
17	01/08/2009 10:30	01/08/2009 11:30	Vérification compresseur	1	3208:3
18	02/08/2009 08:00	17/08/2009 08:00	Révision Mécanique générale	360	20:30
19	18/08/2009 08:00	18/08/2009 11:50	Remise en état de fonctionnement	4	24:00
20	26/01/2010 11:00	27/01/2010 12:45	Vérification asservissement + changement électrovanne	26	3863:1
21	24/07/2010 07:30	25/07/2010 08:30	Changement BOBINE de charge	25	4266:4
22	31/08/2010 09:00	31/08/2010 11:00	Vérification asservissement	2	888:30
23	06/09/2010 14:00	06/09/2010 19:00	Défaillance afficheur du compresseur	5	147:00
24	11/10/2010 09:00	11/10/2010 11:00	Vérification sonde	2	830:00
25	13/10/2010 08:00	13/10/2010 09:30	Changement afficheur du compresseur	1,3	45:00
26	02/03/2011 10:10	02/03/2011 22:20	Vibration moteur/changement roulements	12	3360:4
27	22/06/2011 13:30	23/06/2011 00:00	Changement huile de graissage	24	2679:1
28	07/10/2011 08:40	07/10/2011 20:44	Nettoyage filtre à huile	12	2552:4
29	06/02/2012 16:00	06/02/2012 00:15	Vidange huile séparateur	8	2923:1
TOTAL				593,3	

Tableau.V.5 Historique des pannes, détermination de TBF et TTR du Compresseur A

Chapitre V : Etude FMD des compresseurs K101/A/B/C du bac de stockage d'ammoniac

V.5.2.1. Détermination de la fonction de répartition :

Une équation à l'aide de logiciel 'Excel' est utilisé pour faciliter les calculs :

$$n > 20, \text{ donc on utilise la méthode des rangs moyens Donc : } F(t_i) = \frac{i}{n+1}$$

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Rang	TBF	ni	$\sum ni$	F (ti) théorie	F(ti) %
1	17,05	1	1	0,033	3,33
2	20,3	1	2	0,067	6,67
3	24	1	3	0,100	10,00
4	24,5	1	4	0,133	13,33
5	45	1	5	0,167	16,67
6	64	1	6	0,200	20,00
7	114,49	1	7	0,233	23,33
8	139,3	1	8	0,267	26,67
9	147	1	9	0,300	30,00
10	231	1	10	0,333	33,3
11	457	1	11	0,367	36,7
12	747	1	12	0,400	40,00
13	830	1	13	0,433	43,3
14	888,3	1	14	0,467	46,7
15	989,3	1	15	0,500	50,00
16	1071,3	1	16	0,533	53,3
17	1248,3	1	17	0,567	56,6
18	1917,48	1	18	0,600	60,00
19	2552,4	1	19	0,633	63,3
20	2676,1	1	20	0,667	66,7
21	2923,16	1	21	0,700	70,00
22	3042,19	1	22	0,733	73,3
23	3208,3	1	23	0,767	76,7
24	3360,4	1	24	0,800	80,00
25	3835,3	1	25	0,833	83,3
26	3863,1	1	26	0,867	86,7
27	3917	1	27	0,900	90,00
28	4266,45	1	28	0,933	93,3
29	4551,47	1	29	0,967	96,6

Tableau.V.6 Détermination de la fonction de répartition

Chapitre V : Etude FMD des compresseurs K101/A/B/C du bac de stockage d'ammoniac

V.5.2.2. Détermination des paramètres :

Les résultats de TBF(Fi), F(ti)% permettent de tracer les nuages des points et la courbe de tendance pour déterminer les trois paramètres avec l'utilisation du papier d'Allen Plait (WEIBULL).

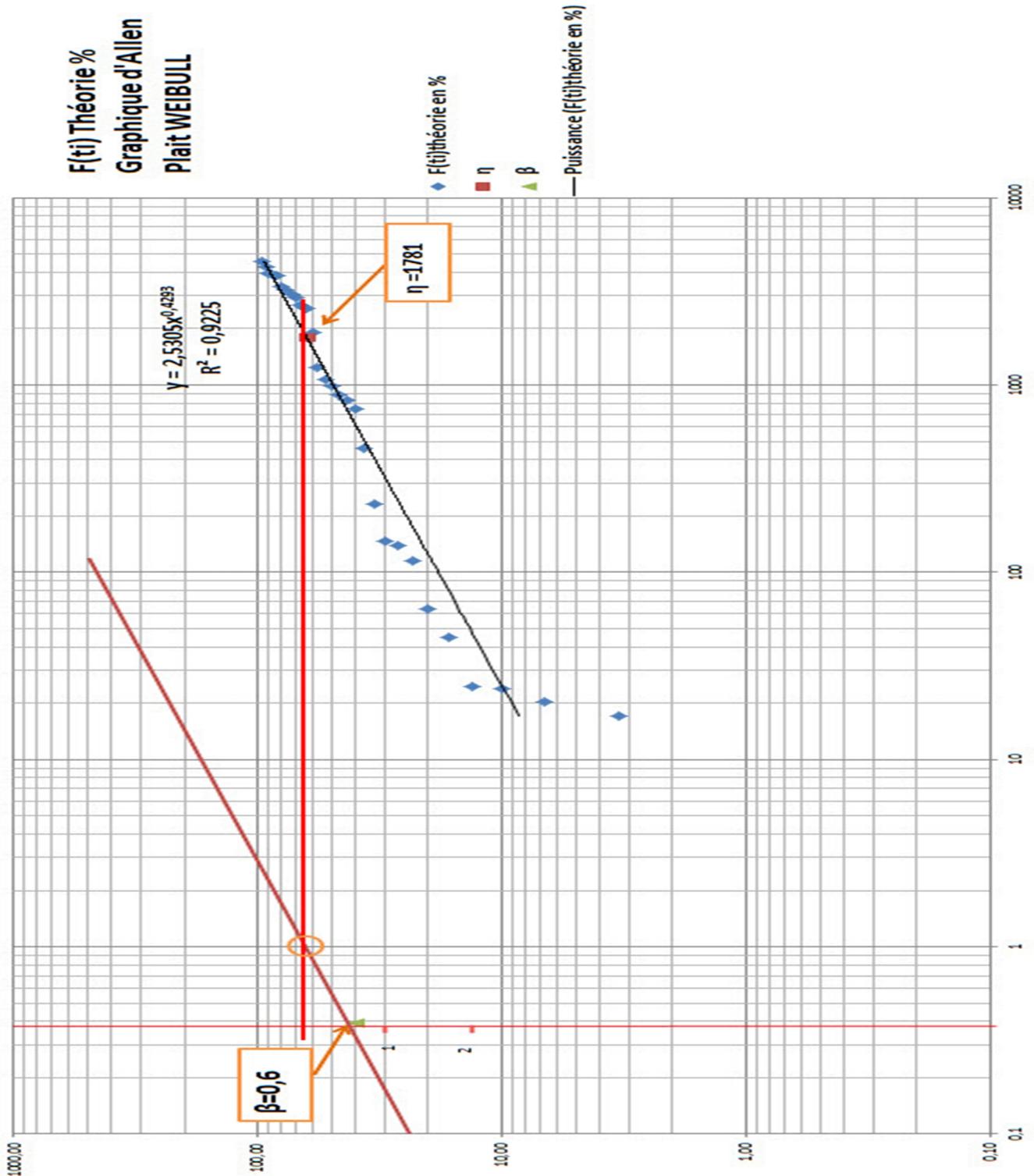


Figure.V.10 Papier d'Allen Plait (WEIBULL) et les résultats.

Chapitre V : Etude FMD des compresseurs K101/A/B/C du bac de stockage d'ammoniac

Pour trouver β , une équation d'une courbe de tendance de type linéaire en fonction de BetaX et BetaY est utilisée pour confirmer les résultats tirés du papier d'Allen Plait, les résultats sont groupés dans le tableau V.7 :

Rang	TBF	TTR	F(ti)théorie en %	Betay	Betax
1	17,05	25	3,33	-3,384	-4,649
2	20,3	360	6,67	-2,674	-4,474
3	24	4	10,00	-2,250	-4,307
4	24,5	1	13,33	-1,944	-4,286
5	45	1,3	16,67	-1,702	-3,678
6	64	1	20,00	-1,500	-3,326
7	114,49	3	23,33	-1,325	-2,744
8	139,3	1	26,67	-1,171	-2,548
9	147	5	30,00	-1,031	-2,494
10	231	27	33,33	-0,903	-2,043
11	457	1	36,67	-0,784	-1,360
12	747	1	40,00	-0,672	-0,869
13	830	2	43,33	-0,566	-0,764
14	888,3	2	46,67	-0,464	-0,696
15	989,3	4	50,00	-0,367	-0,588
16	1071,3	6	53,33	-0,272	-0,508
17	1248,3	2	56,67	-0,179	-0,355
18	1917,48	3	60,00	-0,087	0,074
19	2552,4	12	63,33	0,003	0,360
20	2676,1	24	66,67	0,094	0,407
21	2923,16	8	70,00	0,186	0,495
22	3042,19	6	73,33	0,279	0,535
23	3208,3	1	76,67	0,375	0,589
24	3360,4	12	80,00	0,476	0,635
25	3835,3	5	83,33	0,583	0,767
26	3863,1	26	86,67	0,701	0,774
27	3917	3	90,00	0,834	0,788
28	4266,45	25	93,33	0,996	0,874
29	4551,47	12	96,67	1,224	0,938

Tableau.V.7 les résultats de BetaX et Betay

On a utilisé les équations suivantes à l'aide de l'Excel :

- $BetaX = \ln\left(\frac{TBF}{\eta}\right)$
- $BetaY = \ln(-\ln(1 - F_{ti}))$

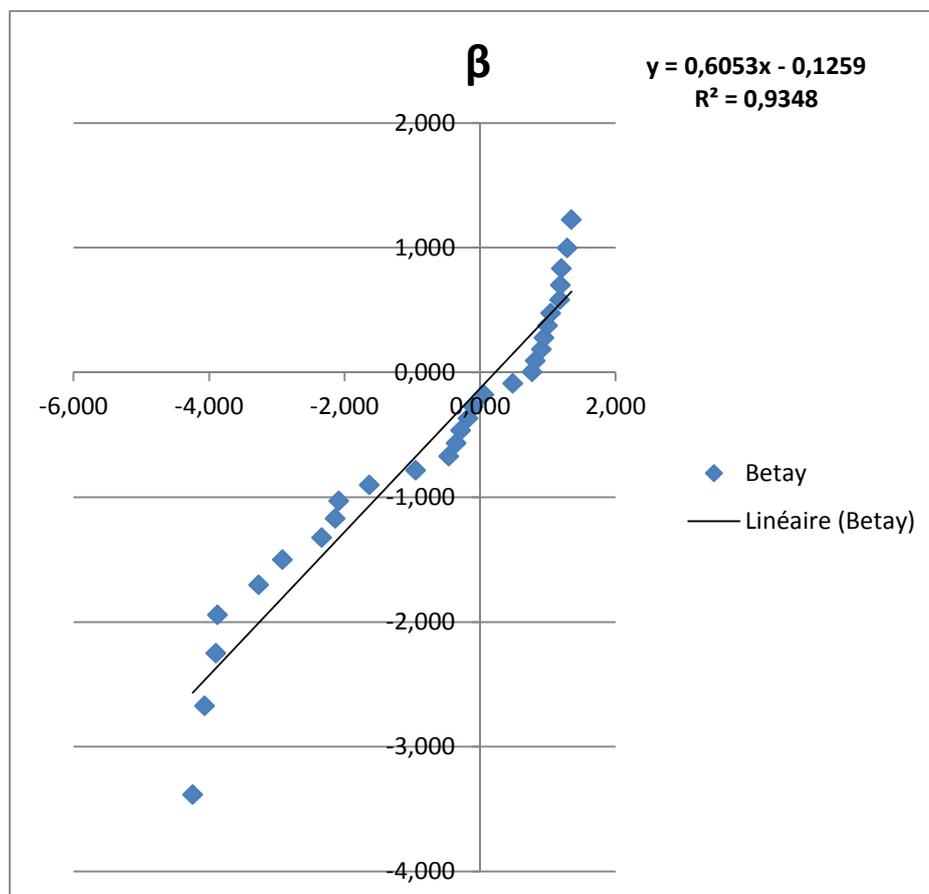


Figure.V.11 Nuages de points de Betax et Betay et l'équation de la courbe de tendance

Interprétation:

On observe que l'équation de la courbe de tendance est : $y = 0,6053x - 0,1259$, d'où $\beta = 0,60$ représente pour l'équipement une période de jeunesse lequel a enduré des défaillances précoces et des défauts après l'installation.

Chapitre V : Etude FMD des compresseurs K101/A/B/C du bac de stockage d'ammoniac

Le fait d'obtenir directement une droite pour les nuages des points indique que le paramètre de position est $\gamma=0$. L'autre droite est parallèle à la 1^{ère} droite, passant par l'origine coupe d'axe de temps en passant par 0 en un point $\beta=0,6$. C'est la valeur du paramètre de forme ainsi que la 1^{er} droite coupe l'axe des temps à $\eta=1781\mu$ heures.

Ces paramètres nous permettent la détermination des valeurs A et B à partir du tableau de WEIBULL (Voir Annexes tableau 1), on a eu les résultats :

$$\begin{aligned} \diamond \beta &= 0,60 & A &= 1,5046 & B &= 2,65 \\ \diamond \eta &= 1781 \\ \diamond \gamma &= 0 \end{aligned}$$

Pour clarifier ; les résultats sont groupés dans le tableau suivant :

Rang	TBF	TTR	ni	$\sum ni$	F(ti)	β	η	γ	R(ti)	M(ti)	D(ti)	$\lambda(ti)$	f(ti)
1	17,05	1	1	1	0,060	0,6	1781	0	0,940385	0,047819	0,996151	0,00216	0,002034
2	20,3	1	1	2	0,066	0,6	1781	0	0,934027	0,047819	0,995722	0,00202	0,001884
3	24	1	1	3	0,073	0,6	1781	0	0,927315	0,047819	0,995312	0,00189	0,001749
4	24,5	1	1	4	0,074	0,6	1781	0	0,926444	0,047819	0,995262	0,00187	0,001733
5	45	1	1	5	0,104	0,6	1781	0	0,895803	0,047819	0,994000	0,00147	0,001314
6	64	1	1	6	0,127	0,6	1781	0	0,872905	0,047819	0,993567	0,00127	0,001112
7	114,49	1,3	1	7	0,175	0,6	1781	0	0,824737	0,047819	0,993317	0,00101	0,000833
8	139,3	2	1	8	0,195	0,6	1781	0	0,805126	0,061713	0,993301	0,00093	0,000752
9	147	2	1	9	0,201	0,6	1781	0	0,799421	0,09335	0,993299	0,00091	0,000730
10	231	2	1	10	0,254	0,6	1781	0	0,745568	0,09335	0,993295	0,00076	0,000569
11	457	3	1	11	0,357	0,6	1781	0	0,642665	0,09335	0,993295	0,00058	0,000373
12	747	3	1	12	0,448	0,6	1781	0	0,552260	0,13670	0,993295	0,00048	0,000263
13	830	3	1	13	0,469	0,6	1781	0	0,531271	0,13670	0,993295	0,00046	0,000243
14	888,3	4	1	14	0,483	0,6	1781	0	0,517485	0,17798	0,993295	0,00044	0,000230
15	989,3	4	1	15	0,505	0,6	1781	0	0,495223	0,17798	0,993295	0,00043	0,000211
16	1071,3	5	1	16	0,522	0,6	1781	0	0,478482	0,21729	0,993295	0,00041	0,000198
17	1248,3	5	1	17	0,554	0,6	1781	0	0,445764	0,21729	0,993295	0,00039	0,000173
18	1917,48	6	1	18	0,648	0,6	1781	0	0,351587	0,25472	0,993295	0,00033	0,000115
19	2552,4	6	1	19	0,711	0,6	1781	0	0,289096	0,25472	0,993295	0,00029	0,000084
20	2676,1	8	1	20	0,721	0,6	1781	0	0,278945	0,32429	0,993295	0,00029	0,000080
21	2923,16	12	1	21	0,740	0,6	1781	0	0,260224	0,444562	0,993295	0,00028	0,000072
22	3042,19	12	1	22	0,748	0,6	1781	0	0,251871	0,444562	0,993295	0,00027	0,000068
23	3208,3	12	1	23	0,759	0,6	1781	0	0,240862	0,444562	0,993295	0,00027	0,000064
24	3360,4	24	1	24	0,769	0,6	1781	0	0,231391	0,691489	0,993295	0,00026	0,000060
25	3835,3	25	1	25	0,795	0,6	1781	0	0,205059	0,706242	0,993295	0,00025	0,000051
26	3863,1	25	1	26	0,796	0,6	1781	0	0,203652	0,706242	0,993295	0,00025	0,000050
27	3917	26	1	27	0,799	0,6	1781	0	0,200965	0,72028	0,993295	0,00025	0,000049
28	4266,45	27	1	28	0,815	0,6	1781	0	0,184696	0,733664	0,993295	0,00024	0,000044
29	4551,47	360	1	29	0,827	0,6	1781	0	0,172757	0,99999	0,993295	0,00023	0,000040

Tableau.V.8 Fiabilité, Maintenabilité et Disponibilité du compresseur K101/A

V.5.3. Etude de la fiabilité :

Calcul de MTBF :

MTBF désigne le temps moyen entre défaillances consécutives ou le moyenne des temps de bon fonctionnement :

La table de WEIBULL donne les valeurs de A et B pour $\beta=0,6$ d'où :

$$MTBF = A \cdot \eta + \gamma \Rightarrow MTBF = 1.5046 \times 1781 + 0$$

$$\Rightarrow MTBF = 2679.69h$$

V.5.4. Fonction de fiabilité R(t) :

C'est la probabilité qu'il n'y ait aucune défaillance avant 't' unités de temps, en utilisant MTBF :

$$R(MTBF) = e^{-\frac{t-\gamma}{\eta} \beta} \Rightarrow R(MTBF) = e^{-\frac{2679.69}{1781} 0.60} \Rightarrow R(MTBF) = 27\%$$

La courbe dans la figure.V.12 donne l'allure de la fonction de fiabilité.

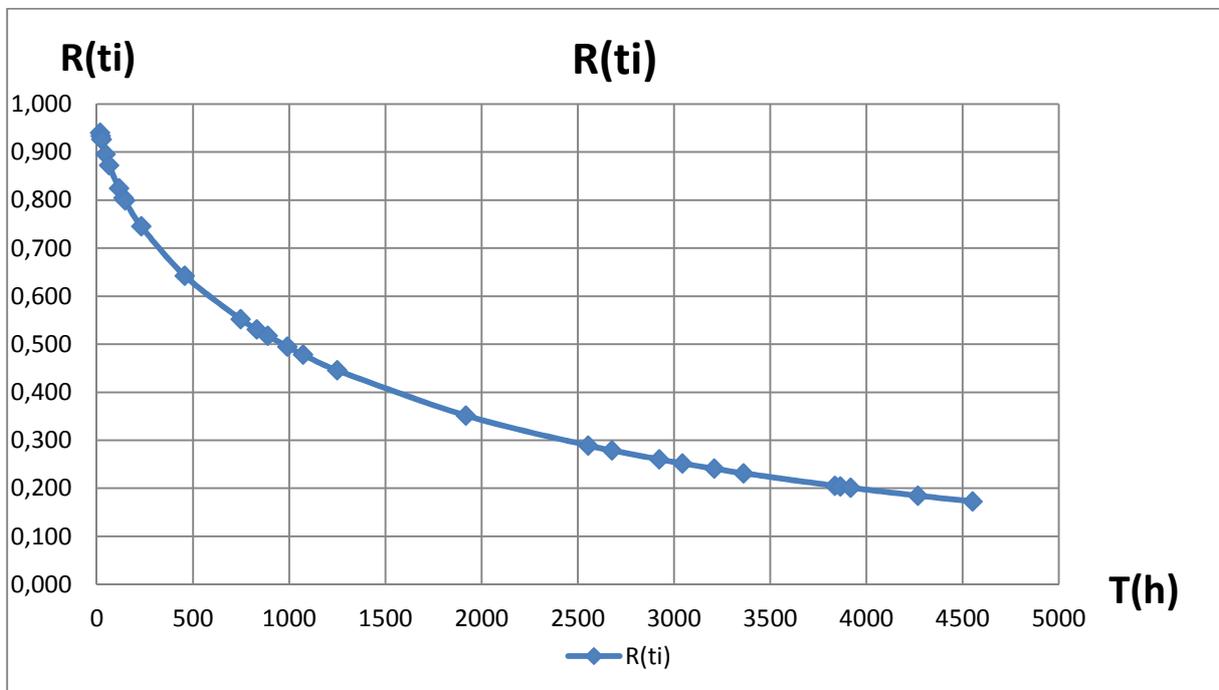


Figure.V.12 La fiabilité en fonction de t

Interprétation :

On observe dans cette courbe que la fiabilité (probabilité de bon fonctionnement) du compresseur 'K101/A' diminue avec le cumul du temps de bon fonctionnement, ce qui prouve que le compresseur a enduré plusieurs anomalies, pannes et arrêts. Ces facteurs influent absolument sur les autres compresseurs B et C pendant leurs mises en service ainsi que les autres équipements du cycle de réfrigération tel que le bac de stockage.

V.5.5. La fonction de répartition :

$F(t)$ est la probabilité que le dispositif soit en panne à l'instant 't'.

On a utilisé l'équation décrite ci-après, et en utilisant MTBF : (la courbe dans la figure V.13 donne l'allure de la fonction de répartition)

$$F(t) = 1 - e^{-\frac{t-\gamma}{\eta} \beta} \Rightarrow F(t) = 0.72$$

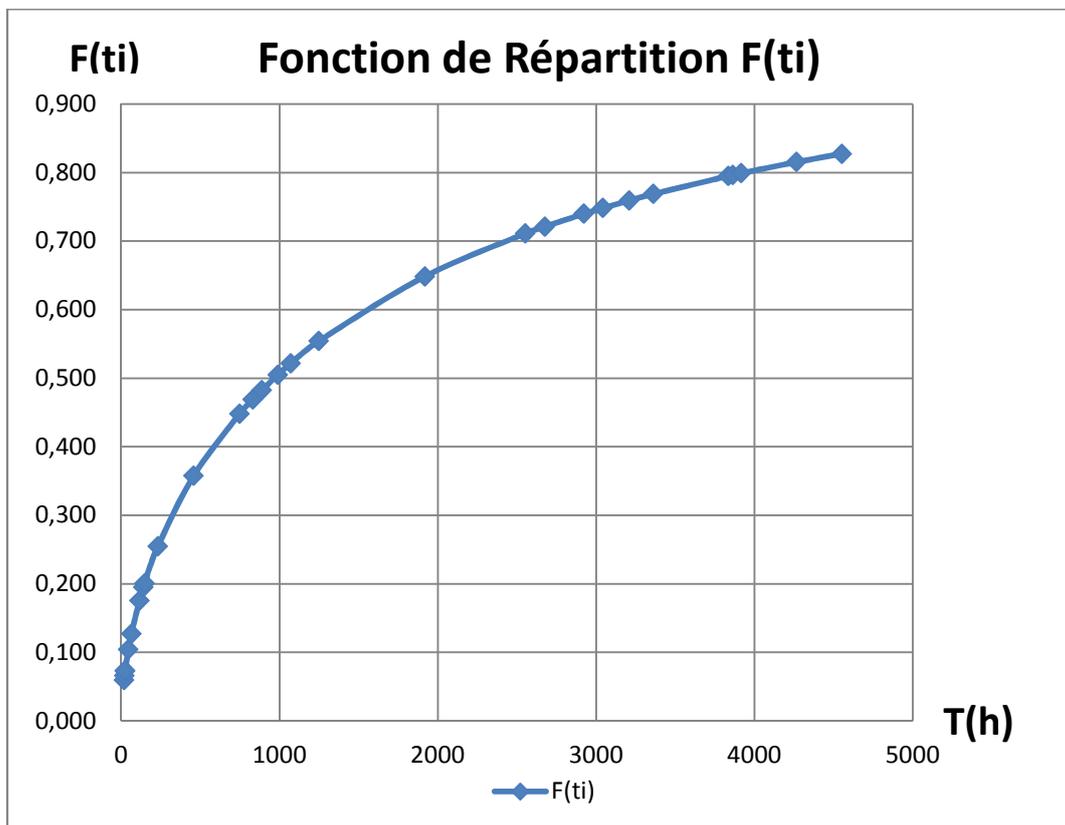


Figure.V.13 La fonction de répartition

Interprétation :

On peut remarquer que la courbe de la fonction de répartition augmente avec le cumul temps de bon fonctionnement. Par conséquent plus la fiabilité diminue plus le risque d'une panne ou arrêt peut survenir, c'est une relation inverse puisque : $F(t) = 1 - R(t)$.

V.5.6. Taux de défaillance :

Taux de défaillance : $\lambda = \frac{1}{MTBF} = 0,00037 D/h$

C'est la probabilité de défaillance dans unité de temps d'un dispositif qui était en bon fonctionnement au début de temps :

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

La courbe dans la figure donne l'allure du taux de défaillance en fonction du temps de bon fonctionnement.

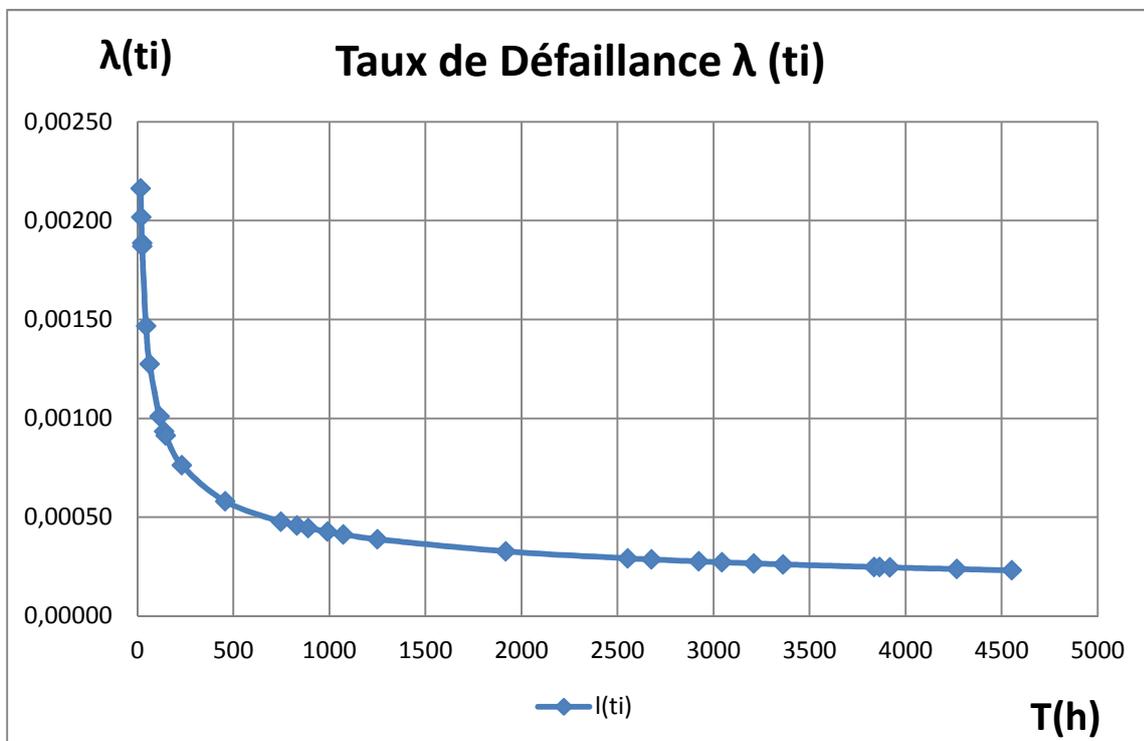


Figure.V.14 Le taux de défaillance en fonction de TBF (instantanée)

Interprétation :

Le risque de défaillance diminue avec le cumul de temps de bon fonctionnement on parle de 'mortalité infantile', le compresseur subit des défauts de jeunesse ou des défaillances précoces.

V.5.7. Densité de probabilité des défaillances :

C'est la probabilité d'avoir une seule défaillance dans le temps t, elle est définie par :

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

La courbe dans la figure.V.15 montre l'allure de la densité de probabilité de défaillance en fonction du temps de bon fonctionnement :

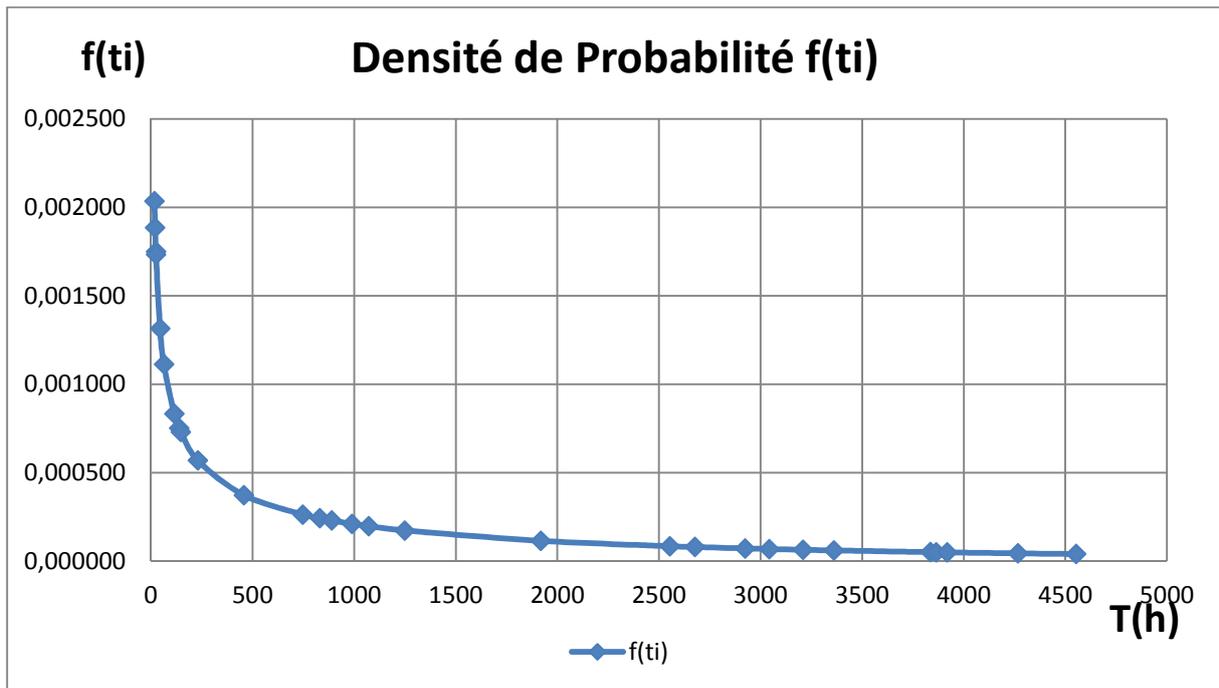


Figure.V.15 La densité de probabilité de défaillance

Interprétation :

On constate que la courbe est décroissante en fonction du cumul de temps de bon fonctionnement. La décroissance débute avec une valeur maximal de $f(t_i)=0,020$ d'où, il est probable que le compresseur subit une défaillance après cette valeur.

V.5.8. Etude de la Maintenabilité :

$M(t)$ exprime la probabilité qu'une intervention ait une durée $TTR < t$, ou que le système est en panne :

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

Temps d'intervention pour n pannes / Nombre de pannes \Rightarrow MTTR=20.11 h

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{20,11} \Rightarrow \mu = 0,049 \text{ intervention/h}$$

Chapitre V : Etude FMD des compresseurs K101/A/B/C du bac de stockage d'ammoniac

$$M(\text{MTTR}) = 1 - e^{-0,049 \times 20,11} = 0,626 \Rightarrow M(\text{MTTR}) = 62,6\%$$

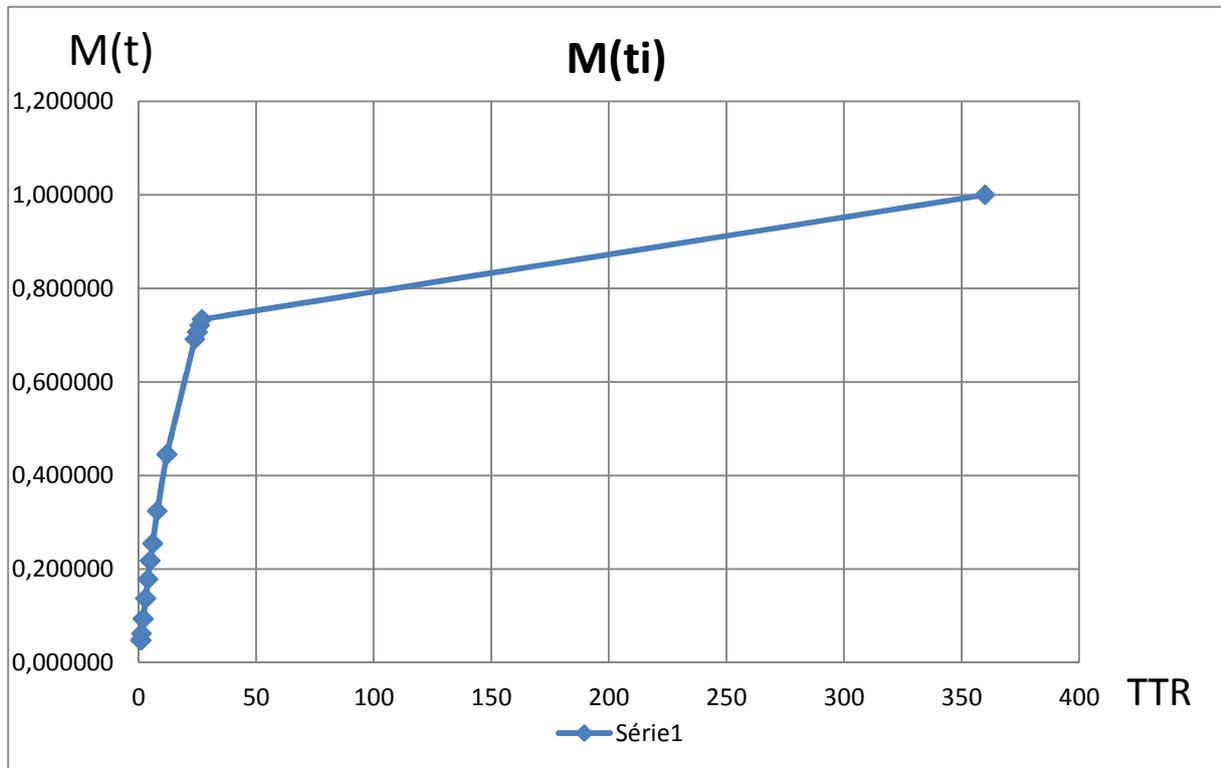


Figure.V.16 La maintenabilité en fonction du TTR

Interprétation :

L'allure de la courbe est ascendante avec le cumul de temps de réparation. On remarque que l'intervalle entre le temps de réparation qui se situe entre 0.72 et 1 n'est pas régulier cela signifie que le compresseur est maintenable, mais avec un facteur temps très important. En revanche le but est de minimiser le temps de réparation avec un taux de maintenabilité élevée.

V.5.9. Etude de la Disponibilité :

V5.9.1 Disponibilité instantanée :

Avec les taux de défaillance λ et de réparation μ constants et indépendants du temps :

$\lambda = \frac{1}{\text{MTBF}}$ et $\mu = \frac{1}{\text{MTTR}}$ On définit la disponibilité instantanée d'un système par :

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

- Taux de défaillance : $\lambda = \frac{1}{MTBF} = 0.00037 \text{ panne/h}$
- Taux de réparation : $\mu = \frac{1}{MTTR} = 0.049 \text{ inter/h}$
- (D)MTBF = 99,3%

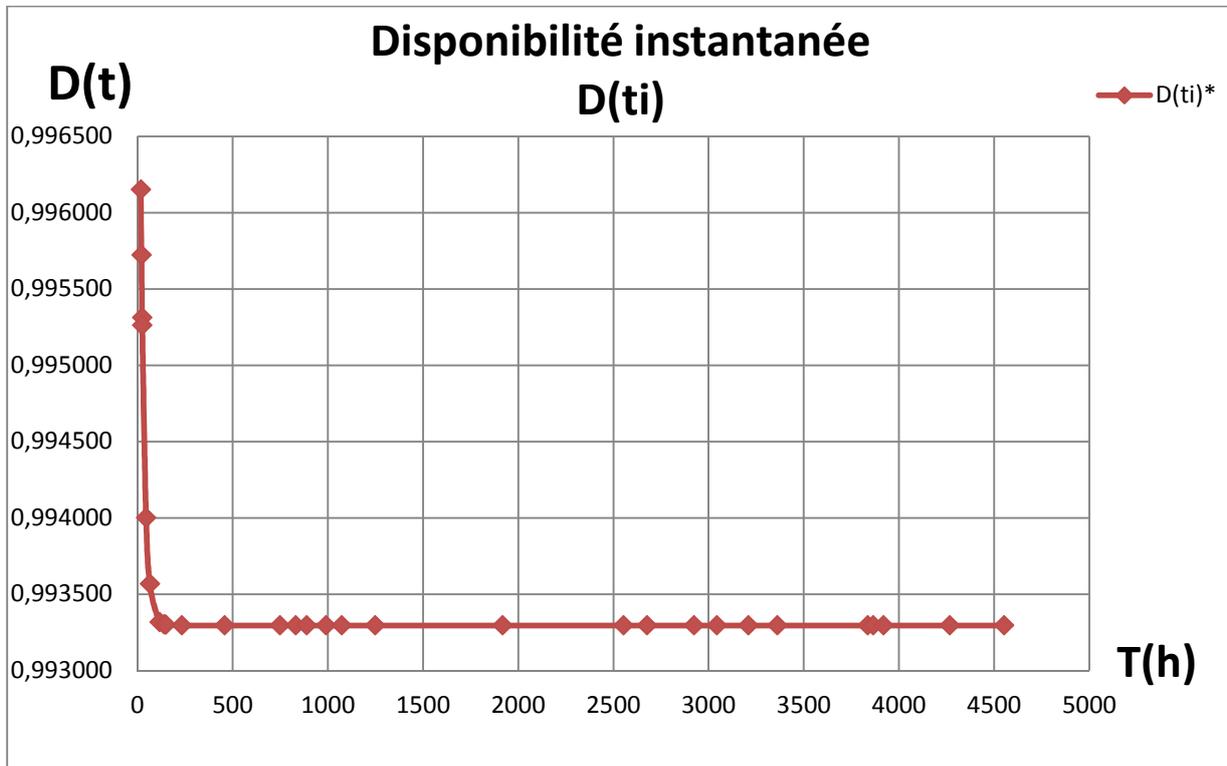


Figure.V.17 La disponibilité en fonction de TBF

Interprétation :

L'allure de la courbe figure.V.17 de la disponibilité instantanée est descendante en fonction des cumuls de temps de bon fonctionnement ce qui signifie que l'indisponibilité du compresseur K101/A relativement augmente avec le temps avec une fiabilité tout à fait faible $R(MTBF) = 27\%$.

V.5.9.2 Disponibilité intrinsèque :

Pour un équipement (compresseur), il existe une limite de disponibilité D_{∞} au même titre qu'il existe une limite de performance de production (temps de cycle ou cadence) qui est mieux connue que D_{∞} .

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

En sachant que : $MTTR = 20,11h$ et $MTBF = 2679,69h$ donc :

$$D_i = \frac{2679,69}{2679,69 + 20,11} \Rightarrow D_i = 0,9925$$

Avec un rapport de maintenance de : $\frac{MTTR}{MTBF} = \frac{20,11}{2679,69} = 0,0075$

V.6. Conclusion :

La courbe de Pareto obtenue pour les trois compresseurs montre clairement l'importance du temps d'arrêt du compresseur K101/A par rapport aux autres. À travers le précédent calcul, il a été démontré que l'utilisation de la loi de WEIBULL est nécessaire comme modèle mathématique pour décrire le comportement d'un système mécanique. Ceci a permis de déterminer les principaux indicateurs de maintenance et que le système a subi des défaillances précoces et des défauts après l'installation.

Enfin, pour un objectif concret de développement et d'amélioration du compresseur en question. Les indicateurs à optimiser sont les suivants :

- Augmentation de la fiabilité
- Réduction des temps d'arrêts, d'interventions et augmentation de la maintenabilité
- Diminution du taux de défaillance
- Amélioration du temps de bon fonctionnement
- Mise en œuvre d'une politique de maintenance et de fonctionnement pour les compresseurs.

CHAPITRE VI
RECOMMANDATIONS
DE MAINTENANCE
POUR LES
COMPRESSEURS K101

Chapitre VI : Recommandations de maintenance pour les compresseurs K101

VI.1. Introduction :

Dans l'environnement concurrentiel actuel, la veille organisationnelle, la remise en cause des méthodes de travail et la recherche d'amélioration permanente de la maintenance sont vitales pour les entreprises.

La maintenance est l'une des fonctions de l'entreprise, mais elle n'est pas une fin en soi, elle ne s'arrête pas aux entretiens régulier, dépannage ou même les actions corrective sur les équipements et les machines. Au contraire elle est évolutive. À ce titre, elle est peu lisible et parfois méconnue des décideurs qui sous-estiment son impact sur l'exploitation des équipements. Et pourtant, elle devient une composante de plus en plus sensible de la performance de l'entreprise. Il est important d'implanter une politique de maintenance organisé et rigoureuse avec une technologie compacte pour la survie de l'entreprise sur plusieurs aspects (techniques et financiers).

Dans le présent chapitre sont proposées certaines recommandations organisationnelles basées sur des méthodes de qualité normalisée et des outils de maintenance pour les compresseurs de réfrigération K101/A/B/C.

VI.2. Localiser les équipements critiques :

La notion d'équipement critique est essentielle dans l'activité de maintenance. C'est un critère très puissant qui est utilisé très souvent dans l'industrie, une attention toute particulière sera accordée à ces équipements.

Pour déterminer la criticité d'un équipement, un certain nombre d'outils sont disponibles. Tout en partant de l'exploitation de l'historique des pannes ou de maintenance (GMAO).

Les outils et les méthodes les mieux adaptés que FERTIAL peut mettre en œuvre par l'équipe de la maintenance sont cité ci- après :

VI.2.1 Diagramme de Pareto :

Le diagramme de Pareto permet de localiser rapidement les équipements qui tombent le plus souvent en panne. L'analyse est réalisée en exploitant directement les temps de panne des équipements qui peuvent être issus de la GMAO. (Un outil que nous avons employé dans le chapitre précédant)

Le diagramme de Pareto est la courbe du total des temps d'arrêts en fonction du nombre d'interventions. Les interventions les plus longues doivent être représentées les premières.

VI.2.2. La Méthode QQQQCP :

Toute entreprise est confrontée à des problèmes aussi variés, certains ont des solutions évidentes. D'autres sont plus complexes, et nécessitent une grande compréhension de la

Chapitre VI : Recommandations de maintenance pour les compresseurs K101

situation. La méthode QQQQCP permet d'avoir sur toutes les dimensions du problème, des informations élémentaires suffisantes pour identifier ses aspects essentiels.

Elle adopte une démarche d'analyse critique constructive basée sur le questionnement systématique.

QQQQCP : Quoi? Qui? Où? Quand? Comment? Pourquoi?

1 - Quoi?

On pose cette question pour une meilleure description de l'activité ou de la tâche ou du problème.

2 - Qui?

Cette question permet une meilleure description des exécutants, acteurs ou personnes concernées.

3 - Où?

Cette question concerne la description des lieux.

4 - Quand?

On pose cette question pour bien définir les temps

5 - Comment?

Pour une meilleure description de la manière ou de la méthode

6 - Pourquoi?

Cette question peut se poser à la suite des autres questions mais il convient aussi de la poser pour toutes les questions Quoi ? Qui ? Où ? Quand ? Comment ?

Pour mener une analyse critique, à chaque réponse des questions précédentes se demander Pourquoi.

VI.2.3. L'AMDEC :

L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) est une méthode d'analyse prévisionnelle de la fiabilité[3] qui permet de recenser les modes de défaillances potentielles dont les conséquences affectent le bon fonctionnement du moyen de production, de l'équipement ou du processus étudié, puis d'estimer les risques liés à l'apparition de ces défaillances, afin d'engager les actions correctives ou préventives à apporter lors de la conception, de la réalisation ou de l'exploitation du moyen de production, du produit ou du processus.

Chapitre VI : Recommandations de maintenance pour les compresseurs K101

Il s'agit d'une technique d'analyse exhaustive (qui permet d'analyser à la fois les causes, les effets et leurs modes de défaillances) et rigoureuse de travail en groupe. Cette méthode est très efficace dès lors que l'on met en commun l'expérience et la compétence de chaque participant du groupe de travail.

L'AMDEC peut s'appliquer à tous les systèmes risquant de ne pas tenir les objectifs de fiabilité, maintenabilité, qualité du produit fabriqué et/ou de sécurité.

On différencie plusieurs types d'AMDEC :

- L'AMDEC PRODUIT : Elle sert à assurer la fiabilité d'un produit en améliorant sa conception.
- L'AMDEC PROCESSUS : Assure la qualité d'un produit en améliorant les opérations de production de celui-ci.
- L'AMDEC MOYEN DE PRODUCTION : Elle assure la disponibilité et la sécurité d'un moyen de production en améliorant sa maintenance.

Pour réaliser une AMDEC, il faut bien connaître le fonctionnement du système, du processus ou du produit analysé ou, à défaut, avoir les moyens de se procurer l'information auprès de ceux qui la détiennent.

La méthode AMDEC se déploie en 4 étapes :

- La préparation
- La décomposition fonctionnelle
- La phase d'analyse
- La mise en place et le suivi des plans d'actions

VI.2.4. Diagramme d'Ishikawa (diagramme causes/effets) :

Encore appelé « Diagramme de poisson » ou « Méthodes des 5 M (Méthodes, Milieu, Matière, Maintenance ou Main d'œuvre, Moyens ou Machines) » dont le but est de formuler collectivement les causes d'un problème (figure IV), de déterminer avec précision les situations à problèmes, puis de lister toutes les causes pour ensuite les classer en famille afin de les positionner sur le diagramme. Pour arriver au 6M ou 7M, on ajoute:

- Management
- Moyens financiers.

Chapitre VI : Recommandations de maintenance pour les compresseurs K101

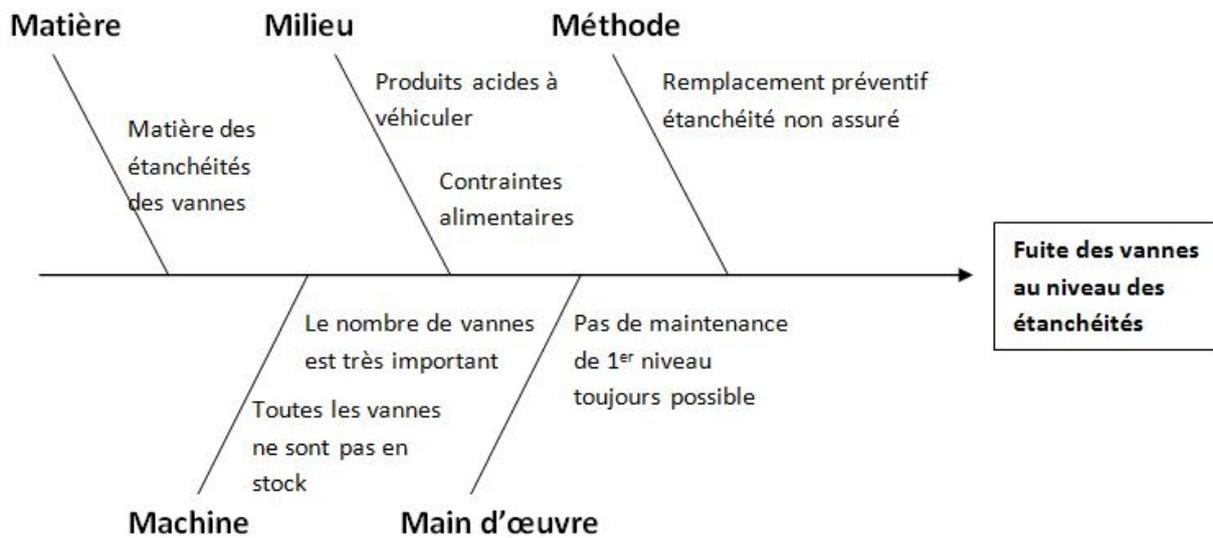


Figure IV.1 Diagramme d'Ishikawa

VI.2.5. Brainstorming (LE REMUE- MENINGES):

Méthode collective de recueil d'idées sur un problème donné afin de faciliter la recherche de ses causes et /ou des solutions et permettant de produire un maximum d'idées par expression libre des membres du groupe (identification des problèmes, recherche des causes, proposition de solutions).

Ses principaux objectifs sont :

- Engendrer des idées nouvelles,
- Révéler des connaissances cachées,
- Provoquer des réflexions par association d'idées

VI.2.6.TPM :

Comme son nom l'indique, la Total Productive Maintenance est une activité de maintenance à participation globalisée inscrite dans une dynamique productive [11].

Elle implique tous les acteurs et composantes de l'entreprise dans la recherche de la marche optimale des systèmes. La maintenance détient donc un rôle déterminant puisqu'il ne peut y avoir de fonctionnement global optimal sans le souci constant d'un outil de production dans un état irréprochable.

La disponibilité n'est pas, là, le critère de référence, c'est le rendement global qui devient l'objectif premier. Celui-ci implique la chasse aux pertes et gaspillages dans tous les domaines temps, énergies, matières d'œuvre, éléments de rechange ...

Chapitre VI : Recommandations de maintenance pour les compresseurs K101

Ainsi, la fonction maintenance n'est plus physiquement concentrée et isolée en un seul service mais elle est l'affaire d'un plus grand nombre, des utilisateurs aux responsables des investissements.

Dans ce cadre, pour motiver la participation et l'implication de tous les acteurs, le management se fait par cercles de réflexion composés d'agents directement concernés par la notion de missions et par les orientations à prendre.

Pour ce qui concerne la maintenance en particulier, le caractère participatif de la TPM s'exprime de manière la plus visible par la délégation des tâches les plus simples (niveaux I et II) vers les opérateurs de conduite des machines.

VI.2.6.1 Conditions de mise en place de la TPM :

L'adoption d'une politique de TPM crée un changement sensible dans les habitudes de travail, principalement dans les ateliers.

Un certain nombre de conditions sont donc nécessaires pour envisager la mise en place d'une TPM :

- Avoir un système de management participatif
- Le travail de groupe doit être très développé
- Les postes de travail doivent être stables
- Le parc de documentation doit être existant et utilisable facilement
- La communication entre la production et la maintenance doit être bonne
- Le personnel de fabrication doit être intéressé (et formé)

VI.2.6.2. Les étapes de la TPM :

- Constitution des groupes de progrès (par machine)
- Formation du personnel
- Nettoyage, rangement (démarche 5S)
- Mesures de TRS
- Auto-inspection : c'est le début de l'auto-maintenance (l'opérateur prévient la maintenance)
- Auto-maintenance

VI.2.6.3. Les tâches de l'auto-maintenance :

La délégation de certaines tâches vers les opérateurs se fait progressivement et l'organisation est bâtie collectivement, par l'ensemble des acteurs, lors d'échanges au cours de ce que l'on peut nommer des cercles TPM :

- **Le nettoyage :**

Il permet de repérer des anomalies dans tous les domaines :

- mécanique : desserrage, début de rupture, usure de pièces, blocage ou point dur, corrosion, fissure, rayures, ...

Chapitre VI : Recommandations de maintenance pour les compresseurs K101

- électrique : fil desserré, isolant endommagé, surchauffe locale, ...
- pneumatique, hydraulique : fuite (huile ou air), pincement de tuyau, vérin endommagé, ...

- **Le graissage :**

Pour les systèmes à dominante mécanique, un graissage convenablement pratiqué est une garantie de bon fonctionnement.

- **Les resserrages :**

Jugés nécessaires lors d'inspections, de nettoyages ou en marche normale, ils sont effectués dès le constat. Les desserrages, par les vibrations qu'ils permettent, sont souvent en cause dans des dérives de qualité ou l'apparition de défauts fortuits inexplicables.

- **Les inspections quotidiennes :**

Elles sont de préférence pratiquées, s'il y a lieu, avant la mise en œuvre. A partir d'une liste d'opérations précisément décrites, l'opérateur procède à une série de contrôles visuels, manuels avec ou sans outillage ou appareillage. Leur but est de déceler l'apparition d'un paramètre non conforme et donc potentiellement source d'incident.

VI.2.6.4. Les indicateurs de la TPM : TRS, TRG, et TRE :

1) TRS = Taux de Rendement Synthétique :

Le TRS est un outil qui permet d'évaluer la qualité de l'ensemble du processus de production. On montre, par le calcul de divers indicateurs, les points à améliorer et leur influence sur le processus complet.

$$\text{TRS} = \text{Tu} / \text{Tr} \quad \text{avec} \quad \begin{array}{l} \text{Tu} : \text{Temps utile} \\ \text{Tr} : \text{Temps requis} \\ \text{T} : \text{Temps total} \end{array}$$

Ou :

2) TRG = Taux de Rendement Global :

Le TRG est un indicateur de productivité de l'organisation industrielle.

$$\text{TRG} = \text{Tu} / \text{To} \quad \text{avec} \quad \begin{array}{l} \text{Tu} : \text{Temps utile} \\ \text{To} : \text{Temps d'ouverture} \end{array}$$

3) TRE = Taux de Rendement Economique :

Le TRE est l'indicateur d'engagement des moyens de production et permet au dirigeant d'affiner la stratégie d'organisation de l'entreprise.

$$\text{TRE} = \text{Tu} / \text{Tt} \quad \text{avec} \quad \begin{array}{l} \text{Tu} : \text{Temps utile} \\ \text{Tt} : \text{Temps total} \end{array}$$

VI.2.7. Les 8D (8 Do) :

La résolution complète et efficace des anomalies et non-conformités nécessite l'utilisation d'une méthode qui permet de ne pas passer à côté de certaines étapes clés. La méthode est nommée « 8D, ou « 8 DO » ou encore « 8 Disciplines » car elle comporte huit étapes. C'est

Chapitre VI : Recommandations de maintenance pour les compresseurs K101

une méthode qui est orientée vers le travail en équipe pour résoudre les problèmes de manière structurée. Les 8 étapes sont les suivantes :

- 1D : Constitution d'un groupe d'action corrective et nomination de l'animateur
- 2D : Définition du problème à traiter
- 3D : Mise en place des mesures de sauvegarde et/ou des actions curatives
- 4D : Recherche des causes du problème
- 5D : Sélection des actions correctives
- 6D : Mise en place des actions correctives retenues
- 7D : Actions préventives
- 8D : Mesure de l'efficacité des actions engagées, reconnaissance du travail de l'équipe, clôture du dossier.

VI.2.8. PDCA (dite Roue de Deming) : C'est une démarche d'anticipation et un moyen de piloter efficacement des projets importants pour l'entreprise.

1. Plan/Prévoir
2. Do/Faire
3. Check/Vérifier
4. Act/Réagir

VI.2.8. LE BENCHMARKING (ANALYSE COMPARATIVE) :

C'est un processus continu et systématique d'évaluation des produits, des services et des méthodes par rapport à ceux des concurrents".

Le Benchmarking est une méthode qui a été développée au début des années 80 par la société Xerox pour une prise de décision concernant un investissement lourd destiné à moderniser la gestion des stocks. Il consiste à "trouver, au niveau mondial, l'entreprise ou les entreprises qui réalisent de la manière la plus performante un processus ou une tâche donnée, d'aller l'étudier ("benchmarker ces entreprises") et d'adapter ensuite ce processus à sa propre entreprise".

Pour une entreprise, il s'agit de se comparer aux "Leaders" qui se positionnent sur le marché, de s'inspirer de leurs idées, de leurs pratiques, de leurs fonctionnements et de leurs expériences afin que les pratiques en interne s'améliorent".

VI. 3. Les inconvénients de la sous-traitance :

Durant le stage, j'ai remarqué que l'entreprise dépend très souvent des sous-traitants en ce qui concerne les travaux de maintenance pour les compresseurs K101, ainsi que les autres équipements de l'unité d'ammoniac. Cette dépendance totale pour les actions de maintenance

Chapitre VI : Recommandations de maintenance pour les compresseurs K101

(Révision mécanique, changement de PDR etc....) créa des points négatifs qui ont des conséquences sur le personnel de maintenance et la gestion de l'entreprise ;

- Négligence d'inspection régulière ou entretien.
- Une augmentation du temps de réparation et l'indisponibilité des compresseurs ou d'autres équipements.
- Un sous-traitant n'est pas forcément motivé pour améliorer la qualité du produit.
- Perte de savoir-faire.
- Perte de contrôle sur les coûts et les délais (évaluation des solutions internes avant de penser à l'externe).

Pour ces raisons l'entreprise doit :

- Répartir les tâches de maintenance (minimiser les contrats de maintenance) entre le sous-traitant et l'entreprise.
- Suivi des actions de maintenance du sous-traitant sur les compresseurs et les autres équipements.
- Prise en charge des inspections et des actions de maintenance tels que : les révisions mécanique, le changement des PDR, application de la maintenance conditionnelle
- Mise en œuvre des formations spécialisées pour le personnel de maintenance en ce qui concerne la maintenance des compresseurs de réfrigération.

VI.4. Visions à long terme :

Le rêve de tout décideur d'entreprise est de promouvoir une maintenance moins dépensière et plus efficace. Mais ce même décideur pratique trop souvent une gestion à court terme, le regard fixé sur le compte d'exploitation de l'année. Or ni la maintenance du parc, ni les investissements liés à la mutation des compétences, ni le développement de projets restructurant ne sont prioritaires ni même rentables dans une vision à court terme.

Pourtant, les actions à mener sur les équipements comme sur les compétences, ainsi que le déploiement de nouvelles organisations représentent des enjeux sur le futur proche : les négliger se paiera cher ultérieurement. Bien des responsables de maintenance en sont conscients, sachant que le matériel dont ils ont la responsabilité est engagé pour 10, 15 ans ou plus. Par contre, certains dirigeants d'entreprises, n'ont pas la même conscience du coût du cycle de vie d'une installation. Ils sous-estiment souvent l'impact d'une bonne maintenance sur l'efficacité et la durabilité du capital productif.

VI.5. Planification de la maintenance préventive :

La gestion de maintenance assistée par ordinateur couvre le planning des charges en donnant les dates initiales de lancement des fiches ou des gammes de maintenance préventive. Il offre plusieurs manières de gérer l'ordonnancement et suivre l'application. Dans la figure (IV.2) nous montrons le circuit des dossiers de la maintenance préventive dans une entreprise.

Chapitre VI : Recommandations de maintenance pour les compresseurs K101

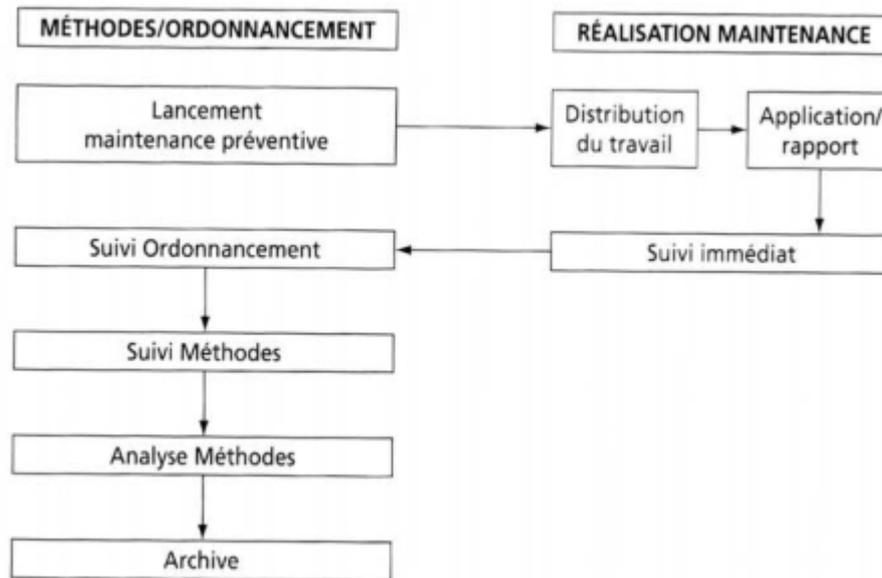


Figure IV.2 Circuit des dossiers de la maintenance préventive

VI.5.1. Etablissement du planning :

Plusieurs méthodes de planning de la maintenance préventive et des interventions assure parfaitement l'ordonnancement des tâches tel que :

- Diagramme de Gantt (logiciel): le plus facile à établir pour planifier la totalité des travaux. Pour des travaux complexes et longs nécessitant plusieurs corps de métier, il est préférable d'établir un dossier complet de préparation du travail.
- Ms Project : pour suivre les tâches et la bonne conduite du projet de maintenance.
- Primavera : est un logiciel destiné pour l'industrie afin de garantir le management des projets et des programmes.

VI.5.2 Contrôles non destructifs :

Application de la maintenance conditionnelle pour suivre l'état et le rendement sur les compresseurs K101/A/B/C, les méthodes moins coûteuses et qui peut être réalisé par l'entreprise sont :

VI.5.3. L'analyse des huiles :

Le lubrifiant est comparable au sang de la machine. Il reflète le comportement et l'état du système dans lequel il circule. Le suivi de ses caractéristiques physico-chimiques permet d'apprécier l'état de dégradation de l'huile et de connaître son aptitude à remplir totalement ses fonctions initiales de lubrification. L'évolution de cette dégradation peut être un indicateur

Chapitre VI : Recommandations de maintenance pour les compresseurs K101

des conditions d'exploitation de l'équipement. Elle va permettre d'optimiser les fréquences des vidanges, dans le cas de quantités importantes.

Le suivi de la contamination permet :

- de situer l'organe défectueux, d'apprécier l'évolution et le type d'usure dans le cas d'une pollution par des particules internes ;
- d'apprécier la nature et l'origine des agents extérieurs.

On prend comme référence les caractéristiques de l'huile neuve et on compare les résultats obtenus à chaque analyse. Si l'on constate une évolution brutale des caractéristiques ou si l'on atteint des valeurs trop éloignées des valeurs initiales, il faut soit intervenir au niveau de matériel, soit remplacer l'huile.

L'emploi de l'huile convenable spéciale recommandée et exigée par le constructeur joue un facteur très important sur le ralentissement de la dégradation du rendement des compresseurs, pour cela il faut éviter de mettre les huiles non normalisées. Plusieurs techniques d'examen de l'huile peuvent donner le statut de la machine :

- Observation de la couleur.
- Sensation de l'odeur.
- Test de l'huile à la tache.
- Appareils spéciaux portatifs d'analyse.
- Examen en laboratoire.(détection de l'eau ou de métaux d'usure)

La fréquence moyenne de prélèvement de l'huile pour les compresseurs frigorifique rotatifs à vis est de 1500 heure de fonctionnement en continue ou intermittent.

VI.5.4. Analyse vibratoire :

Les vibrations d'une machine peuvent être considérées comme une manifestation extérieure des forces internes. En effet l'analyse de leurs signaux donne des informations sur les processus de dégradations internes.

Il existe deux niveaux d'investigation :

- la mesure de niveau global permet de qualifier un état général par comparaison à des normes ou à des mesures précédentes ;
- l'analyse spectrale permet de diagnostiquer l'origine des défauts et de suivre l'évolution en fonction du temps.

Tout phénomène vibratoire se manifeste par l'un des trois paramètres suivants :

- *déplacement*: phénomène de basse fréquence dont la gamme d'analyse va de 0 à 200 Hz (balourd, fouettement...)
- *vitesse*: phénomène de moyenne fréquence dont la gamme d'analyse va de 0 à 1 000 Hz (balourd, alignement, chocs, aubages...)

Chapitre VI : Recommandations de maintenance pour les compresseurs K101

- *accélération* : phénomène de haute fréquence dont la gamme d'analyse va de 0 à 10 000 Hz (roulements, engrènements, turbulence...).

La mesure de niveaux globaux de ces trois paramètres permet d'apprécier l'état de la machine :

- l'évolution significative d'une dégradation ;
- la comparaison à des seuils.

VI.5.5. Thermographie infrarouge :

Tout corps dont la température est supérieure à zéro degré absolu émet un rayonnement électromagnétique. Et on est capable de détecter ce rayonnement sous la forme de sensation de chaleur.

La thermographie infrarouge est la technique permettant de mesurer, par l'intermédiaire d'un détecteur, la puissance du rayonnement électromagnétique dans le spectre des infrarouges, émis par chaque point d'une scène ou d'un objet observé. Le détecteur ou caméra infrarouge reçoit ce rayonnement, le convertit en signal électrique et reconstitue sur un écran une image thermique visible de l'objet émetteur. Cette image est le thermogramme.

Le thermogramme est constitué par l'ensemble des points de valeurs de mesures thermiques. Des valeurs thermiques (en °C) sont obtenues par transcription des valeurs radiométriques données par la caméra infrarouge.

VI.6. Proposition d'un programme de maintenance préventive pour les compresseurs K101 :

- Une Surveillance quotidienne : (Surveillance des paramètres avec une vérification hebdomadaire) :
 - Pression de refoulement du compresseur ;
 - Pression d'aspiration du compresseur ;
 - Pression d'huile de lubrification ;
 - Vérification de fuite de garniture.

Si la fuite est importante, la garniture est à remplacer. Consulter le débit de fuite prescrit par le constructeur.

- Une vérification mensuelle :
 - Température de refoulement ;
 - Température d'aspiration ;
 - Température d'huile ;
 - Température de l'eau en sortie de condenseur (effectuer une purge du condenseur si la température de refoulement est égale à celle de l'eau en sortie de condenseur) ;
 - Intensité consommée.

Chapitre VI : Recommandations de maintenance pour les compresseurs K101

- Vérifications diverses :
 - fuite de la garniture de la pompe de lubrification ;
 - fuites diverses (gaz ou eau) ;
 - graissage des paliers du moteur du compresseur (la périodicité dépend des roulements)
 - contrôle du niveau d'huile du carter du compresseur.
- Vérification de l'humidité du fluide frigorigène :

Cette vérification se fait en observant la couleur du voyant de liquide placé après le déshydrateur. La couleur verte signale que la quantité d'eau contenue dans le fluide est inférieure à la quantité d'eau maximale admissible, la couleur jaune signale les effets nuisibles provenant de l'humidité. Remplacer le filtre déshydrateur dès l'apparition de la couleur jaune.

Un manque de fluide ou de sous-refroidissement se signale par des bulles dans le liquide en circulation.

- Entretien 3 000 heures :

Prise d'échantillon d'huile pour l'analyse (effectuer la vidange en fonction du résultat).

- Entretien 6 000 heures :

Pour le compresseur :

- Nettoyer la crépine d'aspiration de gaz.
- Nettoyer et contrôler l'état du tamis d'injection (compresseur à vis).
- Remplacer le filtre d'huile.
- Contrôler l'alignement de l'accouplement.
- Contrôler l'état des éléments électriques et les consignes de sécurité.

- Vérification des fuites :

Les vérifications des fuites doivent se faire au moins deux fois par an. Un registre des activités d'entretien devrait indiquer les détails des vérifications de fuite, des charges, des décharges de frigorigène et les réparations.

- Détection par fluorescence :

On introduit un traceur fluorescent dans le circuit basse pression du fluide. Après homogénéisation, il suffit d'inspecter le circuit avec une lampe émettrice de rayons ultraviolet. Les points luminescents jaune-vert apparaissent à l'endroit des fuites. Ce procédé est satisfaisant pour tous les fluides frigorigènes. Elle peut détecter une fuite minimale de l'ordre de 7 g/an.

Chapitre VI : Recommandations de maintenance pour les compresseurs K101

Par précaution, il faut s'assurer qu'il n'y a pas de problème de garantie de l'équipement. Il ne faut pas utiliser l'hexafluorure de soufre pour la détection des fuites, étant donné son potentiel de réchauffement global élevé.

- Détection électronique à diode chauffée :

La détection électronique de fuites réfrigérantes comporte un détecteur électrochimique (céramique) doté d'un élément réactif maintenu à une température élevée par un réchauffeur incorporé. Lorsque le gaz réfrigérant entre en contact avec la céramique, les divers atomes composants du gaz sont séparés de la molécule et ionisés. Les flux du courant électrique créé sont dirigés vers une électrode collective.

Avec une sensibilité inférieure à 5 g/an, cette technologie est adaptée à tous les fluides frigorigènes.

VI.7. Conduite du projet :

La mise en œuvre de chacun des objectifs ci-dessus implique de conduire un projet qui ne concerne pas seulement les techniciens de maintenance, mais souvent aussi la production. Beaucoup de ces projets sont sensibles, car ils demandent une implication forte de ses acteurs. Ils engagent donc la hiérarchie technique, mais aussi la direction des ressources humaines, cela sur la durée, plus de cinq ans pour un projet TPM avant labellisation.

Ces projets ne doivent pas se superposer, sous peine de confusion et d'échec : nous avons vu un projet TPM ambitieux capoter la troisième année, parce que la direction a changé de cible, la certification ISO 9002 devenant l'objectif prioritaire. Chaque projet doit être accompagné d'un plan de communication dont l'affichage opérationnel, sur le site, permet à tous les acteurs de suivre l'évolution et les résultats.

Chapitre VI : Recommandations de maintenance pour les compresseurs K101

IV.8. Conclusion :

Dans ce chapitre on peut conclure qu'il y'a toujours des moyens, des méthodes et des techniques pour rendre la fonction maintenance plus efficace, soit pour les compresseurs K101/A/B/C ou pour n'importe quelle autre équipement de l'unité d'ammoniac.

L'entreprise peut adopter les outils et les recommandations prescrites dans ce chapitre avec la contribution de tout le personnel pour une meilleure maintenance afin d'augmenter les indicateurs de fiabilité, de maintenabilité et de disponibilité.

CONCLUSION
GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Le stage pratique au sein de l'entreprise FERTIAL-ANNABA a été une expérience professionnelle bénéfique très enrichissante par l'approfondissement de mes connaissances pratiques en maintenance Industrielle ainsi que par la découverte des différentes unités de production et particulièrement le bac de stockage d'ammoniac.

L'étude menée est fondée sur l'activité de la maintenance dans le complexe d'engrais FERTIAL à l'unité d'ammoniac-bac de stockage. Les points analysés concernent un équipement critique et stratégique pour le stockage (réfrigération), l'entreposage et le transbordement de l'ammoniac. Il s'agit des compresseurs K101/A/B/C.

Les conclusions principales que l'on peut déduire de l'étude sont :

- 1- Le programme de maintenance, d'entretien préventif et d'inspection occupent une place centrale dans les activités du complexe FERTIAL, et ce, dans l'optique d'atteindre un double objectif préventif et rendement maximal grâce à la conservation des données et l'analyse du retour d'expérience.
Le service maintenance de l'entreprise rencontre plusieurs soucis en ce qui concerne les opérations de la maintenance préventive et corrective tels que : l'organisation, dépendance de la sous-traitance, non-respect des consignes des catalogues des fournisseurs...etc.
- 2- Le bac de stockage d'ammoniac qui répond aux exigences du standard API 620 et datant de l'année 1986 peut subir des problèmes de dégradations, fatigues, fissures ou corrosion. L'entreprise a mis en priorité des actions d'inspection, de maintenance préventive et corrective pour le bac en général et pour ces accessoires en particulier afin d'éviter tous risques inattendus.
- 3- Il est important de noter que les compresseurs K101/A/B/C jouent un rôle primordial dans le système de réfrigération de l'ammoniac. Un programme de fonctionnement pour répartir les tâches entre les compresseurs est très recommandé. Il a pour but de contrôler le rendement et d'optimiser la rentabilité de ces compresseurs qui peuvent affecter toute l'installation.
- 4- L'analyse de l'historique des pannes des compresseurs a permis de déterminer que le compresseur (K101/A) a subi le plus de défaillances pendant la période allant de 2007 jusqu'à 2012. Des défaillances dues généralement à un excès d'exploitation et le non-respect des périodes de l'entretien régulier ou préventif et la non-utilisation des huiles recommandées par le constructeur.
- 5- Grâce aux lois de Pareto et de WEIBULL, l'étude FMD a permis de déterminer après une analyse des paramètres, les indicateurs de maintenance ont démontré que le compresseur K101/A a subi des défaillances précoces et des défauts après

l'installation pendant la période de jeunesse avec une valeur de fiabilité de $R(MTBF) = 27\%$. Cette valeur reste assez faible et doit en principe tourner autour de 90% par rapport à un équipement aussi neuf. Une amélioration du rendement et de fiabilité du compresseur en question est très importante en notant que les valeurs prélevées demeurent dans les limites d'exploitation.

- 6- En finalité l'amélioration et l'optimisation de la fiabilité et des indicateurs de maintenance du compresseur en question se font sous l'élaboration d'une politique de maintenance rigoureuse avec l'adoption des données de retour d'expérience, méthodes, stratégies et techniques exigées par les normes avec la contribution de tout le personnel de l'entreprise.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Documentation de l'entreprise FERTIAL, Historique de l'entreprise, Plan de qualité de l'unité d'ammoniac, 2016.
- [2] F.MONCHY, J.VERNIER, Maintenance Méthodes et organisations 3^{ème} Edition, Dunod, Paris, 2010.
- [3] A.BELHOMME, Stratégies de Maintenance, 2011.
- [4] R.CHAMAYOU, Réservoirs Métallique : stockage des liquides, Techniques de l'ingénieur 1997.
- [5] R.CHAMAYOU, Réservoirs Métallique : stockage des liquides à température contrôlée, Techniques de l'ingénieur 2010.
- [6] P. RAPIN, P.JACQUARD, J.DESMONS, Technologie des installations frigorifiques, Dunod, Paris, 2015.
- [7] T.DESTOOP, Compresseurs Volumétriques, Technique de l'ingénieur 2010.
- [8] Manuel d'instruction des compresseurs K101, SAB 87, Direction maintenance, FERTIAL Annaba.
- [9] H.FAIGNER, FMD, BTS MI, www.hubertfaigner.com.
- [10] G.LALOUX, Ingexpert, Conseil Accompagnement du Management de la Maintenance industrielle, Fiabilisation des équipements, 2008, www.ingexpert.com.
- [11] J.HENG, Pratique de la Maintenance préventive, Dunod, Paris, 2002.

ANNEXES

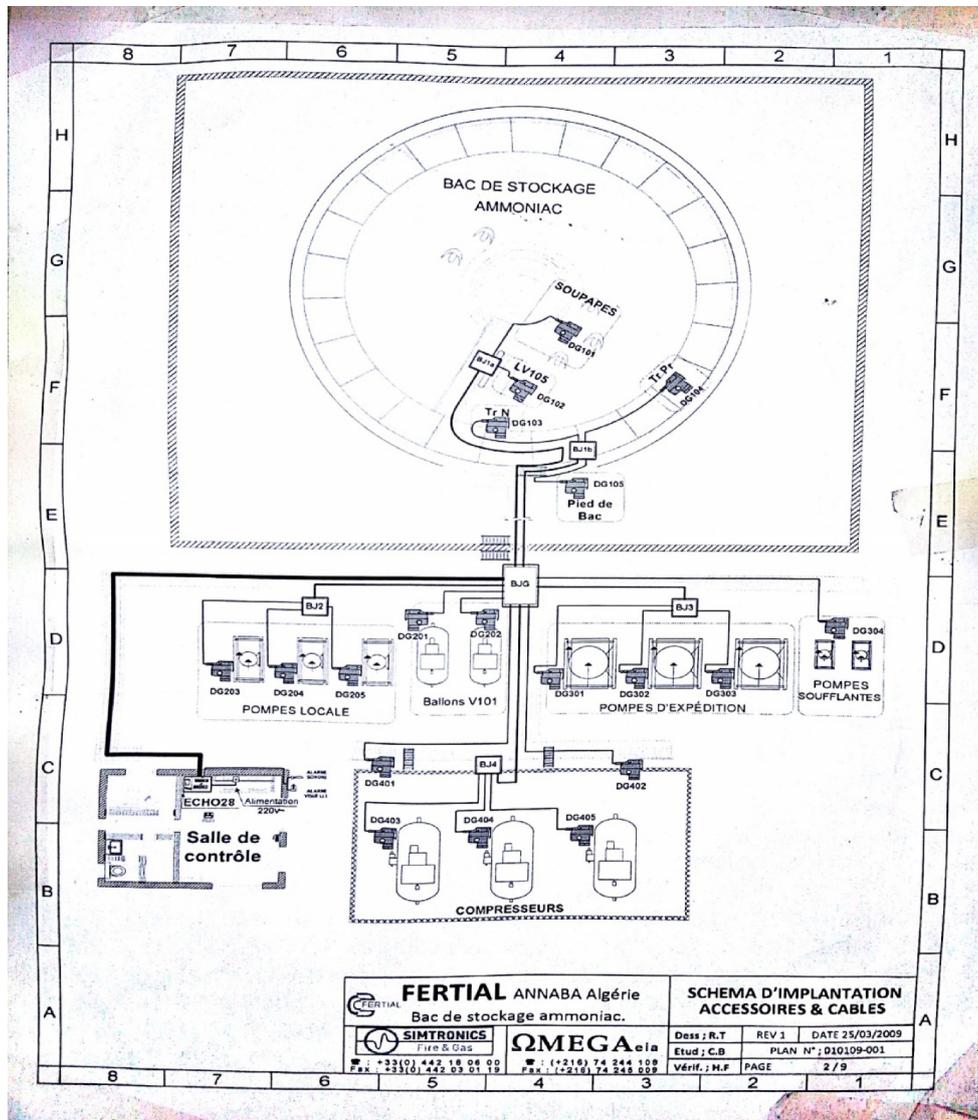


Figure 1 Schéma d'implantation accessoires et câbles (bac de stockage)

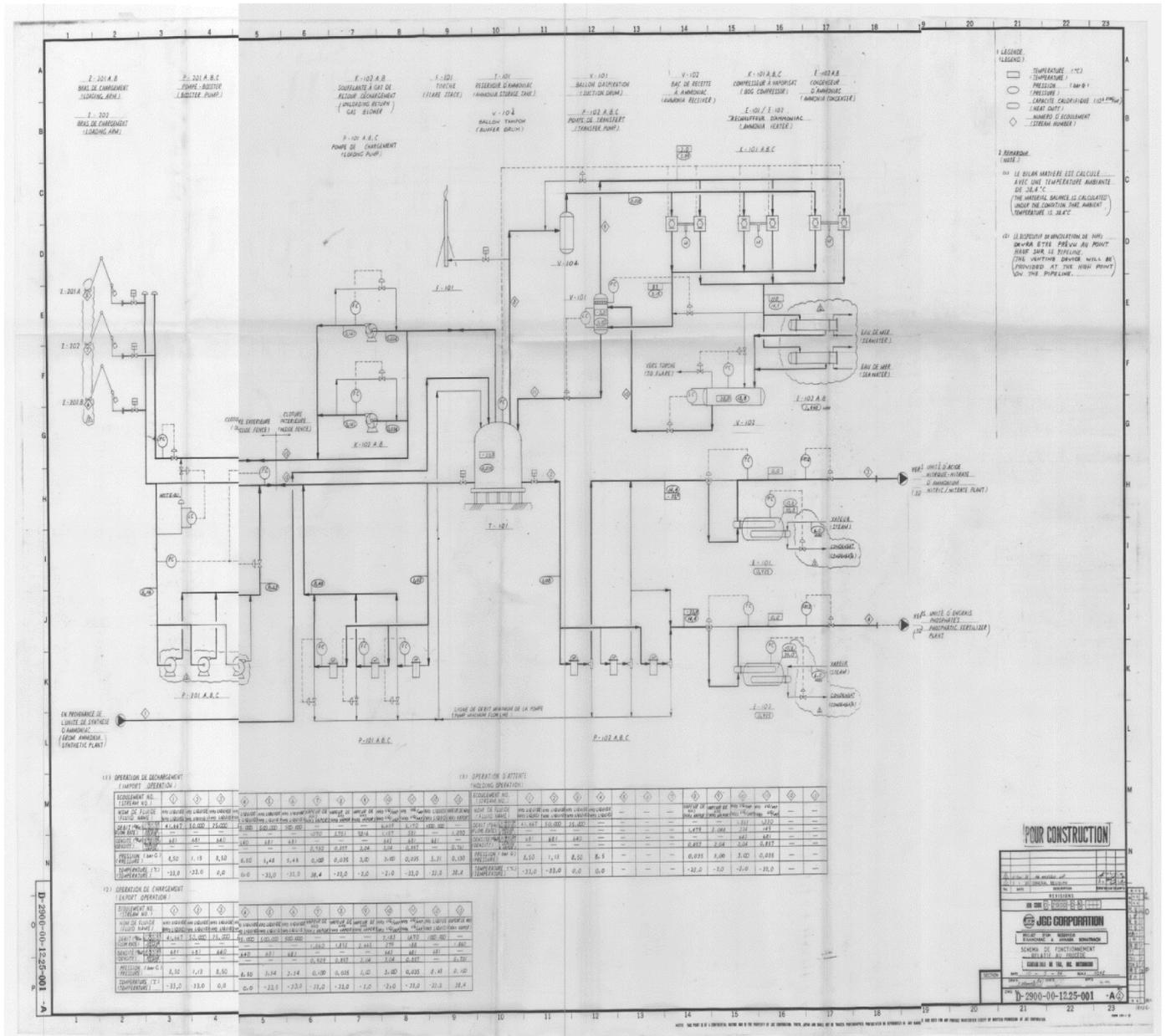


Figure 2 Plan de construction du bac de stockage d'ammoniac

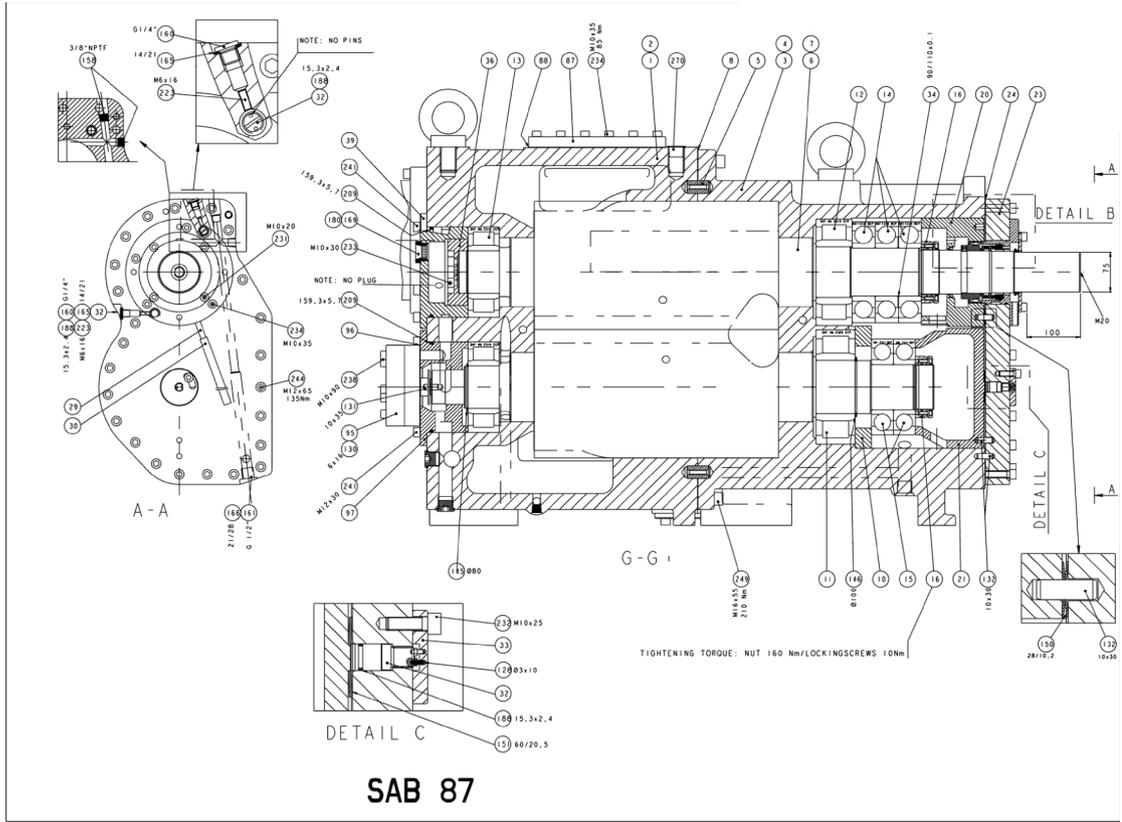


Figure 3 Schéma et liste des composants du compresseur SAB 87

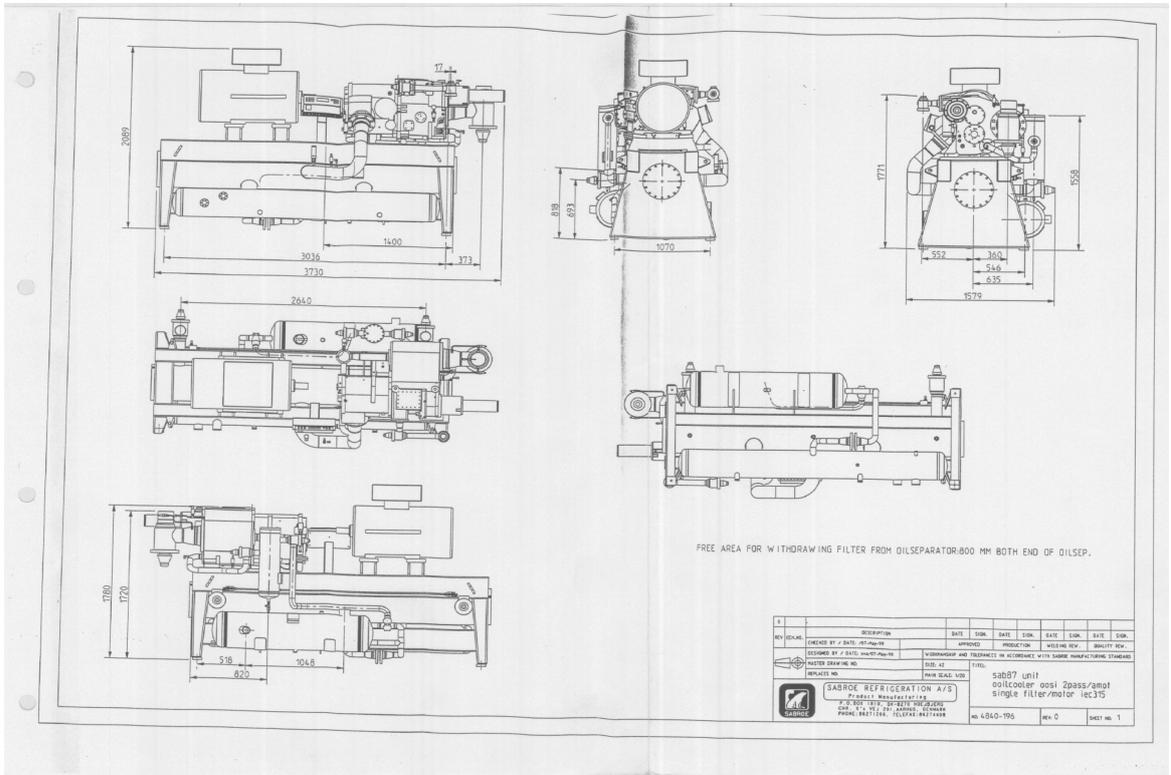


Figure 4 Schéma des compresseurs

3. Calcul de MTBF avec la loi de WEIBULL :

$$MTBF = A \cdot \eta + \gamma$$

et

$$b = B \cdot \eta$$

β	A	B	β	A	B	β	A	B
0,20	120	1901	1,50	0,9027	0,613	4	0,9064	0,254
0,25	24	199	1,55	0,8994	0,593	4,1	0,9077	0,249
0,30	9,2605	50,08	1,60	0,8966	0,574	4,2	0,9089	0,244
0,35	5,0291	19,98	1,65	0,8942	0,556	4,3	0,9102	0,239
0,40	3,3234	10,44	1,70	0,8922	0,540	4,4	0,9114	0,235
0,45	2,4786	6,46	1,75	0,8906	0,525	4,5	0,9126	0,230
0,50	2	4,47	1,80	0,8893	0,511	4,6	0,9137	0,226
0,55	1,7024	3,35	1,85	0,8882	0,498	4,7	0,9149	0,222
0,60	1,5046	2,65	1,90	0,8874	0,486	4,8	0,9160	0,218
0,65	1,3663	2,18	1,95	0,8867	0,474	4,9	0,9171	0,214
0,70	1,2638	1,85	2	0,8862	0,463	5	0,9182	0,210
0,75	1,1906	1,61	2,1	0,8857	0,443	5,1	0,9192	0,207
0,80	1,1330	1,43	2,2	0,8856	0,425	5,2	0,9202	0,203
0,85	1,0880	1,29	2,3	0,8859	0,409	5,3	0,9213	0,200
0,90	1,0522	1,17	2,4	0,8865	0,393	5,4	0,9222	0,197
0,95	1,0234	1,08	2,5	0,8873	0,380	5,5	0,9232	0,194
1	1	1	2,6	0,8882	0,367	5,6	0,9241	0,191
1,05	0,9603	0,934	2,7	0,8893	0,355	5,7	0,9251	0,188
1,10	0,9649	0,878	2,8	0,8905	0,344	5,8	0,9260	0,185
1,15	0,9517	0,830	2,9	0,8917	0,334	5,9	0,9269	0,183
1,20	0,9407	0,787	3	0,8930	0,325	6	0,9277	0,180
1,25	0,9314	0,750	3,1	0,8943	0,316	6,1	0,9286	0,177
1,30	0,9236	0,716	3,2	0,8957	0,307	6,2	0,9294	0,175
1,35	0,9170	0,687	3,3	0,8970	0,299	6,3	0,9302	0,172
1,40	0,9114	0,660	3,4	0,8984	0,292	6,4	0,9310	0,170
1,45	0,9067	0,635	3,5	0,8997	0,285	6,5	0,9318	0,168
			3,6	0,9011	0,278	6,6	0,9325	0,166
			3,7	0,9025	0,272	6,7	0,9333	0,163
			3,8	0,9038	0,266	6,8	0,9340	0,161
			3,9	0,9051	0,260	6,9	0,9347	0,160

Tableau 1 Table de WEIBULL et lecture des paramètres A et B