



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Ibn Khaldoun de Tiaret

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie Mécanique

## MÉMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du Diplôme de Master

**Domaine :** Sciences et Technologie

**Filière :** Electromécanique

**Parcours :** Master

**Spécialité :** Maintenance Industrielle

**Thème**

*Contribution à la maintenance préventive à travers  
du contrôle physico-chimique du lubrifiant d'une  
machine tournante.*

Préparé par :

BOUSTA AMEL

BELKISERIA HADJIRA

Soutenu publiquement le : .. / 07 / 2021, devant le jury composé de :

M <sup>r</sup> KARAS ABDELKADER	Professeur "A"(Univ. Ibn Khaldoun)	Président
M <sup>r</sup> SASSI AHMED	Maître de Conférences "A" (Univ. Ibn Khaldoun)	Examineur
M <sup>r</sup> KHALDI SABRINA	Maître Assistant "A" (Univ. Ibn Khaldoun)	Examineur
M <sup>r</sup> MAZARI DJAMEL	Maître Assistant "A" (Univ. Ibn Khaldoun)	Encadreur

Année universitaire : 2020 – 2021

## Remerciements

*Nous remercions tout d'abord DIEU le tout puissant de nous avoir donné la force pour accomplir ce modeste travail.*

*Nous voulons exprimer notre profonde gratitude à Mr MAZARI DJAMEL enseignant au département de génie mécanique de l'université IBN KHALDOUN de TIARET pour son encadrement, pour le soutien morale, la confiance et les conseils qu'il nous généralement donné et la passion de la recherche qu'il nous a transmis.*

*Nous remercions tous les enseignants du département de génie électrique et département de génie mécanique et en particulier Mr ABDICHE AHMED pour leur aide et leur encouragement pour terminer ce travail.*

*Nous remercions Mr KARAS ABDELKADER maitre conférence au département de génie mécanique d'avoir accepté de présider les membres jury et Mr SASSI AHMED, Mr KHALDI SABRINA pour la participation de l'examen de ce travail.*

*Nous remercions également toutes les équipes des laboratoires au niveau de l'université IBN KHALDOUN de TIARET.*

*Nous remercions beaucoup nos chers parents, tous les membres de nos familles et nos amis pour leurs aides même par leurs encouragements.*

## Dédicace

*En premier lieu je remercie ALLAH le tout puissant de m'avoir donné la volonté, la santé et le courage pour réaliser ce travail.*

*Je dédie ce travail :*

*Â mes chers parents*

*Mon cher Papa Mohammed,*

*Signe de fierté et d'honneur, ce travail est le vôtre Inchallah tu trouveras ici toute mon affection et ma profonde gratitude pour toutes ces années de sacrifice pour moi.*

*Ma chère Maman Embarka,*

*Nul mot ne parviendra jamais à exprime l'amour que je te porte. Ton amour, ta patience, ton encouragement et tes prières ont été pour moi le gage de la réussite.*

*Â mes chères sœurs*

*Â mes chers frères*

*A mon binôme « Hadjira » qui a partagée avec moi les moments difficiles de ce travail.*

**AMEL**

## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mes parents, qui ne m'ont jamais cessé de m'encourager et me soutenir.*

*A mes frères : Abdelkader, Hamza, Naceur, et mes sœurs : Khalida, Zahia, Fariha, et leurs enfants.*

*A mon binôme et ami Imade et sa famille.*

*A ma famille, mes proches et à ceux qui me donnent de l'amour et de la vivacité.*

*A tous mes amis qui m'ont encouragé, et à qui je souhaite plus de succès.*

**HADJIRA**

**Remerciements**

**Dédicace**

<b>Introduction générale</b> .....	01
------------------------------------	----

## **Chapitre I : Etat de l'Art de la Maintenance**

Introduction .....	04
I.1 Définition .....	04
I.2 Objectifs de la maintenance .....	05
I.3 La stratégie de maintenance.....	05
I.4 les niveaux de maintenance .....	06
I.5 les types de maintenance.....	07
I.5.1 Maintenance corrective.....	07
I.5.1.1 l'objectif principale de la maintenance corrective .....	08
I.5.1.2 Les types de la maintenance corrective .....	08
I.5.2 La maintenance préventive .....	09
I.5.2.1 Les différents types de la maintenance préventive .....	10
I.5.2.2 Objectifs de la maintenance préventive .....	10
I.5.3.2 Les avantages de la maintenance préventive .....	11
I.5.3 La comparaison entre la maintenance curative et préventive .....	11
I.5.4 La maintenance préventive améliore la sécurité.....	12
I.6 La relation entre la fiabilité et la maintenance.....	12
I.6.1 Définition .....	13
I.6.2. Objectifs et intérêts de la fiabilité en mécanique .....	13
I.6.3 Intérêt de l'étude de la fiabilité .....	13
I.7 La fiabilité des systèmes .....	14
I.7.1 La Maintenabilité.....	14
I.7.2 La Disponibilité .....	15
I.7.2.1 Quantification de la disponibilité.....	15
I.7.3 Les types de disponibilité.....	15
I.8 Diagramme causes –effet (ISHIKAWA ou ARETE DE POISSON) .....	16
I.8.1 Les 5M du Diagramme d'ISHIKAWA.....	16
I.9 Méthode A.B.C .....	17
I.9.1 Définition .....	17
I.10 Etude AMDEC.....	18
I.10.1 Principe de l'AMDEC.....	18
I.10.2 Les différents types d'AMDEC .....	18
I.10.3 La défaillance.....	19

I.10.4 Criticité des conséquences .....	19
I.10.5 Les étapes d'AMDEC .....	20
I.11. La maintenance par l'analyse des huiles.....	20
I.11.1 Préparer les prélèvements d'échantillons.....	20
I.11.2 Préparer les étiquetages.....	21
I.11.3 Préparer les diagnostics.....	21
Conclusion.....	21

## **Chapitre II : Lubrifiant et analyse des huiles**

Introduction .....	23
II.1 Lubrifiants et additifs .....	23
II.1.1 Définition .....	23
II.1.2 Fonctions de lubrifiant .....	23
II.1.3 Différents types de lubrifiant .....	24
II.1.4 Différents origines de lubrifiant .....	24
II.2 Les additifs .....	25
II.3 Propriétés physico-chimiques des huiles .....	26
II.3.1 Propriétés rhéologiques .....	26
II.3.2 Propriétés de masse .....	30
II.3.3 Propriétés optiques .....	30
II.3.4 Propriétés chimiques .....	31
II.3.5 Propriétés thermiques .....	32
II.3.6 Propriétés électriques .....	32
II.3.7. Propriétés superficielles .....	32
II.4. Classification des huiles lubrifiantes .....	32
II.4.1. Classification ISO .....	33
II.4.2. Classification S.A.E .....	33
II.5. Analyse d'huile .....	34
II.5.1. La méthode de surveillance .....	35
Conclusion .....	37

## **Chapitre III : Etude de cas**

Introduction .....	39
III.1 Présentation de la Société Nationale des Véhicules Industrielles .....	39
III.2 Vue globale de la machine ATLAS COPCO compresseur d'air .....	40
III.3 Caractéristique technique de la machine tournante Atlas COPCO .....	40
III.4 Remplacement de la machine.....	40
III.5 Le schéma fonctionnel de la machine ATLAS COPCO .....	41
III.6 Principe de fonctionnement.....	41
III.7 Caractéristique de l'huile NDURANCE .....	42
III.8 Les prélèvements des Echantillons .....	43
III.9 Analyse physico-chimiques de deux huiles .....	43
III.9.1.1 Plan de maintenance préventive PMP .....	49
Conclusion.....	50
Conclusion générale .....	52

# Liste des Figures

## Chapitre I

<b>Figure I.1</b> Les deux groupes d'action de la maintenance.....	04
<b>Figure I.2</b> Schématisation des objectifs de la maintenance.....	05
<b>Figure I.3</b> Conception de la maintenance.....	07
<b>Figure I.4</b> Courbe représentant l'arrêt de production du à une défaillance.....	08
<b>Figure I.5</b> les types de la maintenance corrective .....	08
<b>Figure I.6</b> Schématisation de la maintenance préventive.....	10
<b>Figure I.7</b> Les types de maintenance préventive .....	10
<b>Figure I.8</b> L'impact de la maintenance sur la fiabilité des équipements.....	13
<b>Figure I.9</b> Les types de la maintenabilité .....	14
<b>Figure I.10</b> Représentation graphique du diagramme de causes a effet.....	17
<b>Figure I.11</b> La courbe A.B.C.....	18
<b>Figure I.12</b> Étapes de l'AMDEC.....	20

## Chapitre II

<b>Figures II.1</b> Géométrie du contact .....	23
<b>Figure II.2</b> Les types du lubrifiants.....	24
<b>Figure II.3</b> Les origines des lubrifiants .....	24
<b>Figure II.4</b> Composition d'huile .....	25
<b>Figure II.5</b> Propriétés des lubrifiants .....	26
<b>Figure II.6</b> Ecoulement d'un film d'huile (viscosité dynamique).....	27
<b>Figure II.7</b> Variation de la viscosité avec la pression et la température .....	28
<b>Figure II.8</b> Définition de l'indice de viscosité.....	29
<b>Figure II.9</b> Principe d'échantillonnage depuis un robinet de drainage.....	36
<b>Figure II.10</b> Principe d'échantillonnage par tube et une pompe à vide.....	36
<b>Figure II.15</b> Principe d'échantillonnage par seringue et mini connexion .....	36

## Chapitre III

<b>Figure III.1</b> L'entreprise Nationale des Véhicules Industrielles- SNVI.....	39
<b>Figure III.2</b> Les produits de SNVI.....	39
<b>Figure III.3</b> Le schéma fonctionnel d'ATLAS COPCO.....	41
<b>Figure III.4</b> les compositions de la machine ATLAS COPCO.....	42
<b>Figure III.5</b> Principe d'échantillonnage depuis un robinet de drainage.....	43



<b>Figure III.6</b> Viscosimètre de couette .....	44
<b>Figure III.7</b> Mesure du teneur en eau.....	44
<b>Figure III.8</b> Mesure de l'indice de réfraction d'huile neuf .....	45
<b>Figure III.9</b> Mesure de l'indice de réfraction d'huile usée .....	45
<b>Figure III.10</b> Utilisation de pycnomètre pour mesure la densité .....	46
<b>Figure III.11</b> Résultats de la Spectroscopie Ultraviolet pour les échantillons.....	47
<b>Figure III.12</b> Instruments de mesure de TAN.....	48

# Liste des tableaux

## Chapitre I

<b>Tableau I.1</b> Les niveaux de la maintenance .....	06
<b>Tableau I.2</b> La différente intervention corrective .....	09
<b>Tableau I.3</b> La différence entre la maintenance préventive et curatif.....	11

## Chapitre II

<b>Tableau II.1</b> Exemples d'additifs .....	25
<b>Tableau II.2</b> Unités de la viscosité.....	28
<b>Tableau II.3</b> Variation de la viscosité avec la pression d'une huile et de l'eau.....	29
<b>Tableau II.4</b> Classification des huiles selon leurs viscosités .....	33
<b>Tableau II.5</b> Les grades S.A.E pour les huiles moteurs.....	34

## Chapitre III

<b>Tableau III.1</b> Les caractéristiques techniques d'ATLAS COPCO.....	40
<b>Tableau III.2</b> Les compositions d'ATLAS COPCO.....	42
<b>Tableau III.3</b> Les caractéristiques d'huile NDURANCE .....	43
<b>Tableau III. 4</b> Les valeurs de la viscosité mesuré.....	44
<b>Tableau III. 5</b> La quantité d'eau dans 20 ml d'huile .....	44
<b>Tableau III.6</b> La quantité d'eau dans 1L d'huile .....	45
<b>Tableau III. 7</b> L'indice de réfraction .....	46
<b>Tableau III.8</b> Les valeurs de la densité.....	47
<b>Tableau III.9</b> les valeurs d'indice d'acide .....	48
<b>Tableau III.10</b> Tableau récapitulatif des différents résultants .....	48
<b>Tableau III.11</b> Les opérations de maintenance préventive .....	49
<b>Tableau III.12</b> Plan de maintenance préventive .....	50

## Liste d'abréviations

**MTTR** : Moyenne des temps technique de réparation.

**MTBF** : Moyenne des temps de bon fonctionnement.

**TCBF** : Temps cumulé de bon fonctionnement.

**TCI** : Temps cumulé d'immobilisation.

**TBF** : Temps de bon fonctionnement.

**TTR** : Temps technique de réparation.

**TTE** : Temps technique d'exploitation.

**NF** : Norme française

**R(t)** : Fonction de fiabilité.

**F(t)** : Fonction de défaillances.

$\lambda(t)$  : Taux de défaillance.

$\mu$  : Temps de réparation.

**M** : Maintenabilité.

**D** : Disponibilité.

**AMDEC** : Analyse des Modes Défaillance de leurs Effets et de leur Criticité.

$\eta$  : Viscosité dynamique (Pa.s).

**(F/S)** : Contrainte de cisaillement du fluide (Pa).

**S** : Surface mobile ( $m^2$ ).s

**F** : Force (N).

**U** : Vitesse des plaques de surface.

**h** : Epaisseur du film fluide en (m) .

**dU/dh** : Taux de cisaillement du fluide .

**v** : Viscosité cinématique du fluide ( $m^2/s$  ou Cst ).

$\rho$  : Masse volumique

**K** : Constante du tube.

**t** : Temps d'écoulement de fluide (s).

**T** : Température

**a** : Un coefficient variant entre 0.6 et 0.8 selon la valeur de  $v$ .

**b** : Constantes caractéristiques de l'huile .

**m** : Constantes caractéristiques de l'huile .

**L** : Série d'huiles de référence .

**H** : Série d'huiles de références .

**D** : raie de sodium.

**VI** : Indice de viscosité

**°C** : Degré Celsius

**D** : densité

**g** : gramme

**min** : Minute

**ml** : Millilitre

**ISO** : Organisation Internationale de Normalisation

**V** : Volume

**L** : Litre

# *Introduction générale*

### Introduction générale

Dans un monde économique fortement progressif et concurrentiel, la maintenance joue un rôle primordial et décisif dans les compagnies industrielles afin de satisfaire les besoins de leurs clients en matière de service, qualité du produit et performance. En effet la maintenance n'a plus aujourd'hui comme seul objectif de remettre les outils de travail en état de service mais aussi de prévoir et anticiper les dysfonctionnements des équipements. Elle est passée de l'état de service improductif, cher et subalterne, au statut de fonction essentielle voire stratégique du système productif. Pour prévenir les défaillances et garantir une disponibilité optimale de ces machines, il existe actuellement des outils de surveillances puissantes telles que l'analyse vibratoire, l'analyse des lubrifiants, la thermographie et l'analyse acoustique qui entrent tous dans le cadre de la maintenance préventive. Ces techniques de diagnostic plus sophistiquées sont plus employées pour les machines tournantes dont les systèmes mécaniques ont un grand intérêt, elles sont le plus souvent stratégiques et vitales, ce qui rend la surveillance de leur état de fonctionnement une tâche indispensable.

L'optimisation de la maintenance de ces machines tournantes prend une place importante dans la politique de management des entreprises, surtout en matière du temps d'immobilisation. Pour cela, des techniques de détection de défauts sont aujourd'hui à la disposition des ingénieurs de maintenance. Parmi celles-ci on trouve l'analyse physicochimique des huiles pour le suivi de dégradation et la contamination des lubrifiants ainsi que l'évaluation du stade d'usure des pièces mécaniques. Dans ce contexte s'inscrit l'objectif de notre mémoire de fin d'études, où nous venons d'établir un plan de maintenance préventive pour un compresseur rotatifs avis à travers un contrôle des propriétés physicochimique de l'huile lubrifiante de la machine. Au sein des caractéristiques des lubrifiants qui ont un rôle dans la prédiction de la santé de la machine : la viscosité, la teneur en eau, l'indice d'acidité, l'indice de réfraction....

Le présent manuscrit comporte trois chapitres avec une introduction et une conclusion générale et il est organisé comme suit :

a- le premier chapitre donne un état d'art de la maintenance en particulier la maintenance qui se distingue en maintenance corrective et en maintenance préventive dont les méthodes d'élaborer une stratégie au bien plan de prédiction des taches de maintenance à un équipement.

## Introduction

---

b- le deuxième chapitre est consacré aux concepts généraux sur les lubrifiants et les additifs (Fonctions, Origines, Propriétés et caractéristiques des huiles lubrifiantes, Classification ...), ainsi que les méthodes des échantillonnages pour prélever une quantité de l'huile de la machine.

Dans le troisième chapitre on a proposé comme cas d'études la machine tournante ; Compresseur rotatifs à vis type GA90 FF de la marque ATLAS COPCO, situé au niveau de l'entreprise SNVI de Bouchekif Tiaret, d'où nous avons pris des échantillons de l'huile lubrifiante de cette machine pour les analysées près des laboratoires disponibles dans notre université. Malheureusement la plupart des labos fréquentés n'ont pas les moyens nécessaires pour effectuer tous les contrôles des propriétés physicochimique. À la base des informations récoltées au sein des expériences faites nous avons établi un plan de maintenance préventive pour quelques organes du.

# *Chapitre I*

## *Etat de l'Art de la Maintenance*





## Introduction :

La maintenance est rapportée à prendre une croissante au fur à mesure que les équipements deviennent de plus en plus compliqués, constituant à la fois une nécessité impérative et un moyen d'optimiser la disponibilité effective des équipements, et donc l'efficacité des entreprises. Elle n'a pas toujours comme seule objective de réparer l'outil de travail mais aussi de prévoir et éviter le dysfonctionnement.

### I.1. Définition :

La maintenance est l'une des composantes très important de l'industrie un enjeu clef pour la permanence des machines et des installations mécaniques ainsi que l'accroissement de la productivité des unités de production[1].

D'après l'Afnor(FD X 60-000), « La maintenance est l'ensemble de tous les actions techniques ,administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinée à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise »[2] Les deux grands ensembles d'action de maintenance, technique, d'un côté, et administrative et de management[3].

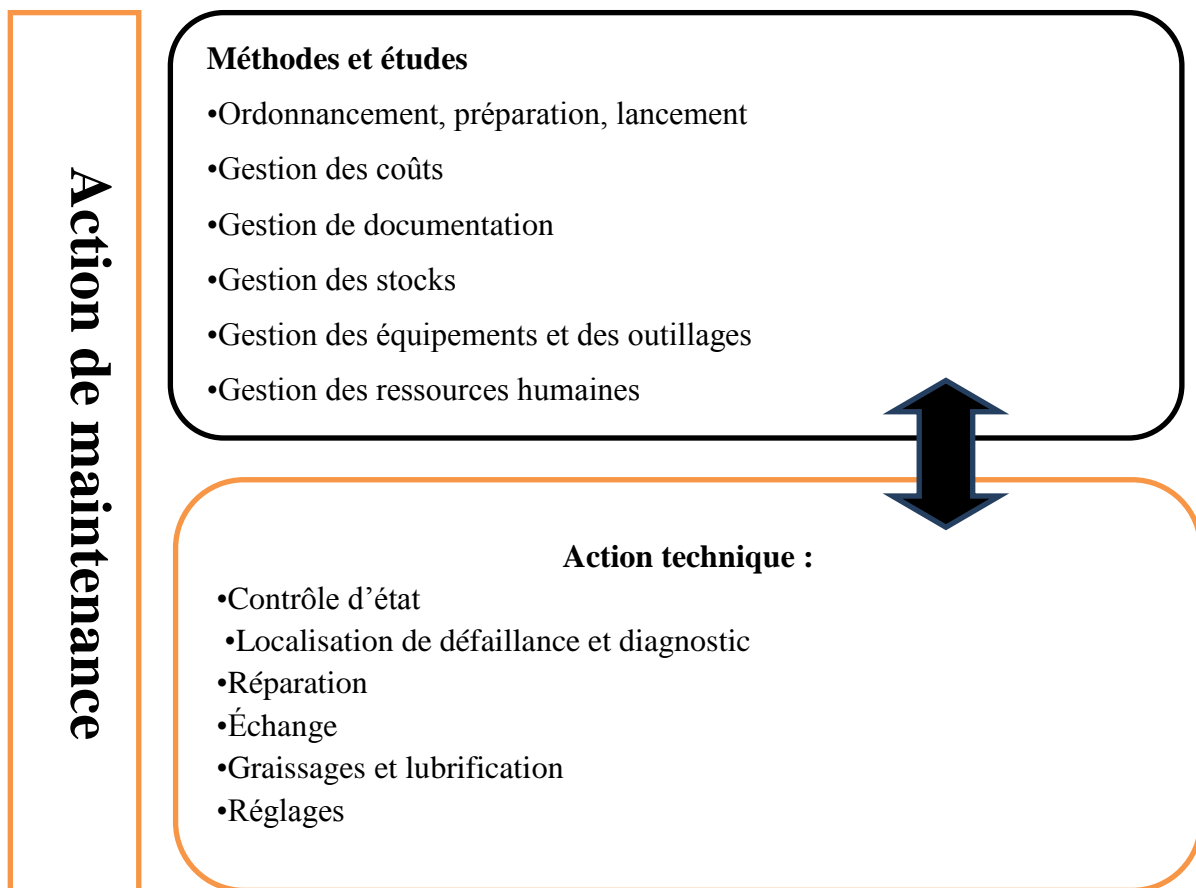


Figure I.1 : Les deux groupes d'action de la maintenance [3]

## I.2.Objectifs de la maintenance :

Les objectifs de la maintenance, schématisés dans la figure I-3 sont nombreux :

- ❖ Garantir la quantité des produits fabriqués tout en respectant les délais.
- ❖ Optimiser les actions de maintenance (exemple : réduire la fréquence des pannes).
- ❖ Contribuer à la création et au maintien de la sécurité au travail.
- ❖ Consolider la compétitivité de l'entreprise (exemple : améliorer la productivité).[4]

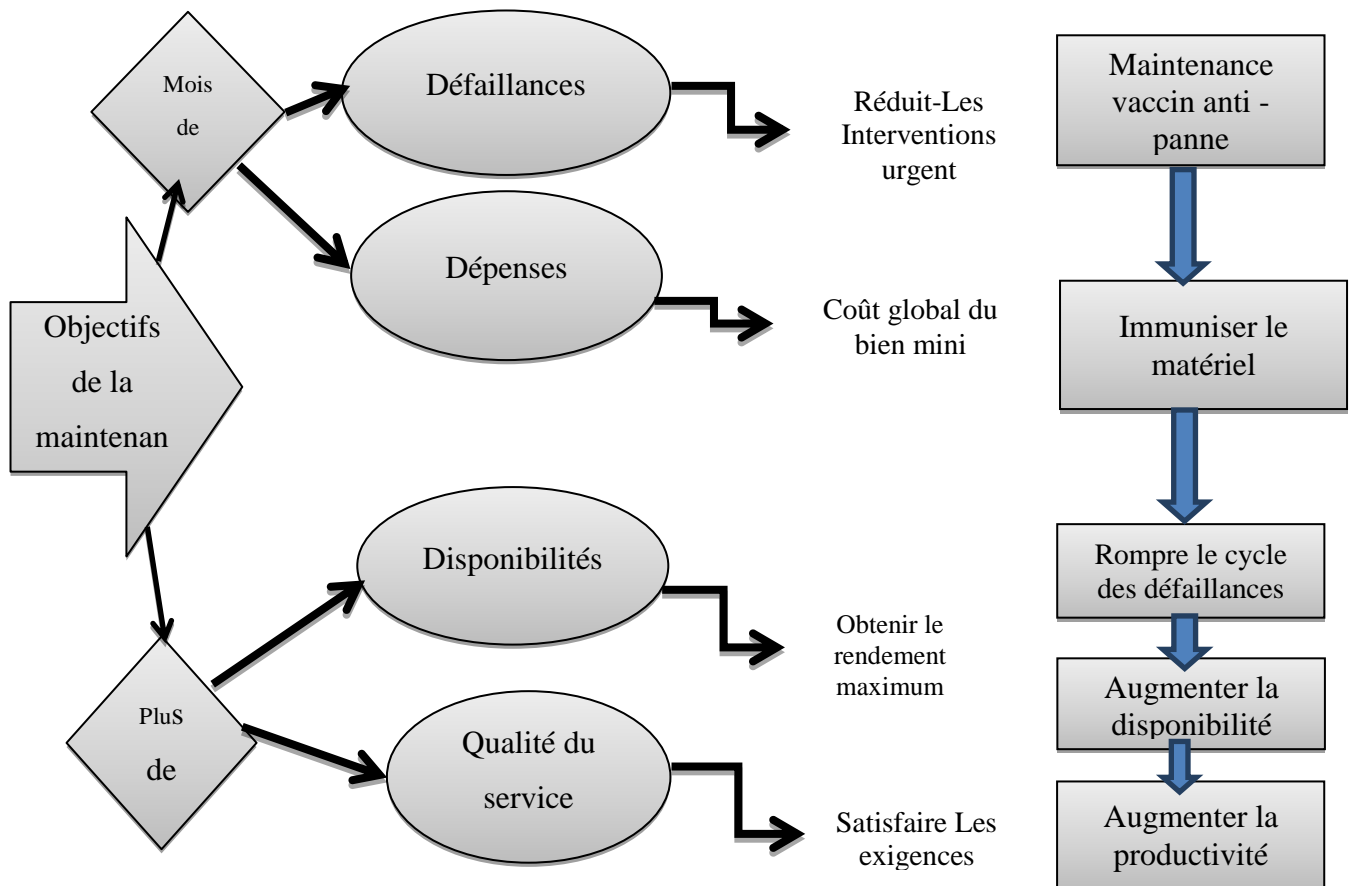


Figure I.2 : Schématisation des objectifs de la maintenance [5]

## I.3.La stratégie de maintenance :

Les choix de stratégie de maintenance agréent un certain nombre d'objectifs de maintenance :

- Développer, adapter ou mettre en place des méthodes de maintenance.
- Elaborer et optimiser les gammes de main
- Organiser les équipes de maintenance.
- Internaliser et/ou externaliser partiellement ou totalement les tâches de maintenance.
- Définir, gérer et optimiser les stocks de pièces de rechange et de consommables.

- Etudier l'impact économique (temps de retour sur investissement) de la modernisation ou de l'amélioration de l'outil de production en matière de productivité et de maintenabilité [6]

**I.4. Les niveaux de maintenance :**

Niveau de maintenance	Description	Intervenants	Moyens	Exemple
1°	Réglage simples ou échanges de consommables prévus par le constructeur, sans démontage et en toute sécurité	Exploitant sur place	Outillage léger définis dans les consignes de conduites	Réglages, nettoyage.....
2°	Dépannages par échange standard et opérations préventives	Personnel habilité	Outillage standard et rechanges situées à proximité	Graissage, lubrification, contrôle de bon fonctionnement.
3°	Identification et diagnostic des pannes, réparations par échange de composants, et opérations ou préventives.	Technicien qualifié	Outillage prédéfinis et appareils de mesure	Analyse, diagnostique de panne. Réparation. Réglage d'appareils.
4°	Travaux importants, correctifs ou préventifs. Sans modification ou reconstruction	Technicien ou équipe spécialisée	Outillage général et spécialisé	Travaux suite à un diagnostic et/ ou une expertise
5°	Rénovation, reconstruction ou réparation importantes en atelier spécialisé	Constructeur du matériel ou société spécialisé	Moyens importants, proches de ceux du constructeur	Souvent effectué par le constructeur

Tableau I-1 : Les niveaux de la maintenance

### I.5. Les types de maintenance :

IL existe deux principales familles de maintenance que l'on peut repérer sur la figure I.4

La maintenance préventive et la maintenance corrective. La maintenance préventive est celle qui permet d'anticiper et de préventive les défaillances. La maintenance corrective n'est celle que le système subit lorsque la panne est déjà présente et qu'il faut réparer.[7] [8]

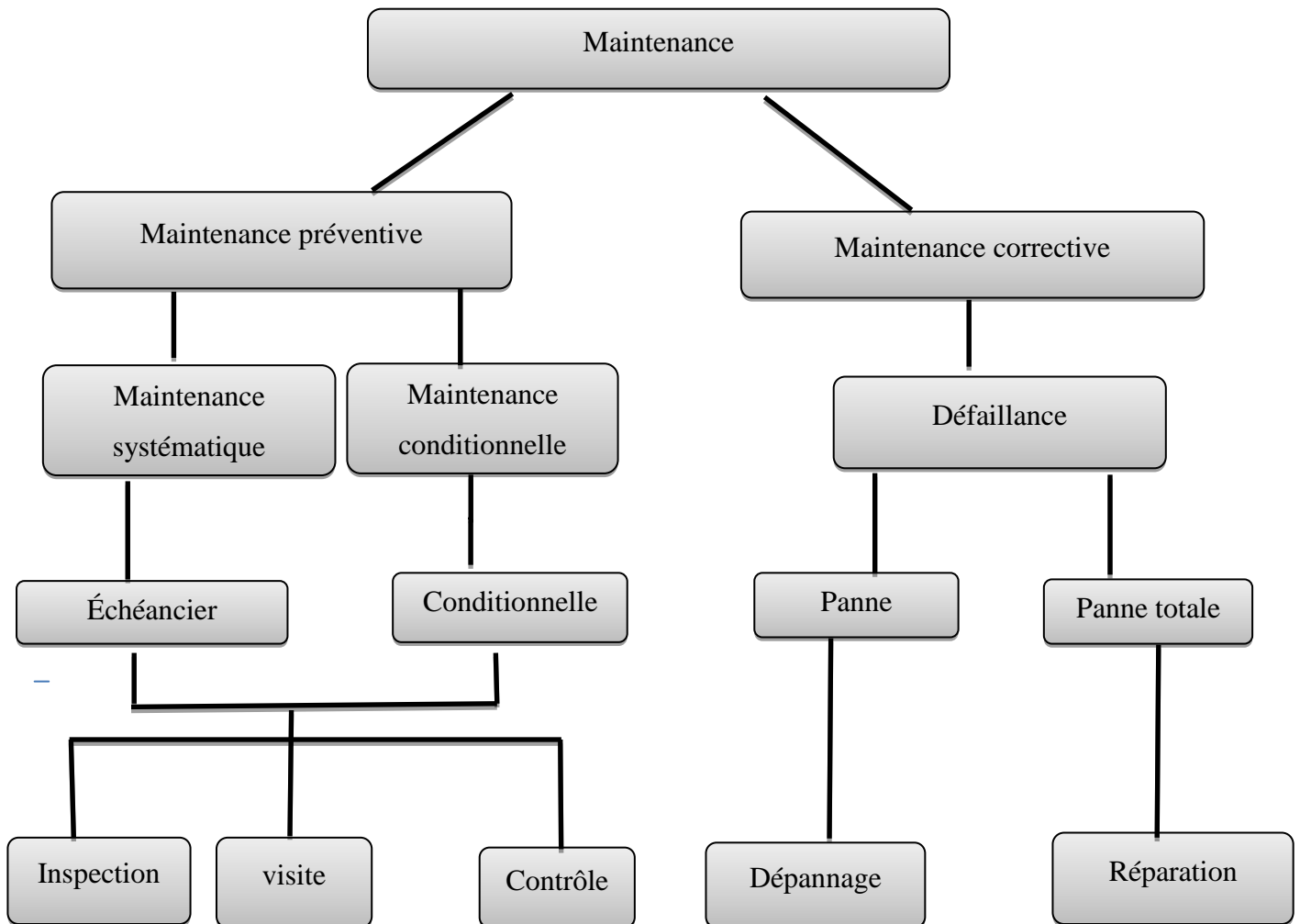


Figure I.3 : Conception de la maintenance [9]

#### I.5.1. Maintenance corrective :

C'est une opération de maintenance mise en œuvre après défaillance .Elle est effectuée dont le but de maintenir le matériel dans l'état de ses performances initiales. « Elle permet de repérer et de corriger la source de la défaillance, lorsque l'avarie n'est ni progressive ni graduelle, pour éviter les incidents répétitifs. La maintenance corrective, comprend deux types d'intervention [3]:

1- Les interventions palliatives qui remettent le système en état de fonctionnement provisoire, le dépannage.

2- Les interventions curatives permettant de réparer le système d'une manière définitive »

**I.5.1.1. L'objectif principal de la maintenance corrective :**

Est d'optimiser le temps d'indisponibilité après défaillance (retourner le système en état de marche dans un temps au minimum), en respectant les règles de sécurité. Ce type de maintenance utilisé pour les équipements stratégiques est peu coûteux hors production dont la défaillance aura moins d'impact sur la sécurité. [9]

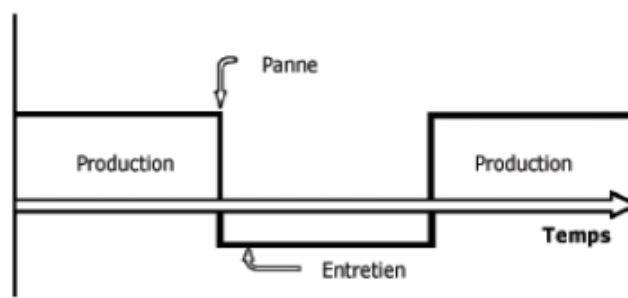


Figure I.4 : courbe représentant l'arrêt de production dû à une défaillance.[9]

**I.5.1.2. Les types de la maintenance corrective :**

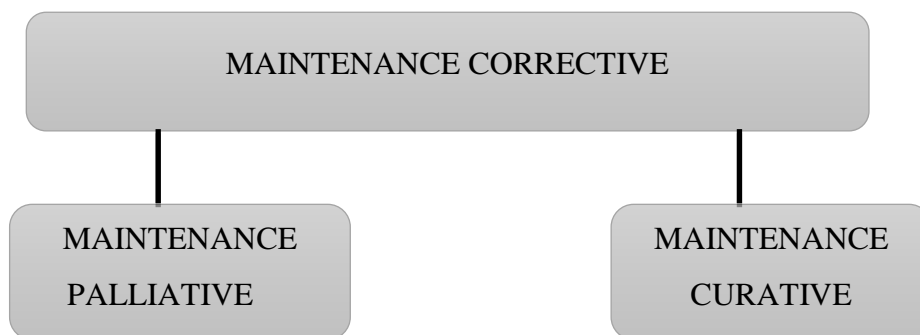


Figure I.5 : les types de la maintenance corrective

• **Maintenance curative :**

Elle compose en un dépannage qui une remise en état de fonctionnement effectuée sur le site, le dépannage se fait après panne.

« Ce type de maintenance permet de remettre définitivement en état le système après l'apparition d'une défaillance. Cette remise en état du système est une réparation durable .Les équipements réparés doivent les fonctions pour lesquelles ils ont été conçus. Une réparation est une opération définitive de la maintenance curative qui peut être décidée soit

immédiatement à la suite d'une défaillance, soit après un dépannage, ce type de maintenance, provoque donc une indisponibilité du système » [6]

- Les différentes phases d'une intervention curative sont les suivantes :

Test	Comparaison des réponses d'un dispositif à une sollicitation avec celle d'un dispositif de référence.
Détection	Action de déceler par une surveillance accrue, l'apparition d'une défaillance
localisation	Action de localiser les éléments par lesquels la défaillance se manifeste
Diagnostic	Identification de la cause de la défaillance à l'aide d'un raisonnement logique
Dépannage	Réparation

Tableau I.2 :la différente intervention corrective

- **Maintenance palliative :**

La maintenance palliative ne doit jamais être la première méthode choisie dans une politique de maintenance : celle-ci doit viser à revenir à l'action offensive aux causes de la défaillance et non pas à assurer coûte que coûte la fonction du bien dans des conditions qui ne soient pas celles de la sûreté de fonctionnement.

« La maintenance palliative revêt un caractère temporaire provisoire. Elle est principalement constituée d'opération qui devront toutefois être suivies d'opérations curatives (réparation) .Le dépannage est une opération de maintenance palliative qui est destinée à remettre le système en état provisoire de fonctionnement de manière ace qu'il puisse assure une partie des fonctions requises.»[6]

### **I.5.2.La maintenance préventive :**

La maintenance préventive visa recule fardeaux les pannes et de maintenance. En prenant pour base le constat cette distinction utilisation du temps d'arrêt coûteux aura pu être et ça peut être réduites ou évitée par un entretien ne change pas en protection .En effet elle doit permettre d'éviter les échecs des matériels en cours d'utilisation et l'analyse des coûts doit mettre en évidence un gain par rapport aux échecs qu'elle permet d'éviter.[2]

« La maintenance préventive se fonde sur l'adage "mieux vaut prévenir que guérir, sur la connaissance des machines, la prise en compte des signes précurseurs et le réalisme

économique. Les visites préventives permettent de visualiser le niveau de performance d'un équipement en vue de prévoir une intervention préventive ».[2]

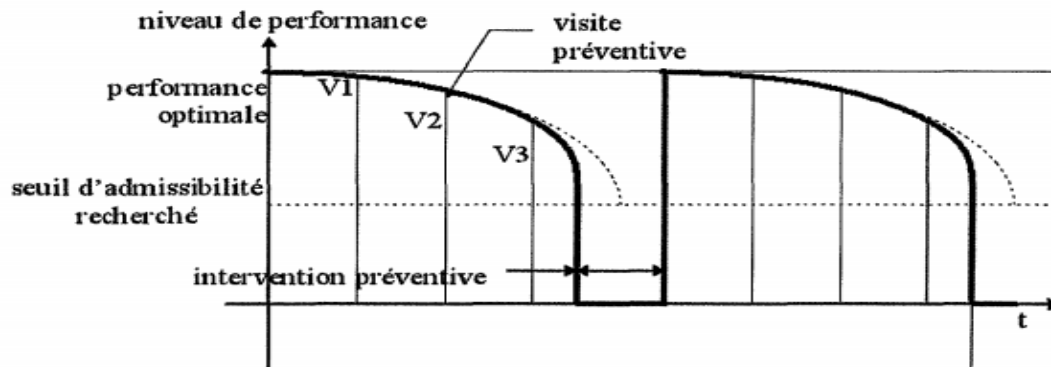


Figure I.6 : schématisation de la maintenance préventive [11]

### I.5.2.1. Les différents types de la maintenance préventive :

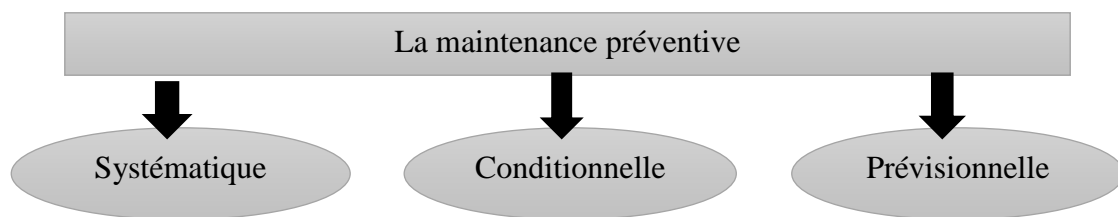


Figure I.7 : Les types de maintenance préventive

#### - La maintenance préventive systématique :

C'est la maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien

#### -La maintenance préventive conditionnelle :

C'est la maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et /ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent.

#### -La maintenance préventive prévisionnelle :

C'est la maintenance préventive conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation.

### I.5.2.2. Objectifs de la maintenance préventive :

- 1- Augmenter la durée de vie de matériels et la sécurité.
- 2- Diminuer et probabilité des défaillances en service.
- 3- Prévenir et aussi prévoir les interventions de maintenance corrective.

- 4- Permettre de décider la maintenance corrective dans les bonnes conditions (gestion).
- 5- Eviter les consommations anormales d'énergie de lubrifiant
- 6- Eviter les causes d'accidentset diminuer les travaux urgents.

**I.5.2.3 Les avantages de la maintenance préventive :**

La mise ne place d'une pratique de maintenance préventive présente un certain nombre d'avantages :

- Une amélioration de productivité de l'entreprise
- Un coût de réparation moins élevé.
- La diminution des stocks de production.
- La limitation des pièces de rechange.
- Une meilleure crédibilité du service maintenance.
- Une plus grande motivation du personnel de maintenance.

**I.5.3 .La comparaison entre la maintenance curative et préventive :**

<b>Curatif</b>	<b>Préventif</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Action après la panne</li> <li>-Coût indirect élevé</li> <li>-Coût direct modéré</li> <li>-Efficacité reposant sur la structure professionnelle</li> <li>-Organisation du type commando</li> <li>-L'outil informatique est peu efficace</li> <li>-L'imprévu est de règle :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>-Improvisation</li> <li>-Provisoire</li> <li>-Dispersion</li> <li>-Urgence permanente</li> <li>-Tout, tout de suite</li> <li>-Climat de travail tendu</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Action avant la panne</li> <li>-Coût réduit</li> <li>-Coût direct plus élevé</li> <li>- Efficacité reposant sur la prévision des opérations</li> <li>- Organisation du type stratégique</li> <li>-L'outil informatique trouve son efficacité</li> <li>-L'imprévu tend vers zéro                             <ul style="list-style-type: none"> <li>-Préparation et programmation</li> <li>-Plein emploi sans temps perdu</li> <li>-Ecoulement régulier</li> <li>-Pratiquement pas d'urgence</li> <li>-Climat de travail apaisé</li> </ul> </li> </ul>

Tableau I.3 : la différence entre la maintenance préventif et curatif[12]



**I.5.4. La maintenance préventive améliore la sécurité :**

« La première personne à subir les conséquences d'un bris ou d'une panne inopinée est le travailleur qui utilise l'équipement ou opéré sur la machine. L'opérateur compense souvent pour les irrégularités de fonctionnement de la machine et il court ainsi de grands risques.

Un bon programme d'entretien préventif sur les équipements dangereux pourrait permettre de détecter les anomalies avant l'accident afin de l'éviter ou d'en diminuer les conséquences. »[13]

**I.6. La relation entre la fiabilité et la maintenance :**

Tout l'équipement d'une installation industrielle est soumis à des mécanismes de dégradation dus aux données de fonctionnement et /ou d'environnement : usure, fatigue, vieillissement .face aux défaillances qui en résultent, on peut se contenter de pratique une maintenance corrective, mais on n'évite pas ainsi les résultats des pannes que l'on immédiat .l'aspect le plus défensif est la mise en place d'une maintenance préventive visant à limiter voire empêche ces défaillances ,mais on court alors le risque de dépenses excessives et d'indisponibilités inutiles.

« la figure 2.4 présente la contribution des différents types de maintenance en ce qui concerne la fonction de fiabilité  $R(t)$  et la durée de vie utile de l'équipement.

On va sans dire qu'une réduction du taux de panne  $\lambda(t)$  entraîne une amélioration de la fonction de fiabilité  $R(t)$  .C'est dans cette optique que la maintenance améliorative (prédictive) a été instaurée. La maintenance préventive, avec, toutes ses variantes, va en revanche tenter de ramener le taux de panne à son niveau le plus bas en remplaçant la composante usée sans améliorer les caractéristiques intrinsèques de l'équipement ».[9]

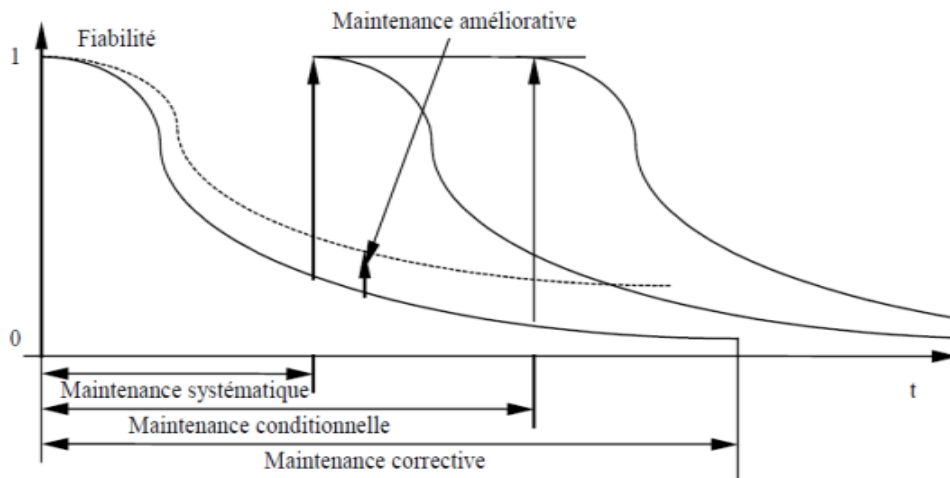


Figure I.8: l'impact de la maintenance sur la fiabilité des équipements[9]

### I.6.1. Définition :

La fiabilité caractérise l'aptitude d'un système ou d'un matériel à accomplir une fonction requise dans des conditions données pendant un intervalle de temps donné (NF EN 133060) ou caractéristique d'un bien exprimée par la probabilité qu'il accomplisse une fonction requise dans des conditions données (FN X 60-[2])

### I.6.2. Objectifs et intérêts de la fiabilité en mécanique :

La fiabilité est un outil puissant et important dans le domaine mécanique et la maintenance industrielle. « pour caractériser le comportement du produit dans les différentes phases de vie, mesurer l'impact des modifications de conception sur l'intégrité du produit, qualifier un nouveau produit et améliorer ses performances tout au long de sa mission »[15]

### I.6.3. Intérêt de l'étude de la fiabilité :

L'analyse de la fiabilité du système peut être utilisée pour modéliser et prédire sa durée de vie (dans le cas d'un système non réparable) ou son temps d'exécution (dans le cas d'un système réparable). « la connaissance de la durée de vie d'un système ou d'un composant permet de déterminer par exemple les périodicités dans le cas d'une maintenance préventive systématique »[15]

On distingue :

**Les lois discrètes :**

- La loi binomiale.
- La loi de poisson.

**Les lois continues :**

- La loi log normale.
- La loi exponentielle.
- La loi weibule[15]

**I.7 .La fiabilité des systèmes :****I.7.1.La Maintenabilité :**

« Dans les conditions d'utilisation données pour lesquelles il a été conçu, la maintenabilité est l'aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise ,lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données , avec des procédures et des moyens prescrits. »(NF EN 13306)

A partir de ces définitions on distingue :[16]

La maintenabilité peut se caractériser par sa MTTR.

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

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

**Taux de réparation :  $\mu = \frac{1}{MTTR}$**  [16]

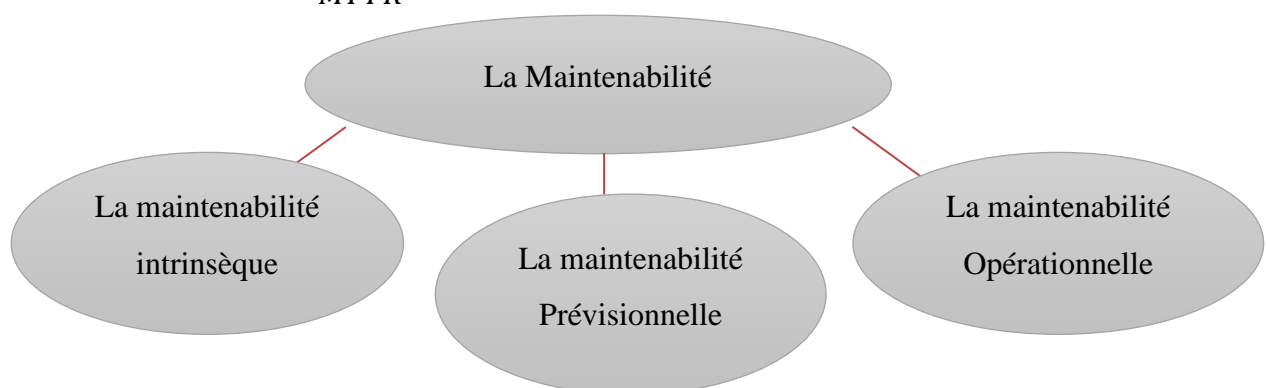


Figure I-9 : Les types de la maintenabilité

### I.7.2.La disponibilité :

Disposition d'une bien à être en état d'accomplir une fonction requise dans des circonstances données, à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné, en supposant que provision des moyens extérieurs nécessaires est assurée« Cette aptitude dépend de la combinaison de la fiabilité, de la maintenabilité et de la logistique de la maintenance .Les moyens extérieurs nécessaires autres que la logistique de maintenance n'affectent pas la disponibilité du bien »[15]

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

- Avoir le moins possible d'arrêts de production
- Etre rapidement remis en bon état s'il tombe en panne

La disponibilité allie donc les notions de fiabilité et de maintenabilité. Augmenter la disponibilité passe par :

- L'allongement de la MTBF (action sur la fiabilité)
- La notion de le MTTR (action sur la maintenance)[16]

#### I.7.2.1.Quantification de la disponibilité [15] [16]:

La disponibilité moyenne sur un intervalle de temps donné peut être évaluée par le rapport

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

### I.7.3 Les types de disponibilité :

#### -Disponibilité moyen :

Le calcul de la disponibilité moyenne sur intervalle de temps donné peut être évalué par le rapport suivant :

$$D_o = \frac{TCBF}{(TCBF + TCI)}$$

Ou :

TCBF = Temps cumulé de bon fonctionnement.

TCI = Temps cumulé d'immobilisation.

#### -Disponibilité intrinsèque :

Le calcul de la disponibilité intrinsèque  $D_i$  fait appel à 3 paramètres :

TBF : Temps de bon fonctionnement.

TTR : Temps techniques de réparation.

TTE : Temps technique d'exploitation.

$$D_i = \frac{TBF}{(TBF + TTR + TTE)}$$

### -Disponibilité opérationnelle :

Le calcul de  $D_o$  fait appel aux mêmes paramètres TBF, TTR et TTE

$$D_o = \frac{TBF}{(TBF + TTR + TTE)}$$

## I.8. Diagramme causes –effet (ou ISHIKAWA ou ARETE DE POISSON) :

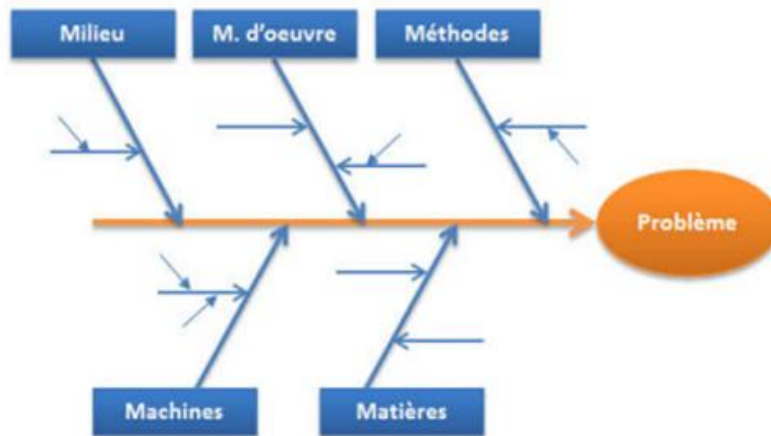
La méthode 5M est une méthode d'analyse qui sert à rechercher et à représenter de manière synthétique les différentes causes possible d'un problème .Elle fut créée par le professeur kaoru Ishikawa (1995-1998) d'où son appellation « Méthode d'Ishikawa »

La méthode d'Ishikawa utilise une représentation graphique (diagramme) en forme de poisson pour matérialiser de manière structurée le lien entre les causes et leur effet (défaut, panne, dysfonctionnement) [14]

### I.8.1. Les 5 M DU Diagramme d'Ishikawa :

Les causes d'un problème peuvent être regroupées en cinq catégories, les 5M [14]:

- Méthode : Processus de production du produit ou service. La recherche et développement.
- Matière : Les matériaux utilisés pour la production du bien.
- Milieu : Le contexte concurrentiel, l'état du marché.
- Matériel : Les machines, le parc informatique et les logiciels. L'ensemble des équipements qui servent à apporter de la valeur ajoutée au matériau de base.
- Main-d'œuvre : Les collaborateurs et l'ensemble des interventions humaines (la RH)



FigureI-10 :Représentatiun graphique du diagramme de causes a effet[14]

### -L'intéri de ce diagramme :

C'est de l'adapter en diagnose au manière suivante :

- Définition de l'effet etudie en regroupent le maximan de données
- Recensement de tout les causes possibles
- Hierarchisation des causes des chaque famille pour ordre d'exportause[13]

## I.9.La Méthode A.B.C

### I.9.1. Définition :

Est une méthode de sélection objective et efficace basée sur la connaissance de la période précédente. Les résultats sont affichés dans la courbe A.B.C .Parmi la multitude de préoccupations qui se posent à un responsable de maintenance, il lui fait de décider quelle défaillance doivent sont étudiées ou améliorer.

« La méthode ABC est une réponse aux limites de l'approche classique d'analyse des coût. Elle permet une meilleure compréhension des coûts dans un objectif de pilotage de performance, ce qui facilite la prise de décision. Elle présente néanmoins quelques difficultés liées à sa mise en place en terme d'effort, de coût, et d'organisation »[10]

« C'est à dire classer par d'ordre d'importance des éléments (produits, machines pièces, opération)en fonction d'un critère de valeur retenu (heures, etc.....)[20]

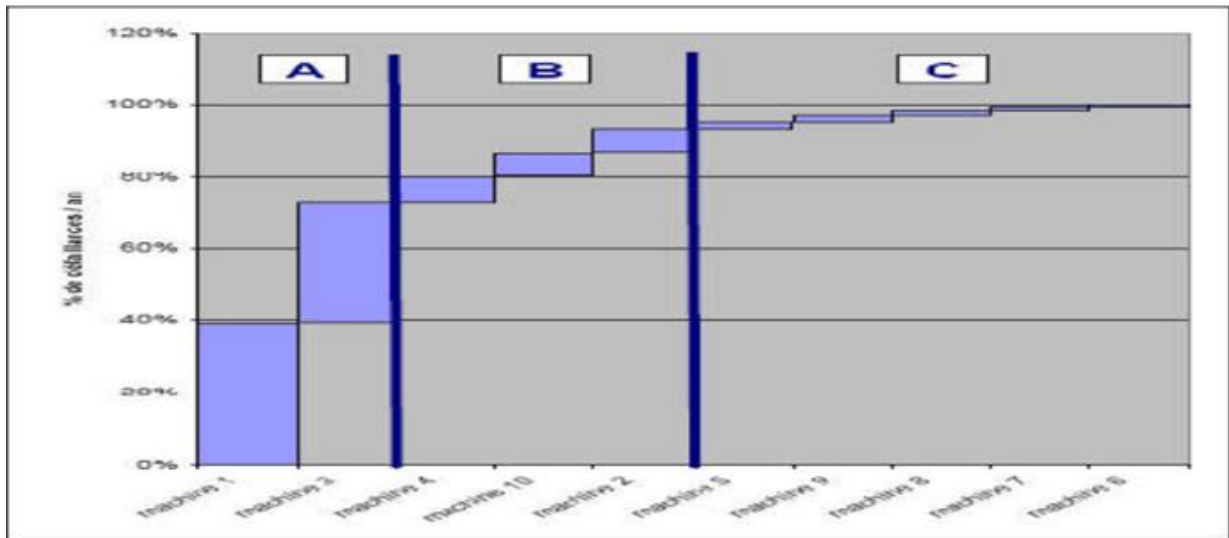


Figure I.11 : La courbe A.B.C[18]

Zone A : Pertes devant engendrer des actions prioritaires.

Zone B : Pertes à prendre en compte si solutions peu coûteuses.

Zone c : Pertes ne justifiant pas d'action[20]

## I.10. Etude AMDEC :

L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et leur Criticité) est un outil qui permet d'étudier les conséquences de défaillance potentielle chacune prise individuellement, ce qui est logique inductive.

« D'après AFNOR (Association française de normalisation) L'analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leur criticités (AMDEC) est une méthode inductive permettant pour chaque composant d'un système, de recenser son mode de défaillance et son effet sur le fonctionnement ou sur la sécurité du système »[18]

### I.10.1. Principe de L'AMDEC :

La notion de la composition du système en élément

1-Receusement des diverses données nécessaire à la réalisation de L'AMEDEC

2-La notion de mode de défaillance

3-La notion de criticité[13]

### I.10.2. Les différents types d'AMDEC :

1- La méthode AMDEC produit : est mise en œuvre pour vérifier la conformité d'un Produit développé par rapport aux exigences client.

2- L'AMDEC Processus, est placé pour valider la fiabilité du processus de fabrication.

3- L'AMDEC Moyen : est déployée pour vérifier la fiabilité d'un équipement [17]

### **I-10.3.La défaillance :**

« D'après la norme AFNOR X 60-500, une défaillance est la cessation de l'aptitude d'un élément à accomplir une fonction requise » [18]. Pour comprendre cette méthode, il est important de bien connaître les termes qui lui sont associés.

- **La mode de défaillance** : c'est la manière dont le système peut s'arrêter de fonctionner, s'écarter des spécifications prévues initialement, fonctionner anormalement.

- **La cause de la défaillance** : C'est l'anomalie pouvant conduire à la défaillance.

- **L'effet de la défaillance** : Ce sont les conséquences subies par l'utilisateur

### **I.10.4 Criticité des conséquences :**

- **Indice de Fréquence « F »** :

Il représente le risque de la cause possible de défaillance et qu'il en résulte d'avoir à l'esprit défaillance potentiel « De ce fait, la notion de fréquence est relative à une combinaison cause mode. Finalement, elle s'exprime par le nombre de défaillance sur une période »[18]

- **Indice de Gravité « G »** :

« Il se réfère à la gravité (ou sévérité) de l'effet de chaque défaillance, tel que ressenti par l'utilisateur .Ainsi, la notion de gravité est directement liée à l'effet de la défaillance »[18]

- **Indice de Non Détection « D »** :

« Il représente la probabilité que la cause (et/ou le mode) de défaillance supposée apparue atteigne l'utilisateur. La probabilité de non-détection dépend d'une part de l'existence d'une anomalie observable de manière suffisamment précoce et d'autre part des moyens de détection mis en œuvre(ou envisagés) au moment de l'étude »[18]

- **Criticité « C »**:

« Pour chaque cause de défaillance, le produit des trois indices de fréquence, gravité et non détection est effectué » [18]. Le résultat donne l'indice de criticité :  $C=F \cdot G \cdot D$



### I.10.5. Les étapes d'AMDEC

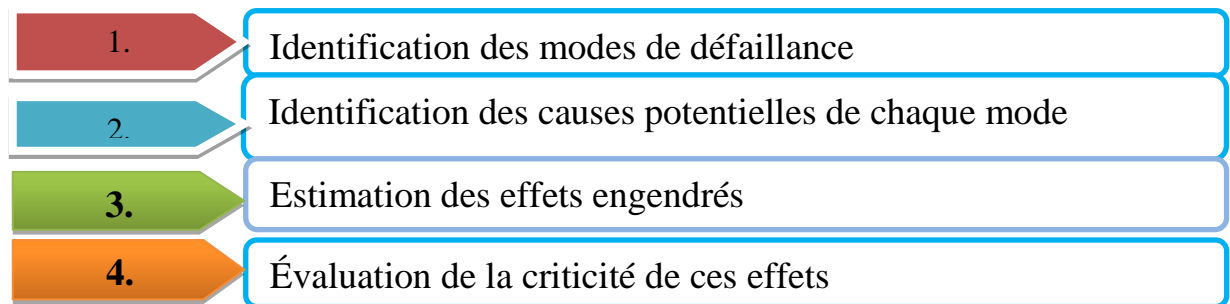


Figure I-12 : Étapes de la méthode AMDEC[19]

### I.11. La maintenance par l'analyse des huiles

Le contrôle des lubrifiants industriels autorise à mesurer l'état de dégradation et de contamination des lubrifiants pour connaître leur capacité à garantir correctement leur fonction. L'analyse des lubrifiants en service est un outil de maintenance conditionnelle des équipements industriels.

Les facteurs responsables du renouvellement d'un lubrifiant en service sont : [42]

- La pollution par les liquides (eau et solvants) et par des particules diverses (poussières, matériaux plastiques, fibres, etc.) dues au processus industriel et son environnement ;
- Les particules métalliques viennent de l'usure ou de la corrosion résultant des composants parcourus par le lubrifiant ;
- L'oxydation, en présence d'air ou d'atmosphère corrosive, quand les évolutions de température sont importantes.

Le suivi régulier de l'évolution des caractéristiques d'huile et la comparaison aux caractéristiques de l'huile neuve procurent des éléments de diagnostics à partir desquels se prennent les décisions d'intervenir sur le matériel ou de procéder au remplacement de la charge d'huile. La comparaison des résultats n'est pertinente que si l'échantillon est représentatif et si la périodicité de prélèvement est respectée. Il convient donc de préparer une méthodologie qui sera mise en œuvre dès la mise en service des équipements[42].

Pour réaliser ce type de maintenance il faut d'abord préparer trois points :

#### I.11.1. Préparer les prélèvements d'échantillons

Les échantillonnages effectuent l'objet de procédures dont l'application sera rigoureuse. Chaque échantillon est prélevé en un point représentatif du circuit et de préférence, pendant le fonctionnement du mécanisme, ou bien juste après son arrêt. [42]

La répétition de prélèvement dépend du type du lubrifiant , de machine, des conditions de travail, et de considérations économiques. À titre d'exemples l'analyse peut se faire :

- à chaque vidange du circuit ;
- entre vidanges (entre 500 et 2000 heures suivant les appareils) : compresseurs d'air, compresseurs de gaz, circuit hydrauliques, etc. ;
- Huiles moteurs tous les 10 à 30000 km ou 1000 heures de marche.

Les fréquences doivent être ajustées en fonction des résultats d'analyse.

### **I.11.2. Préparer les étiquetages**

L'étiquetage des échantillons est particulièrement important. Il identifie : le site de prélèvement, l'atelier ou unité, l'équipement, le composant, le lubrifiant.

On y précise également : le mode de fonctionnement du matériel (continu ou alternatif), le temps de marche depuis le dernier prélèvement (en unités d'usage : heures, km, cycle, jours...) et les appoints effectués en quantité et en fréquence. [42]

### **I.11.3. Préparer les diagnostics**

Un diagnostic total oblige à rapprocher les résultats d'analyse des événements survenus. Pour cela on doit retourner aux historiques d'exploitation et de maintenance pour prendre en compte : [42]

- Les conditions de fonctionnement du bien
- Les défaillances du circuit de lubrification
- Les défaillances des composants lubrifiés

### **Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons présenté les principaux concepts de maintenance, la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité et AMDEC et diagramme d'Ishikawa, ainsi que la maintenance basée sur l'analyse des huiles. On a aussi donné une vue globale sur la maintenance et son importance dans l'entreprise.

# *Chapitre II*

## *Lubrifiant et l'analyse des huiles*

## Introduction:

En simple terme, la lubrification ou le graissage est la première opération préventive, c'est un ensemble de techniques permettant de réduire le frottement, l'usure entre deux éléments en contact et en mouvement l'un par rapport l'autre. Une bonne lubrification est une condition nécessaire et suffisante pour le bon fonctionnement des contacts, et assure une durée de vie optimale à chaque organe mécanique.

## II.1.Lubrifiants et additifs:

### II.1.1.Définition:

- Le lubrifiant est un produit qui interposait entre les surfaces de frottement d'un mécanisme. Il permet une formation d'un film qui sépare les éléments glissants l'un sur l'autre , pour rôle de réduire le frottement et éliminer totalement l'usure [21].
- La présence d'un lubrifiant dans le contact de deux corps est considéré comme un film séparateur, c'est le troisième corps [22].

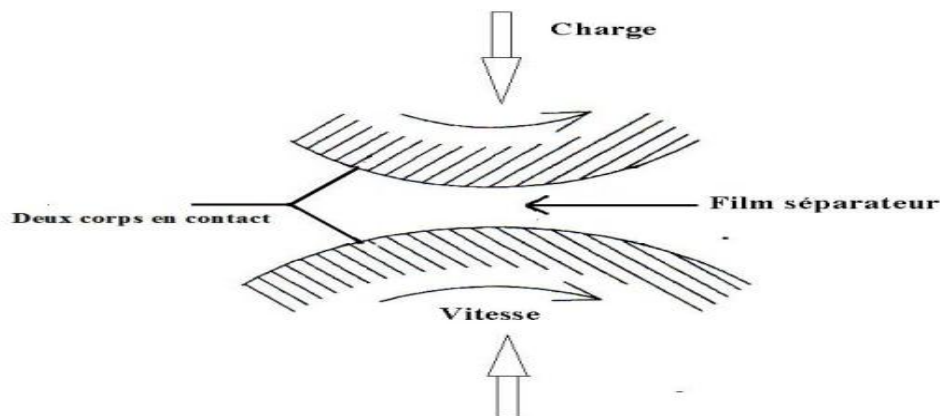


Figure II.1.Géométrie du contact[22]

### II.1.2.Fonction de lubrifiant:

Les fonctions principales d'un lubrifiant sont :

- **Refroidir** :La circulation de l'huile évacue les calories, et élimine les risques de fusion et de détérioration des organes.
- **Lubrifier** : Diminuer les frottements et les résistances passives dans les machines, améliorer leur rendement et économiser l'énergie. (La viscosité d'une huile devrait rester constante malgré des écarts de température)[23].

- **Etancher** :L'huile protège constamment les pièces contre les agressions des poussières aspirées, l'eau et l'acide...).

- **Nettoyer** :L'huile transporte toute particules d'usure ou impureté lors sa circulation vers les filtres, il maintient le mécanisme propre.

**II.1.3. Différents types de lubrifiants :**

On peut distinguer les lubrifiants selon leur représentation :

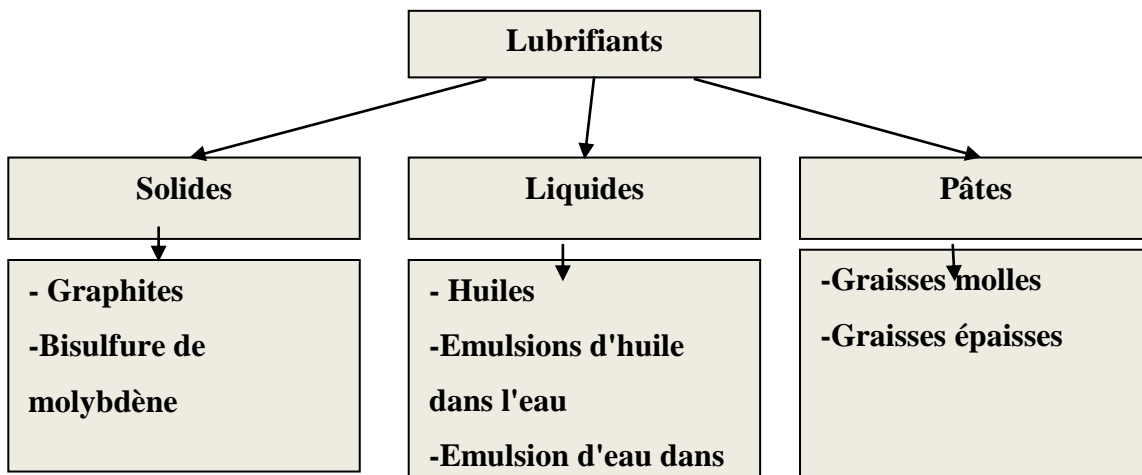


Figure .II.2. Les types du lubrifiants.

**II.1.4. Différents origines des huiles :**

On peut différencier les huiles selon leur origine : animale, végétale, minérale, ou synthétiques. Les huiles de base les plus utilisées sont d'origine minérale ou synthétique [24]:

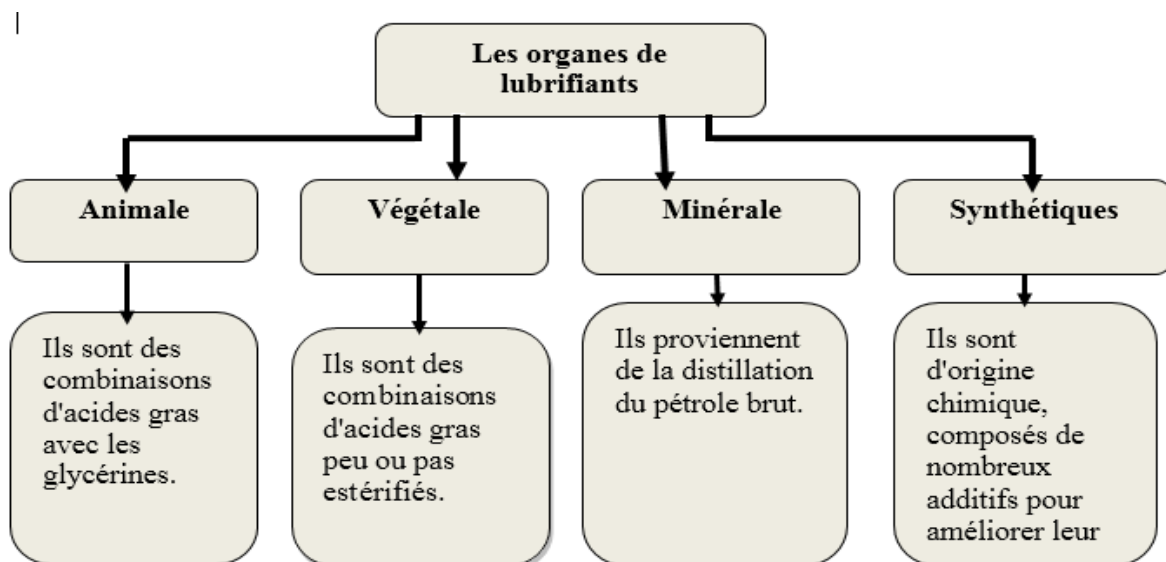


Figure II.3. Les origines des huiles.

I.2. Les additifs :

Un additif désigne une substance qui est introduite dans un mélange pour apporter une propriété spécifique.

Exemples d'additifs	
<b>Anti-oxydation</b>	Retarde l'oxydation de l'huile en présence d'oxygène.
<b>Anticorrosion</b>	Transforme la surface métallique pour former une véritable peinture isolante.
<b>Antifriction</b>	Réduit le coefficient de frottement en lubrification limite.
<b>Anti-congelant</b>	Permettre au lubrifiant de garder une bonne fluidité à basse température (de -15°C à -45°C).
<b>Anti-mousse</b>	Détruit la stabilité des bulles d'air formant la mousse.
<b>Anti-émulsion</b>	Evite le mélange de fluides étrangers avec l'huile et favorise la décantation (séparation) de l'ensemble.
<b>Additifs extrême pression</b>	Modifie la nature chimique des surfaces métallique de façon à éviter les arrachements de matière dus à la soudure des micro-aspérités sous forte charge.
<b>Détergence</b>	Evite l'agglomération des dépôts dans les parties chaudes
<b>Dispersion</b>	Maintient en suspension les résidus et les impuretés.
<b>Amélioration d'indice de viscosité</b>	Réduit la variation de viscosité en fonction de la température.

Tableau. II.1. Exemples d'additifs

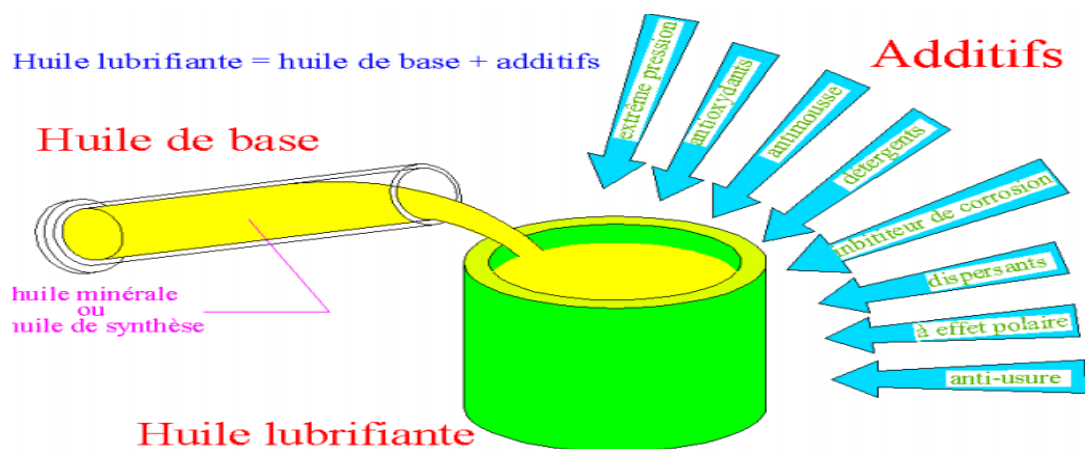


Figure II.4 : Composition d'huile [34].

### II.3. Propriétés physico- chimiques des huiles :

Un lubrifiant se qualifie pour une application déterminée par les propriétés requises pour cet emploi. Ces propriétés sont consignées dans un cahier des charges, une norme ou une spécification. Certaines sont reprises, sous forme résumée, dans les fiches techniques destinées aux utilisateurs.[28]

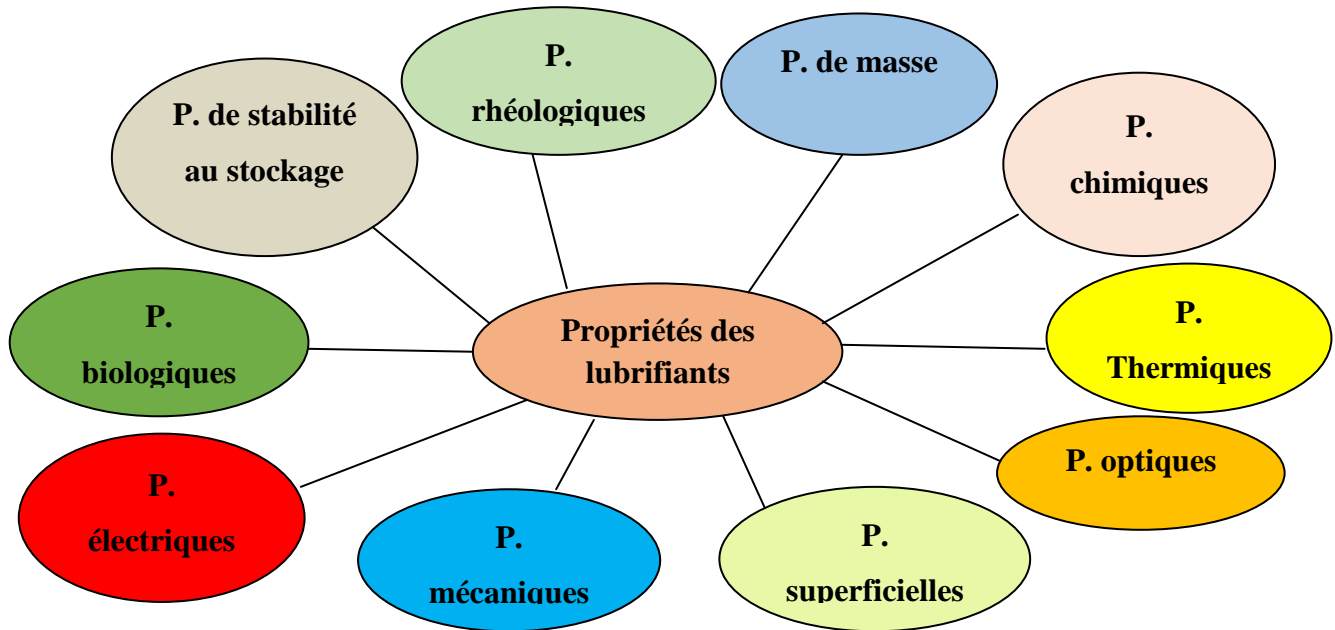


Figure II.5 : Propriétés des lubrifiants

#### II.3.1. Propriétés rhéologiques:

##### ❖ Viscosité :

De toutes les propriétés des huiles, la viscosité est certainement la plus importante. Dans les paliers, les engrenages, et les systèmes hydrauliques où le régime de fonctionnement est hydrodynamique, c'est la viscosité qui détermine les pertes de frottement, la capacité de charge et l'épaisseur du film d'huile[33].

Selon la norme NF T60.100 de novembre 1959, la viscosité d'un liquide est la propriété de ce liquide, résultant de la résistance qu'opposent ses molécules à une force tenant à les déplacer par glissement dans son sein. Elle est influé par plusieurs facteurs tels que :

- Altération des additifs au fur et à mesure du travail de l'huile.
- Pollution accidentelle par un autre lubrifiant ou un solvant.
- Perte de certains composants par fuite ou évaporation.
- Particules dues à l'usure mécanique de l'organe.

- Génération de résidus dus à l'oxydation de l'huile.

❖ **La viscosité dynamique :**

La viscosité dynamique (notée  $\eta$ [êta]) ou absolue est une grandeur physique qui caractérise à l'écoulement laminaire d'un fluide incompressible. Elle est déduite de la loi de Newton régissant l'écoulement laminaire d'un fluide visqueux entre une surface S mobile animé d'une vitesse u et une surface fixe distante de la surface mobile d'une distance h égale à l'épaisseur du film d'huile . Le déplacement relatif des deux surfaces nécessite un effort F destiné à vaincre la résistance tangentielle au frottement visqueux du fluide (figure).[27].

La viscosité dynamique  $\eta$  est définie par la relation suivante :

$$F = \eta \cdot S \cdot \frac{du}{dz}$$

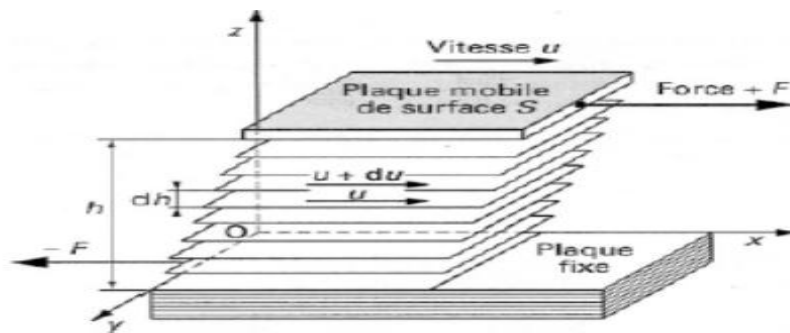


Figure II.6 : Ecoulement d'un film d'huile (viscosité dynamique)[27].

❖ **Viscosité cinématique :**

La viscosité cinématique (notée  $\nu$  [nu]) est le quotient de la viscosité dynamique par la masse volumique du fluide ( $\nu = \eta / \rho$ ). Elle représente la capacité de rétention des particules du fluide et quantifie sa capacité à s'épancher (se répandre), la relation de la viscosité cinématique :[35].

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} = K \cdot t$$

Avec:

$\rho$  : Masse volumique ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ).  $\eta$  : Viscosité dynamique (Pa.s)

K : Constante du tube t : Temps d'écoulement de l'huile (s).



Unités de viscosité:

Viscosité	Dimension	C.G.S.	S.I	Correspondance
$\eta$ (dynamique)	$M L^{-1} T^{-1}$	Poise(po) g/cm.s	Pascal seconde(Pa.s) Kg/m.s	1 cPo 1 mPa.s
$\nu$ (cinématique)	$L^2 T^{-1}$	Stokes (St) $cm^2/s$	$m^2/s$	1cSt 1 $mm^2/s$

Tableau II.2 : Unités de la viscosité

❖ Variation de la viscosité avec la température et la pression :

- La pression est un effet non négligeable sur la viscosité des fluides. La viscosité augmente avec la pression, ce phénomène présente une importance car dans certains mécanismes le lubrifiant subit des pressions qui peuvent atteindre  $10^9$  Pa, (boîtes de vitesses, réducteurs). Cette augmentation dépend de la nature du lubrifiant, elle est plus importante pour les huiles à caractère naphténique que pour les huiles à caractère paraffinique.

- La viscosité dépend fortement de la température, elle diminue lorsque la température augmente. Pour conserver un sens à la mesure, on doit préciser la température à laquelle a été faite. La viscosité en fonction de la température est donné par :

$$\log_{10} [\log_{10}(v + a)] = m \log_{10} T + b$$

Avec :

$a$  : un coefficient variant entre 0.6 et 0.8 selon la valeur de la viscosité cinématique  $\nu$ .

$b$  et  $m$  : sont des constantes caractéristiques de l'huile.

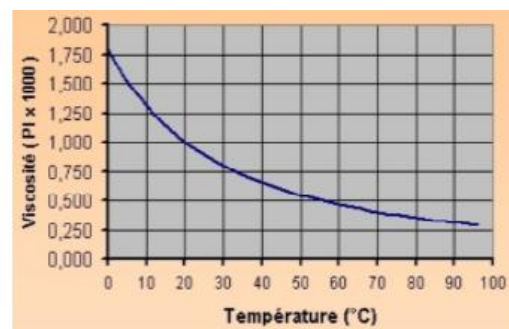
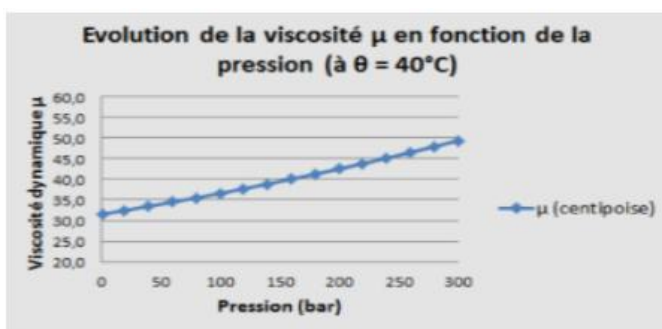


Figure II.7 : Variation de la viscosité avec la pression et la température[36][37].

Pression en (MPa)	Viscosité en pascal -seconde (Pa.s)		
	Huile paraffiner	Huile naphthénique	Eau
1	0.052	0.055	0.001
1400	0.810	2.2	0.00111
2800	8.700	91	0.00123

Tableau II.3 :Variation de la viscosité avec la pression d'une huile et de l'eau[26].

**Mesure de la viscosité :**

Un viscosimètre est un appareil destiné à mesurer la viscosité d'un fluide. On utilise des viscosimètres qui se rangent en deux catégories, les viscosimètres absolus et les viscosimètres empiriques. Il existe plusieurs types de viscosimètre par exemple :

- Viscosimètre à tube capillaire
- Viscosimètre à chute de bille
- Viscosimètre de couette
- Viscosimètre vibrant et viscosimètre rotatif.....

**❖ Indice de viscosité :**

L'indice de viscosité donne une idée de la variation de la viscosité de l'huile avec la température. La notion d'indice de viscosité a été conçue en 1929 par Dean et Davis. Ceux-ci retiennent deux séries extrêmes d'huiles de référence, les unes donnant les plus grandes variations de la viscosité d'une huile donnée est obtenu par comparaison avec ces deux série d'huiles de référence, **L** et **H** pour les indice **0** et **100** respectivement.

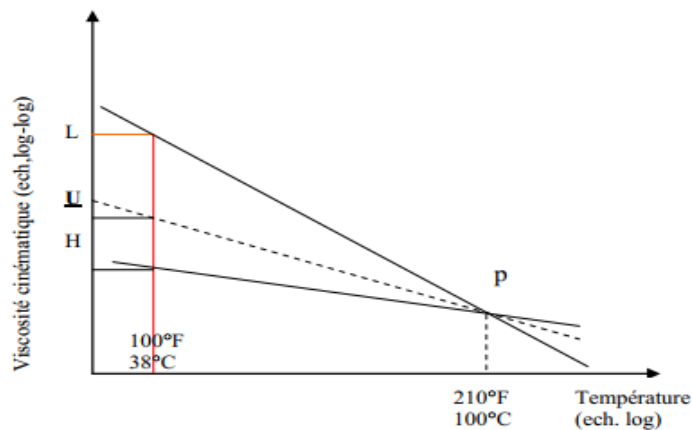


Figure II.8 : Définition de l'indice de viscosité[26]

Pour déterminer l'indice de viscosité d'une huile de viscosité **U** à 40°C et **P** à 100°C, on recherche les viscosités respectives **L** et **H** à 40°C .

L'indice de viscosité **VI** est alors donné par:  $VI = 100 \left( \frac{L-U}{L-H} \right)$

**❖ Point d'écoulement:**

Le point d'écoulement définit la température à laquelle une huile chauffée, puis refroidie dans des conditions bien précises et normalisées, cesse de couler (cristallise ou se solidifie).

**❖ La filtrabilité :**

Pour conserver au fluide un niveau correct de propriété en service, un système de filtration du lubrifiant est monté sur le circuit hydraulique. Cependant, aux basses températures, le lubrifiant peut contenir des cristaux de paraffine avant que son écoulement ne soit perturbé. Si ces cristaux sont arrêtés par les filtres, ceci entraîne à plus ou moins long terme le colmatage temporaire ou non du filtre, avec un changement répété du média filtrant sans que celui-ci n'ait nécessairement capturé des polluants solides [32].

**❖ La pompabilité :**

La pompabilité désigne l'aptitude d'un matériau visqueux à être pompé tout en conservant sa consistance et son homogénéité. [32].

**II.3.2.Propriétés de masse :****❖ Masse volumique :**

La masse volumique d'un liquide à une température donnée est la masse de l'unité de volume ; elle était autrefois désignée masse spécifique. Pour les produits pétroliers, elle est mesurée à 15 °C et est exprimé en  $\text{kg/m}^3$  ou encore en  $\text{kg/dm}^3$  ou en  $\text{g/cm}^3$ [31].

**❖ Compressibilité :**

Le module de compressibilité est de l'ordre de 6.105 en régime isotherme, par conséquent la diminution de volume est d'environ 2% à 350 bar et 4% à 700 bar. Les huiles sont d'autant moins compressible que la pression est plus forte, la viscosité plus faible et la température plus basse.

**II.3.3.Propriétés optiques :****❖ Couleur :**

La couleur d'une huile de base est d'autant plus claire qu'elle est mieux raffinée. Cette caractéristique permet l'identification d'une huile neuve. La couleur d'huile change en cours d'utilisation, elles se colorent par oxydation ou à cause de la pollution.[29]

**❖ Indice de réfraction :**

L'indice de réfraction est une grandeur sans dimension caractéristique d'un milieu. C'est le rapport des vitesses de transmission dans le vide et dans le lubrifiant d'une radiation

monochromatique donnée. La radiation généralement utilisée est la raie D du sodium. L'indice de réfraction à 20 °C est notée  $n_D^{20}$ [32].

### **II.3.4. Propriétés chimiques :**

#### **❖ Stabilité à l'oxydation :**

Toute élévation de température du lubrifiant peut entraîner une détérioration progressive de ce dernier par oxydation. La stabilité d'un lubrifiant en présence d'air ou d'oxygène est donc l'une de ces propriétés fondamentales[32].

#### **❖ Indice d'acidité et indice d'alcalinité :**

Ce sont des nombres qui caractérisent l'acidité ou l'alcalinité d'une huile. Ils sont exprimés en milligramme de potasse ou d'acide sulfurique nécessaire pour neutraliser un gramme d'huile(mg/g). Ces deux grandeurs permettent de déterminer le degré d'oxydation d'une huile, donc de suivre son vieillissement en service. Une huiles oxydée s'acidifie rapidement et risque de corroder les pièces métalliques qu'elle rencontre[29].

#### **❖ Teneur en eau :**

L'eau est l'un des principaux ennemis des lubrifiants. Dans les environnement humides, lorsqu'un lubrifiant reçoit de l'eau directement ou par condensation de vapeur, ses performances sont en général fortement diminuées. La sensibilité à l'eau est très variable selon le produit utilisé. Une teneur en eau trop élevée est un sérieux signal d'alerte avant une prochaine défaillance du mécanisme concerné [21].

#### **❖ Point d'éclair :**

Température à laquelle il faut chauffer un liquide combustible pour qu'il émane suffisamment de gaz pour former, avec l'air, un mélange momentanément inflammable pour qu'il prenne feu quand on en approche une petite flamme dans des conditions données.(Température à laquelle l'huile s'enflamme spontanément).

#### **❖ Teneur en soufre :**

Il n'y a normalement plus de soufre libre dans les lubrifiants après le raffinage, mais on en trouve souvent à l'état combiné dans des composés tels les mercaptans. On ajoute parfois du «soufre actif» sous la forme d'un additif améliorant les propriétés anti-soudure ou anti-grippage. Si l'huile se décompose, et selon que l'on se trouve en milieu réducteur ou oxydant, on peut assister à un dégagement toujours malvenu de sulfure d'hydrogène ou de dioxyde de soufre.

**II.3.5. Propriétés thermique:****❖ Stabilité thermique :**

La stabilité thermique d'un lubrifiant est sa capacité à résister à des modifications moléculaires qui surviennent à hautes températures en l'absence d'oxygène.

**❖ Conductivité thermique :**

La conductivité thermique moyenne est d'environ 0.14 W/m.k, elle chute de 7% entre 10 et 120°C et varie de façon inversement proportionnelle à la densité.

**II.3.6. Propriétés électriques :****❖ Conductivité :**

La conductivité ou la conductivité spécifique du conducteur, est l'inverse de la résistivité.

**❖ Rigidité diélectrique, résistivité :**

La rigidité diélectrique permet d'apprécier le pouvoir isolant d'une huile. Elle renseigne sur la résistance au claquage sous des tensions élevées. Cette résistivité est mesurée dans des conditions bien précises et normalisées.

**II.3.7. Propriétés superficielles :****❖ Moussage :**

Une huile contenant de l'air entraîné est un mélange hétérogène dans lequel l'huile constitue une phase continue, l'ensemble se présente sous la forme de petites gouttes d'air entourée d'huiles. Dans une mousse au contraire, l'air est en phase continue et l'huile en phase discontinue, le tout se présente sous la forme de nombreuses bulles d'air entourées de fines couches d'huiles.

**❖ Désémulsion:**

C'est l'aptitude que possède une huile à se séparer de l'eau qui accidentellement s'y introduit. o

comparaison de la densité d'une huiles usagée avec celle de l'huiles neuve permet de détecter d'éventuelles pollutions.[30]

**II.4. Classification des huiles lubrifiantes :**

Les huiles lubrifiantes peuvent être classées selon : leurs utilisations finales, leurs grades de viscosité, leurs paquets d'additifs ou par les marques de leurs producteurs. La classification la plus populaire des lubrifiants est fonction de leur usage à savoir, les huiles motrices, les huiles de transmission, les huiles pour turbines, les huiles pour engrenage, les

huiles pour compresseurs, les huiles de trempe utilisée dans la métallurgie, les huiles de coupe les huiles isolantes utilisées dans les transformateurs et les disjoncteurs, les huiles pour cylindres, les lubrifiants de câble métallique, les lubrifiants pour chaîne et les huiles hydraulique[23].

Les organismes suivant proposent des différentes classifications :ISO, SAE, AGMA-ASTM.

**II.4.1.Classification ISO :**

Cette classification se base sur la viscosité  $\nu$  en centistokes (cST)

Grade de viscosité	Viscosité cinématique $\nu$ à 40°C[cST]	
	Minimale	Maximale
<b>ISOVG2</b>	1,98	2,42
<b>ISOVG3</b>	2,88	3,52
<b>ISOVG5</b>	4,14	5,06
<b>ISOVG7</b>	6,12	7,48
<b>ISOVG10</b>	9,00	11,0
<b>ISOVG15</b>	13,5	16,5
<b>ISOVG22</b>	19,8	24,2
<b>ISOVG32</b>	28,8	35,2
<b>ISOVG46</b>	41,4	50,6
<b>ISOVG68</b>	61,2	74,8

Tableau II.4. Classification des huiles selon leur viscosité [38].

**II.4.2.Classification S.A.E (Society of Automotive Engineers):**

Est une classification quasi internationale basée sur la viscosité et adoptée pour les huiles de moteurs et les huiles de transmissions. Les grades S.A.E (normes S.A.E. J 300 Déc. 1995) [6].

Grade S.A.E	Valeur maximale de la viscosité dynamique à la température donnée (a) Pa.s	Valeur maximale de la température limite de pompabilité °C (b)	Viscosité cinématique à 100° C cSt = mm <sup>2</sup> /s		Viscosité dynamique à 150° C mPa.s
			Mini	Maxi inférieure à	mini
0W	3250 à -30	-35	3,8		
5W	3500 à -25	-30	3,8		
10W	3500 à -20	-25	4,1		
15W	3500 à -15	-20	5,6		
20W	4500 à -10	-15	5,6		
25W	6000 à -5	-10	9,3		
20			5,6	9,3	2,6
30			9,3	12,5	2,9
40			12,5	16,3	2,9ou 3,7
50			16,3	21,9	3,7
60			21,9	26,1	3,7

a) Cette viscosité est mesuré selon la norme ASTM D 2602 sur un viscosimètre de type couette dont la vitesse varie selon la valeur de la viscosité mesuré.

b) La température limite de pompabilité est mesurée selon la norme ASTM D 3829, elle évalue la possibilité pour une huiles d'être aspirée et mise en pression par une pompe à huile de moteur lors des démarrages à froid.

Tableau. II.5. Les grades S.A.E pour les huiles moteurs

### II.5.Analyse d'huile :

L'analyse des huiles en service contribue à compte les coûts de maintenance par une meilleure connaissance de l'état des machines et de l'évolution du lubrifiant. Elle est comparable à l'analyse de sang où elle reflète le comportement et l'état du système dans lequel il circule. Cette technique s'applique à l'ensemble du parc des machines lubrifiées.

Le suivie de ses propriétés physico-chimiques permet d'estimer l'état de dégradation de l'huile et de connaître sa capacité à remplir complètement ses fonctions initiales de lubrification. L'évolution de cette dégradation peut être un indicateur de condition d'utilisation des biens.

Cette méthode complémentaire est suivie par une analyse vibratoire et Thermographique.

L'analyse d'huile, pratiquée dans le cadre d'une maintenance préventive conditionnelle, va permettre de détecter et de suivre les dysfonctionnements potentiels, par exemple, sur un compresseur (piston, à vis et centrifuges) :

- Usure mécanique.- Pollution externe - Evolution du lubrifiant en service (dépôts, oxydation,...).

### **II.5.1. la méthode de surveillance :**

#### **a. Sur champ (site) :**

- Par prélèvement d'échantillons et examens visuels (couleur) des huiles en service.  
- Par un suivi continu de l'évolution des paramètres techniques, des historiques des vidanges et appoints d'huile, des opérations en maintenance corrective pour chaque machine[38].

#### **b. En laboratoire :**

- Par analyses physico-chimiques examinant la qualité lubrifiante de l'huile, par la détermination de la teneur en produits d'usure, par test microscopique et comptage des particules en suspension dans l'huile. L'interprétation de certains résultats de mesure est souvent délicate notamment parce que l'évolution, jugée anormale, d'un élément de l'analyse peut avoir plusieurs causes, mais, grâce à une meilleure connaissance des phénomènes d'usure et de dégradation des matériaux ainsi qu'au développement de nouvelles technologies assistées par l'information, la maintenance conditionnelle par l'analyse des huiles représentera un outil de progrès pour les responsables de maintenance [38] [43].

#### **Préparation d'un échantillon:**

➤ Pour préparer un échantillon d'huile en vue d'une analyse, il faut commencer par extraire un échantillon représentatif du réservoir contenant l'huile à analyser. Ensuite il faut filtrer cet échantillon.

➤ La prise de l'échantillon doit être faite de façon aussi soignée que possible. Tout échantillon incorrectement prélevé peut conduire à des conclusions erronées.

#### **Echantillonnage:**

Il existe deux conditions principales pour obtenir un échantillon de lubrifiant représentatif:

- ✓ L'échantillon doit être extrait d'un volume de lubrifiant en mouvement.
- ✓ L'échantillon doit être extrait à chaud.



**Une prise d'échantillon représentatif:**

- ❖ Pour un système à lubrification sous pression.
- ❖ Pour un système non pressurisé. Il existe plusieurs techniques d'échantillonnage pour les systèmes non pressurisé:

**a. Echantillonnage depuis un robinet de drainage fixé au réservoir:**

Extraire un volume d'huile dans une bouteille témoin à partir du réservoir par l'intermédiaire d'un robinet de drainage.

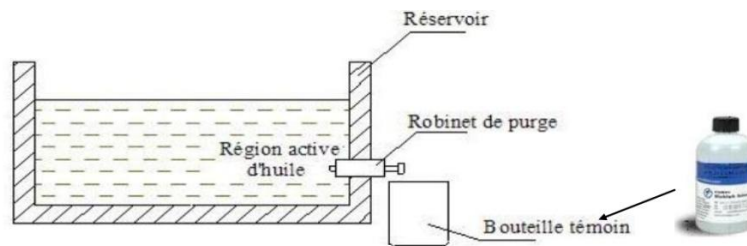


Figure. II.9. Principe d'échantillonnage depuis un robinet de drainage [39].

**b. Echantillonnage par tube et pompe à vide :**

Extraire un volume d'huile par l'intermédiaire d'un tube et une pompe à vide, le tube peut être installé façon permanente dans le reniflard pour éviter la contamination de l'échantillon.

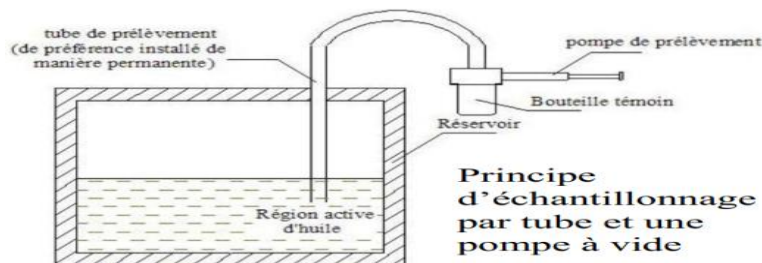


Figure .II.10. Principe d'échantillonnage par tube et une pompe à vide [39]

**Echantillonnage avec seringue et mini connexion:**

Extraire un volume d'huile en utilisant une seringue et un mini connexion.

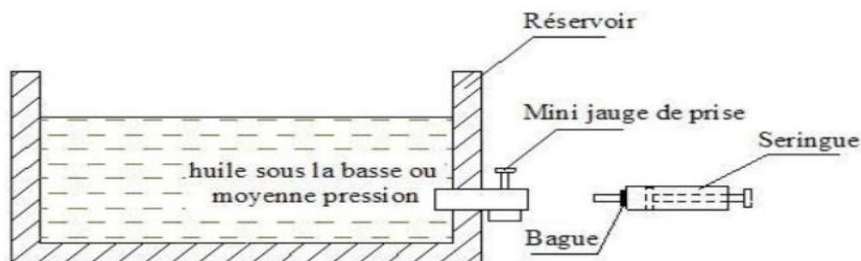


Figure .II.11. Principe d'échantillonnage par seringue et mini connexion [39].

**Conclusion :**

L'analyse des huiles peut être appliquée à toutes les machines qui contiennent un fluide (huile ou graisse) que l'on peut prélever, la méthode fournit des informations précieuses sur la santé des composants de la machine et des systèmes de lubrification. L'analyse d'un échantillon de quelques dizaines de millilitres nécessite une bonne connaissance des propriétés physicochimique des huiles lubrifiantes.

# *Chapitre III*

## *Etude de cas*

**Introduction :**

Notre étude de cas est réservée pour établir un plan de la maintenance préventive PMP pour compresseur rotatif à vis à l'aide d'une analyse physicochimique de l'huile lubrifiante qui circule dans cette machine tournante. Ce compresseur de marque ATLAS COPCO se trouve au niveau de l'entreprise nationale des véhicules industriels « SNVI » de Bouchekif Tiaret.

**III .1. Présentation de la Société nationale des véhicules industriels :**

La société nationale des véhicules industriels ou SNVI, la Filiale Carrosseries Industrielles de Tiaret, situées à la commune d'Ain Bouchekif - Tiaret à 3 Km de l'aéroport de Tiaret, spécialisée dans la conception et la fabrication de carrosseries industriel portés et tractés dans les gammes suivantes : Plateaux, Bennes, Citernes à eau, Citernes hydrocarbures, cocottes à ciment Portes engins, Fourgons frigorifiques/standards et véhicules spéciaux. Année de démarrage en production : 1982 [40]

Et leur surface totale est : 72ha 31 ares 01ca avec : 08ha 66ares 00cacouvert.

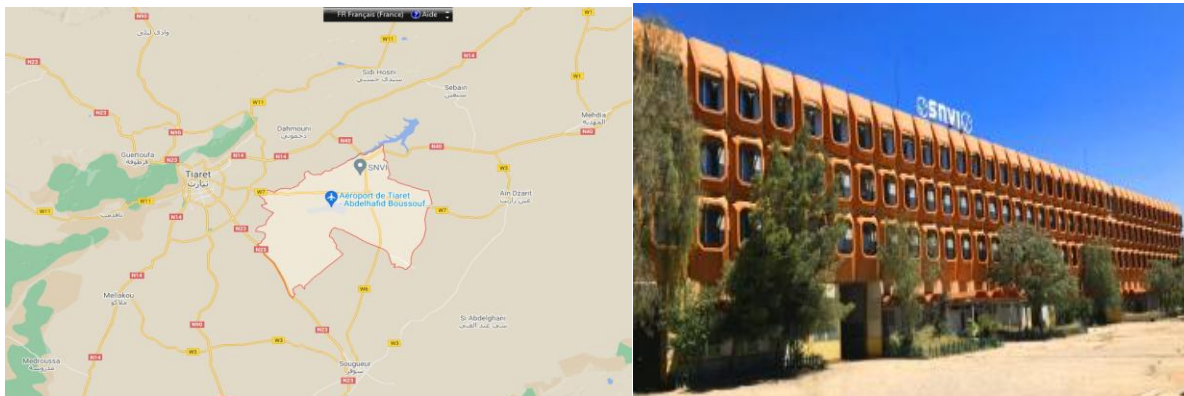


Figure III.1 : l'Entreprise Nationale des Véhicules Industriel –SNVI

Capacité annuelle installée est de 9000 produits répartie comme suit :

- Plateaux 3500 unités
- Bennes 4150 unités
- Citernes 500 unités
- Portes Engins 200 unités
- Fourgons 650 unités [40]



Figure III.2 : les produits de SNVI

### III.2. Vue globale du compresseur d'air ATLAS COPCO :

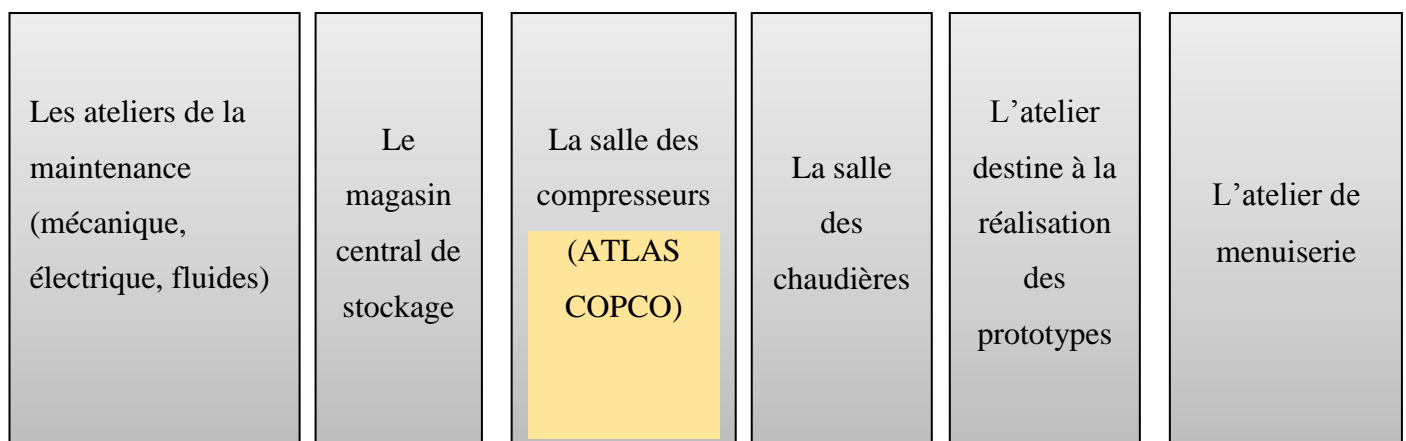
Une large gamme de compresseurs d'air rotatifs à vis lubrifiées fiables et économiques qui ont un rendement énergétique supérieur pour toutes les applications à basse, moyenne et haute pression sont fournies aux industrielles par la marque ATLAS COPCO. La société SNVI dispose d'un compresseur de cette marque du type GA90 FF utilisés dans l'unité fluide pour alimenter la plupart des unités de production par l'air comprimé.

### III.3. Caractéristiques techniques du compresseur ATLAS COPCO :

Type	GA90 FF		
Séries	AP1826269		
MAWP	0.25 bar	120pal	0.83MPa
Qv	274.6 I/a	581.9cfm	16.48m <sup>3</sup> /min
Tension	400v	Freq:50 Hz	3ph
E moteur	90KW	125hp	
R moteur	2978r/min		
Masse	1545 kg	3406 lb	
Année de fabrication	2017		
ATLAS COPCO puissance aérienne	N.V.B- 2610 Wilrijk Belgium		

Tableau III.1 : les caractéristiques techniques d'ATLAS COPCO

### III.4. Remplacement de la machine :



La salle des compresseurs se situe au milieu des quatre unités de production de la société, elle alimente tous les équipements pneumatiques par l'air comprimé à l'aide d'une canalisation.

### III.5.Schéma fonctionnel de la machine Atlas Copco :

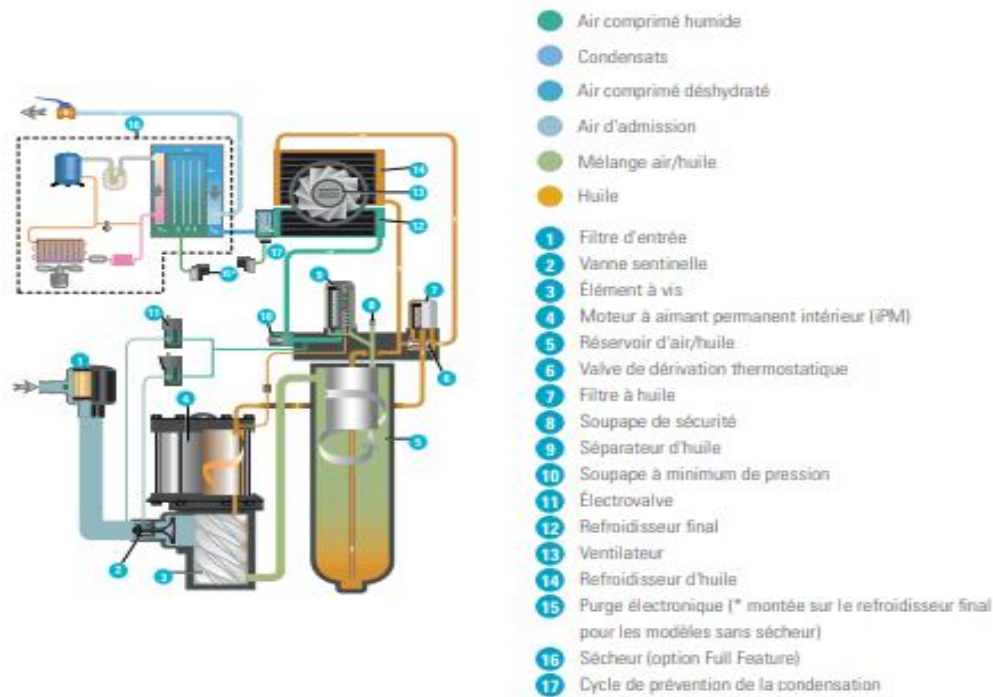


Figure III.3 : le schéma fonctionnel d'Atlas Copco

### III.6.Principe de fonctionnement :

L'air aspiré est comprimé jusqu'au niveau de compression finale dans des chambres dont le volume réduit constamment suite à la rotation du rotor, puis évacué par les conduites de pression. Les chambres sont formées par les parois du carter et les spires imbriquées des rotors. Le facteur décisif pour l'exploitant n'est pas le débit délivré par le bloc vis, mais le débit réellement disponible à la sortie du dispositif. Ce débit dépend des infimes pertes de pression internes occasionnées par les courts trajets dans le système et des faibles pertes de charge dues au raccordement direct des composants sans raccords à vis. Les rotors du bloc vis fonctionnent pratiquement sans contact. La durée de vie des palies ne dépend pas de la vitesse de rotation des rotors, mais de la vitesse périphérique. Le logement des rotors est dimensionné

en fonction de leur vitesse de rotation .Les blocs vis fonctionnent toujours dans une plage de vitesse périphérique optimale.

**-Les Compositions des équipements :**



Figure III.4 : les compositions de la machine ATLAS COPCO

1	Système d’entrainement sans entretien	6	Purge électronique des condensats sans perte
2	Moteur haut de gamme à haut rendement IE3/NEMA	7	Filtre d’entrée à air pour usage intensif
3	Filtre à huile robuste à visser	8	Elektronikon
4	Système de blocage d’entrée SIL Smart pour les compresseurs GA VSB	9	Suppresseur de refroidissement de l’armoire
5	Réfrigérant d’huile et réfrigérant final surdimensionnés séparés	10	Entrainement NEOS

Tableau III-2 Les compositions d’Atlas copco GA 90 FF

**III.7.Caractéristique de l’huile NDURANCE :**

Pour la lubrification de ce compresseur le fournisseur propose une huile lubrifiante de marque NDURANCE d’une couleur transparente à jaune paille, ces caractéristiques générales sont sur le tableau III-3. Il recommande une vidange de fréquence 5000/1 heures/an.

Performance	Méthode	Valeur
Densité à 15° C	ISO 3675	0.87 Kg/dm <sup>3</sup>
Viscosité à 40 °C	ASTM D 445	55 mm <sup>3</sup> /s
Indice de viscosité	ASTM D 2270	106
Stabilité de la mousse	ASTM D 892	0 ml
Total Acid Number	ASTM D 974	0.1 mgkOh/g
Pour point	ASTM D 97	-33°C

Tableau III.3 : les caractéristiques d'huile NDURANCE

### III.8. Les prélèvements des Échantillons :

Pour effectuer l'analyse des propriétés de l'huile lubrifiante au niveau des laboratoires en utilisant la technique d'échantillonnage depuis le drainage fixé au réservoir : Extraire un volume d'huile dans une bouteille témoin à partir du réservoir par l'intermédiaire d'un robinet de drainage.

Pour la comparaison des propriétés physico-chimiques de l'huile nous avons prélevé deux échantillons de l'huile utilisés avant la mise en service (neuf) et après la mise en service.

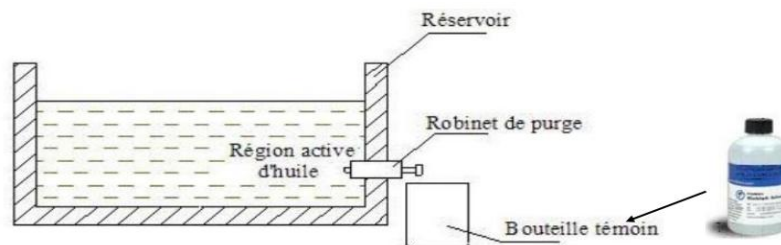


Figure III.5: Principe d'échantillonnage depuis un robinet de drainage

### III.9. Analyse physico-chimiques de deux huiles :

Pour analyser l'huile usagée, on choisit une huile de référence l'huile non usagée puis on compare leurs caractéristiques à la même température. Les propriétés physico-chimiques choisies à tester sont les disponibles au niveau des laboratoires de recherche de chimie et de physique de la faculté SNV.

- **Détermination de la viscosité :**

Pour évaluer la viscosité des deux échantillons nous avons disposé d'un viscosimètre mobile de type couette qui se trouve au niveau du laboratoire du hall technologique. Ce type de viscosimètre est formé de deux cylindres, intérieur et extérieur, dont le premier fixe, et le



second rotatif. Le produit à étudier est placé entre les deux cylindres. La viscosité du fluide est définie par la mesure des forces, permettant de stopper la rotation de second cylindre, les mesures sont donné directement en forme digitale sur l’afficheur illustré comme suit :

	Huile neuf	Huile usagé
Viscosité à $T=27^{\circ}C$ en Cst	80	72

Tableau III.4 : valeur de la viscosité mesuré

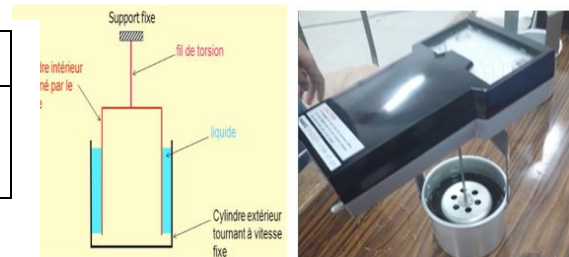


Figure III.6:Viscosimètre de couette

• Analyse de la teneur en eau :

Cette méthode est basée sur l’ajout d’une quantité de  $CaCl_2$ , qui est considéré comme l’un des séchoirs à eau.

- A température  $27^{\circ}C$  on met dans un bécher le volume de 20ml d’huile usagée et de 20ml d’huile neuve on ajoute une quantité de  $CaCl_2$  de 5.04g, dans les deux bécher. Nous mélangeons les deux bécher alternativement pendant environ 15 min et filtrons  $CaCl_2$  par verre filtré et mesuré cette échantillon qui absorbé l’eau.

-La présence d’eau dans l’huile indique une contamination venant de l’extérieur ou de la condensation.



Figure III.7 : la mesure de la teneur à eau.

	L’huile neuf	L’huile usée
Poids de $CaCl_2$ avant de filtration	5.04 g	5.04 g
Poids de $CaCl_2$ après de filtration	6.2 g	5.4g
Teneur en eau	$6.2g - 5.04 g = 1.17g$	$5.4 g - 5.04 = 0.36g$

Tableau III.5 :la quantité d’eau dans 20ml d’huile

- Calculé la quantité d'eau dans 1L

L'huile neuf	L'huile usée
$1.17\text{g}/0.02\text{L} = 58,5\text{g}$	$0.36\text{g}/0.02\text{L} = 18\text{g}$

Tableau III.6 : la quantité d'eau dans 1L

- On remarque qu'il y a une différence entre la quantité d'eau dans l'huile usagée et l'huile neuf ( $1.17\text{g} > 0.36\text{g}$ ) parce que la haute température dans la machine tu fais bouillir l'eau.

• **Détermination l'indice de réfraction :**

Pour déterminée sa valeur on a utilisé un appareille Réfractomètre à température  $27^{\circ}\text{C}$  qui se trouve dans le laboratoire de SNV. Un échantillon d'huile transparente est placé dans la partie en toit inversé d'un bloc de verre dont on connaît précisément l'indice, on fait cette méthode deux fois pour échantillon d'huile usagée et pour échantillon d'huile neuf.



Figure III.8: la mesure de l'indice de réfraction d' huile neuf



Figure III.9: la mesure de l'indice de réfraction d'huile usée

L'indice de réfraction est le rapport de la vitesse de la lumière  $c$  dans le vide par la vitesse  $v$  dans un milieu considéré. :

$$n = \frac{c}{V}$$

L'indice de réfraction dépend de la longueur d'onde  $\lambda$  de la lumière utilisée et aussi de la température.  $n(\lambda)=A+B(\lambda)$ , Où A, B sont des constantes dépendant du milieu.

	L'huile neuf	L'huile usée
L'indice de réfraction	<b>1,4772</b>	<b>1,4783</b>

Tableau III.7 : l'indice de réfraction

La valeur de l'indice de réfraction pour les deux échantillons d'huile est presque identique (1,47), elle est considérée comme étant un paramètre de pureté d'un corps gras. Ça revient probablement à la courte durée d'utilisation de l'huile après la dernière vidange.

### • Détermination la densité

Cette méthode traite de l'utilisation de pycnomètres avec des produits sous forme liquide.

#### -Passage de l'échantillon :

Pour d'huile non usagé - Le volume de cette pycnomètre  $v=10\text{ml}$

- Placer le pycnomètre propre, et vide sur la balance et mesure la masse  $m_0 = 14.9\text{g}$
- Remplir le pycnomètre avec un échantillon du produit d'essai (l'huile neuf) et mesuré la masse  $m_1=23.6\text{ g}$



Figure III.10 : Utilisation de pycnomètre pour mesure la densité

- Calculer  $m = m_1 - m_0$

$$m = 23.6\text{ g} - 14.9\text{ g} = 8.7\text{ g}$$

- La masse volumique à une température donnée  $27^\circ\text{C}$  :

$$\rho = 8.7 / 10\text{ml} = 0.87\text{ g/ml}$$

Déterminer Densité :  $\rho = 8.7\text{g} / 10\text{ml} = 0.87\text{g/ml}$

- Pour d'huile usée : on fait les même étapes précédents on a :

$m_0 = 14.9\text{g}$  (masse de pycnomètre vide)

$m_1 = 23.8\text{g}$  (masses de pycnomètre rempli)

Densité = 0.87

	L'huile neuf	L'huile usée
Densité en g/ml	0.87	0.89

Tableau III.8 : la valeur de densité

L'écart entre les deux mesures est probablement dû à la présence des microparticules dans l'huile usée.

- **Spectroscopie Ultraviolet- visible :**

Un spectre UV-visible est, pour l'essentiel, un graphe qui relie l'absorbance à la longueur d'onde dans les régions visible et ultraviolette. Un tel spectre peut Sant d'un système d'être produit en continu par des spectrophotomètres très disposant d'un système de balayage en longueur d'onde. Les longueurs d'onde des pics d'absorption peuvent être corrélées avec les types de liaisons dans une molécule donnée et sont valides pour déterminer les groupes fonctionnels dans une molécule. [41].

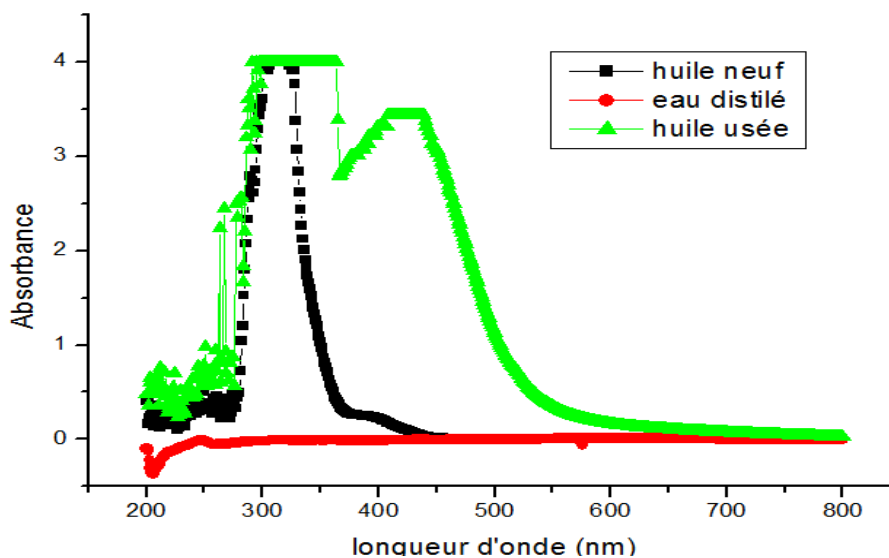


Figure III-11 : résultats de la Spectroscopie Ultraviolet pour les échantillons

- la différence d'onde observation entre les deux pics est en raison de l'entrée de Nouveaux atomes des matériaux (Fe, Cu, Ni, Pb ...) dans la composants de l'huile usée de la machine.

• **Indice d'acidité total (T.A.N.):** Permet de vérifier le niveau d'acidité de l'huile lubrifiante. Dans le cas où l'acidité devient trop élevé (donc corrosive), l'indice d'acidité devient un déclencheur de vidange.

$$TAN = \frac{V * N * 56,1}{P_e}$$

V : volume de KOH utilisé pour titrer la prise d'essai (ml),

N : normalité de la solution de KOH,

P<sub>e</sub> : prise d'essai (en gr).



Figure III-12 Instruments de mesure de TAN

	Huile neuf	Huile usée
<b>Indice d'acide (mg KOH/g d'huile)</b>	<b>0.049</b>	<b>0.053</b>

Tableau III-9 Les valeurs d' indice d'acide

- La cause principale de cette variation est la présence de la contamination d'huile.

-Tableau récapitulatif des différent résultats obtenus par des essaye faite dans le laboratoire :

Propriété physico chimique	Echantillon de l'huile neuf	Echantillon de l'huile usée
Viscosité à 27°C	80 mpas	72 mpas
Indice de viscosité	<b>93</b>	<b>94,88</b>
densité	<b>0,87 g/ml</b>	<b>0,89 g/ml</b>
Teneur en eau	<b>58,5 g/l</b>	<b>18 g/l</b>
Indice d'acidité	<b>0.49 mg KOH/g d'huile</b>	<b>0.53 mg KOH/g d'huile</b>
Indice de réfraction	<b>1,4772</b>	<b>1,4783</b>
Point d'éclair	228°C	215°C

Tableau III- 10 : Tableau récapitulatif des différent résultats

- Les résultats obtenus sont généralement dans l'intervalle admissible recommandé par les fournisseurs des huiles lubrifiantes et ça est dû certainement à la courte durée entre le vidange et l'échantillonnage. À partir de ces informations on peut établir un plan de maintenance préventive PMP systématique pour les différents organes du compresseur ATLAS COPCO.

### III. 10. Plan de maintenance préventive PMP :

On établit un plan de maintenance préventive (Compresseur d'air) :

A : chaque 15 semaine.

B :chaque 30 semaine.

C : chaque 45 semaine.

D :chaque74 semaine.

E :chaque 119 semaine.

F : Toutes les semaines.

Tableau des opérations :

A	B	C	D	E	F	Opérations
						Vidange d'huile
						Graisser la soupape de pression minimum
						Révision bride déshuileur
						Nettoyage radiateur air/huile
						Contrôler les branchements électriques
						Remplacement cartouche filtre à l'huile
						Graissage des roulements moteur
						Remplacement ventilateur variateur
						Contrôler le degré d'obstruction du pré-filtre anti-poussière
						Contrôler le degré d'obstruction des filtres dans le boitier électrique
						Essai protection thermique huile

Tableau III-11 Les opérations de maintenance préventive

**Elaboration d'un plan de maintenance préventive (PMP) :**

Système : Atlas Copco GA 90 FF			
Sous système : Filtration et ventilation			
Elément	Action de maintenance	Intervenant	Intervalle
Ventilateur	Changement de ventilateur	Technicien Qualifié	Toutes les 74 semaines de fonctionnement
Soupape	Graisser la soupape de pression	Opérateur	Toutes les 45 semaines de fonctionnement
Tuyaux flexible	Changement des tuyaux	Technicien Qualifié	Toutes les 74 semaines de fonctionnement
Filtre à huile	Contrôler le degré d'obstruction du pré-filtre anti-poussière	Technicien Qualifié	Toutes les semaines
Huile	Vidange d'huile	Opérateur	Toutes les 30 semaines de fonctionnement
Bride déshuileur	Remplacement de cartouche filtre déshuileur	Technicien Qualifié	Toutes les 15 semaines de fonctionnement
Radiateur air/ huile	Nettoyer radiateur air/huile	Technicien Qualifié	Toutes les 15 semaines de fonctionnement

Tableau III-12 Plan de maintenance préventive

**Conclusion :**

- Dans la première partie, nous avons fait analyse d'une l'huile neuf et l'huile usée pour indiquer la différence entre les deux par l'analyse physico-chimique en dedans la viscosité et analyse de la teneur en eau et l'indice de réfraction et la densité et spectroscopie Ultraviolet visible.
- Dans la deuxième partie, nous avons fait une étude de plan de maintenance préventive (PMP) systématique pour les différents organes du compresseur ATLAS COPCO

# *Conclusion générale*



# Conclusion générale

L'activité de maintenance des machines tournantes fait appel depuis des dixièmes d'années à des techniques de diagnostic de plus en plus sophistiquées. Plusieurs techniques de diagnostic sont utilisées pour prédire le dysfonctionnement des appareils parmi celles il y a l'analyse des huiles basées sur la détermination des caractéristiques physiques et chimiques de lubrifiant qui circule dans la machine. L'analyse des lubrifiants en service contribue à optimiser les coûts de maintenance (directs et indirects) par une meilleure connaissance de l'état des machines et de l'évolution du lubrifiant. Cette technique s'applique à l'ensemble du parc des machines lubrifiées. À l'aide des connaissances de ses propriétés physicochimique des huiles le staff du service maintenance à l'entreprise peut déclencher un plan de maintenance préventif concernant l'équipement envisagé. Dans ce travail, les échantillons prélevés d'après un compresseur rotatifs avis au niveau de la SNVI Tiaret, sont contrôlés dans le laboratoire et les résultats des propriétés obtenus indiquent quelques anomalies sur le filtre de l'entrée d'air et les joint d'étanchéité, cela nous conduit à recommander une stratégie de maintenance préventive conditionnelle pour certains organes du compresseur ATLAS COPCO tel que le système de filtration et l'unité principale. Dans les perspectives de ce travail nous proposons l'utilisation des autres techniques de diagnostic avancées (analyse acoustique, analyse, la thermographie) pour accompagner l'analyse des huiles.

### Bibliographie

- [1] mémoire « amélioration de la maintenance des équipements au niveau de l'atelier de tissage (denitex-Sebdou)
- [2] NF-EN-13306-X-60-319.Terminologie de la maintenance Norme AFNOR.2001
- [3] Driss Bouami Le Grande Livre de la Maintenance « afnor EDITION
- [4] H.P.RAMELLA.MAINTENANCE des turbines à vapeur.Techniques de l'ingénieur, Référence BM4186.2002
- [5] concept et stratégies de Maintenance.  
<http://www.hubertfaigner.com/articles.php?lng=fr&pg=10>.
- [6]ENIET-CAMEROUN cours de STRATEGIE DE MAINTENANCE
- [7] G.DUCHEMIN. Maintenance des machines et des moteurs .Techniques de l'Ingénieur,Référence BM418.2006
- [8] C.VALDEZ-FLORES, R.FELDMAN.A Survey of préventive maintenance models for stochastically deteriorating single-unit systems.International Journal of Naval Research Logistics,36/4 :419-446.1989
- [9] ARAB MUSTAPHA MÉMOIRE Contribution à l'amélioration de la maintenance prédictive dans l'industrie
- [10] [compta-online.com/methode-abc-queelles-etapes-pour-sa-mise-en-place-ao3299](http://compta-online.com/methode-abc-queelles-etapes-pour-sa-mise-en-place-ao3299)
- [11] La maintenance préventive  
[http://chohmann.free.fr/maintenance\\_preventive.htm](http://chohmann.free.fr/maintenance_preventive.htm)
- [12] [utc.fr/tsibh/public/3abih/11/stage/ceram/index.html](http://utc.fr/tsibh/public/3abih/11/stage/ceram/index.html)
- [13] note de cour « Saad »
- [14] HAMDAOUI Lakhder /KHABBAR Hocine Thème : Etude analytique de la maintenance préventive D'un compresseur à vis-ATLAS COPCO GA15 Université kasdi.
- [15] BELLAOUAR Ahmed / BELEULMI salima cour FMD (FIABILITE, MAINTENABILITE et DISPONIBILITE) UNIVERSITE constantine1Année Académique
- [16] Organisation industrielle BTS ATI 2 Cours S115-Organisation et suivi de la maintenance\_CH2
- [17] [certification-qse.com/methode-amdec](http://certification-qse.com/methode-amdec)
- [18] DOUBA Nadji / BEROUBA Slimane Thème : Analyse Analytique FMD et AMDEC
- [19] [indeoconsulting.com/news/la-methode-amdec-appliquee-aux-etablissements-de-sante-pour-mieux-maitriser-les-risques/](http://indeoconsulting.com/news/la-methode-amdec-appliquee-aux-etablissements-de-sante-pour-mieux-maitriser-les-risques/)

- [20] Abderahim CHRRBAL Nouredine SADAOUI THÈME MAINTENANCE DES MOTEURS A ESSENCE
- [21] M. Yefrah .Bendref , M.R , choix d'une huile et mode de lubrification pour un réducteur de vitesse , Mémoire de fin d'étude master académique , Université Abdelhamid ibn Badis-Mostaganem, 2020.
- [22] M. R. Sari, Effets des pollutions solides des lubrifiants sur les surfaces des roues dentées , Thèse de doctorat , Université Badji Mokhtar, Annaba , 2008
- [23] I .Laib , Etude de la stabilité à l'oxydation des huiles lubrifiantes algériennes(pour moteur à essence ) , Mémoire de magister , Université de Boumerdes , 2010.
- [24] Kh .NEDJJARA , Etude de la réactivité thermique d'une huile de lubrification des moteur diesel , Thèse de doctorat , Université , Mohammed V- Agdal-Maroc , 2011.
- [25] COURVOISIER A et DU PARQUET J , " Basses et additifs pour lubrifiant ". Frottement usure et lubrification dans l'industrie C23- C24 Journées , 29 Septembre 1978.
- [26] Y. BENLALLI , Modélisation numérique du comportement dynamique d'un film d'huile dans un roulement à bille , Thèse de doctorat , Université d'Annaba, 2008.
- [27] W. KRIKA , Etude de l'influence de la qualité du lubrifiant sur la vibration des machines tournantes lubrifiées , Mémoire de magister , Université de Souk-Ahras .
- [28] [techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/mécanique-th7/lubrification-42465210/lubrifiants-b5340/](http://techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/mécanique-th7/lubrification-42465210/lubrifiants-b5340/)
- [29] I .KAIDI , Contribution à la mise en place d'un contrôle santé intègre sur un turboalternateur , Mémoire de magister , Université de BADJI MOKHTAR Annaba , 2009.
- [30] L .Lamia , Etude de la stabilité à l'oxydation des huiles lubrifiantes algériennes(pour moteur à essence) , Mémoire de magister , Université de Boumerdes , 2010
- [31] [techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/mécanique-th7/lubrification-42465210/lubrifiants-b5340/propriétés-massique-b5340/niv10001.html#:text=Les%20](http://techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/mécanique-th7/lubrification-42465210/lubrifiants-b5340/propriétés-massique-b5340/niv10001.html#:text=Les%20)
- [32] GIRAUD. L , Modèle prédictif pour le développement d'un système embarqué de vidange des lubrifiants pour transmission , Université LAVAL CANADA.
- [33] J. Frêne . Cour de lubrification , Université de Poitier 2006.
- [34] [Joho.p.free.fr/EC/COURS%20DOC/Lubrification/CARACTERISTIQUES%20DES%20HUILES.](http://Joho.p.free.fr/EC/COURS%20DOC/Lubrification/CARACTERISTIQUES%20DES%20HUILES)
- [\]https://fr.wikipedia.org/wiki/Viscosit%C3%A9\\_cin%C3%A9matique#:~:text=La%20viscosit%C3%A9%20cin%C3%A9matique%20est%20le,sa%20capacit%C3%A9%20%C3%A0%20s'%C3%A9pancher.](https://fr.wikipedia.org/wiki/Viscosit%C3%A9_cin%C3%A9matique#:~:text=La%20viscosit%C3%A9%20cin%C3%A9matique%20est%20le,sa%20capacit%C3%A9%20%C3%A0%20s'%C3%A9pancher)

- [36] [http://pravarini.free.fr/visco\\_dynamic.htm](http://pravarini.free.fr/visco_dynamic.htm)
- [37] [http://www.unilim.fr/pages\\_perso/thierry.cortier/Hydraulique\\_cours/co/Hydraulique\\_-\\_De\\_la\\_mecanique\\_des\\_fluides\\_a\\_la\\_transmission\\_de\\_Puissance\\_60.html](http://www.unilim.fr/pages_perso/thierry.cortier/Hydraulique_cours/co/Hydraulique_-_De_la_mecanique_des_fluides_a_la_transmission_de_Puissance_60.html).
- [38] N.BEN SALEM, Lubrification et Graissage, Contrôle, surveillance e analyse des huiles. <http://www.technologuepro.com/cours-lubrification-graissage/TD-4-controle-des-huiles.pdf>
- [39] Notes de cours, Contrôle et analyse des huiles,.
- [40] [Snvigroupe.dz/pagesweb/entreprise/carrosseries\\_tairet.php](http://Snvigroupe.dz/pagesweb/entreprise/carrosseries_tairet.php)\*
- [41] [fr.wikipedia.org/wiki/Spectroscopieultraviolet-visible#:~:text=la20%20spectroscopie%20ultraviolet-visible%20ou,nm%20-%201%20400%20nm](http://fr.wikipedia.org/wiki/Spectroscopieultraviolet-visible#:~:text=la20%20spectroscopie%20ultraviolet-visible%20ou,nm%20-%201%20400%20nm)
- [42] Isetsiliana, Analyses des huiles, <http://www.technologuepro.com/cours-analyses-des-huiles/chapitre-3-les-analyses-des-huiles-industrielles.pdf>
- [43] J.Héng, Pratique de la maintenance préventive. Dunod, Paris, 2002

## Résumé

Ce travail concerne l'intervention de la maintenance préventive pour protéger la machine tournante contre les pannes et la surveillance de façon continue et régulière afin d'assurer de bonnes performances et continuité de la production.

Nous avons utilisé comme méthode de contrôle pour vérifier l'huile de lubrification de cette machine .

Nous avons développé un tableau préventive spécial pour la machine ATLAS COPCO afin d'éviter de tomber dans des dysfonctionnements.

## Abstract

This work relates to the intervention of preventive maintenance in protecting the rotating machine from failure and monitoring it on a continuous and regular basis in order to ensure good performance and production continuity.

We used as a method of control to check the lubricating oil for this machine.

We also conducted a set of experiments in the laboratory on this oil in order to know and explore its validity period inside the machine and determiner the time of its change .

We have developed a special preventive schedule for the rotating machine Atlas copco to avoid falling into malfunctions.

## ملخص

يتعلق هذا الامر بتدخل الصيانة الوقائية في حماية الالة الدوارة من الوقوع في العطل ومراقبتها بصفة مستمرة ومنتظمة من أجل ضمان الاداء الجيد واستمرارية الانتاج واستعملنا كطريقة للمراقبة تفحص زيت التشحيم لهذه الالة كما قمنا بإجراء مجموعة من التجارب داخل المخبر على هذا الزيت من اجل معرفة واستكشاف مدة صلاحيته داخل الالة وتحديد وقت تغييره وقمنا بوضع جدول وقائي خاص بالآلة الدوارة لتجنب الوقوع في العطل.