

يملعنا ثحبنا و يلاعنا ميلعتنا قرارو



BADJI MOKHTAR - ANNABA UNIVERSITY  
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA

جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté des Sciences de l'Ingéniorat  
Département de Génie Mécanique

## MEMOIRE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Master 2

# ETUDE FMD DES MACHINES A SOUDER EN SPIRALE DE LA TUBERIE ALFAPIPE SUR LA BASE DES HISTORIQUES MAINTENANCE 2015

Option : MIFM

Maintenance Industrielle et Fiabilité Mécanique

Par :

FERDI OUSSAMA

Encadreur : Pr Kamel CHAOUI

DEVANT LE JURY :

Pr Nassereddine ZEGHIB

Pr Abdelaziz AMIRAT

Mr Rachid LAISSAOUI

Année : 2016/2017

## **Remerciement**

*Tout d'abor, je remercie le bon dieu qui ma donné la force et la patience pour terminer mes études.*

*J'adresse ma reconnaissance particulièrement ma mère ainsi ma grande famille, pour leur soutien et aide sans faille qu'ils nous ont apporte durant tout le cycle de ma scolarité.*

*Je tiens à remercier mon encadreur :*

*Pr Kamel CHAOUI qui a ménagé un grand effort de me permettre de mener à bien non modeste travaille et à qui j'exprime ma gratitude et mes respects*

*Un grand merci pour les responsables des ALFPIPE qui m'ont facilité mon stage pour la réalisation de ce travaille.*

*Enfin je remercie tous ceux qui ont participés de près ou de loin, à la réalisation de ce travaille.*

*FERDI OUSSAMA*

## *Dédicace*

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

*A ceux qui m'ont encouragé et soutenu moralement et*

*Matériellement pendant les moments plus difficiles*

*Durant ma vie.*

*A ma très chère mère, qui me donne toujours l'espoir de vivre*

*et qui n'a jamais cessé de prier pour moi*

*A mon très cher frère*

*Ma très chère sœur*

*A toute ma grande famille*

*A mes très chers amis*

*Et enfin a tous mes connaissances*

*FERDI OUSSAMA*

## Sommaire

### INTRODUCTIN

#### Chapitre I :présentation de l'unité ALFA PIPE-Annaba et son département maintenance

1. Historique du complexe sidérurgique d'El-Hadjar : .....	1
2. Aperçu du complexe : .....	1
3. Produits du complexe d'El-Hadjar : .....	2
4. Présentation de l'unité ALFA PIPE ANNABA : .....	2
4.1. Historique de l'unité : .....	2
4.2. La gamme des tubes produits : .....	3
4.3. L'organisation fonctionnelle de l'unité: .....	3
4.4. Composition et structure : .....	4
4.5. Réseau de processus et interactions : .....	5
4.6. Les installations de la tubrie spirale : .....	5
4.7. Fabrication de tubes : .....	10
4.7.1 Formage des bandes : .....	11
4.7.2 Soudage des bandes : .....	11
4.7.3 Oxycoupage des tubes : .....	12
4.8. Revêtement des tubes : .....	12
4.8.1 Revêtement extérieur : .....	12
4.8.2. Revêtement intérieur : .....	13
4.9. Contrôle de fabrication en ligne: .....	13
4.9.1 Contrôle destructif et essais de laboratoire : .....	14
4.9.2. Contrôles non destructifs en ligne : .....	14
4.10. Essais hydrostatiques : .....	16
8. Présentation du département maintenance: .....	17
9.Organigramme maintenance ALFA APIPE : .....	21

#### Chapitre II:Généralités sur la fonction maintenance

1. Introduction : .....	24
-------------------------	----

<b>2. Définition de la maintenance :</b>	<b>22</b>
<b>3. Le rôle de la maintenance :</b>	<b>22</b>
<b>4. Objectifs de la maintenance :</b>	<b>23</b>
<b>5. Les niveaux de maintenance :</b>	<b>26</b>
<b>6. Types de maintenance :</b>	<b>24</b>
<b>6.1. Maintenance corrective :</b>	<b>24</b>
<b>6.2. Maintenance préventive :</b>	<b>24</b>
<b>6.2.1. Maintenance systématique.....</b>	<b>25</b>
<b>6.2.2. Maintenance conditionnelle :</b>	<b>25</b>
<b>6.3. Maintenance prédictive :</b>	<b>25</b>
<b>7. Les opérations de maintenance :</b>	<b>26</b>
<b>7.1. Le dépannage :</b>	<b>26</b>
<b>7.3. Les inspections .....</b>	<b>26</b>
<b>7.4. Les visites .....</b>	<b>26</b>
<b>7.5. Les contrôles .....</b>	<b>26</b>
<b>7.6. Les révisions .....</b>	<b>26</b>
<b>8. Diagramme de Pareto .....</b>	<b>26</b>
<b>9. Etude de FMD :</b>	<b>27</b>
<b>9.1. La fiabilité: .....</b>	<b>27</b>
<b>9.1.1. Objectifs de la fiabilité .....</b>	<b>27</b>
<b>9.1.2. Principales lois de probabilité utilisées en fiabilité .....</b>	<b>27</b>
<b>9.1.2.1. La loi exponentielle .....</b>	<b>27</b>
<b>9.1.2.2. La loi de WEIBULL .....</b>	<b>27</b>
<b>9.1.2.3. La loi normale .....</b>	<b>27</b>
<b>9.1.2.4. La loi log-normale .....</b>	<b>28</b>
<b>9.1.2.5. La loi binomiale .....</b>	<b>28</b>
<b>9.1.2.6. La loi de POISSON ou loi de faibles probabilités .....</b>	<b>28</b>
<b>9.1.3. Paramètres nécessaires à la mesure de fiabilité :</b>	<b>28</b>
<b>9.1.3.1. Densité de probabilité :</b>	<b>28</b>
<b>9.1.3.2. Fonction de répartitions .....</b>	<b>29</b>
<b>9.1.3.3 La fonction de fiabilité .....</b>	<b>29</b>

9.1.3.4. Taux de défaillance .....	29
9.1.4. Loi de Weibull .....	30
9.1.4.1. Application à la fiabilité .....	31
9.1.4.2. Estimation des paramètres de la loi de Weibull : .....	31
9.1.4.3. Préparation des données : .....	32
9.2. La maintenabilité: .....	33
9.2.1. Taux de réparation $\mu$ : .....	33
9.2.2. Amélioration de la maintenabilité : .....	34
9.3. La disponibilité : .....	34
9.3.1. Les type de disponibilité : .....	34
9.3.1.1. Disponibilité intrinsèque: .....	34
9.3.1.2. Disponibilité instantanée : .....	35
2.3.2. Amélioration de la disponibilité: .....	35
2.4. Relation entre les notions FMD : .....	35

### Chapitre III:Analyse FMD des machines à souder des tubes en spirale

1. Introduction : .....	36
2. Exploitation de l'historique de l'année 2015 : .....	36
2.1. Méthodes d'analyse prévisionnelle (Pareto): .....	36
3. calcul les paramètres de WeiBull : .....	40
3.1. Machine à souder (A) : .....	40
3.1.1 Les paramètres de WEIBULL .....	40
3.1.2 Test (KOLMOGOROV-SMIRNOV) .....	40
3.2. Machine à souder (B) .....	41
3.2.1. Les paramètres de Weibull .....	41
3.2.2. Test (KOLMOGOROV- SMIRNOV) .....	41
3.3. Machine à souder (C) : .....	41
3.3.1. Les paramètres de Weibull : .....	41
3.3.2. Test (KOLMOGOROV- SMIRNOV) .....	42
3.4. Machine à souder (D) : .....	42
3.4.1 Les paramètres de Wei bull .....	42

3.4.2. Test (KOLMOGOROV - SMIRNOV) .....	42
4. Exploitation les paramètres de WEIBULL .....	43
4.1. Le MTBF .....	43
4.2. La densité de probabilité en fonction de MTBF .....	43
4.3. La fonction de réparation en fonction de MTBF .....	44
4.5. La fiabilité en fonction de MTBF .....	44
4.6. Le taux de défaillance en fonction de MTBF .....	45
5. Calcul du temps souhaitable pour une intervention systématique : .....	45
6.Étude de modèle de Weibull : .....	46
6.1. Courbe fonction de répartition F(t) : .....	46
6.2. Courbe de la fiabilité .....	47
6.3. Courbe de la fonction de Maintenabilité : .....	47
6.4.Courbe de la disponibilité : .....	48
6.5.Courbe de taux de défaillance : .....	49
6.6. Comparaison des fiabilités de la machine (A).....	50

## CONCLUSION

## ANNEXES

A1.

A2.

A3.

A4.

B1.

B2.

## REFERENCES

**Chapitre I :**  
**Présentation de l'unité ALFA PIPE-**  
**Annaba et son département**  
**maintenance**



## 1. Historique du complexe sidérurgique d'El-Hadjar :

La société nationale de sidérurgie a été créée le 03/09/1964 par ordonnance n 642-72, et constitue l'une des cinq entreprises nationales sous la tutelle de ministère de l'industrie lourde .elle regroupe différentes unités réparties sur tout le territoire national. En tant que moyen pour assurer le développement des pays et améliorer les conductions de la vie du peuple algérien, autrement dit pour répondre aux impératifs économiques et sociaux du développement du pays.

## 2. Aperçu du complexe :

Ce complexe a pour mission de valoriser le minerai de fer et de fabriquer les produits sidérurgiques, l'alimentation en minerai vient des mines de l'OUENZA.

Il est érigé en zones de production :

- ✚ Zone fonte.
- ✚ Zone des produits longs.
- ✚ Zone des produits plats.
- ✚ Zone des tuberries.



Figure I.1 : Vue générale sur complexe sidérurgique d'El-Hadjar

### 3. Produits du complexe d'El-Hadjar :

INSTALLATION	PRODUIT	PRINCIPAUX UTILISATEURS
cokerie	Coke	○ Métallurgie
Secteur haute-fourneaux 1 et 2 « HF1 et HF2 »	Fonte	○ Métallurgie
Aciérie à oxygène 1 et 2 « ACO1 et ACO2 »	Brames et billettes	○ Industrie de transformation
Laminoir à chaud LAC	Tôles fortes	○ Construction métallique ○ Chantier Navals ○ Tubes et bouteilles à gaz ○ Industrie de transformation
Laminoir à froid LAF	Tôles fines	○ Electroménager ○ Mobilier métallique ○ Industrie de transformation
Tuberie spirale TUS	Tube avec soudure	○ Transporte des hydrocarbures et d'hydraulique
Aciérie électrique ACE	Lingots	○ Recherche et production pétrolière et transport d'hydrocarbures
Tuberie sans soudure TSS	Tube sans soudure	○ Exploitation des hydrocarbures et hydrauliques
Laminoir à fils ronds LFR	Fil rond à béton	○ Bâtiment et travaux publics hydrauliques
Etamage	Fer blanc	○ Emballages métallique divers pour l'industrie alimentaire et chimique
Galvanisation	Tôles galvanisés	○ Bâtiment pour l'agronomie ○ Industrie et élevage

Tableau I.1 : Liste des produits fabriqués par l'entreprise SIDER d'El-Hadjar [1].

### 4. Présentation de l'unité ALFA PIPE ANNABA :

Notre stage a été effectué au niveau de l'unité de fabrication des tubes soudés en spirale ALF PIPE du complexe sidérurgique d'El-Hadjar.

#### 4.1. Historique de l'unité :

En 1966, la SONATRACH, société nationale de transport et de commercialisation des hydrocarbures, précisait ses besoins urgents et considérables en moyens de transports oléoducs et gazoducs et par la même des hydrocarbures et d'hydrauliques en tube d'acier.

La SNS, société nationale de sidérurgie, était alors chargée par le ministère de ce projet devant permettre de satisfaire une part importante de ces besoins exceptionnels en tubes ; auxquels s'ajoutaient ceux de l'hydraulique, de l'agriculture et de l'équipement industriel en général.

**En 1975**, implantation d'un atelier d'enrobage intérieur (revêtement intérieur) de tubes par époxy, surtout utilisés pour les tubes de gaz.

En 1995, implantation d'un atelier d'enrobage extérieur en tri-couches polyéthylène.

Après décomposition de SIDER en 1999, l'unité devient ALFATUS.[1]

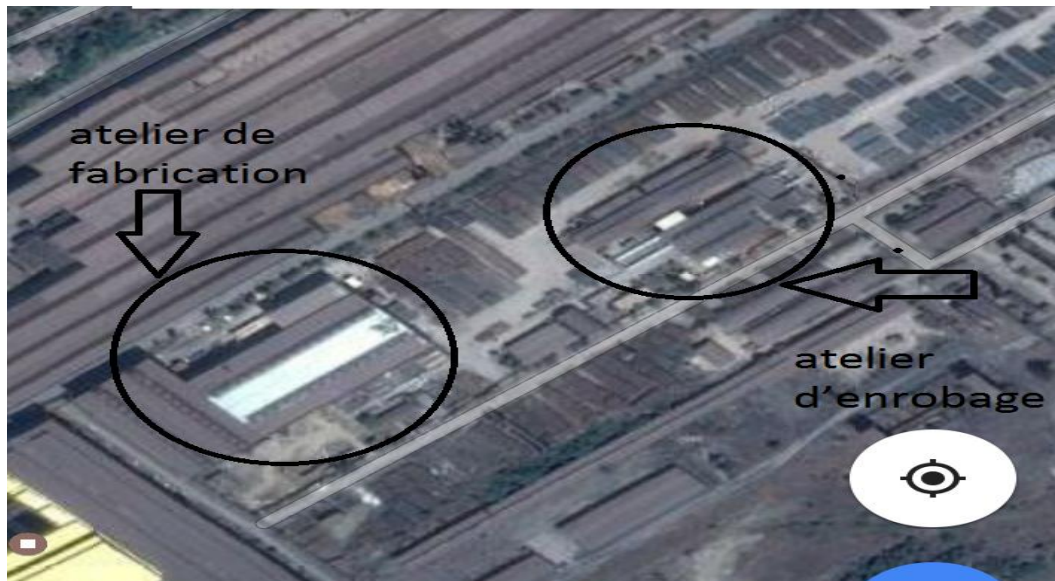


Figure I.2 : Vue générale sur l'unité ALFA PIPE.

#### 4.2. La gamme des tubes produits:

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

Tableau I.2 : la gamme de production des tubes [1].

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

Les bobines utilisées pour la fabrication des tubes spirale sont livrées brutes, ces approvisionnements proviennent principalement de l'Allemagne ou la France.

Les bobines utilisées peuvent avoir une épaisseur de **5 à 15 mm**, une largeur de **600 à 1800**, un poids compris entre **29 et 36 tonnes**, la production actuelle est de l'ordre de **130 000 tonnes/ans**.

### 4.3. L'organisation fonctionnelle de l'unité:

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

- **Fonction technique :**

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

- **Fonction commerciale :**

Elle assure l'ensemble des activités de vente et de relation avec les clients :

L'assurance qualité et contrôle qualité des produits vendables, des bobines, des tubes et principaux produits de fabrication, la gestion des produits (tubes nus, tubes revêtus), la vente regroupant la programmation, la prospection, le marché, le suivi des contrats de vente, la fabrication, le recouvrement ...etc. Ainsi que le traitement des réclamations de la clientèle.

- **Fonction approvisionnement :**

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

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

Elle recouvre les activités suivantes :

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

### 4.4. Composition et structure :

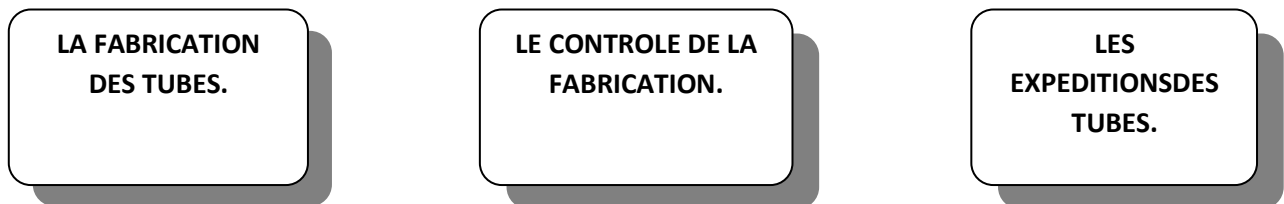
La tuberie spirale est composée de 04 halls couvrant une superficie d'environ 18 000m<sup>2</sup>, d'un bâtiment administratif et d'une sous-station électrique de 15 kV/380V (3 transformateurs de 1600kVA et 2 transformateurs d'éclairage). Les installations de process sont réparties dans trois Bâtiments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

1. Le Bâtiment principal de production et contrôle des tubes nus, construit en 1968-1969 d'une superficie 18438 m<sup>2</sup>.

2. Le bâtiment du revêtement extérieur tri couche, construit en 1993-1995, d'une superficie de 4480 m<sup>2</sup>.
3. Le bâtiment de revêtement intérieur, construit en 2001, d'une superficie de 2904 m<sup>2</sup>.

#### 4.5. Réseau de processus et interactions :

Ce réseau se consacre à trois activités majeures :



#### 4.6. Les installations de la tuberie spirale :

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

✓ **Zone fabrication :**

A ce niveau la fabrication des tubes spiral

• **Basculeur de bobines :**

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

• **Machine de préparation bobine :**

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

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

- Un contrôle dimensionnel (épaisseur, criques,...etc.)
- Un contrôle visuel (empreintes, criques,...etc.)
- Un contrôle ultrasonique pour détecter les éventuels défauts interne (des doublures).
- Si le début de la bande ne présente pas des défauts, on considère que la bobine est apte

à être consommé. Dans le cas où le début de la bobine contient des défauts, la bobine sera refusée.

- **Machine à souder :**

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

**A) Le rabotage :**

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

**B) Le guidage :**

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

**C) Dressage bande :**

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

**D) Cisailage :**

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

**E) formage de la bande :**

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

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



FigureI.3 : la Machine à souder

- **Deux machines nettoyage tubes :**

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

- ✓ **Zone visuelle :**

A ce niveau, les opérations suivantes sont réalisées :

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

- **Machine de reprise des soudures :**

Cette machine effectue l'opération de soudage extérieure des rabotages ainsi que les longues interruptions du cordon extérieur de la soudure.

Le système de soudage est identique à celui des machine à a soudes en spirale.

✓ **Zone de réparation :**

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



FigureI.4 : réparation des défauts manuellement

• **Tronçonneuse des tubes :**

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

• **Banc d'essais hydrostatique :**

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



FigureI.4 : La machine d'essais hydrostatique



- **Deux chanfreineuses des tubes :**

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



Figure I.5 : Vue de la chanfreineuse de tubes.

- **Machine de contrôle ultrason automatique :**



Figure I.6 : machine de contrôle ultrason automatique

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

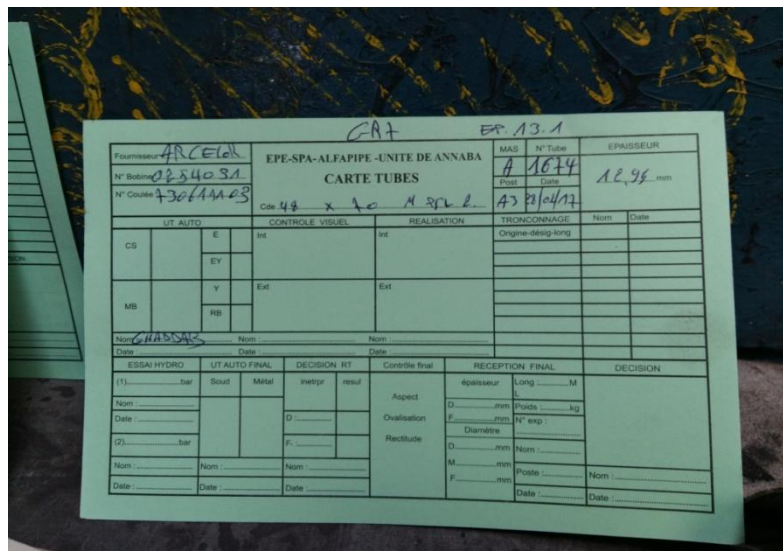
- **machines de contrôle radiographique et radioscopique :**

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

- ✓ **Zone de contrôle final :**

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

- contrôle visuel et dimensionnel.
- Vérification de la carte suiveuse du tube, 02 cas peuvent se présenter :
  - le tube ne comporte pas des défauts et les opérations mentionnées sur la carte suiveuse sont réalisées, dans ce cas la tube reçoit un numéro d’expédition et suit son chemin au parc de stockage.
  - Le tube comporte un défaut ou bien l’opération mentionnée sur la carte n’a pas été réalisée, dans ce cas le tube retourne en atelier pour subir les prestations manquantes.



FigureI.7 : la carte du tube

#### 4.7. Fabrication de tubes :

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



FigureI.8 : stocke des bobines non préparée

Elle comprend deux phases principales :

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

#### **4.7.1 Formage des bandes :**

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

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

#### **4.7.2 Soudage des bandes :**

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

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

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



Figure I.9: soudage extérieur de tube



Figure I.10: soudage intérieur de tube

#### 4.7.3 Oxycoupage des tubes :

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



Figure I.11: oxycoupage par chalumeur



Figure I.12: oxycoupage par plasma

#### 4.8. Revêtement des tubes :

##### 4.8.1 Revêtement extérieur :

Domaine d'application :

- Canalisation enterrée ou posée en surface.

- Canalisation émergée en eau douce ou salée.

Le revêtement est constitué de :

- Une couche de résine époxydique appliquée par pulvérisation électrostatique de 50 à 80 microns d'épaisseur.
- Une deuxième couche en copolymère destiné à assurer l'adhérence polyéthylène.
- Une couche de polyéthylène extrudé.

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

#### 4.8.2. Revêtement intérieur :

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

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

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

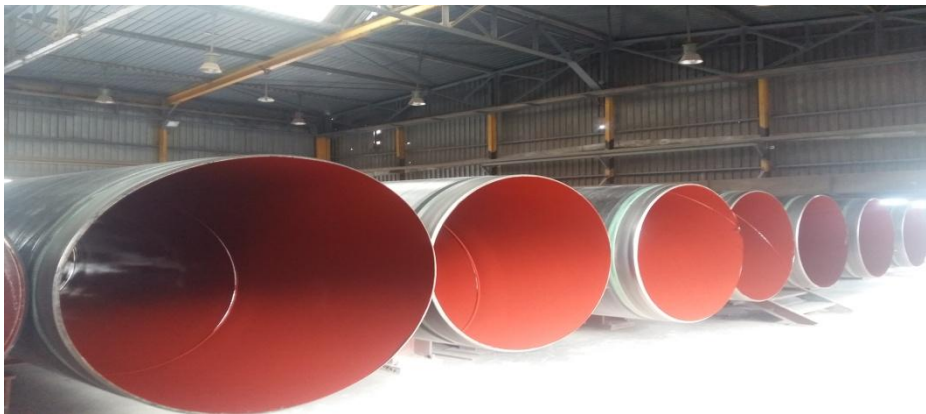


Figure I.13 : Revêtement extérieur et intérieur du tube.

#### 4.9. Contrôle de fabrication en ligne:

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

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

#### **4.9.1 Contrôle destructif et essais de laboratoire :**

Ces contrôles portent essentiellement :

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

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

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

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

#### **b- Qualité du joint soudé :**

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

#### **4.9.2. Contrôles non destructifs en ligne :**

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

#### **a- Contrôle des têtes de bande :**

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

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

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

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

#### **c- Radiographie des défauts de soudage :**

Chaque défaut de soudage repéré aux ultrasons automatique sur la machine spirale est l'objet d'une radiographie aux rayons X, l'appareillage de prise de radiographie est disposé en fosse et permet le traitement de 30 films/heure.

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

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

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

#### **d-Radiographie des soudures d'extrémités de tube :**

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

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

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

#### **e-Contrôle ultrasonique des extrémités de tubes :**

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

### **4.10. Essais hydrostatiques :**

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

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

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

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

- **Caractéristique de l'installation d'essais hydraulique :**

- Pression d'épreuve maximale : 210 bars.
- Pompe basse pression de 6000 m<sup>3</sup>/h.
- Longueur des tubes pouvant être éprouvés : 7 à 15 m.
- Diamètre des tubes : jusqu'à 48".
- Effort de serrage des plateaux sur tube contrôlé par balance hydraulique.
- Enregistrement graphique des épreuves.
- L'ensemble de l'appareillage est disposé en fosse. [1]



Figure I.14 : résultat de l'essai hydrostatique se forme graphe.

## **8.Présentation du département maintenance:**

### **8.1. Processus maintenance :**

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

#### **A) Les fonctions de base :**

- ✓ La Préparation
- ✓ L'ordonnement



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

## **B) Les fonctions complémentaires :**

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

### **a – Préparation**

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

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

### **b - Ordonnancement**

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

- prévoir la chronologie du déroulement des différentes tâches de maintenance,
- optimiser les moyens nécessaires en fonction des délais,
- ajuster la charge,
- contrôler l’avancement et la fin des travaux,
- analyser les écarts entre les prévisions et les réalisations,
- avoir une vision à long terme (plan de charge annuel), à moyen terme et à court terme.

## **8.2 Planification de la maintenance**

Elle comporte :

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

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

La programmation des travaux de maintenance doit assurer :

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

Elle se trouve complétée par :

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

## **1. le suivi de l'état technique des installations :**

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

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

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

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

### **Fiche de visite:**

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

- inspections
- incidents
- réparations

La fiche de visite comporte:

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

## **2. préparation des travaux :**

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

### **a) la détermination des ressources :**

- humaines
- matériels
- documentaires
- budgétaires

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

### **b) La vérification de la disponibilité des ressources :**

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

### **3. Approvisionnement et distribution des ressources :**

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

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

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

### **4. planning de lancement :**

Le planning des travaux à réaliser sera élaboré.

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

### **5. contrôle et réception :**

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

## **B. exécution des travaux de maintenance:**

### **1. travaux programmes (maintenance systématique):**

#### **a) préparation :**

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

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

#### **b) Exécution du travail :**

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

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

### **2.dépannage (maintenance corrective)**

Il consiste à remettre en état de marche une installation qui s'est arrêtée suite à une anomalie quelconque.

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

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

### C. Contrôle et collecte des informations:

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

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

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

### D. Amélioration élémentaire

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

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

## 9. Organigramme maintenance ALFA APIPE :

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

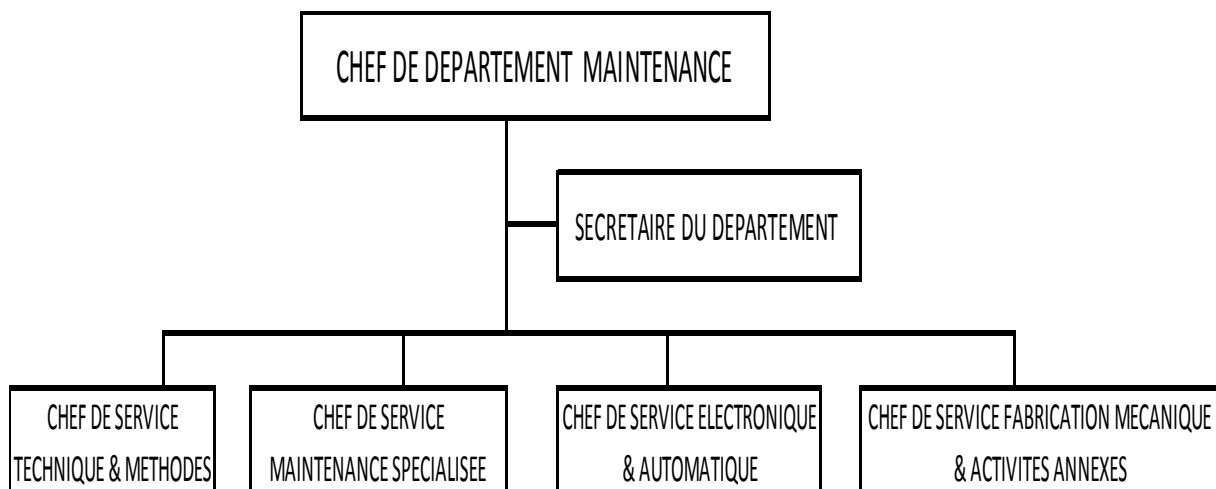


Figure I.16 : Organigramme service maintenance ALFA APIPE.

Chapitre II :  
Généralités sur la fonction  
maintenance

## **1. Introduction :**

La maintenance industrielle, qui a pour but d'assurer le bon fonctionnement des outils de production, est une fonction stratégique dans les entreprises. Intimement liée au continuels développement technologique, à l'apparition de nouvelles méthodes et organisations, à la nécessité de réduire les coûts de production, elle est en constante évolution. Elle n'a plus aujourd'hui comme seul objectif de réparer les pannes mais aussi de prévoir et d'éviter les dysfonctionnements. Dans ce chapitre, nous allons tout d'abord rappeler quelques notions et généralités sur la maintenance; définition, rôle, objectifs, et type de maintenance. Nous présenterons en suite une étude théorique sur le concept FMD en ce basant sur les lois et les méthodes utilisées dans ce domaine.

## **2. Définition de la maintenance :**

D'après la norme AFNOR X60-010, la maintenance est définie comme " l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé ".Maintenir c'est donc effectuer des opérations (de nettoyage, graissage, visite, réparation, révision, amélioration...etc.) qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la continuité et la qualité de production. Ainsi que choisir les moyens de prévenir, de corriger ou de rénover suivant l'utilisation du matériel. L'état d'esprit de la maintenance est de maîtriser les interventions.

La maintenance a pour but :

- ✓ Le maintien du capital machine
- ✓ La suppression des arrêts et des chutes de production (garantir la capacité de livraison)
- ✓ L'amélioration de la sécurité et la protection du personnel et de l'environnement [3].

## **3. Le rôle de la maintenance :**

Pendant longtemps, la maintenance est considérée par les gestionnaires plus comme une fatalité qu'un ensemble d'activités ayant pour d'accomplir toutes les tâches nécessaires pour que l'équipement soit maintenu ou rétabli dans un état spécifié ou en mesure de :

- ✓ Permettre une exécution normale des opérations dans les meilleures conditions de coûts, de sécurité et de qualité (le cas de la production) ;
- ✓ Obtenir un service dans les meilleures conditions de confort et de coût (c'est le cas, par exemple, des services vendus en général mais surtout des transports, des hôpitaux).  
Donc pour nous, entretenir, consiste à dépanner, réparer, réaliser des opérations préventives dont le but principal est d'assurer le fonctionnement de l'outil de production d'une manière globale entretenir c'est subir. Outre cela le progrès technologique ainsi que l'évolution de la conception de la gestion des entreprises ont fait que la maintenance est devenue de nos jours une fonction importante de l'entreprise dont le rôle dans l'atteinte des objectifs de l'entreprise est loin d'être négligeable. Donc la fonction maintenance est l'affaire de tous et doit être omniprésent dans les entreprises et les services. Elle est devenue un enjeu économique considérable pour tous les pays qui souhaitent disposer d'outils de production disponibles, performants. Si l'entretien ne se traduisait que par des interventions, nous

pouvons dire que la maintenance est tout autre chose. C'est d'abord un état d'esprit, une manière de penser, ensuite une discipline nouvelle dotée de moyens permettant d'intervenir dans de meilleures conditions, d'appliquer les différentes méthodes en optimisant le coût global. La maintenance vise à éviter les pannes et les temps morts que celle-ci entraînent. La maintenance ne doit pas être perçue comme une fonction secondaire et elle doit bénéficier de toute l'attention voulue. Actuellement la modernisation de l'outil de production impose une évolution fondamentale dans le domaine de maintenance. Cette évolution se traduit par un changement profond pour les entreprises (remplacement de la fonction entretien par la fonction maintenance), par une évolution de mentalités. Cette mutation nécessite des structures nouvelles, des moyens nouveaux et pour le personnel un état d'esprit « Maintenance ».

Donc la maintenance désigne plusieurs catégories de travaux notamment :

- ✓ Surveillance et travaux simples (graissage etc.) généralement dévolus aux utilisateurs du matériel ou des installations;
- ✓ Contrôle de fonctionnement et travaux plus complexes que les précédents, souvent effectués par spécialistes;
- ✓ Dépannage et réparation en cas d'incident confiés à des ouvriers ou équipes spécialisées.
- ✓ Entretien systématique comportant des révisions partielles ou totales, faites sur place ou dans un atelier spécialisé;
- ✓ Reconstruction complète de machines ou d'installations, constituant une véritable remise à neuf.

#### **4. Objectifs de la maintenance :**

Assurer le maintien (disponibilité) des équipements de production et diminuer les pannes car ces dernières occasionnent :

- ✓ Coûts de maintenance (intervention)
- ✓ Coûts d'indisponibilité (non production)
- ✓ Problèmes de sécurité (biens et personnes)

La maintenance intègre également :

- ✓ Amélioration de la sécurité des biens et des personnes,
- ✓ Intégration de nouveaux biens,
- ✓ Organisation des activités de maintenance,
- ✓ L'animation et l'encadrement des équipes d'intervention [3].

#### **5. Les niveaux de maintenance :**

Pour faciliter principalement la gestion des personnels affectés à la maintenance, on définit :

**Niveau 1** : réglages simples sans démontage, rondes et surveillance pendant la marche.

**Niveau 2** : dépannage par échange standard d'éléments prévus à cet effet et opérations mineures.

**Niveau 3** : identification et diagnostic de pannes, réparation ou remplacement d'éléments fonctionnels.

**Niveau 4** : travaux de maintenance corrective ou préventive nécessitant des démontages importants.

**Niveau 5** : rénovation, reconstruction, modifications importantes faisant appel à une main-d'œuvre qualifiée.

## **6. Types de maintenance :**

Il existe plusieurs façons d'organiser les actions de maintenance pour obtenir la disponibilité maximale du matériel au coût minimum. Il en ressort les types de maintenance suivants :

- La maintenance corrective
- La maintenance préventive
- la maintenance prédictive

### **6.1. Maintenance corrective :**

L'opération de maintenance intervient après défaillance. C'est l'attitude qui consiste à attendre la panne pour procéder à une intervention. Elle peut se décomposer en deux branches: la maintenance palliative et la maintenance curative.

**a. Maintenance palliative** : l'action de dépannage permet de remettre provisoirement le matériel à un niveau de performance acceptable mais inférieur au niveau optimal.

**b. Maintenance curative** : l'intervention qui suit la défaillance permet le rétablissement du niveau de performance optimal du matériel [2].

### **6.2. Maintenance préventive :**

Les interventions de maintenance sont déclenchées avant les défaillances en fonction d'un paramètre. On cherche alors à tendre vers un taux de défaillance nul en effectuant le maintien du niveau de performance requis avant l'apparition du défaut. Elle se décompose en deux branches : la maintenance systématique et la maintenance conditionnelle [2].

#### **6.2.1. Maintenance systématique :**

Le paramètre déclencheur est le temps, que ce soit le temps réel (quel que soit le temps de fonctionnement de la machine) ou le temps de marche. Les interventions sont déclenchées suivant un échancier de visites intervenant avant la défaillance supposée

#### **6.2.2. Maintenance conditionnelle :**



## Le ou les paramètres déclencheurs

Sont des paramètres de fonctionnement dont les valeurs sont représentatives du niveau de performance de la machine. On fixe généralement des seuils maximaux admissibles à partir desquels l'opération de maintenance est déclenchée. Maintenance systématique et maintenance conditionnelle peuvent être utilisées conjointement en complément l'une de l'autre.

### 6.3. Maintenance prédictive :

Son objectif est de pouvoir établir un diagnostic d'état du matériel à un instant donné pour en déduire une durée de vie probable sans panne. On doit pouvoir prévoir et effectuer les opérations de maintenance les plus rapides et les moins onéreuses juste avant l'apparition d'une défaillance. Les informations fournies par les outils de la maintenance conditionnelle peuvent être utilisées mais doivent être regroupées, ordonnées, corrélées. Seul un outil informatique tel qu'un système expert permet une gestion efficace tant au niveau de la synthèse de l'information collectée, des interactions entre les différents paramètres, de l'arborescence des causes de défaillances, qu'à l'élaboration d'éléments de décision permettant de limiter les opérations de maintenance au résultat requis.

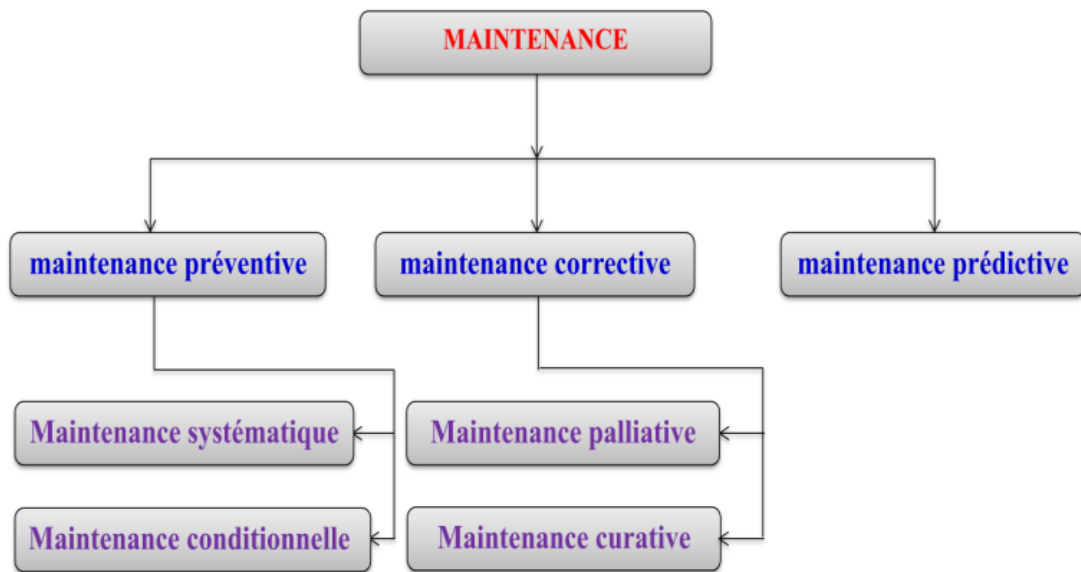


Figure II.1 : Types de maintenance.

## 7. Les opérations de maintenance :

### 7.1. Le dépannage :

C'est une action ou opération de maintenance corrective sur un équipement en panne en vue la remettre en état de fonctionnement. Cette action de dépannage peut s'accommoder de résultats provisoires et de conditions de réalisation hors règles de procédures, de cout et de qualité, et dans ce cas sera suivie de la réparation. Souvent les interventions de

dépannage sont de courtes durées mais peuvent être nombreuses et n'exigent pas la connaissance du comportement des équipements et des modes de dégradation.

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

**7.4. Les visites :** Ce sont des opérations de surveillance qui dans le cadre de la maintenance préventive systématique, s'opèrent selon une périodicité prédéterminée. Ces interventions correspondent à une liste d'opérations définies au préalable qui peuvent entraîner d'organes et une immobilisation du matériel.

#### **7.5. Les contrôle :**

Ils correspondent à des vérifications de conformité par rapport à des données préétablies suivis d'un jugement. Le contrôle peut, comporter une activité d'information, inclure une décision, acceptation, rejet ajournement, déboucher comme les visites sur des opérations de maintenance corrective. Les opérations de surveillance (inspection, visite, contrôle) sont nécessaires pour maîtriser l'évolution de l'état réel du bien, effectuées de manière continue ou à des intervalles prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou le nombre d'unités d'usage.

#### **7.6. Les révisions :**

Ensemble des actions d'examen, de contrôle des interventions effectuées en vue d'assurer le bien contre toute défaillance majeure ou critique, pendant un temps ou pour un nombre d'unités d'usage donné. Il est d'usage de distinguer suivant l'étendue de cette opération les révisions partielles, des révisions générales. Dans les deux cas, cette opération implique la dépose de différents sous-ensembles [2].

### **8. Diagramme de Pareto:**

Le diagramme de Pareto est un outil statistique qui permet d'identifier l'importance relative de chaque catégorie dans une liste d'enregistrements, en comparant leur fréquence d'apparition. Un diagramme de Pareto est mis en évidence lorsque 20% des catégories produisent 80 % du nombre total d'effets. Cette méthode permet donc de déterminer rapidement quelles sont les priorités d'actions. Si on considère que 20% des causes représentent 80% des occurrences, agir sur ces 20% aide à solutionner un problème avec un maximum d'efficacité.

### **9. Etude de FMD :**

#### **9.1. La fiabilité:**

Définition selon la NF X 06-501 : la fiabilité est la caractéristique d'un dispositif exprimée par la probabilité que ce dispositif accomplisse une fonction requise dans des conditions d'utilisation données et pour une période de temps déterminée [3].

##### **a. fiabilité intrinsèque :**

Elle est propre à un matériel et à un environnement donné et ne dépend que de ce matériel.  
Fiabilité extrinsèque : elle résulte des conditions d'exploitation, de la qualité de la maintenance, d'une manière générale d'événement relatif à l'intervention humaine [3].

### 9.1.1. Objectifs de la fiabilité :

La fiabilité a pour objectif de :

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

### 9.1.2. Principales lois de probabilité utilisées en fiabilité :

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

#### 9.1.2.1. La loi exponentielle :

Elle est la plus couramment utilisée en fiabilité électronique pour décrire la période durant laquelle le taux de défaillance des équipements est considéré comme constant. Elle décrit le temps écoulé jusqu'à une défaillance, ou l'intervalle de temps entre deux défaillances successives.

#### 9.1.2.2. La loi de WEIBULL :

C'est une loi continue à trois paramètres, donc d'un emploi très souple. En fonction de la valeur de ses paramètres, elle peut s'ajuster à toutes sortes de résultats expérimentaux. Cette loi a été retenue pour représenter la durée de vie des pièces

#### 9.1.2.3. La loi normale :

C'est une loi continue à deux paramètres; la valeur moyenne et l'écart type caractérise la dispersion autour de la valeur moyenne. Elle est la plus ancienne, utilisée pour décrire les phénomènes d'incertitudes sur les mesures, et ceux de fatigue des pièces mécaniques [2].

#### 9.1.2.4. La loi log-normale:

Soit une variable aléatoire (VA) continue positive ; si la variable  $Y = \log X$  est distribuée selon une loi normale, la variable  $x$  suit une loi log-normale. De nombreux phénomènes de mortalité ou de durée de répartition sont distribués selon des lois log-normale [5].

#### 9.1.2.5. La loi binomiale :

La loi binomiale est une loi discrète. On l'applique pour décrire un phénomène ayant deux occurrences s'excluant mutuellement (succès ou échec, état défaillant ou en fonctionnement par exemple). En fiabilité cette loi représente la probabilité de voir  $k$  défaillances de matériels lors de l'exécution de  $n$  essais, sachant que la probabilité élémentaire de défaillance d'un matériel est [5]. :

- Sa variance :  $V = nP(1 - P)$

-Son écart type :  $\sigma = \sqrt{(nP - 1)}$

#### 9.1.2.6. La loi de POISSON ou loi de faibles probabilités :

La réalisation d'évènements aléatoires dans le temps se nomme « processus de POISSON » et caractérise une suite de défaillances indépendantes entre elles et indépendantes du temps. La loi de POISSON est une loi discrète, elle exprime la probabilité d'apparition d'un évènement lorsque celui-ci peut se manifester de nombreuses manières mais avec une faible probabilité.

Ses paramètres sont, en posant Sa variance :

$$m = \lambda t$$

- Sa fréquence :  $pr = [k = x] = \frac{m^k}{k!} e^{-m}$
- Sa fonction de répartition :  $F(x) = \sum_{k=0}^x \frac{m^k}{k!} e^{-m}$

#### 9.1.3. Paramètres nécessaires à la mesure de fiabilité :

##### 9.1.3.1. Densité de probabilité :

La densité de probabilité de l'instant de la défaillance T s'obtient en dérivant la fonction de répartition F(t) :

$$f(t) = \frac{df(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt}$$

##### 9.1.3.2. Fonction de répartition :

C'est la probabilité pour que le dispositif soit en panne à l'instant t(i)

$$F(t_i) = \Pr\{T < t_i\}$$

Notons que ces deux fonctions sont complémentaires :

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

##### 9.1.3.3 La fonction de fiabilité :

Nous appelons R(t) la fonction de fiabilité, qui représente la probabilité de fonctionnement sans défaillances pendant un temps (t), ou la probabilité de survie jusqu'à un temps (t).

La probabilité d'avoir au moins une défaillance avant le temps (t), qui représente la probabilité cumulative des défaillances, est appelé : « probabilité de défaillance ».

#### 9.1.3.4. Taux de défaillance :

Prenons maintenant une pièce ayant servi pendant une durée  $t$  et encore survivante. La probabilité qu'elle tombe en panne entre l'âge  $t$  qu'elle a déjà et l'âge  $T+dt$  est représentée par la probabilité conditionnelle qu'elle tombe en panne entre  $T$  et  $T+dt$ , sachant qu'elle a survécu jusqu'à  $T$ . D'après le théorème des probabilités conditionnelles cette probabilité est égale à : [6].

$$\lambda(t)dt = \frac{F(t+dt) - F(t)}{R(t)} = \frac{dF(t)}{1 - F(t)}$$

Avec  $\lambda(t)$  taux de défaillance de la pièce d'âge  $t$ .

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

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

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

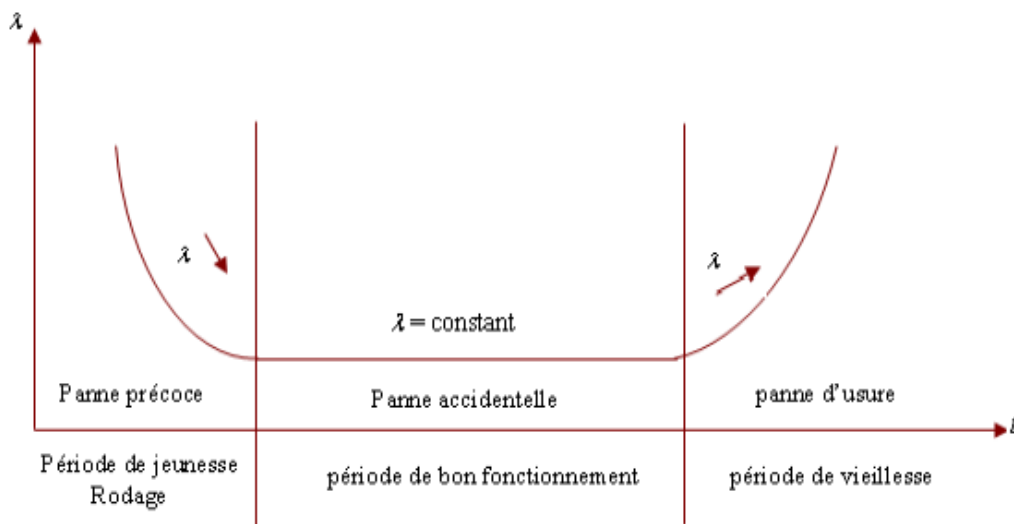


Figure II.1 : Courbe en baignoire.

Cette courbe (Figure II.1) représente 3 périodes :

- **La période de jeunesse ou de rodage** : correspond à l'apparition de défaillances, dues à des maux façons ou à des contrôles insuffisants. Dans la pratique, le fabricant procède à un rodage de son matériel afin d'éviter que cette période ne se produise après l'achat du matériel.
- **La période de bon fonctionnement** : dans cette période, le taux d'avarie est sensiblement constant, les avaries surviennent de manière aléatoire et ne sont pas prévisibles par examen du matériel ; ces défaillances sont dues à un grand nombre de causes et sont liées à la fabrication des dispositifs.

- **La période de vieillissement** : le taux d'avaries est croissant, cette période correspond à une dégradation irréversible des caractéristiques du matériel, d'où une usure progressive.

#### 9.1.4. Loi de Weibull :

La loi de Weibull est utilisée en fiabilité, en particulier dans le domaine de la mécanique. Cette loi a l'avantage d'être très souple et de pouvoir s'ajuster à différents résultats D'expérimentations. La loi de Weibull est une loi continue à trois paramètres :

- le paramètre de position  $\gamma$  qui représente le décalage pouvant exister entre le début de l'observation (date à laquelle on commence à observer un échantillon) et le début du processus que l'on observe (date à laquelle s'est manifesté pour la première fois le Processus observé) ;
- le paramètre d'échelle  $\eta$  qui, comme son nom l'indique, nous renseigne sur l'étendue de la distribution ;
- le paramètre de forme  $\beta$  qui est associé à la cinétique du processus observé

- **Densité de probabilité** :

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

- **Fonction de répartition** :

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

- **Loi de fiabilité** :

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

- **Taux de défaillance** :  $\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1-F(t)} = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \cdot \frac{1}{e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}}$

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

Remarque : si  $\begin{cases} \gamma = 0 \\ \beta = 1 \end{cases} \Rightarrow \lambda(t) = \frac{1}{\eta} = \frac{1}{MTBF}$

##### 9.1.4.1. Application à la fiabilité :

Suivant les valeurs de  $\beta$ , le taux de défaillance est :

Soit décroissant ( $\beta < 1$ ),

Soit constant ( $\beta = 1$ ),

Soit croissant ( $\beta > 1$ ).

La distribution de Weibull permet donc de représenter les trois périodes de la vie d'un dispositif (courbe de baignoire).

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

### 9.1.4.2. Estimation des paramètres de la loi de Weibull :

Un des problèmes essentiels est l'estimation des paramètres ( $\beta$ ,  $\eta$ ,  $\gamma$ ) de cette loi, pour cela, nous disposons de la méthode suivante :

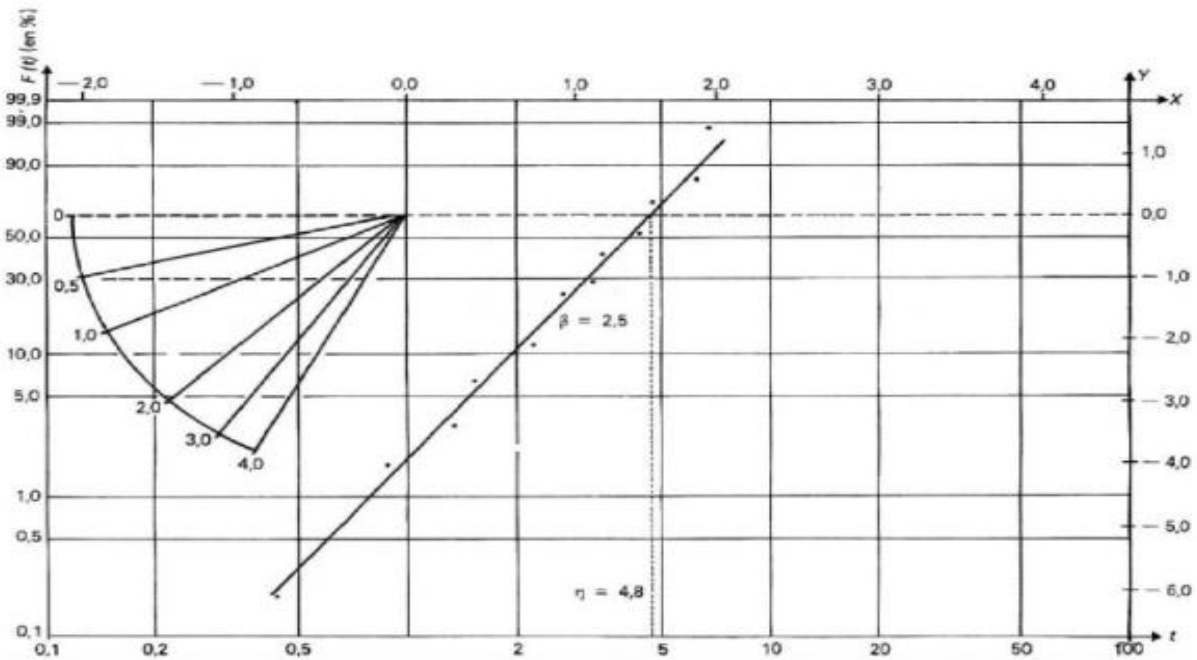


Figure II.2 : Représentation sur graphique à échelle fonctionnelle de la distribution de Weibull (graphique d'Allan Plait).

Axe de  $t$

Axe de  $F(t)$  (en %)

- $a : \text{Ln}(t)$
- $b : \text{Ln}(\text{Ln}(1/[1-F(t)]))$
- $X$  et  $Y$  : permettent de déterminer  $\beta$  ( $Y = \beta X$ )

L'historique permet de déterminer des Temps de bon fonctionnement et des fréquences cumulées de défaillance  $F(i)$ , approximation de  $F(t)$ .

### 9.1.4.3. Préparation des données :

- 1) Calcul des Temps de bon fonctionnement
- 2) Classement des temps de bon fonctionnement en ordre croissant
- 3)  $N$  = nombre de Temps de bon fonctionnement

4) Recherche des données  $F(i)$ ,  $F(i)$  représente la probabilité de panne au temps correspondant au Temps de bon fonctionnement de l'ère défailant.

On a 3 cas différents :

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

$$F(i) = \frac{Ni}{N} \approx F(t)$$

2- si  $20 < N < 50$  on affecte rang «  $Ni$  » à chaque défaillance (approximation des rangs moyens)

$$F(i) = \frac{Ni}{N+1} \approx F(t)$$

3-si  $N < 20$  on affecte un rang «  $Ni$  » à chaque défaillance (approximation des rangs médians):

#### a. Recherche de $\gamma$ :

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

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

#### b. Recherche de $\eta$ :

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

#### c. Recherche de $\beta$ :

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

### 9.2. La maintenabilité:

La maintenabilité est « l'aptitude d'un dispositif à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir sa fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions, avec des procédures et des moyens précis ». La maintenabilité caractérise la facilité de remettre ou de maintenir un bien en bon état de fonctionnement [2].

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

La maintenabilité est caractérisée par la moyenne des temps techniques de réparation MTTR

$$MTTR = \frac{\sum TTR}{N}$$

#### 9.2.1. Taux de réparation $\mu$ :

$$\mu = \frac{1}{MTTR}$$

La probabilité de réparation d'un composant est principalement fonction du temps écoulé depuis l'instant de défaillance. Il existe un certain délai t avant que le composant puisse être



réparé. Ce délai  $t$  comprend le temps de détection et le temps d'attente de l'équipe de réparation.

### 9.2.2. Amélioration de la maintenabilité :

- ✓ L'amélioration de la maintenabilité passe par :
- ✓ Le développement des documents d'aide à l'intervention,
- ✓ L'aptitude de la machine au démontage (modification, risquant de coûter chère).
- ✓ L'accessibilité.
- ✓ L'interchangeabilité et la standardisation.
- ✓ La facilité de remplacement.
- ✓ L'aide au diagnostic.

Il assurera de ce fait la réduction des durées de détection des pannes d'état, diminuant, ainsi les TTR l'amélioration de la maintenabilité d'une manière considérable. Le maintenicien doit améliorer la maintenabilité par les actions suivantes :

- 1- disponibilité de la documentation tenue à jour du matériel.
- 2- utilisation des systèmes d'aide au diagnostic
- 3- utilisation des capteurs intégrés pour la localisation de la panne
- 4- disponibilité des accessoires outillages[6].

### 9.3. La disponibilité :

La disponibilité est « l'aptitude d'un bien, sous les aspects combinés de sa fiabilité, maintenabilité et de l'organisation de la maintenance, à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions de temps déterminées ». Pour qu'un équipement présente une bonne disponibilité, il doit :

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

La disponibilité relie donc les notions de fiabilité et de maintenabilité [2].

#### 9.3.1. Les type de disponibilité :

**9.3.1.1. Disponibilité intrinsèque:** cette disponibilité est évaluée en prenant en compte les moyennes de bon fonctionnement et les moyennes de réparation, ce qui donne

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

#### 9.3.1.2. Disponibilité instantanée :

Pour un système avec l'hypothèse d'un taux de défaillance  $\lambda$  constante et d'un taux de réparation  $\mu$  constant, la disponibilité

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

### 2.3.2. Amélioration de la disponibilité:

- L'allongement de la MTBF (action sur la fiabilité).
- La réduction de la MTTR (action sur la maintenabilité).
- Fiabilité.
- Maintenabilité.
- Logistique.

### 2.4. La relation entre les notions FMD :

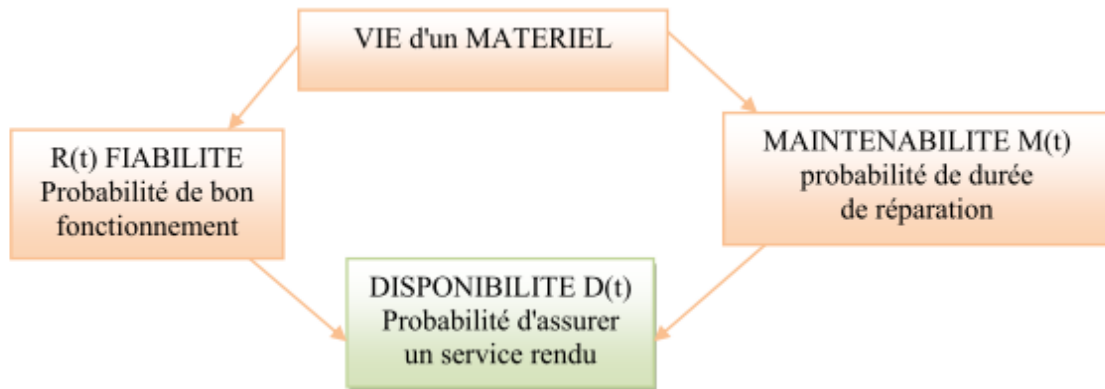


Figure II.3 : La relation entre les notions FMD [2].

Pour qu'un matériel soit disponible il faut s'assurer que sa fiabilité est optimum et qu'il est aussi maintenable.

**Chapitre 3 :**  
**Analyse FMD**  
**des 4 machines à souder en spirale**

## 1. Introduction :

L'objectif de cette analyse est de réaliser une étude FMD des 4 machines à souder en spirale de l'entreprise ALFAPIPE. La méthode utilisée repose sur l'exploitation des l'historiques de pannes des 4 machines à souder afin d'extraire les indicateurs FMD et chercher à expliquer les tendances observées.

Dans ce travail, nous réalisons 2 parties : la première concerne l'analyse des pannes par le diagramme de Paréto et la seconde est dédiée à une étude FMD.

## 2. Exploitation de l'historique de l'année 2015 :

**2.1. Méthodes d'analyse prévisionnelle (Pareto):** Le diagramme de Paréto est utilisé pour rechercher des priorités sur les interventions coûteuses des sous ensembles.

Machine (A)

(voir Annexe A1)

sous-ensembles	NP	fréquence NP%	fréquence NPC%
bord de bande	42	33%	33%
croquage de rives	39	30%	63%
chariot oxy.tube	17	13%	77%
cage de formage	12	9%	86%
bloc hacheuse	8	6%	92%
table élévatrice	4	3%	95%
pousseuse	3	2%	98%
aspirateur flux	1	1%	98%
dévidoir	1	1%	99%
entraîneur	1	1%	100%

Tableau III.1 : Nombres de pannes des sous-ensembles de la machine à souder (A).

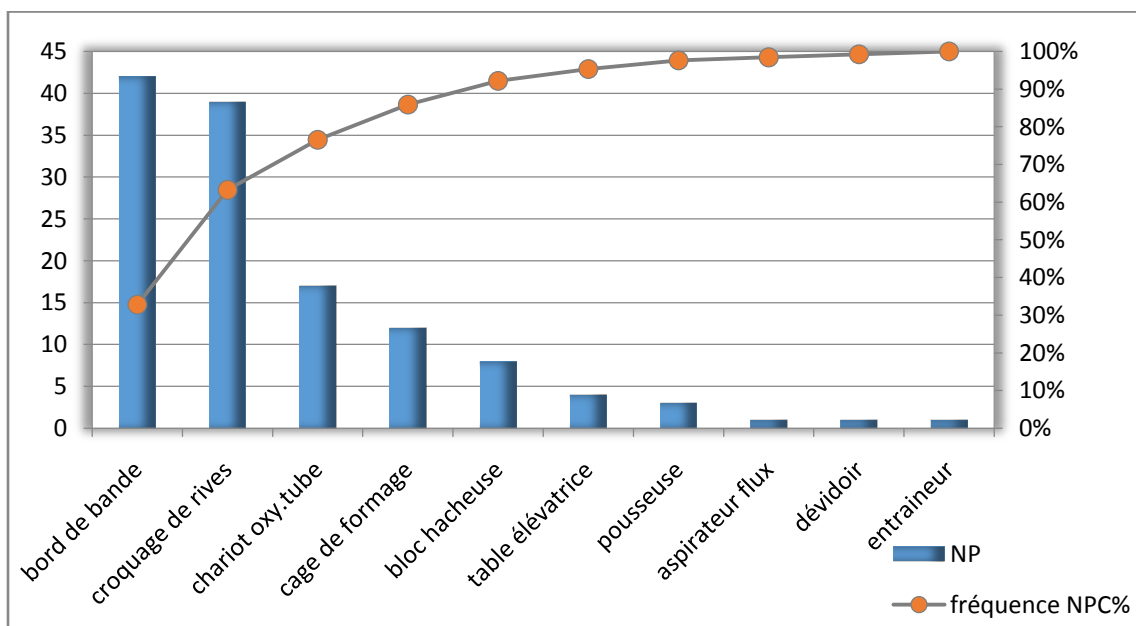


Figure III.1 : Histogramme nombre des pannes des sous-ensembles avec courbe de fréquence nombres des pannes cumulée%

**Machine (B) :**

(voir Annexe A2)

sous- ensembles	NP	fréquence NP%	fréquence NPC%
bord de bande	104	53%	53%
croquage de rives	60	31%	84%
pousseuse	11	6%	89%
chariot oxy.tube	7	4%	93%
table élévatrice	5	3%	95%
dévidoir	4	2%	97%
aspirateur flux	2	1%	98%
cage de formage	2	1%	99%
bloc hacheuse	1	1%	100%

Tableau III.2 : Les nombres des panes des sous-ensembles de la machine à souder (B)

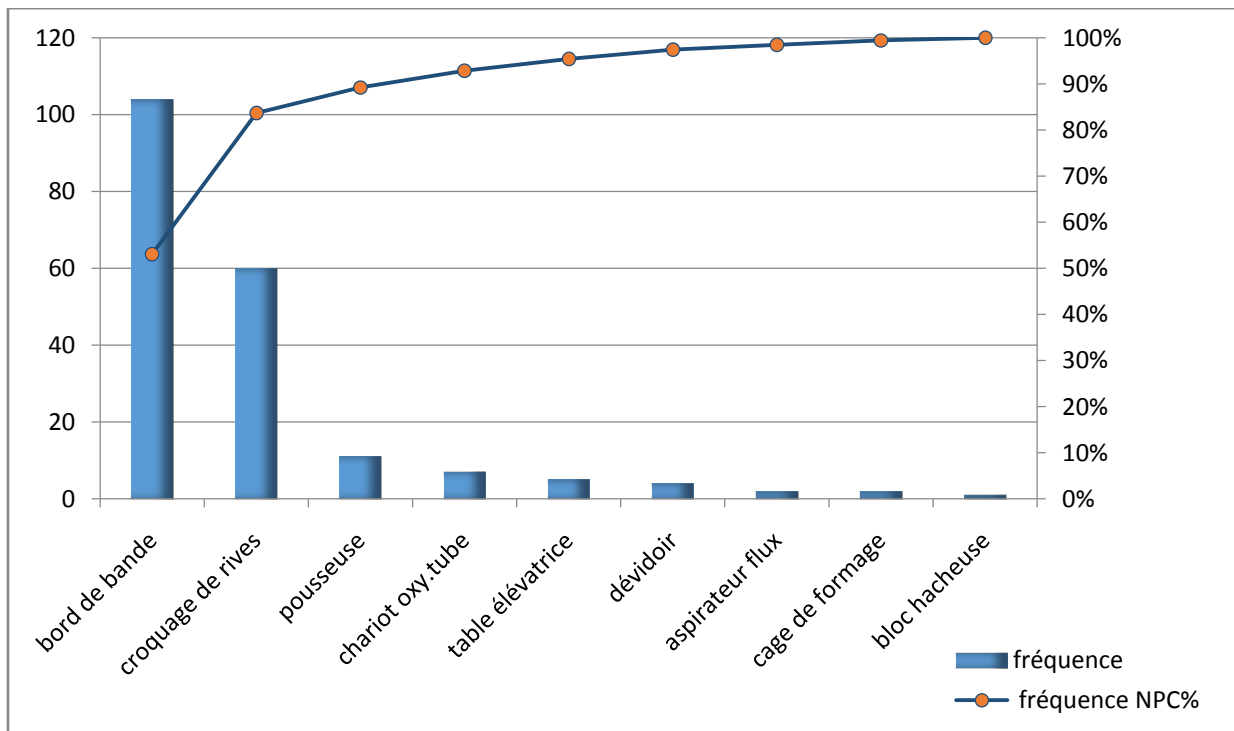


Figure III.2 : Histogramme nombre des panes des sous-ensembles avec courbe de fréquence nombres des panes cumulée%

**Machine (C) :**

(voir Annexe A3)

Sous-ensembles	NP	fréquence NP%	fréquence NPC%
bord de bande	34	32,38%	32,38%
croquage de rives	33	31,43%	63,81%
pousseuse	19	18,10%	81,90%
support de soudage RB	5	4,76%	86,67%
chariot oxy.tube	4	3,81%	90,48%
dévidoir	3	2,86%	93,33%
table élévatrice	3	2,86%	96,19%
aspirateur flux	2	1,90%	98,10%
bloc hacheuse	1	0,95%	99,05%
préplaneur	1	0,95%	100,00%

Tableau III.3 : les nombres des panes des sous-ensembles de la machine à souder (C)

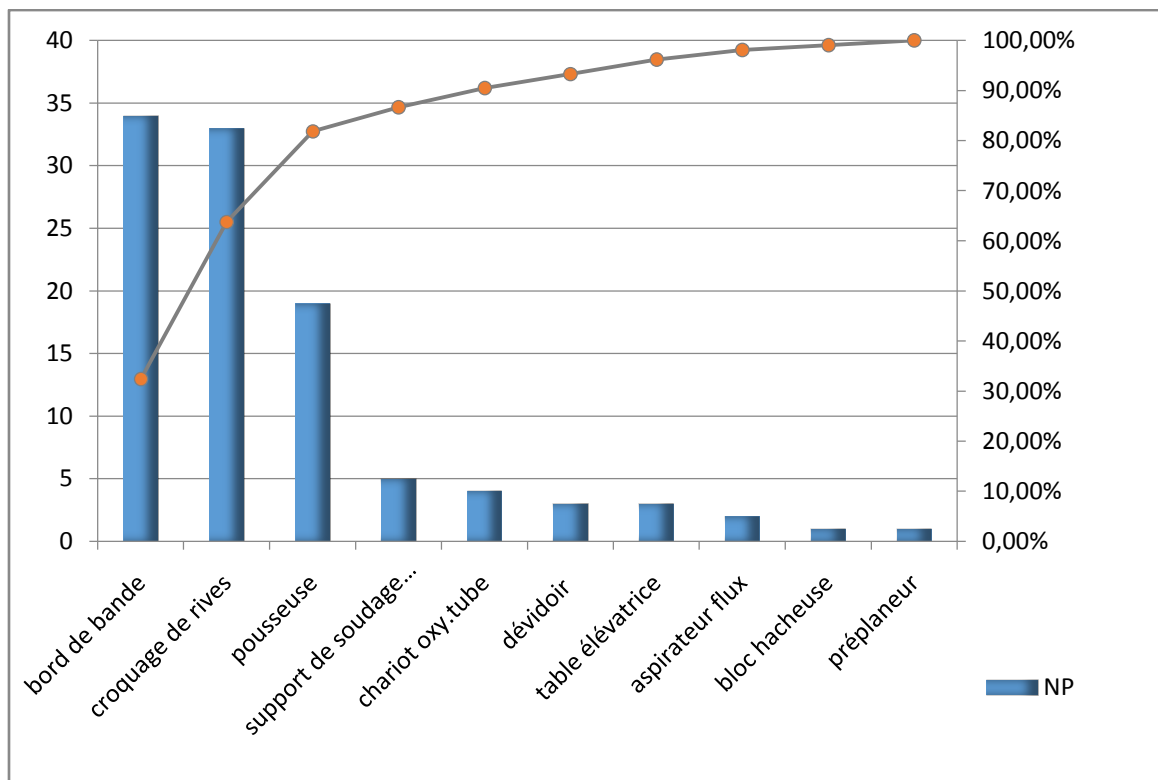


Figure III.3 : Histogramme nombre des panes des sous-ensembles avec courbe de fréquence nombres des panes cumulée%

**Machine (D) :**

(voir Annexe A4)

Sous-ensembles	NP	fréquence NP%	fréquenceNPC%
bord de bande	42	36,52%	36,52%
croquage de rives	27	23,48%	60,00%
chariot oxy.tube	20	17,39%	77,39%
table élévatrice	7	6,09%	83,48%
cage de formage	6	5,22%	88,70%
pousseuse	6	5,22%	93,91%
aspirateur flux	3	2,61%	96,52%
dévidoir	2	1,74%	98,26%
l'entraîneur	1	0,87%	99,13%
la table nettoyage tube	1	0,87%	100,00%

Tableau III.4 : Les nombres des panes des sous-ensembles de la machine à souder (D)

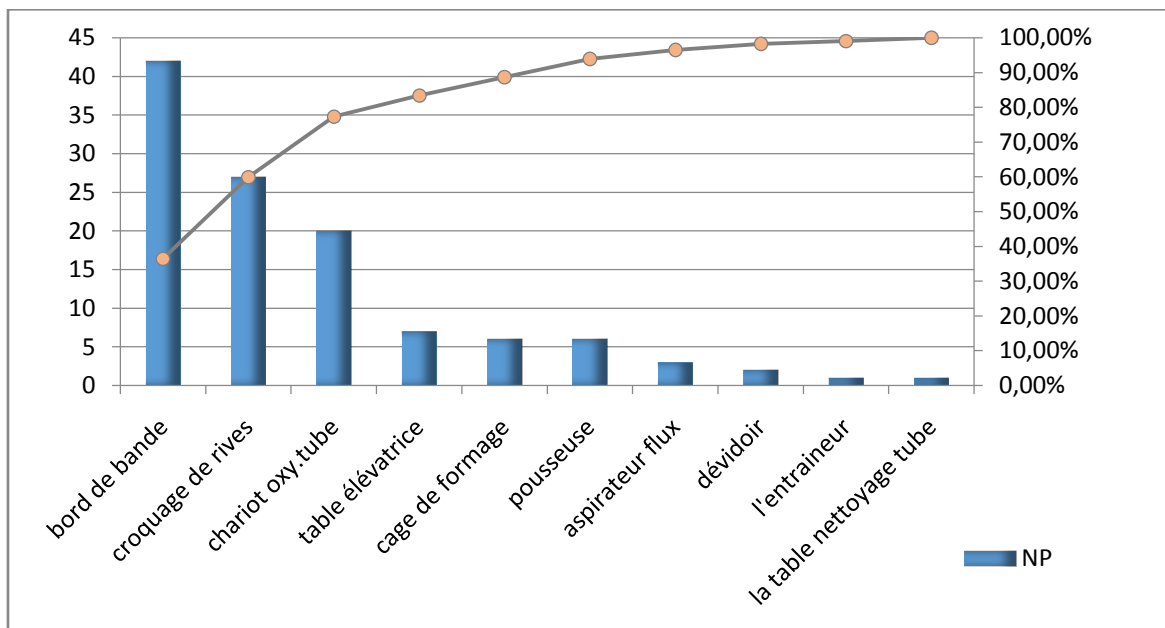


Figure III.4 : histogramme nombre des panes des sous-ensembles avec courbe de fréquence nombres des panes cumulée%

### ➤ Interprétation des résultats :

L'analyse des diagrammes de Paréto montre pour les 4 machines qu'il y a 2 à 3 types de panes qui sont dans la classe A de Paréto. Les 2 sous ensembles qui reviennent le plus sont : (1) Bande de bord dérégulée et (2) le croquage des rives. Ces 2 problèmes sont à surveiller de près car ils représentent les 20% qui coûtent 80% du budget. Il faut noter que la machine A, les 20% englobent aussi arrêts en relation avec le chariot d'oxycoupage (réglage, changement PDR, ...).

## 3. calcul des paramètres de Weibull :

### 3.1. Machine à souder (A) :

(voir Annexe A1)

Dans notre cas  $N > 50 \Rightarrow F(i) = \frac{Ni}{N}$

A partir de papier de Weibull ou logiciel de l'Excel On déduit les paramètres:  $\beta$ ,  $\eta$  et  $\gamma$

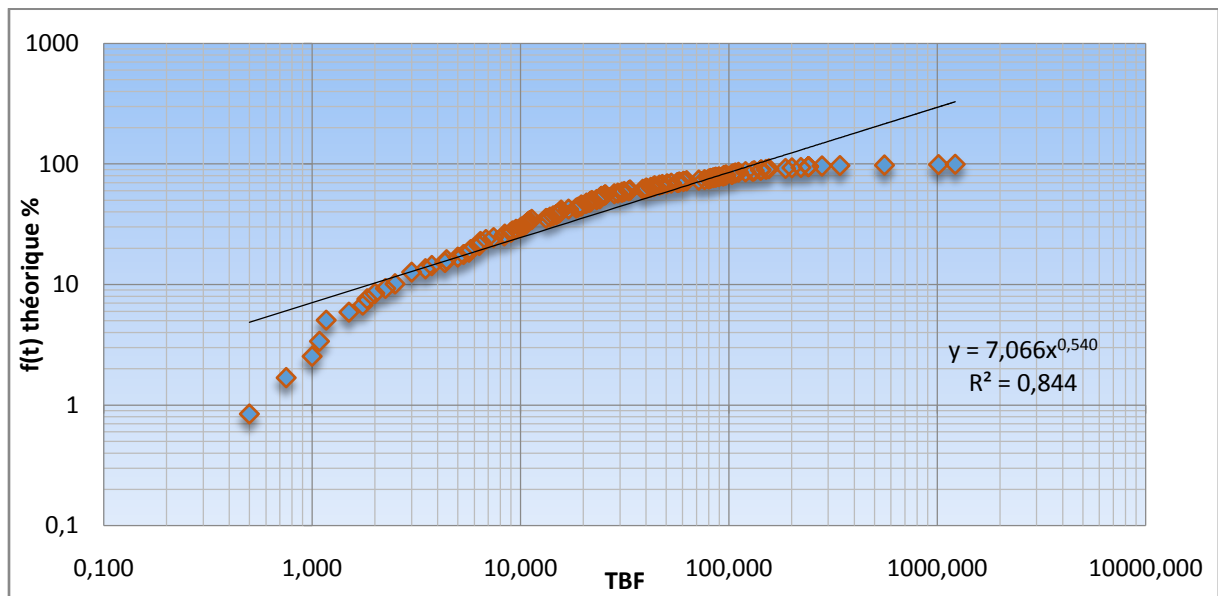


Figure III. 5: Relation f(t) théorique en fonction de TBF, cas de la Machine A (Loi de Weibull).

**3.1.1 Les paramètres de WEIBULL trouvés :**  $\beta = 0,773$  ;  $\eta = 57,994 h$  ;  $\gamma = 0$

**3.1.2 Test (KOLMOGOROV- SMIRNOV) :**

Avant la validation de toute loi de fiabilité, il est nécessaire de tester l'hypothèse pour savoir si nous devons accepter ou rejeter le modèle proposé par le test de K-S avec un seuil de confiance de  $\alpha = 0,01$ . Ce test consiste à calculer l'écart entre la fonction théorique  $F_e(t_i)$  et la fonction réelle  $F(t)$  et prendre le maximum en valeur absolue  $D_n \cdot \max$ . Cette valeur est comparée avec  $D_n \cdot \alpha$  Qui est donnée par la table de Kolmogorov Smirnov (voir Annexe B1).

Si  $D_n \cdot \max > D_n \cdot \alpha$  On refuse l'hypothèse.

D'après la Table de K-S:  $D_n \cdot \max < D_n \cdot \alpha$ , Ce qui veut dire que le modèle de Weibull est accepté.

Nous avons pris la valeur maximale  $D_n \cdot \max = |F(i) - F(t)|$

$D_n \cdot \max = 0,148$  tandis que  $D_n \cdot \alpha = 0,150$



### 3.2. Machine à souder (B) :

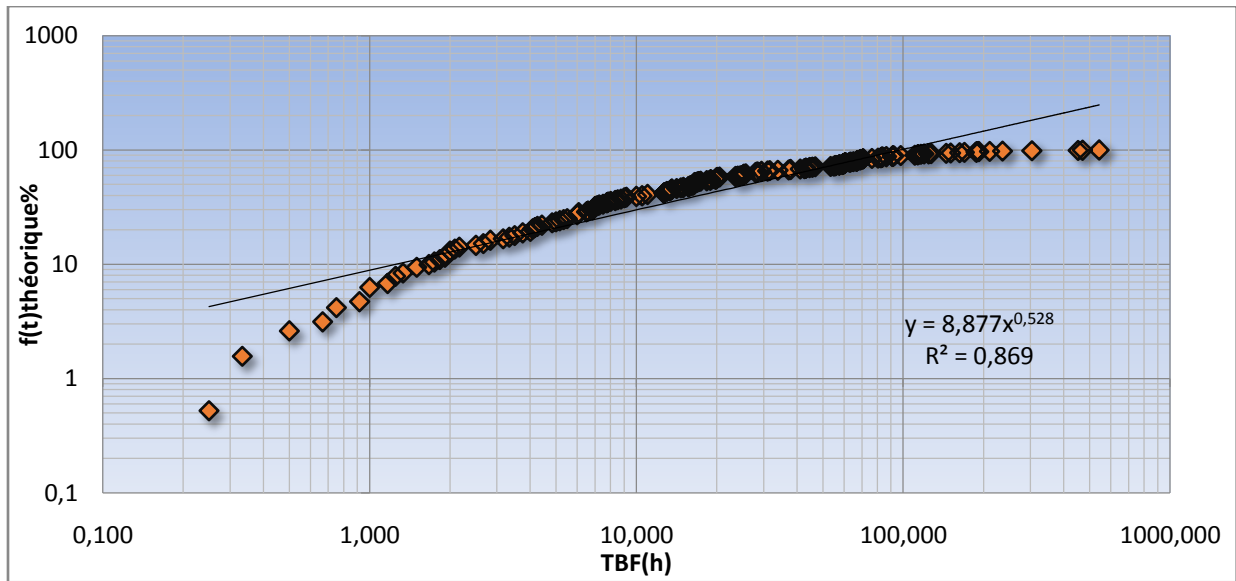


Figure III.6: Relation  $f(t)$  théorique en fonction de TBF, cas de la Machine (B) (Loi de Weibull).

**3.2.1. Les paramètres de Weibull :**  $\beta=0,78$  ;  $\eta=41,242$  h  $\gamma=0$

**3.2.2. Test (KOLMOGOROV SMIRNOV) :**

$D_n \max = 0,135$   $D_n \alpha = 0,139$

$0,135 < 0,139$  donc l'hypothèse du modèle de Weibull est acceptable.

### 3.3. Machine à soudée (C) :

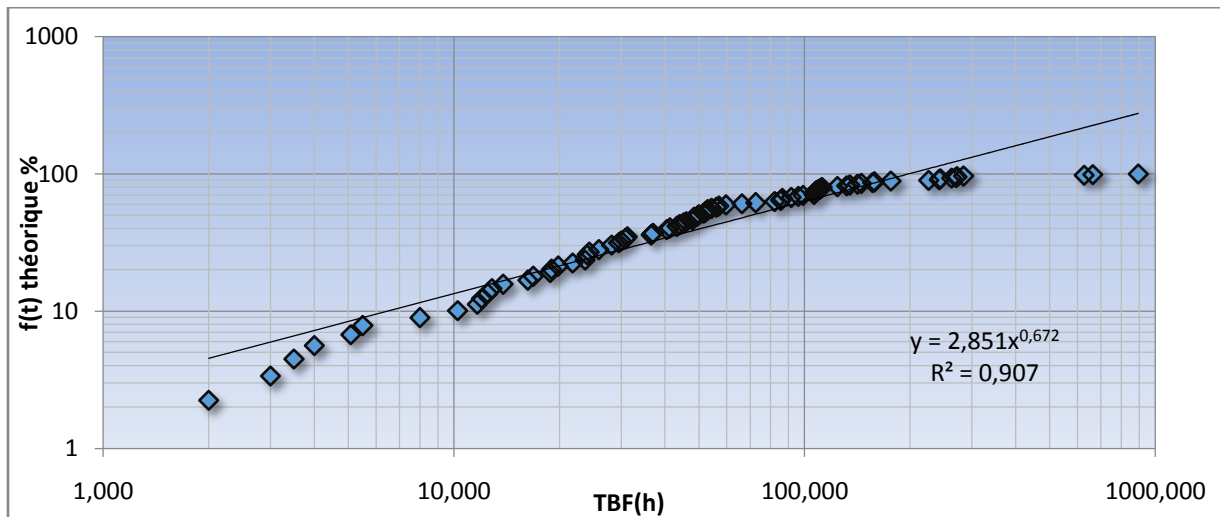


Figure III.7: Relation  $f(t)$  théorique en fonction de TBF, cas de la Machine (C) (Loi de Weibull).

**3.3.1. Les paramètres de Weibull :**  $\beta= 0,967$   $\eta=100,828$  h  $\gamma=0$

**3.3.2. Test (KOLMOGOROV SMIRNOV) :**

$Dn_{max} = 0,146$  tandis que  $Dn_{\alpha} = 0,172$   
 $0,46 < 0,172$  donc l'hypothèse du modèle de Weibull est acceptable

### 3.4. Machine à soudée (D) :

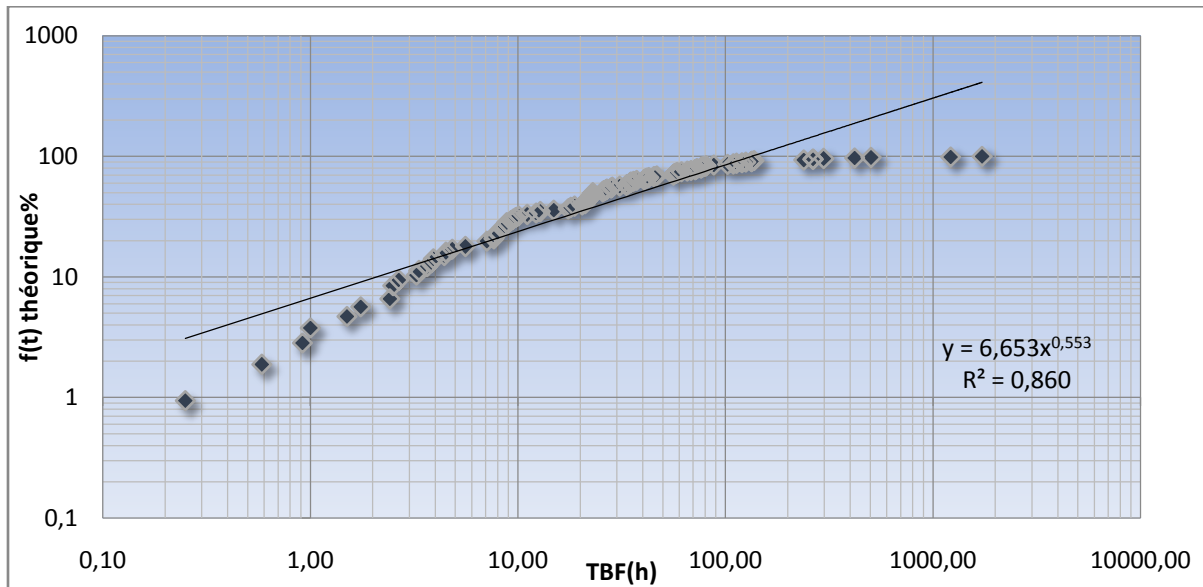


Figure III.8 : Relation  $f(t)$  théorique en fonction de TBF, cas de la Machine (D) (Loi de Weibull).

**3.4.1 Les paramètres de Weibull :**  $\beta=0,793$  ;  $\eta=60,101$   $\gamma=0$

#### 3.4.2. Test (KOLMOGOROV SMIRNOV) :

$Dn_{max} = 0,135$  tandis que  $Dn_{\alpha} = 0,158$   
 $0,135 < 0,158$  donc l'hypothèse du modèle de Weibull est acceptable

	Machine (A)	Machine (B)	Machine (C)	Machine (D)
$\beta$	0,773	0,780	0,967	0,793
$\eta$	57,994	41,242	100,828	60,101
$\gamma$	0	0	0	0

Tableau III.5 : Récapitulatif les paramètres de Weibull.

## 4. Exploitation les paramètres de la loi de WEIBULL :

### 4.1. MTBF :

✓ **Machine (A) :**

Le tableau de MTBF donne  $A= 1,133$   $B= 1,43$  (voir annexe B2).

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

$MTBF=1,133*57,99+0$

$MTBF=65,708$  h

✓ **Machine (B) :**

Le tableau de MTBF donne A= 1,1906 B= 1,610 (voir annexe B2).

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

$$MTBF=1,1906*41,284+0$$

$$MTBF=49,153h$$

✓ **Machine (C):**

Le tableau de MTBF donne A= 1,0234 B= 1,08 (voir annexe B2).

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

$$MTBF=1,0234 *100,828+0$$

$$MTBF==103,187h$$

✓ **Machine (D) :**

Le tableau de MTBF donne A= 1,133 B= 1,43 (voir annexe B2).

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

$$MTBF=1,133*60,101+0$$

$$MTBF=68,094h$$

**4.2. La densité de probabilité en fonction de MTBF :**

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

$$\text{Machine (A) : } f(t) = \frac{0,773}{57,994} \cdot \left(\frac{65,70-0,0}{57,994}\right)^{0,773-1} \cdot e^{-\left(\frac{65,70-0}{57,994}\right)^{0,773}} = 0,0043$$

$$\text{Machine (B) : } f(t) = \frac{0,753}{41,284} \cdot \left(\frac{49,153-0}{41,284}\right)^{0,753-1} \cdot e^{-\left(\frac{49,153-0}{41,284}\right)^{0,753}} = 0,0055$$

$$\text{Machine (C) : } f(t) = \frac{0,967}{100,828} \cdot \left(\frac{103,187-0}{100,828}\right)^{0,967-1} \cdot e^{-\left(\frac{103,187-0}{100,828}\right)^{0,967}} = 0,0034$$

$$\text{Machine (D) : } f(t) = \frac{0,793}{60,101} \cdot \left(\frac{68,094-0}{60,101}\right)^{0,793-1} \cdot e^{-\left(\frac{6,094-0}{60,101}\right)^{0,793}} = 0,0042$$

**4.3. La fonction de réparation en fonction de MTBF :**

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

$$\text{Machine (A) : } F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{65,708-0}{57,994}\right)^{0,773}} = 0,667 = 66,7\%$$

$$\text{Machine (B) : } F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{49,153-0}{41,284}\right)^{0,753}} = 0,681 = 68,1\%$$

$$\text{Machine (C) : } F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{103,187-0}{100,828}\right)^{0,967}} = 0,641 = 64,1\%$$

$$\text{Machine (D) : } F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{68,094-0}{60,101}\right)^{0,793}} = 0,668 = 66,8\%$$

#### 4.5. La fiabilité en fonction de MTBF :

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

$$\text{Machine (A) : } R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left(\frac{65,708-0}{57,994}\right)^{0,773}} = 0,332 = 33,2\%$$

$$\text{Machine (B) : } R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left(\frac{49,153-0}{41,284}\right)^{0,753}} = 0,319 = 31,9\%$$

$$\text{Machine (C) : } R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left(\frac{103,187-0}{100,828}\right)^{0,967}} = 0,359 = 35,9\%$$

$$\text{Machine (D) : } R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left(\frac{68,094-0}{60,101}\right)^{0,793}} = 0,331 = 33,1\%$$

#### 4.6. Le taux de défaillance en fonction de MTBF :

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

$$\text{Machine (A) : } \lambda(t) = \frac{0,773}{57,994} \cdot \left(\frac{65,708-0,0}{57,994}\right)^{0,773-1} = 0,0152$$

$$\text{Machine (B) : } \lambda(t) = \frac{0,753}{41,284} \cdot \left(\frac{49,153-0}{41,284}\right)^{0,753-1} = 0,0020$$

$$\text{Machine (C) : } \lambda(t) = \frac{0,967}{100,828} \cdot \left(\frac{103,187-0}{100,828}\right)^{0,967-1} = 0,0096$$

$$\text{Machine (D) : } \lambda(t) = \frac{0,793}{60,101} \cdot \left(\frac{68,94-0}{60,101}\right)^{0,793-1} = 0,014$$

### 5. Calcul du temps souhaitable pour une intervention systématique :

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

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

$$\ln R(t) = -\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta = \ln(0,8) \Leftrightarrow -[\ln R(t)]^{1/\beta} \Rightarrow t = \eta \left[\ln\left(\frac{1}{R(t)}\right)\right]^{1/\beta}$$

Machine (A) :  $t = 57,994 * \left[\ln\left(\frac{1}{0,8}\right)\right]^{1/0,773} = 8,33\text{h}$

Pour garder la fiabilité de la Machine à souder (A) 80% il faut intervenir chaque temps systématique 8,33h.

Machine(B) :  $t = 49,153 * \left[\ln\left(\frac{1}{0,8}\right)\right]^{1/0,753} = 5,62\text{h}$

Pour garder la fiabilité de la Machine à soudée (B) 80% il faut intervenir chaque temps systématique 5.63h.

Machine(C) :  $t = 100,828 * \left[\ln\left(\frac{1}{0,8}\right)\right]^{1/0,967} = 21,37\text{h}$

Pour garder la fiabilité de la Machine à souder (C) 80% il faut intervenir chaque temps systématique 21.37h.

Machine(D) :  $t = 60,101 * \left[\ln\left(\frac{1}{0,8}\right)\right]^{1/0,793} = 9,06\text{h}$

Pour garder la fiabilité de la Machine à soudée (D) 80% il faut intervenir chaque temps systématique 9,06h

	Machine (A)	Machine (B)	Machine (C)	Machine (D)
<b>MTBF(h)</b>	65.708	49,153	103,187	68,094
<b>f(t=MTBF)</b>	0,0043	0,0055	0.0034	0,0042
<b>F(t=MTBF)</b>	0,667	0,681	0,641	0,668
<b>R(t=MTBF) (h)</b>	0,332	0,319	0,359	0,331
<b>λ(t = MTBF)</b>	0,0152	0,0020	0,0096	0,014
<b>T<sub>sys</sub> (h)</b>	8 ,33	5,62	21,37	9,06

Tableau III.6 : Récapitulatif des notions de Weibull

## 6. Étude de modèle de Weibull :

### 6.1. Courbe fonction de répartition $F(t)$ :

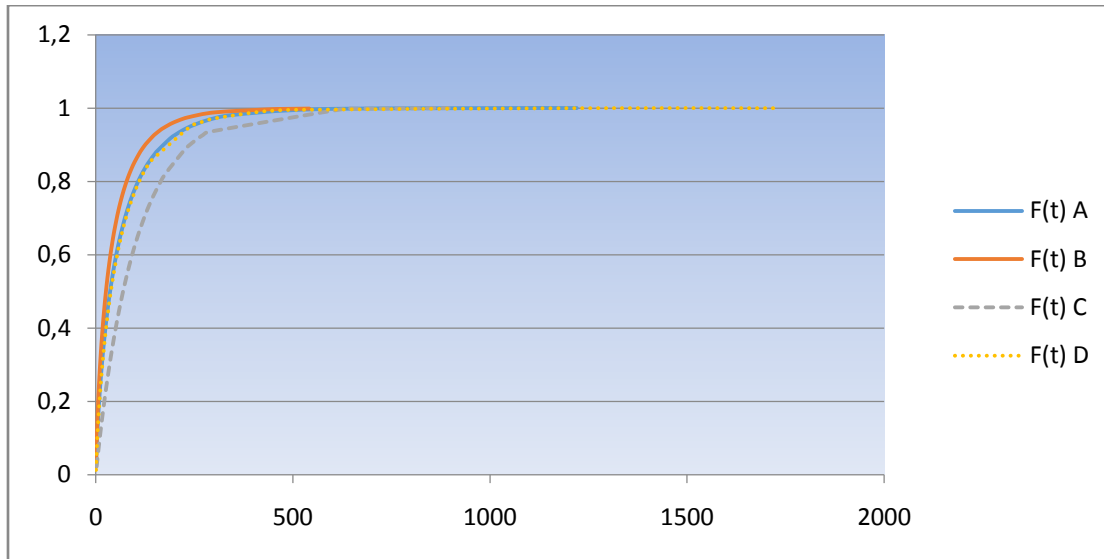


Figure III.9 : la courbe fonction de répartition des 4 machines à souder.

### 6.2. Courbe de la fiabilité

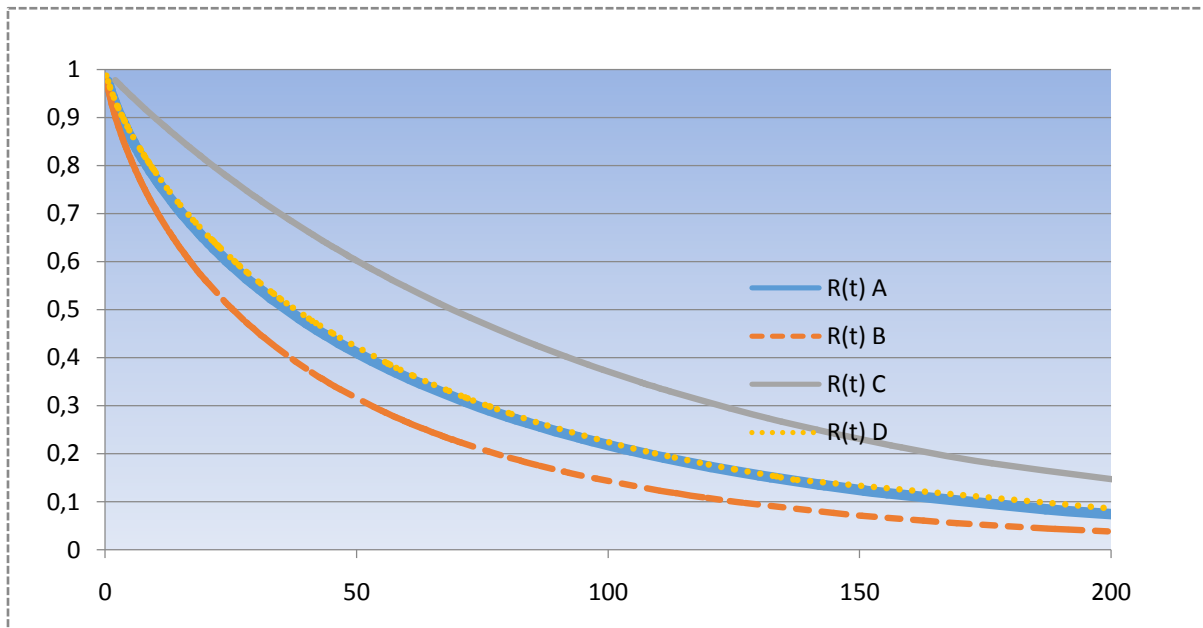


Figure III.10 : Courbe de la fonction de fiabilité pour les 4 machines à souder (zoom sur les 200h).

Les Figures III.9 et III.10 illustrent l'évolution de la fiabilité (la fonction de répartition) des 4 machines. La comparaison montre que les 4 machines ont la même tendance décroissante de la fiabilité. Après  $t=50h$ , la fiabilité de C est le double de celle de B, alors que les machines A et D ont des comportements identiques (confondus).

### 6.3. Courbe de la fonction de Maintenabilité :

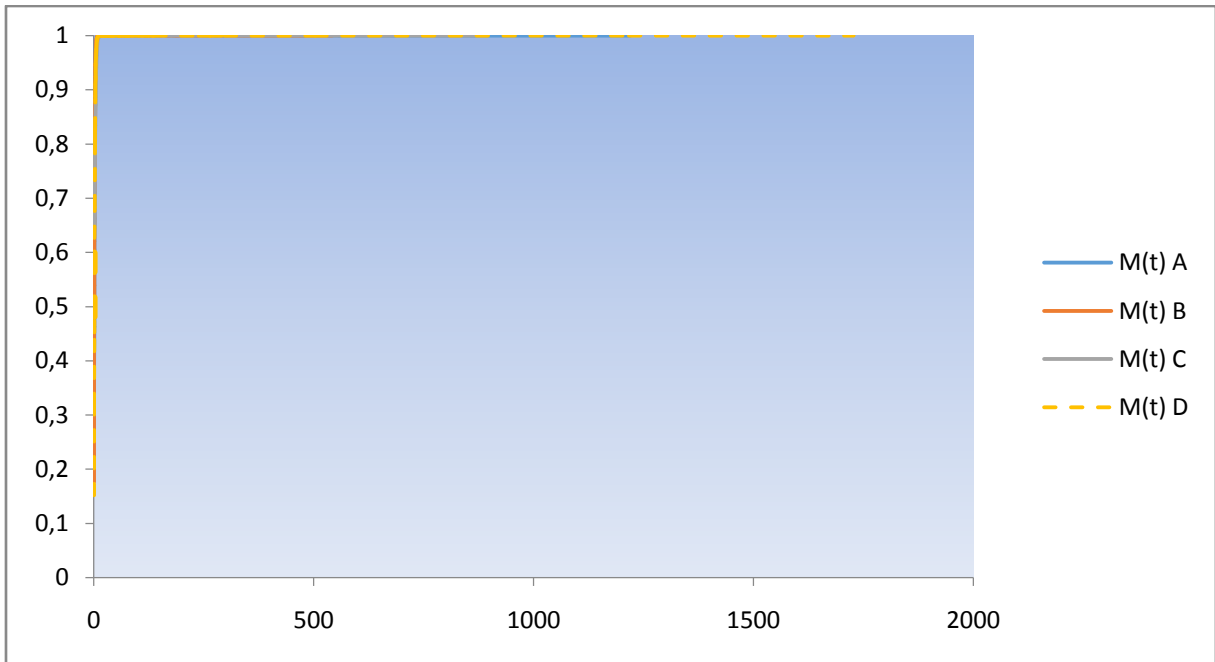


Figure III.11 : la courbe fonction de Maintenabilité des 4 machines à souder.

#### 6.4. Courbe de la disponibilité :

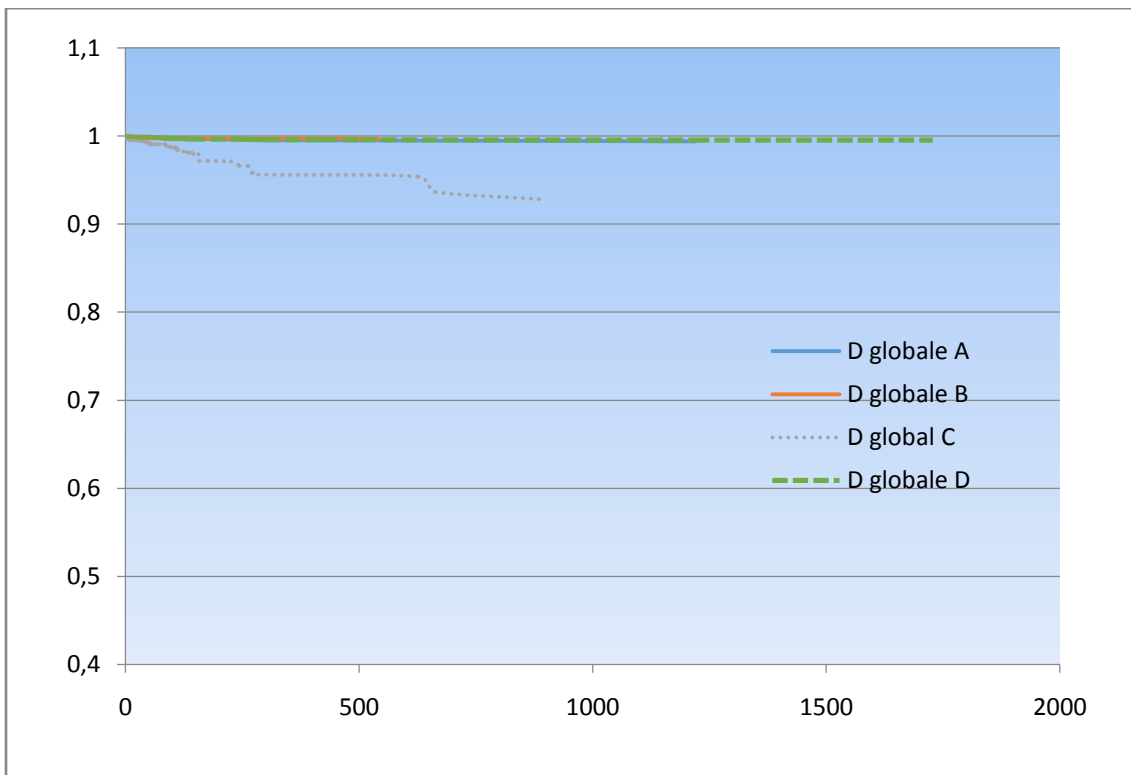


Figure III.12 : la courbe fonction de la disponibilité des 4 machines à souder.

Pour la maintenabilité, la comparaison est difficile mais il apparaît qu'elle est intéressante vu qu'elle est élevée pour des  $t$  petits ; Ce résultat doit être réévalué pour comprendre pourquoi il y a

une croissance très rapide. Il est peut être intéressant de vérifier sur le champ les valeurs des temps d'intervention. Par conséquent, la comparaison n'est évidente (Figure III.11). En ce qui concerne la disponibilité, les machines A, B et D se confondent avec des valeurs au-delà de 98%. La machine C présente une courbe en dessous de celles des machines A, B et D. La valeur calculée est supérieure à 92% (Figure III.12). Pour ce cas, il est aussi nécessaire de vérifier les données car il y a une sorte de non concordance entre  $R(t)$  et  $D(t)$  pour la machine C. En effet,  $D(t)$  est le plus petit mais  $R(t)$  semble évoluer vers des valeurs plus grandes de celles des autres machines. Il faut retenir que ces écarts sont relatifs car les valeurs de la fiabilité et de la disponibilité sont plus serrées dans chaque comparaison.

D'un autre côté, les courbes de défaillances réconfortent les comportements de la fiabilité durant les 200 premières heures (Figure III.13).

### 6.5. Courbe de taux de défaillance :

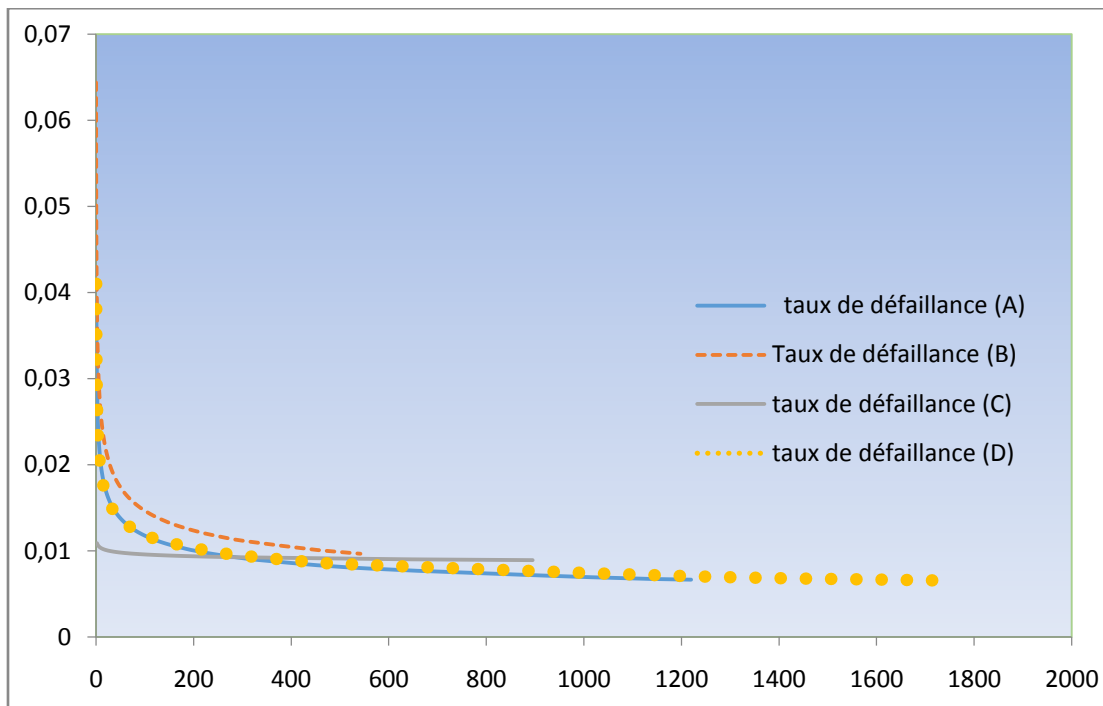


Figure III.13 : la courbe fonction de taux de défaillance 4 machines à souder.

Dans cette partie, on désire voir l'effet des petits TBF sur le calcul de la fiabilité. Pour se faire, on n'a pas considéré les valeurs en dessous de 12h car elles restent négligeables par



rapport aux autres valeurs enregistrées (1220h). Au fait ceci ne représente qu'une variation de 1% des temps enregistrés (Temps max). Cette hypothèse est considérée pour voir pourquoi les valeurs de  $R(t)$  sont relativement faibles et quelle est l'influence de ces temps. Comme prévu, la fiabilité augmente d'environ 5% (Tab. III.14 et Figure III.14)). Il est donc nécessaire de revoir avec le service maintenance les historiques donnés pour valider les temps d'arrêts.

	$\eta_0$	$\eta_1$	MTBF <sub>0</sub>	MTBF <sub>1</sub>	R(t) <sub>0</sub>	R(t) <sub>1</sub>
M(A)	57,944	112,135	65,70	102,828	0,332	0,403
M(B)	41,284	63,708	49,153	63,708	0,319	0,367
M(C)	100,828	115,095	103,187	107,199	0,359	0,399
M(D)	60,101	119,914	68,094	114,122	0,331	0,388

Tableau III.7 : l'effet des TBF sur le calcul de fiabilité.

### 6.6. Comparaison des fiabilités de la machine (A) :

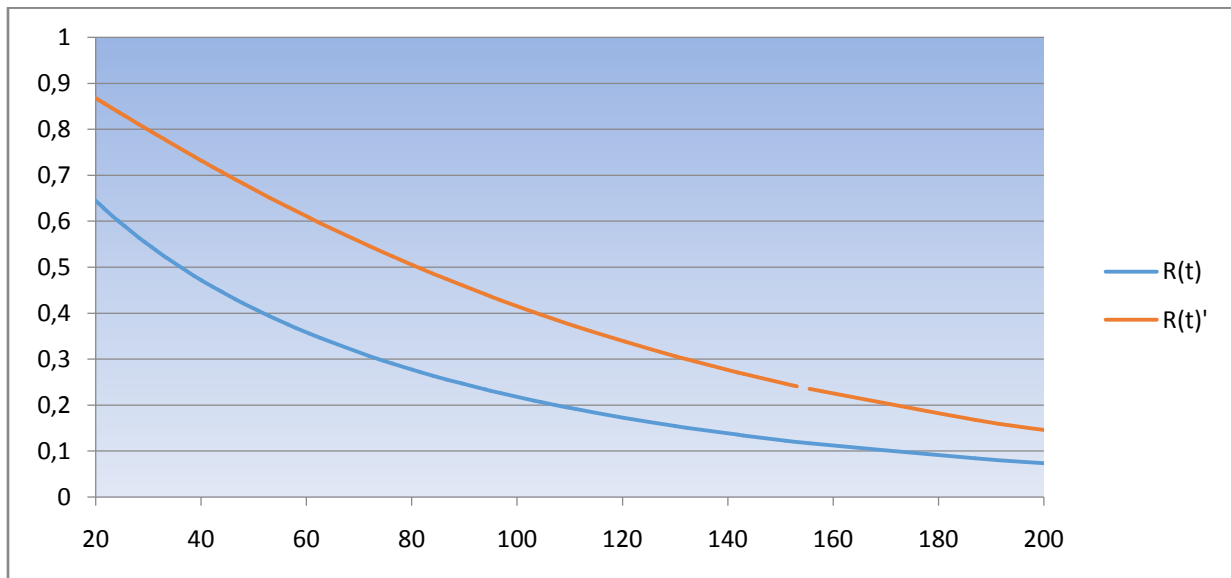


Figure III.14: Comparaison des fiabilités de la machine (A).

Courbe bleue: Historique complet et Courbe rouge : Historique sans les temps inférieurs à 1% de TBF max.

## ***Conclusions :***

Cette étude a permis de réaliser une étude FMD sur 4 machines à souder identique de l'entreprise ALFAPIPE d'Annaba. Les conclusions suivantes sont données :

1. L'analyse de Paréto a révélé qu'il y a 2 à 3 types de pannes qui sont dans la classe A del aloi ABC. Les 2 sous ensembles qui reviennent le plus sont : (1) Bande de bord dérégulée et (2) le croquage des rives. Ces 2 problèmes sont à surveiller de près car ils représentent les 20% qui coûtent 80% du budget.

2. Pour les MTBF, les valeurs trouvées sont plutôt faibles (entre 49h et 103h). Ceci est probablement dû au grand nombre de pannes (parfois plus de 191 par machine) et de plus nous ne savons pas si ces pannes ont fait l'objet de vérification de la part de la maintenance pour une réparation définitive.

3. Par conséquent, les valeurs de la fiabilité se retrouvent amoindries (faibles) vu les MTBF courts. En réalité, les valeurs de  $R(t)$  à MTBF restent aussi faibles aux alentours de 35%.

4. La comparaison de l'évolution de  $R(t)$  montre que les 4 machines ont la même tendance décroissante. Par exemple, après  $t=50h$ , la fiabilité de la machine C est le double de celle de B, alors que les machines A et D ont des comportements confondus.

5. Pour la maintenabilité, la comparaison est difficile mais il apparaît qu'elle est intéressante vu qu'elle est élevée pour des temps petits ; Ce résultat doit être réévalué pour comprendre pourquoi il y a une croissance très rapide. Il est peut être intéressant de vérifier sur le champ les valeurs des temps d'intervention.

6. En ce qui concerne la disponibilité, les machines A, B et D se confondent avec des valeurs au-delà de 98%. La machine C présente une courbe en dessous de celles des machines A, B et D. La valeur calculée est supérieure à 92%.

7. L'étude de l'effet des petits TBF sur le calcul de la fiabilité est simulée par l'ajustement de l'historique par la non-considération des valeurs en dessous de 12h (variation de 1% des temps enregistrés). Comme prévu, la fiabilité augmente d'environ 5%. Il est donc nécessaire de revoir avec le service maintenance les historiques donnés pour valider les temps d'arrêts.

# ***ANNEX***

Annexe A1 : calcule les TBF et les notions de fiabilité de la machine (A)

Rang	TBF(h)	N	ΣN	f(i)theorie	F(i)%	R(t)	λ(t)	D global	M(t)	Dni
1	0,500	1	1	0,008474576	0,847458	0,974956	0,039212	0,999638	0,26688	0,01657
2	0,750	1	2	0,016949153	1,694915	0,965896	0,035764	0,999638	0,372285	0,017155
3	1,000	1	3	0,025423729	2,542373	0,957585	0,033503	0,999517	0,462535	0,016992
4	1,083	1	4	0,033898305	3,389831	0,954939	0,032899	0,999517	0,489637	0,011162
5	1,167	2	6	0,050847458	5,084746	0,952347	0,032351	0,999517	0,515372	0,003194
6	1,500	1	7	0,059322034	5,932203	0,942429	0,030557	0,999517	0,605973	0,001751
7	1,750	1	8	0,06779661	6,779661	0,935383	0,029506	0,999517	0,662625	0,00318
8	1,833	1	9	0,076271186	7,627119	0,933098	0,029196	0,999517	0,679637	0,00937
9	2,000	1	10	0,084745763	8,474576	0,928614	0,028625	0,999517	0,711131	0,01336
10	2,250	1	11	0,093220339	9,322034	0,922081	0,02787	0,999397	0,752663	0,015302
11	2,500	1	12	0,101694915	10,16949	0,915756	0,027211	0,999276	0,788224	0,017451
12	3,000	3	15	0,127118644	12,71186	0,90364	0,026108	0,999276	0,844743	0,030758
13	3,500	1	16	0,13559322	13,55932	0,892127	0,02521	0,999276	0,886178	0,02772
14	3,750	1	17	0,144067797	14,40678	0,886566	0,024818	0,999276	0,902543	0,030634
15	4,333	1	18	0,152542373	15,25424	0,874033	0,024017	0,999276	0,932155	0,026576
16	4,417	1	19	0,161016949	16,10169	0,87229	0,023914	0,999276	0,935576	0,033306
17	5,000	1	20	0,169491525	16,94915	0,860377	0,023249	0,999276	0,955151	0,029868
18	5,333	1	21	0,177966102	17,79661	0,853784	0,022911	0,999276	0,963536	0,03175
19	5,667	1	22	0,186440678	18,64407	0,847333	0,022598	0,999276	0,970353	0,033773
20	5,750	1	23	0,194915254	19,49153	0,845741	0,022523	0,999276	0,971848	0,040656
21	6,333	2	25	0,211864407	21,18644	0,834823	0,022035	0,999276	0,980402	0,046688
22	6,417	2	27	0,228813559	22,88136	0,833294	0,02197	0,999276	0,98139	0,062108
23	6,833	1	28	0,237288136	23,72881	0,825755	0,021658	0,999276	0,985632	0,063043
24	7,417	1	29	0,245762712	24,57627	0,815485	0,021259	0,999276	0,989998	0,061247
25	8,333	1	30	0,254237288	25,42373	0,799955	0,020704	0,999276	0,994339	0,054193
26	8,417	1	31	0,262711864	26,27119	0,798578	0,020657	0,999276	0,994624	0,06129
27	9,000	1	32	0,271186441	27,11864	0,789085	0,020345	0,999276	0,996258	0,060272
28	9,167	1	33	0,279661017	27,9661	0,78642	0,020261	0,999276	0,996625	0,066081
29	9,500	1	34	0,288135593	28,81356	0,781148	0,020097	0,999276	0,997256	0,069284
30	10,000	1	35	0,296610169	29,66102	0,773383	0,019865	0,999276	0,997989	0,069993
31	10,250	1	36	0,305084746	30,50847	0,769563	0,019754	0,999276	0,998278	0,074648
32	10,500	1	37	0,313559322	31,35593	0,765782	0,019646	0,999276	0,998525	0,079341
33	10,667	1	38	0,322033898	32,20339	0,763283	0,019576	0,999276	0,99867	0,085317
34	10,833	1	39	0,330508475	33,05085	0,760801	0,019507	0,999156	0,998801	0,09131
35	11,000	1	40	0,338983051	33,89831	0,758336	0,019439	0,999156	0,998919	0,097319

36	11,333	1	41	0,347457627	34,74576	0,753455	0,019308	0,999035	0,999121	0,100912
37	13,250	1	42	0,355932203	35,59322	0,726564	0,018635	0,999035	0,999733	0,082497
38	13,833	1	43	0,36440678	36,44068	0,718747	0,018454	0,999035	0,999814	0,083154
39	14,333	1	44	0,372881356	37,28814	0,712173	0,018306	0,999035	0,999864	0,085054
40	14,833	1	45	0,381355932	38,13559	0,705709	0,018164	0,999035	0,9999	0,087065
41	15,167	1	46	0,389830508	38,98305	0,70146	0,018072	0,999035	0,999919	0,09129
42	15,417	1	47	0,398305085	39,83051	0,698304	0,018006	0,999035	0,99993	0,096609
43	15,583	1	48	0,406779661	40,67797	0,696214	0,017962	0,999035	0,999937	0,102993
44	15,667	1	49	0,415254237	41,52542	0,695173	0,01794	0,999035	0,99994	0,110427
45	17,000	1	50	0,423728814	42,37288	0,678894	0,01761	0,998915	0,999974	0,102622
46	18,500	1	51	0,43220339	43,22034	0,661364	0,017276	0,998795	0,99999	0,093567
47	18,917	1	52	0,440677966	44,0678	0,656632	0,017188	0,998795	0,999992	0,09731
48	19,500	1	53	0,449152542	44,91525	0,650104	0,01707	0,998795	0,999994	0,099257
49	19,583	1	54	0,457627119	45,76271	0,64918	0,017054	0,998554	0,999995	0,106808
50	20,500	1	55	0,466101695	46,61017	0,639163	0,016878	0,998554	0,999997	0,105265
51	20,750	1	56	0,474576271	47,45763	0,636475	0,016831	0,998554	0,999997	0,111052
52	21,500	1	57	0,483050847	48,30508	0,628524	0,016696	0,998554	0,999998	0,115174
53	21,583	1	58	0,491525424	49,15254	0,62765	0,016681	0,998554	0,999998	0,119175
54	22,000	1	59	0,5	50	0,623312	0,016609	0,998554	0,999999	0,123312
55	23,167	1	60	0,508474576	50,84746	0,61142	0,016416	0,998554	0,999999	0,119894
56	24,000	1	61	0,516949153	51,69492	0,603146	0,016284	0,998554	1	0,120095
57	24,083	1	62	0,525423729	52,54237	0,602328	0,016272	0,998554	1	0,127752
58	24,333	1	63	0,533898305	53,38983	0,599886	0,016233	0,998554	1	0,133784
59	24,500	1	64	0,542372881	54,23729	0,598266	0,016208	0,998554	1	0,140639
60	25,250	1	65	0,550847458	55,08475	0,591062	0,016098	0,998554	1	0,14191
61	25,500	1	66	0,559322034	55,9322	0,588691	0,016062	0,998554	1	0,148013
62	28,167	1	67	0,56779661	56,77966	0,584284	0,015703	0,998554	1	0,132081
63	29,333	1	68	0,576271186	57,62712	0,554087	0,015559	0,998554	1	0,130358
64	30,667	1	69	0,584745763	58,47458	0,542768	0,015403	0,998554	1	0,127514
65	31,417	1	70	0,593220339	59,32203	0,536551	0,015319	0,998554	1	0,129771
66	33,000	1	71	0,601694915	60,16949	0,523765	0,015149	0,998554	1	0,12546
67	33,500	1	72	0,610169492	61,01695	0,519819	0,015097	0,998554	1	0,129989
68	38,667	1	73	0,618644068	61,86441	0,481432	0,014614	0,998554	1	0,100076
69	40,000	1	74	0,627118644	62,71186	0,472178	0,014501	0,998554	1	0,099296
70	40,167	1	75	0,63559322	63,55932	0,471038	0,014488	0,998434	1	0,106632
71	42,167	1	76	0,644067797	64,40678	0,457659	0,014329	0,998434	1	0,101727

72	43,750	1	77	0,652542373	65,25424	0,447436	0,014209	0,998313	1	0,099978
73	44,083	1	78	0,661016949	66,10169	0,445323	0,014185	0,998313	1	0,10634
74	46,500	1	79	0,669491525	66,94915	0,430406	0,014014	0,998313	1	0,099897
75	48,000	1	80	0,677966102	67,79661	0,421485	0,013914	0,998193	1	0,099451
76	50,500	1	81	0,686440678	68,64407	0,407158	0,013754	0,998193	1	0,093598
77	53,000	1	82	0,694915254	69,49153	0,39347	0,013604	0,998193	1	0,088385
78	56,500	1	83	0,703389831	70,33898	0,375305	0,013408	0,998193	1	0,078694
79	57,833	1	84	0,711864407	71,18644	0,368672	0,013337	0,998073	1	0,080537
80	60,500	1	85	0,720338983	72,0339	0,355856	0,013201	0,998073	1	0,076195
81	62,667	1	86	0,728813559	72,88136	0,345861	0,013096	0,997953	1	0,074674
82	71,833	1	87	0,737288136	73,72881	0,307314	0,012697	0,997832	1	0,044602
83	76,333	1	88	0,745762712	74,57627	0,290362	0,012523	0,997832	1	0,036125
84	80,083	1	89	0,754237288	75,42373	0,277113	0,012387	0,997832	1	0,03135
85	81,667	1	90	0,762711864	76,27119	0,271743	0,012332	0,997832	1	0,034455
86	84,000	1	91	0,771186441	77,11864	0,264059	0,012254	0,997832	1	0,035245
87	86,583	1	92	0,779661017	77,9661	0,255859	0,01217	0,997832	1	0,03552
88	89,500	1	93	0,788135593	78,81356	0,24697	0,012079	0,997592	1	0,035105
89	94,000	1	94	0,796610169	79,66102	0,233975	0,011945	0,997472	1	0,030585
90	94,917	1	95	0,805084746	80,50847	0,23143	0,011919	0,997472	1	0,036515
91	96,833	1	96	0,813559322	81,35593	0,226215	0,011865	0,997112	1	0,039774
92	103,250	1	97	0,822033898	82,20339	0,209749	0,011693	0,997112	1	0,031783
93	104,500	1	98	0,830508475	83,05085	0,20671	0,011661	0,997112	1	0,037218
94	107,333	2	100	0,847457627	84,74576	0,200012	0,011591	0,997112	1	0,04747
95	111,167	1	101	0,855932203	85,59322	0,191354	0,011499	0,997112	1	0,047286
96	120,417	1	102	0,86440678	86,44068	0,172213	0,011292	0,997112	1	0,03662
97	130,000	1	103	0,872881356	87,28814	0,154697	0,011097	0,997112	1	0,027578
98	132,333	1	104	0,881355932	88,13559	0,150751	0,011053	0,997112	1	0,032107
99	141,917	1	105	0,889830508	88,98305	0,135714	0,010878	0,996872	1	0,025545
100	143,000	1	106	0,898305085	89,83051	0,134126	0,01086	0,996752	1	0,032431
101	151,000	1	107	0,906779661	90,67797	0,123031	0,010726	0,996632	1	0,029811
102	155,500	1	108	0,915254237	91,52542	0,117253	0,010655	0,996632	1	0,032507
103	187,000	1	109	0,923728814	92,37288	0,084423	0,010218	0,996392	1	0,008152
104	200,833	1	110	0,93220339	93,22034	0,073379	0,010054	0,996392	1	0,005583
105	221,833	1	111	0,940677966	94,0678	0,059556	0,00983	0,996153	1	0,000234
106	240,833	1	112	0,949152542	94,91525	0,049497	0,009648	0,995913	1	0,001351
107	241,250	1	113	0,957627119	95,76271	0,049298	0,009644	0,995913	1	0,006925
108	279,833	1	114	0,966101695	96,61017	0,034197	0,009325	0,995674	1	0,000299
109	341,000	1	115	0,974576271	97,45763	0,019586	0,008915	0,995196	1	0,005838
110	558,250	1	116	0,983050847	98,30508	0,00316	0,007972	0,994957	1	0,013789
111	1016,167	1	117	0,991525424	99,15254	0,000107	0,006958	0,99424	1	0,008368
112	1220,000	1	118	1	100	2,66E-05	0,006675	0,993763	1	2,66E-05

**Annexe A2 : calcule les TBF et les notions de fiabilité de la machine (B)**

Rang	TBF(h)	N	$\Sigma N$	$f(i)_{theorie}$	$F(i)\%$	$F(t)$	$\lambda(t)$	D global	M(t)	Dni
1	0,250	1	1	0,0052	0,5236	0,978849	0,0644	0,9995	0,1761	0,0159
2	0,333	2	3	0,0157	1,5707	0,973801	0,0600	0,9995	0,2276	0,0105
3	0,500	2	5	0,0262	2,6178	0,964614	0,0543	0,9995	0,3211	0,0092
4	0,667	1	6	0,0314	3,1414	0,956244	0,0505	0,9995	0,4033	0,0123
5	0,750	2	8	0,0419	4,1885	0,952285	0,0491	0,9995	0,4406	0,0058
6	0,917	1	9	0,0471	4,7120	0,94472	0,0467	0,9995	0,5084	0,0082
7	1,000	3	12	0,0628	6,2827	0,94109	0,0457	0,9995	0,5391	0,0039
8	1,167	1	13	0,0681	6,8063	0,934083	0,0440	0,9995	0,5949	0,0021
9	1,250	2	15	0,0785	7,8534	0,930693	0,0433	0,9993	0,6203	0,0092
10	1,333	1	16	0,0838	8,3770	0,92737	0,0426	0,9993	0,6440	0,0111
11	1,500	2	18	0,0942	9,4241	0,920907	0,0414	0,9993	0,6871	0,0151
12	1,667	1	19	0,0995	9,9476	0,914663	0,0403	0,9993	0,7250	0,0141
13	1,750	1	20	0,1047	10,4712	0,911615	0,0398	0,9993	0,7422	0,0163
14	1,833	1	21	0,1099	10,9948	0,908613	0,0394	0,9993	0,7583	0,0186
15	1,917	1	22	0,1152	11,5183	0,905653	0,0389	0,9993	0,7734	0,0208
16	2,000	3	25	0,1309	13,0890	0,902735	0,0385	0,9993	0,7876	0,0336
17	2,083	1	26	0,1361	13,6126	0,899856	0,0381	0,9993	0,8009	0,0360
18	2,167	1	27	0,1414	14,1361	0,897015	0,0378	0,9993	0,8133	0,0384
19	2,500	1	28	0,1466	14,6597	0,885991	0,0365	0,9993	0,8558	0,0326
20	2,667	1	29	0,1518	15,1832	0,880667	0,0359	0,9993	0,8733	0,0325
21	2,833	2	31	0,1623	16,2304	0,875455	0,0353	0,9993	0,8886	0,0378
22	3,167	1	32	0,1675	16,7539	0,865341	0,0344	0,9993	0,9140	0,0329
23	3,333	1	33	0,1728	17,2775	0,860426	0,0340	0,9993	0,9244	0,0332
24	3,500	1	34	0,1780	17,8010	0,8556	0,0336	0,9992	0,9335	0,0336
25	3,750	2	36	0,1885	18,8482	0,848514	0,0330	0,9992	0,9452	0,0370
26	4,000	1	37	0,1937	19,3717	0,841601	0,0325	0,9992	0,9549	0,0353
27	4,083	2	39	0,2042	20,4188	0,839333	0,0323	0,9992	0,9577	0,0435
28	4,167	1	40	0,2094	20,9424	0,837083	0,0321	0,9992	0,9603	0,0465
29	4,250	1	41	0,2147	21,4660	0,834849	0,0320	0,9992	0,9628	0,0495
30	4,417	1	42	0,2199	21,9895	0,830433	0,0317	0,9990	0,9673	0,0503
31	4,833	2	44	0,2304	23,0366	0,819665	0,0310	0,9990	0,9763	0,0500
32	5,000	1	45	0,2356	23,5602	0,815461	0,0307	0,9990	0,9792	0,0511
33	5,167	1	46	0,2408	24,0838	0,811313	0,0305	0,9990	0,9817	0,0522
34	5,333	1	47	0,2461	24,6073	0,807219	0,0302	0,9990	0,9839	0,0533
35	5,500	1	48	0,2513	25,1309	0,803176	0,0300	0,9990	0,9859	0,0545

35	5,500	1	48	0,2513	25,1309	0,803176	0,0300	0,9990	0,9859	0,0545
36	6,000	4	52	0,2723	27,2251	0,791344	0,0294	0,9990	0,9904	0,0636
37	6,083	2	54	0,2827	28,2723	0,789413	0,0293	0,9990	0,9910	0,0721
38	6,500	1	55	0,2880	28,7958	0,779322	0,0288	0,9990	0,9935	0,0679
39	6,583	1	56	0,2932	29,3194	0,778056	0,0287	0,9990	0,9939	0,0712
40	6,833	1	57	0,2984	29,8429	0,772518	0,0284	0,9990	0,9950	0,0709
41	6,917	2	59	0,3089	30,8901	0,770692	0,0284	0,9990	0,9953	0,0796
42	7,000	2	61	0,3194	31,9372	0,768876	0,0283	0,9990	0,9956	0,0882
43	7,083	1	62	0,3246	32,4607	0,767069	0,0282	0,9990	0,9959	0,0917
44	7,250	1	63	0,3298	32,9843	0,763484	0,0280	0,9990	0,9964	0,0933
45	7,500	1	64	0,3351	33,5079	0,758175	0,0278	0,9990	0,9970	0,0933
46	7,750	2	66	0,3455	34,5550	0,752946	0,0276	0,9990	0,9975	0,0985
47	7,833	1	67	0,3508	35,0785	0,75122	0,0275	0,9990	0,9977	0,1020
48	8,000	1	68	0,3560	35,6021	0,747794	0,0274	0,9990	0,9980	0,1038
49	8,333	1	69	0,3613	36,1257	0,741041	0,0271	0,9990	0,9984	0,1023
50	8,500	1	70	0,3665	36,6492	0,737712	0,0269	0,9990	0,9986	0,1042
51	8,750	1	71	0,3717	37,1728	0,732776	0,0268	0,9990	0,9989	0,1045
52	9,000	2	73	0,3822	38,2199	0,727908	0,0266	0,9990	0,9991	0,1101
53	9,167	1	74	0,3874	38,7435	0,724699	0,0265	0,9990	0,9992	0,1121
54	10,000	1	75	0,3927	39,2670	0,709069	0,0259	0,9990	0,9996	0,1017
55	10,500	1	76	0,3979	39,7906	0,700004	0,0256	0,9990	0,9997	0,0979
56	11,000	2	78	0,4084	40,8377	0,69116	0,0253	0,9990	0,9998	0,0995
57	12,667	2	80	0,4188	41,8848	0,66313	0,0244	0,9990	0,9999	0,0820
58	12,750	1	81	0,4241	42,4084	0,661783	0,0244	0,9990	0,9999	0,0859
59	13,000	2	83	0,4346	43,4555	0,657771	0,0243	0,9990	1,0000	0,0923
60	13,333	1	84	0,4398	43,9791	0,652489	0,0241	0,9990	1,0000	0,0923
61	13,500	2	86	0,4503	45,0262	0,649876	0,0240	0,9990	1,0000	0,1001
62	13,583	1	87	0,4555	45,5497	0,648576	0,0240	0,9990	1,0000	0,1041
63	14,167	1	88	0,4607	46,0733	0,639605	0,0238	0,9990	1,0000	0,1003
64	14,667	1	89	0,4660	46,5969	0,632086	0,0236	0,9990	1,0000	0,0981
65	15,000	1	90	0,4712	47,1204	0,627157	0,0234	0,9990	1,0000	0,0984
66	15,667	1	91	0,4764	47,6440	0,617492	0,0232	0,9990	1,0000	0,0939
67	15,750	1	92	0,4817	48,1675	0,616302	0,0231	0,9988	1,0000	0,0980
68	15,917	1	93	0,4869	48,6911	0,613933	0,0231	0,9988	1,0000	0,1008
69	16,250	1	94	0,4921	49,2147	0,609239	0,0230	0,9988	1,0000	0,1014
70	16,417	1	95	0,4974	49,7382	0,606915	0,0229	0,9988	1,0000	0,1043

70	16,417	1	95	0,4974	49,7382	0,606915	0,0229	0,9988	1,0000	0,1043
71	16,417	1	96	0,5026	50,2618	0,606915	0,0229	0,9988	1,0000	0,1095
72	16,500	3	99	0,5183	51,8325	0,605759	0,0229	0,9988	1,0000	0,1241
73	16,833	1	100	0,5236	52,3560	0,601168	0,0228	0,9988	1,0000	0,1247
74	17,083	1	101	0,5288	52,8796	0,597763	0,0227	0,9988	1,0000	0,1266
75	17,417	1	102	0,5340	53,4031	0,593272	0,0226	0,9988	1,0000	0,1273
76	18,333	1	103	0,5393	53,9267	0,581198	0,0223	0,9986	1,0000	0,1205
77	18,833	1	104	0,5445	54,4503	0,574779	0,0221	0,9986	1,0000	0,1193
78	19,000	1	105	0,5497	54,9738	0,572664	0,0221	0,9986	1,0000	0,1224
79	19,750	1	106	0,5550	55,4974	0,563298	0,0219	0,9986	1,0000	0,1183
80	19,917	1	107	0,5602	56,0209	0,561249	0,0218	0,9986	1,0000	0,1215
81	20,000	2	109	0,5707	57,0681	0,560229	0,0218	0,9986	1,0000	0,1309
82	20,083	1	110	0,5759	57,5916	0,559212	0,0218	0,9986	1,0000	0,1351
83	20,500	1	111	0,5812	58,1152	0,55417	0,0217	0,9986	1,0000	0,1353
84	23,500	1	112	0,5864	58,6387	0,519847	0,0210	0,9986	1,0000	0,1062
85	24,000	1	113	0,5916	59,1623	0,514441	0,0209	0,9986	1,0000	0,1061
86	24,500	1	114	0,5969	59,6859	0,509119	0,0207	0,9985	1,0000	0,1060
87	25,167	1	115	0,6021	60,2094	0,502148	0,0206	0,9985	1,0000	0,1042
88	25,250	2	117	0,6126	61,2565	0,501286	0,0206	0,9985	1,0000	0,1139
89	25,667	1	118	0,6178	61,7801	0,497012	0,0205	0,9985	1,0000	0,1148
90	28,000	3	121	0,6335	63,3508	0,474031	0,0201	0,9985	1,0000	0,1075
91	28,167	1	122	0,6387	63,8743	0,472449	0,0200	0,9985	1,0000	0,1112
92	28,500	1	123	0,6440	64,3979	0,469307	0,0200	0,9983	1,0000	0,1133
93	29,417	1	124	0,6492	64,9215	0,46082	0,0198	0,9983	1,0000	0,1100
94	31,000	1	125	0,6545	65,4450	0,446666	0,0196	0,9983	1,0000	0,1011
95	31,583	1	126	0,6597	65,9686	0,441606	0,0195	0,9983	1,0000	0,1013
96	33,917	1	127	0,6649	66,4921	0,422146	0,0191	0,9983	1,0000	0,0871
97	37,250	1	128	0,6702	67,0157	0,396341	0,0187	0,9983	1,0000	0,0665
98	37,833	1	129	0,6754	67,5393	0,392047	0,0186	0,9983	1,0000	0,0674
99	41,083	1	130	0,6806	68,0628	0,369235	0,0183	0,9981	1,0000	0,0499
100	42,583	1	131	0,6859	68,5864	0,359302	0,0181	0,9981	1,0000	0,0452
101	43,000	1	132	0,6911	69,1099	0,356606	0,0181	0,9981	1,0000	0,0477
102	43,167	1	133	0,6963	69,6335	0,355534	0,0180	0,9981	1,0000	0,0519
103	44,583	1	134	0,7016	70,1571	0,346599	0,0179	0,9980	1,0000	0,0482
104	45,667	1	135	0,7068	70,6806	0,339964	0,0178	0,9980	1,0000	0,0468
105	46,750	1	136	0,7120	71,2042	0,333493	0,0177	0,9980	1,0000	0,0455

106	53,417	1	137	0,7173	71,7277	0,296981	0,0171	0,9980	1,0000	0,0143
107	55,000	1	138	0,7225	72,2513	0,289069	0,0170	0,9980	1,0000	0,0116
108	55,667	1	139	0,7277	72,7749	0,285818	0,0169	0,9980	1,0000	0,0136
109	55,833	1	140	0,7330	73,2984	0,285013	0,0169	0,9980	1,0000	0,0180
110	57,333	1	141	0,7382	73,8220	0,27789	0,0168	0,9980	1,0000	0,0161
111	57,750	1	142	0,7435	74,3455	0,275951	0,0168	0,9980	1,0000	0,0194
112	59,167	1	143	0,7487	74,8691	0,269484	0,0167	0,9980	1,0000	0,0182
113	59,500	1	144	0,7539	75,3927	0,267991	0,0167	0,9980	1,0000	0,0219
114	60,000	1	145	0,7592	75,9162	0,265769	0,0166	0,9980	1,0000	0,0249
115	60,167	1	146	0,7644	76,4398	0,265034	0,0166	0,9980	1,0000	0,0294
116	60,417	1	147	0,7696	76,9634	0,263936	0,0166	0,9980	1,0000	0,0336
117	60,833	1	148	0,7749	77,4869	0,262118	0,0166	0,9980	1,0000	0,0370
118	62,917	1	149	0,7801	78,0105	0,253258	0,0164	0,9980	1,0000	0,0334
119	63,667	1	150	0,7853	78,5340	0,25016	0,0164	0,9980	1,0000	0,0355
120	65,000	1	151	0,7906	79,0576	0,244766	0,0163	0,9980	1,0000	0,0353
121	66,667	1	152	0,7958	79,5812	0,238225	0,0162	0,9980	1,0000	0,0340
122	67,083	1	153	0,8010	80,1047	0,236623	0,0162	0,9980	1,0000	0,0377
123	67,417	1	154	0,8063	80,6283	0,235351	0,0162	0,9980	1,0000	0,0416
124	67,750	1	155	0,8115	81,1518	0,234088	0,0161	0,9978	1,0000	0,0456
125	69,000	1	156	0,8168	81,6754	0,229423	0,0161	0,9978	1,0000	0,0462
126	69,167	2	158	0,8272	82,7225	0,22881	0,0161	0,9978	1,0000	0,0560
127	70,333	1	159	0,8325	83,2461	0,224572	0,0160	0,9978	1,0000	0,0570
128	70,750	1	160	0,8377	83,7696	0,223082	0,0160	0,9976	1,0000	0,0608
129	76,250	1	161	0,8429	84,2932	0,204494	0,0157	0,9976	1,0000	0,0474
130	80,500	1	162	0,8482	84,8168	0,191401	0,0155	0,9976	1,0000	0,0396
131	82,500	1	163	0,8534	85,3403	0,185589	0,0154	0,9976	1,0000	0,0390
132	82,833	2	165	0,8639	86,3874	0,184641	0,0154	0,9975	1,0000	0,0485
133	83,500	1	166	0,8691	86,9110	0,182762	0,0153	0,9975	1,0000	0,0519
134	86,500	1	167	0,8743	87,4346	0,174584	0,0152	0,9975	1,0000	0,0489
135	91,167	1	168	0,8796	87,9581	0,162709	0,0150	0,9975	1,0000	0,0423
136	91,333	1	169	0,8848	88,4817	0,162303	0,0150	0,9975	1,0000	0,0471
137	92,250	1	170	0,8901	89,0052	0,16009	0,0150	0,9975	1,0000	0,0501
138	97,750	1	171	0,8953	89,5288	0,147538	0,0147	0,9975	1,0000	0,0428
139	110,417	1	172	0,9005	90,0524	0,122755	0,0143	0,9973	1,0000	0,0233
140	113,417	1	173	0,9058	90,5759	0,117616	0,0142	0,9973	1,0000	0,0234
141	113,500	1	174	0,9110	91,0995	0,117477	0,0142	0,9971	1,0000	0,0285

141	113,500	1	174	0,9110	91,0995	0,117477	0,0142	0,9971	1,0000	0,0285
142	116,417	1	175	0,9162	91,6230	0,112723	0,0141	0,9970	1,0000	0,0290
143	119,750	1	176	0,9215	92,1466	0,107558	0,0140	0,9970	1,0000	0,0290
144	124,250	1	177	0,9267	92,6702	0,101011	0,0139	0,9970	1,0000	0,0277
145	127,250	1	178	0,9319	93,1937	0,096899	0,0138	0,9970	1,0000	0,0288
146	144,833	1	179	0,9372	93,7173	0,076305	0,0134	0,9970	1,0000	0,0135
147	150,500	1	180	0,9424	94,2408	0,07076	0,0133	0,9970	1,0000	0,0132
148	162,750	1	181	0,9476	94,7644	0,060252	0,0130	0,9970	1,0000	0,0079
149	169,333	1	182	0,9529	95,2880	0,055334	0,0129	0,9970	1,0000	0,0082
150	187,500	1	183	0,9581	95,8115	0,043928	0,0126	0,9970	1,0000	0,0020
151	188,917	1	184	0,9634	96,3351	0,043154	0,0125	0,9970	1,0000	0,0065
152	191,750	1	185	0,9686	96,8586	0,041652	0,0125	0,9970	1,0000	0,0102
153	210,667	1	186	0,9738	97,3822	0,032983	0,0122	0,9970	1,0000	0,0068
154	235,333	1	187	0,9791	97,9058	0,024517	0,0119	0,9970	1,0000	0,0036
155	303,333	1	188	0,9843	98,4293	0,011227	0,0111	0,9970	1,0000	0,0045
156	452,583	1	189	0,9895	98,9529	0,002316	0,0101	0,9970	1,0000	0,0082
157	469,250	1	190	0,9948	99,4764	0,001958	0,0100	0,9970	1,0000	0,0033
158	541,833	1	191	1,0000	100,0000	0,00096	0,0097	0,9966	1,0000	0,0010



Annexe A3 : calcule les TBF et les notions de fiabilité de la machine (C)

Rang	TBF(h)	N	$\Sigma N$	$f(i)$ theorie	F(t)%	R(t)	F(t)	$\lambda(\tau)$	D global	M(i)	Dni
1	2,000	2,000	2,000	0,022	2,247	0,978	0,022	0,011	0,997	0,642	0,000
2	3,000	1,000	3,000	0,034	3,371	0,967	0,033	0,011	0,997	0,786	0,001
3	3,500	1,000	4,000	0,045	4,494	0,962	0,038	0,011	0,997	0,835	0,007
4	4,000	1,000	5,000	0,056	5,618	0,957	0,043	0,011	0,997	0,872	0,013
5	5,083	1,000	6,000	0,067	6,742	0,946	0,054	0,011	0,996	0,927	0,013
6	5,500	1,000	7,000	0,079	7,865	0,942	0,058	0,011	0,996	0,941	0,020
7	8,000	1,000	8,000	0,090	8,989	0,917	0,083	0,010	0,995	0,984	0,007
8	10,250	1,000	9,000	0,101	10,112	0,896	0,104	0,010	0,995	0,995	0,003
9	11,667	1,000	10,000	0,112	11,236	0,883	0,117	0,010	0,995	0,998	0,004
10	12,000	1,000	11,000	0,124	12,360	0,880	0,120	0,010	0,995	0,998	0,004
11	12,500	1,000	12,000	0,135	13,483	0,876	0,124	0,010	0,995	0,998	0,010
12	12,833	1,000	13,000	0,146	14,607	0,873	0,127	0,010	0,995	0,999	0,019
13	13,833	1,000	14,000	0,157	15,730	0,864	0,136	0,010	0,995	0,999	0,021
14	16,250	1,000	15,000	0,169	16,854	0,843	0,157	0,010	0,995	1,000	0,011
15	16,833	1,000	16,000	0,180	17,978	0,838	0,162	0,010	0,995	1,000	0,017
16	18,833	1,000	17,000	0,191	19,101	0,821	0,179	0,010	0,995	1,000	0,012
17	19,000	1,000	18,000	0,202	20,225	0,819	0,181	0,010	0,995	1,000	0,022
18	19,833	1,000	19,000	0,213	21,348	0,813	0,187	0,010	0,995	1,000	0,026
19	21,833	1,000	20,000	0,225	22,472	0,796	0,204	0,010	0,995	1,000	0,021
20	23,667	1,000	21,000	0,236	23,596	0,782	0,218	0,010	0,995	1,000	0,018
21	24,000	2,000	23,000	0,258	25,843	0,779	0,221	0,010	0,995	1,000	0,038
22	24,333	1,000	24,000	0,270	26,966	0,777	0,223	0,010	0,995	1,000	0,046
23	25,917	1,000	25,000	0,281	28,090	0,764	0,236	0,010	0,995	1,000	0,045
24	28,167	2,000	27,000	0,303	30,337	0,747	0,253	0,010	0,995	1,000	0,051
25	29,500	1,000	28,000	0,315	31,461	0,737	0,263	0,010	0,995	1,000	0,052
26	30,000	1,000	29,000	0,326	32,584	0,734	0,266	0,010	0,995	1,000	0,060
27	30,833	1,000	30,000	0,337	33,708	0,728	0,272	0,010	0,994	1,000	0,065
28	31,250	1,000	31,000	0,348	34,831	0,725	0,275	0,010	0,994	1,000	0,073
29	36,500	1,000	32,000	0,360	35,955	0,688	0,312	0,010	0,994	1,000	0,047
30	37,000	1,000	33,000	0,371	37,079	0,684	0,316	0,010	0,994	1,000	0,055
31	40,500	2,000	35,000	0,393	39,326	0,661	0,339	0,010	0,994	1,000	0,054
32	41,333	1,000	36,000	0,404	40,449	0,656	0,344	0,010	0,994	1,000	0,060
33	43,250	1,000	37,000	0,416	41,573	0,643	0,357	0,010	0,994	1,000	0,059
34	44,000	1,000	38,000	0,427	42,697	0,639	0,361	0,010	0,994	1,000	0,066
35	45,167	1,000	39,000	0,438	43,820	0,631	0,369	0,010	0,994	1,000	0,069
36	46,000	1,000	40,000	0,449	44,944	0,626	0,374	0,010	0,993	1,000	0,076
37	47,833	1,000	41,000	0,461	46,067	0,615	0,385	0,010	0,993	1,000	0,076
38	48,167	1,000	42,000	0,472	47,191	0,613	0,387	0,010	0,992	1,000	0,085
39	48,417	1,000	43,000	0,483	48,315	0,611	0,389	0,010	0,992	1,000	0,095
40	49,500	1,000	44,000	0,494	49,438	0,605	0,395	0,010	0,992	1,000	0,099
41	50,000	1,000	45,000	0,506	50,562	0,602	0,398	0,010	0,992	1,000	0,108
42	51,500	1,000	46,000	0,517	51,685	0,593	0,407	0,010	0,992	1,000	0,110
43	52,167	1,000	47,000	0,528	52,809	0,589	0,411	0,010	0,992	1,000	0,117
44	52,667	1,000	48,000	0,539	53,933	0,586	0,414	0,010	0,992	1,000	0,126
45	53,000	1,000	49,000	0,551	55,056	0,585	0,415	0,010	0,990	1,000	0,135
46	54,333	1,000	50,000	0,562	56,180	0,577	0,423	0,010	0,990	1,000	0,139
47	56,000	1,000	51,000	0,573	57,303	0,568	0,432	0,010	0,990	1,000	0,141
48	57,000	1,000	52,000	0,584	58,427	0,562	0,438	0,010	0,990	1,000	0,146
49	59,667	1,000	53,000	0,596	59,551	0,548	0,452	0,010	0,990	1,000	0,143
50	66,333	1,000	54,000	0,607	60,674	0,513	0,487	0,010	0,990	1,000	0,120
51	72,583	1,000	55,000	0,618	61,798	0,483	0,517	0,010	0,990	1,000	0,101
52	82,167	1,000	56,000	0,629	62,921	0,440	0,560	0,010	0,990	1,000	0,069
53	85,500	1,000	57,000	0,640	64,045	0,426	0,574	0,010	0,990	1,000	0,067
54	85,750	1,000	58,000	0,652	65,169	0,425	0,575	0,010	0,990	1,000	0,077
55	86,500	1,000	59,000	0,663	66,292	0,422	0,578	0,010	0,989	1,000	0,085
56	91,667	1,000	60,000	0,674	67,416	0,402	0,598	0,010	0,988	1,000	0,076
57	96,083	1,000	61,000	0,685	68,539	0,385	0,615	0,010	0,987	1,000	0,070
58	99,000	1,000	62,000	0,697	69,663	0,374	0,626	0,010	0,987	1,000	0,071
59	106,500	1,000	63,000	0,708	70,787	0,348	0,652	0,010	0,987	1,000	0,056
60	106,667	1,000	64,000	0,719	71,910	0,348	0,652	0,010	0,987	1,000	0,067
61	107,250	1,000	65,000	0,730	73,034	0,346	0,654	0,010	0,986	1,000	0,076
62	107,417	1,000	66,000	0,742	74,157	0,345	0,655	0,010	0,986	1,000	0,087
63	108,000	1,000	67,000	0,753	75,281	0,343	0,657	0,010	0,986	1,000	0,096
64	109,000	1,000	68,000	0,764	76,404	0,340	0,660	0,010	0,986	1,000	0,104
65	110,500	1,000	69,000	0,775	77,528	0,335	0,665	0,010	0,986	1,000	0,111
66	111,500	1,000	70,000	0,787	78,652	0,332	0,668	0,010	0,984	1,000	0,119
67	112,250	1,000	71,000	0,798	79,775	0,330	0,670	0,010	0,984	1,000	0,128
68	124,167	1,000	72,000	0,809	80,899	0,294	0,706	0,010	0,983	1,000	0,103
69	131,750	1,000	73,000	0,820	82,022	0,274	0,726	0,010	0,982	1,000	0,094
70	134,500	1,000	74,000	0,831	83,146	0,267	0,733	0,009	0,981	1,000	0,098
71	141,500	1,000	75,000	0,843	84,270	0,250	0,750	0,009	0,981	1,000	0,092

72	145,250	1,000	76,000	0,854	85,393	0,241	0,759	0,009	0,979	1,000	0,095
73	156,250	1,000	77,000	0,865	86,517	0,217	0,783	0,009	0,979	1,000	0,082
74	158,250	1,000	78,000	0,876	87,640	0,213	0,787	0,009	0,972	1,000	0,089
75	176,333	1,000	79,000	0,888	88,764	0,180	0,820	0,009	0,972	1,000	0,067
76	226,000	1,000	80,000	0,899	89,888	0,113	0,887	0,009	0,971	1,000	0,012
77	242,000	1,000	81,000	0,910	91,011	0,097	0,903	0,009	0,967	1,000	0,007
78	244,000	1,000	82,000	0,921	92,135	0,095	0,905	0,009	0,966	1,000	0,017
79	262,667	1,000	83,000	0,933	93,258	0,080	0,920	0,009	0,966	1,000	0,013
80	270,000	1,000	84,000	0,944	94,382	0,075	0,925	0,009	0,958	1,000	0,019
81	272,250	1,000	85,000	0,955	95,506	0,073	0,927	0,009	0,958	1,000	0,028
82	284,167	1,000	86,000	0,966	96,629	0,066	0,934	0,009	0,956	1,000	0,032
83	627,167	1,000	87,000	0,978	97,753	0,003	0,997	0,009	0,954	1,000	0,020
84	663,500	1,000	88,000	0,989	98,876	0,002	0,998	0,009	0,936	1,000	0,009
85	895,167	1,000	89,000	1,000	100,000	0,000	1,000	0,009	0,928	1,000	0,000

**Annexe A4 : calcule les TBF et les notions de fiabilité de la machine**

(D)

<b>Rang</b>	<b>TBF(h)</b>	<b>N</b>	<b>ΣN</b>	<b>f(i)theorie</b>	<b>F(i)%</b>	<b>R(t)</b>	<b>λ(t)</b>	<b>D global</b>	<b>M(t)</b>	<b>Dni</b>
1	0,25	1	1	0,0094	0,9434	0,9871	0,0410	0,9998	0,1514	0,0034
2	0,58	1	2	0,0189	1,8868	0,9750	0,0344	0,9997	0,3182	0,0061
3	0,92	1	3	0,0283	2,8302	0,9644	0,0314	0,9997	0,4522	0,0073
4	1,00	1	4	0,0377	3,7736	0,9619	0,0308	0,9997	0,4814	0,0004
5	1,50	1	5	0,0472	4,7170	0,9478	0,0283	0,9995	0,6265	0,0050
6	1,75	1	6	0,0566	5,6604	0,9413	0,0274	0,9995	0,6831	0,0021
7	2,42	1	7	0,0660	6,6038	0,9248	0,0257	0,9995	0,7954	0,0092
8	2,50	2	9	0,0849	8,4906	0,9228	0,0255	0,9995	0,8063	0,0077
9	2,67	1	10	0,0943	9,4340	0,9189	0,0251	0,9995	0,8264	0,0133
10	3,25	1	11	0,1038	10,3774	0,9058	0,0241	0,9995	0,8816	0,0096
11	3,33	1	12	0,1132	11,3208	0,9040	0,0240	0,9995	0,8879	0,0172
12	3,67	1	13	0,1226	12,2642	0,8969	0,0235	0,9994	0,9100	0,0195
13	3,83	1	14	0,1321	13,2075	0,8934	0,0233	0,9994	0,9193	0,0254
14	3,92	1	15	0,1415	14,1509	0,8916	0,0232	0,9994	0,9236	0,0332
15	4,42	1	16	0,1509	15,0943	0,8815	0,0227	0,9993	0,9450	0,0324
16	4,50	1	17	0,1604	16,0377	0,8798	0,0226	0,9993	0,9479	0,0402
17	4,83	1	18	0,1698	16,9811	0,8733	0,0222	0,9993	0,9581	0,0431
18	5,58	1	19	0,1792	17,9245	0,8591	0,0216	0,9993	0,9744	0,0383
19	7,08	2	21	0,1981	19,8113	0,8324	0,0205	0,9993	0,9904	0,0305
20	7,67	1	22	0,2075	20,7547	0,8225	0,0202	0,9993	0,9935	0,0301
21	7,75	1	23	0,2170	21,6981	0,8212	0,0202	0,9993	0,9938	0,0381
22	8,00	2	25	0,2358	23,5849	0,8170	0,0200	0,9993	0,9948	0,0529
23	8,50	2	27	0,2547	25,4717	0,8089	0,0198	0,9993	0,9962	0,0637
24	8,67	1	28	0,2642	26,4151	0,8063	0,0197	0,9993	0,9966	0,0704
25	8,83	2	30	0,2830	28,3019	0,8037	0,0196	0,9992	0,9970	0,0867
26	9,25	1	31	0,2925	29,2453	0,7971	0,0194	0,9992	0,9977	0,0896
27	9,50	1	32	0,3019	30,1887	0,7933	0,0193	0,9992	0,9980	0,0952
28	9,75	1	33	0,3113	31,1321	0,7895	0,0192	0,9992	0,9983	0,1008
29	10,08	1	34	0,3208	32,0755	0,7844	0,0191	0,9992	0,9987	0,1052
30	11,08	1	35	0,3302	33,0189	0,7698	0,0187	0,9992	0,9993	0,0999
31	12,25	1	36	0,3396	33,9623	0,7533	0,0183	0,9991	0,9997	0,0929
32	12,83	1	37	0,3491	34,9057	0,7453	0,0182	0,9991	0,9998	0,0944
33	14,92	1	38	0,3585	35,8491	0,7181	0,0176	0,9991	0,9999	0,0766
34	17,50	1	39	0,3679	36,7925	0,6867	0,0170	0,9991	1,0000	0,0546
35	18,00	1	40	0,3774	37,7358	0,6809	0,0169	0,9991	1,0000	0,0582

36	18,75	1	41	0,3868	38,6792	0,6723	0,0168	0,9991	1,0000	0,0591
37	20,42	1	42	0,3962	39,6226	0,6539	0,0165	0,9991	1,0000	0,0501
38	21,08	1	43	0,4057	40,5660	0,6468	0,0164	0,9991	1,0000	0,0524
39	21,25	1	44	0,4151	41,5094	0,6450	0,0164	0,9991	1,0000	0,0601
40	21,33	1	45	0,4245	42,4528	0,6441	0,0163	0,9991	1,0000	0,0687
41	21,58	1	46	0,4340	43,3962	0,6415	0,0163	0,9991	1,0000	0,0755
42	21,83	1	47	0,4434	44,3396	0,6389	0,0163	0,9990	1,0000	0,0823
43	22,25	1	48	0,4528	45,2830	0,6346	0,0162	0,9990	1,0000	0,0874
44	22,42	1	49	0,4623	46,2264	0,6329	0,0162	0,9990	1,0000	0,0952
45	22,50	1	50	0,4717	47,1698	0,6320	0,0162	0,9990	1,0000	0,1037
46	22,67	1	51	0,4811	48,1132	0,6303	0,0161	0,9990	1,0000	0,1115
47	22,92	1	52	0,4906	49,0566	0,6278	0,0161	0,9990	1,0000	0,1184
48	23,00	1	53	0,5000	50,0000	0,6270	0,0161	0,9990	1,0000	0,1270
49	25,67	1	54	0,5094	50,9434	0,6009	0,0157	0,9990	1,0000	0,1103
50	25,92	1	55	0,5189	51,8868	0,5986	0,0157	0,9990	1,0000	0,1174
51	26,58	1	56	0,5283	52,8302	0,5923	0,0156	0,9990	1,0000	0,1206
52	26,83	1	57	0,5377	53,7736	0,5900	0,0156	0,9988	1,0000	0,1278
53	28,08	1	58	0,5472	54,7170	0,5787	0,0154	0,9988	1,0000	0,1259
54	28,50	1	59	0,5566	55,6604	0,5750	0,0154	0,9988	1,0000	0,1316
55	30,92	1	60	0,5660	56,6038	0,5542	0,0151	0,9987	1,0000	0,1202
56	33,33	1	61	0,5755	57,5472	0,5344	0,0149	0,9987	1,0000	0,1099
57	33,58	1	62	0,5849	58,4906	0,5324	0,0149	0,9987	1,0000	0,1173
58	34,67	2	64	0,6038	60,3774	0,5239	0,0148	0,9987	1,0000	0,1277
59	35,00	1	65	0,6132	61,3208	0,5214	0,0148	0,9987	1,0000	0,1346
60	36,08	1	66	0,6226	62,2642	0,5131	0,0147	0,9986	1,0000	0,1358
61	37,33	1	67	0,6321	63,2075	0,5038	0,0146	0,9986	1,0000	0,1359
62	40,50	1	68	0,6415	64,1509	0,4813	0,0143	0,9986	1,0000	0,1228
63	41,17	1	69	0,6509	65,0943	0,4767	0,0143	0,9986	1,0000	0,1277
64	41,92	1	70	0,6604	66,0377	0,4717	0,0142	0,9986	1,0000	0,1321
65	42,75	1	71	0,6698	66,9811	0,4661	0,0142	0,9986	1,0000	0,1360
66	45,33	1	72	0,6792	67,9245	0,4495	0,0140	0,9985	1,0000	0,1287
67	46,67	1	73	0,6887	68,8679	0,4412	0,0139	0,9985	1,0000	0,1299
68	56,17	1	74	0,6981	69,8113	0,3876	0,0134	0,9985	1,0000	0,0857
69	56,25	1	75	0,7075	70,7547	0,3872	0,0134	0,9985	1,0000	0,0947
70	56,67	1	76	0,7170	71,6981	0,3850	0,0134	0,9984	1,0000	0,1020
71	57,92	1	77	0,7264	72,6415	0,3787	0,0133	0,9983	1,0000	0,1051
72	58,75	1	78	0,7358	73,5849	0,3745	0,0133	0,9981	1,0000	0,1104
73	61,33	1	79	0,7453	74,5283	0,3620	0,0131	0,9981	1,0000	0,1072
74	65,42	1	80	0,7547	75,4717	0,3432	0,0130	0,9980	1,0000	0,0979
75	68,42	1	81	0,7642	76,4151	0,3301	0,0128	0,9980	1,0000	0,0943
76	71,58	1	82	0,7736	77,3585	0,3170	0,0127	0,9980	1,0000	0,0906
77	72,08	1	83	0,7830	78,3019	0,3150	0,0127	0,9979	1,0000	0,0981
78	73,17	1	84	0,7925	79,2453	0,3107	0,0127	0,9979	1,0000	0,1032
79	76,33	1	85	0,8019	80,1887	0,2986	0,0126	0,9978	1,0000	0,1005
80	76,58	1	86	0,8113	81,1321	0,2976	0,0125	0,9978	1,0000	0,1090
81	77,92	1	87	0,8208	82,0755	0,2927	0,0125	0,9978	1,0000	0,1135
82	80,25	1	88	0,8302	83,0189	0,2843	0,0124	0,9974	1,0000	0,1145
83	80,83	1	89	0,8396	83,9623	0,2823	0,0124	0,9973	1,0000	0,1219
84	87,92	1	90	0,8491	84,9057	0,2587	0,0122	0,9972	1,0000	0,1078
85	102,58	1	91	0,8585	85,8491	0,2170	0,0118	0,9972	1,0000	0,0755
86	109,33	1	92	0,8679	86,7925	0,2004	0,0117	0,9971	1,0000	0,0684
87	113,25	1	93	0,8774	87,7358	0,1915	0,0116	0,9971	1,0000	0,0689
88	120,00	1	94	0,8868	88,6792	0,1772	0,0114	0,9970	1,0000	0,0640
89	125,25	1	95	0,8962	89,6226	0,1669	0,0113	0,9969	1,0000	0,0632
90	133,50	1	96	0,9057	90,5660	0,1521	0,0112	0,9966	1,0000	0,0578
91	134,33	1	97	0,9151	91,5094	0,1507	0,0112	0,9964	1,0000	0,0658
92	137,67	1	98	0,9245	92,4528	0,1452	0,0111	0,9963	1,0000	0,0698
93	238,75	1	99	0,9340	93,3962	0,0505	0,0099	0,9963	1,0000	0,0155
94	264,33	1	100	0,9434	94,3396	0,0393	0,0097	0,9962	1,0000	0,0173
95	264,75	1	101	0,9528	95,2830	0,0391	0,0097	0,9962	1,0000	0,0080
96	297,75	1	102	0,9623	96,2264	0,0285	0,0095	0,9958	1,0000	0,0092
97	419,67	1	103	0,9717	97,1698	0,0094	0,0088	0,9957	1,0000	0,0189
98	503,67	1	104	0,9811	98,1132	0,0045	0,0085	0,9957	1,0000	0,0143
99	1216,92	1	105	0,9906	99,0566	0,0000	0,0071	0,9952	1,0000	0,0094
100	1728,00	1	106	1,0000	100,0000	0,0000	0,0066	0,9951	1,0000	0,0000

**AnnexeB1:**

Test de Komlmgrov-Smirno « K-S »

N°	Niveau significatif				
	0.20	0.15	0.10	0.05	0.01
1	0,900	0,925	0,950	0,975	0,995
2	0,684	0,726	0,776	0,842	0,929
3	0,565	0,579	0,642	0,708	0,828
4	0,494	0,525	0,564	0,624	0,733
5	0,446	0,474	0,510	0,565	0,669
6	0,410	0,436	0,470	0,521	0,618
7	0,381	0,405	0,438	0,486	0,577
8	0,358	0,381	0,411	0,457	0,543
9	0,339	0,360	0,388	0,432	0,514
10	0,322	0,342	0,368	0,410	0,490
11	0,307	0,326	0,325	0,391	0,468
12	0,295	0,313	0,338	0,375	0,450
13	0,284	0,302	0,325	0,361	0,433
14	0,274	0,292	0,314	0,349	0,418
15	0,266	0,283	0,304	0,338	0,404
16	0,258	0,274	0,295	0,328	0,392
17	0,250	0,266	0,286	0,318	0,381
18	0,244	0,259	0,278	0,309	0,371
19	0,237	0,252	0,272	0,301	0,363
20	0,231	0,245	0,264	0,294	0,356
25	0,21	0,22	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,20	0,22	0,24	0,29
35	1,18	0,19	0,21	0,23	0,27
> 35	1,07	1,14	1,22	1,36	1,63
	$\frac{\quad}{\sqrt{N}}$	$\frac{\quad}{\sqrt{N}}$	$\frac{\quad}{\sqrt{N}}$	$\frac{\quad}{\sqrt{N}}$	$\frac{\quad}{\sqrt{N}}$

**Annexe b2 : tableau A et B en fonction  $\alpha$**

MTBF=A.  $\eta + \gamma$  Et Ecart type=B.  $\eta$

$\beta$	A	B	$\beta$	A	B	$\beta$	A	B
0,20	120	1901	1,65	0,8942	0,556	4,2	0,9089	0,244
0,25	24	199	1,70	0,8922	0,540	4,3	0,9102	0,239
0,30	9,2605	50,08	1,75	0,8906	0,525	4,4	0,9114	0,235
0,35	5,0731	19,98	1,80	0,8893	0,511	4,5	0,9126	0,230
0,40	3,3234	10,44	1,85	0,8882	0,498	4,6	0,9137	0,226
0,45	2,4786	6,44	1,90	0,8874	0,486	4,7	0,9149	0,222
0,50	2	4,47	1,95	0,8867	0,474	4,8	0,9160	0,218
0,55	1,7024	3,35	2	0,8862	0,463	4,9	0,9171	0,214
0,60	1,5046	2,65	2,1	0,8857	0,443	5	0,9182	0,210
0,65	1,3663	2,18	2,2	0,8856	0,425	5,1	0,9192	0,207
0,70	1,2638	1,85	2,3	0,8859	0,409	5,2	0,9202	0,203
0,75	1,1906	1,61	2,4	0,8865	0,393	5,3	0,9213	0,200
0,80	1,1330	1,43	2,5	0,8873	0,380	5,4	0,9222	0,197
0,85	1,0889	1,29	2,6	0,8882	0,367	5,5	0,9232	0,194
0,90	1,0522	1,17	2,7	0,8893	0,355	5,6	0,9241	0,191
0,95	1,0234	1,08	2,8	0,8905	0,344	5,7	0,9251	0,186
1	1	1	2,9	0,8917	0,334	5,8	0,9260	0,185
1,05	0,9803	0,934	3	0,8930	0,325	5,9	0,9269	0,183
1,10	0,9649	0,878	3,1	0,8943	0,316	6	0,9277	0,180
1,15	0,9517	0,830	3,2	0,8957	0,307	6,1	0,9286	0,177
1,20	0,9407	0,787	3,3	0,8970	0,299	6,2	0,9294	0,175
1,25	0,9314	0,780	3,4	0,8984	0,292	6,3	0,9302	0,172
1,30	0,9236	0,716	3,5	0,8997	0,285	6,4	0,9310	0,170
1,35	0,9170	0,687	3,6	0,9011	0,278	6,5	0,9316	0,168
1,40	0,9114	0,660	3,7	0,9035	0,272	6,6	0,9326	0,166
1,45	0,9067	0,635	3,8	0,9038	0,266	6,7	0,9333	0,163
1,50	1,9027	0,613	3,9	0,9051	0,260	6,8	0,9340	0,161
1,55	0,8994	0,593	4	0,9064	0,254	6,9	0,9347	0,156
1,60	0,8966	0,574	4,1	0,9077	0,249			

## ***Bibliographie :***

- [1] : Documentation du bureau de méthodes, Fabrication des tubes, Entreprise ALPHA PIPE Annaba, Consultée Mars 2017.
- [2] : M. KADI, Etude et amélioration FMD d'une motopompe centrifuge, Mémoire de master professionnel, Université de Ouargla, (2014).
- [3] : "Manuel de maintenance", NAPHTOGAZ, Hassi Messaoud HMD, (2001).
- [4] : Documentation du service de maintenance, Entreprise ALPHA PIPE Annaba, Consulté Avril 2017.
- [5] Gossi Mohamed, Maintenance de la Grenailleuse de tubes, Entreprise ALFAPIPE Annaba, Dépt de Mécanique, UBM Annaba 2013.
- [6] Kissari Seifeddine, Etude FMD de la machine à souder au sein d'Alfapipe Annaba, Dépt de Mécanique, UBM Annaba, 2013.











