

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR ANNABA-UNIVERSITY  
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA



FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIORAT  
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

## MEMOIRE

PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER

### INTITULE

ETUDE FMD DE L'ACCOUPLLEMENT « HOLSET » DU LAMINOIR DE  
TUBE A PAS-DE-PELEREINS :  
COMPARAISON DES HISTORIQUES DE 2008 ET 2012

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE

FILIERE : GENIE MECANIQUE

SPECIALITE : MAINTENANCE INDUSTRIELLE ET FIABILITE  
MECANIQUE

PRESENTE PAR :

**GHENNAI ABDELATIF**

DIRECTEUR DU MEMOIRE : MR : CHAOUI. K

PR : U.B.M.A

DEVANT LE JURY

PRÉSIDENT: MR: KHELIF. R (MCA)

U.B.M.A

EXAMINATEURS: MR: GUEZGOUZ. H (M.A.A)

U.B.M.A

MR: OMRI. M/S (M.A.A)

U.B.M.A

Ann ée: 2013/2014

# *Remerciements*

*Je remercie tout d'abord « ALLAH » qui nous a  
donné la force et la patience nécessaire pour  
réaliser ce modeste travail.*

*Je remercie aussi, mon Encadreur Mr. **Chaoui-k***

*Je remercie également tous les Enseignants du  
Département de Génie Mécanique,*

*Mes amies, mes collègues et tous les étudiants de  
Promotion ;*

*En fin je remercie tous ceux qui nous ont aidés de  
près ou de loin à réaliser ce travail*

*Ghennai A/Latif*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail avant tout à les  
deux personnes les plus chères au monde : ma  
mère et mon père,*

*À ma sœur, À tous mes amis pour leurs  
soutiens ;*

*Mes collèges de promotion ;*

*À tous ceux qui nous aiment ;*

*Ghennai A/latif*

INTRODUCTION.....	1
-------------------	---

## **CHAPITRE 1 : GENERALITE SUR LA MAINTENANCE.**

1.1. Définition de la maintenance.....	2
1.2. Types et organisation de la maintenance.....	2
1.2.1. La maintenance préventive .....	2
1.2.1.1. Maintenance préventive systématique .....	3
1.2.1.2. Maintenance préventive conditionnelle .....	3
1.2.1.3. Maintenance prévisionnelle.....	3
1.2.2. La maintenance corrective.....	3
1.2.2.1. Maintenance palliative.....	3
1.2.2.2. Maintenance curative.....	3
1.3. Les différents niveaux de la maintenance .....	5
1.4. Les opérations de la maintenance.....	6
1.4.1. Les opérations de maintenance préventive .....	6
1.4.2. Les opérations de maintenance corrective .....	6
1.4.3. Autres activités du service maintenance .....	6
1.5. Objectifs de la maintenance .....	7
1.6. Approche sur la maintenance conditionnelle .....	7
1.6.1. Aperçu sur les technologies .....	7
1.6.2. Principales techniques utilisées en maintenance conditionnelle .....	9
1.6.3. Avantages de la maintenance conditionnelle .....	10

## **CHAPITRE 2 : PRESENTATION DE LA MAINTENANCE AU NIVEAU DE L'ENTREPRISE TSS (AMPTA).**

2.1. Présentation de l'Unité AMPTA.....	11
2.2. Procédure de fabrication .....	12
2.2.1 L'aciérie électrique (ACE) .....	12
2.3. Description des installations de la TSS.....	12
2.4. Organisation de L'AMPTA .....	13
2.5. Organigramme de département maintenance .....	15
2.6. Présentation de la maintenance Au niveau de TSS .....	16
2.6.1. Organigramme de maintenance curative .....	16
2.6.1.1. Processus de la maintenance Curative .....	17
2.6.2. Organigramme de maintenance préventive .....	18
2.6.2.1. Processus de la maintenance Préventive .....	19

## **CHAPITRE 3 : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LA TRANSMISSION MECANIQUE ET PRESENTATION DE L'ACCOUPEMENT « HOLSET ».**

3.1. Les différents modes de transmissions mécaniques .....	20
3.1.1. Les transmissions par courroies .....	20
3.1.1.1. Les différents types de courroies.....	21
3.1.2. Les transmissions par chaînes .....	23
3.1.2.1. Les différents types de chaînes .....	24
3.1.3. Les transmissions par engrenage .....	26
3.1.3.1. Les différents types d'engrenage .....	26
3.1.4. La transmission par accouplements .....	30
3.1.4.1. Quelques familles d'accouplement.....	31
3.2. Présentation de l'accouplement « HOLSET ».....	38
3.2.1. Laminoir à pas de pèlerin.....	38
3.2.2. Chaîne cinématique de laminoir à Pas de pèlerin.....	39
3.2.3. Composition de l'accouplement « HOLSET ».....	40
3.2.4. Caractéristique technique de l'accouplement « HOLSET ».....	40
3.2.5. Description de fonctionnement.....	40
3.2.6. Schéma présente le plateau de l'accouplement Holset.....	41
3.2.7. Schéma des douilles.....	42
3.2.8. Schéma des goupilles.....	43
3.2.9. Analyse de quelques défaillances.....	44

## **CHAPITRE 4 : ETUDE FMD POUR L'ACCOUPEMENT « HOLSET ».**

4.1. Définition de la fiabilité.....	45
4.2. Méthode de calcul des paramètres de la fiabilité .....	45
4.2.1. La fonction de fiabilité $R(t)$ .....	46
4.2.2. Le taux d'avarie.....	47
4.2.3. La densité de probabilité.....	47
4.2.4. La fonction de répartition: .....	47
4.2.5. Signification physique des paramètres du modèle de Weibull .....	48
4.2.6. Détermination de la MTBF :.....	50
4.2.7. Détermination de la probabilité de défaillance $R(T)$ .....	51
4.2.8. Détermination de la densité de probabilité:.....	53
4.2.9. Représentation graphique .....	53
4.2.10. La maintenabilité $M(t)$ .....	56.
4.2.10.1. Calcul de la maintenabilité $M(t)$ pour notre équipement .....	56
4.2.11. La disponibilité $D(t)$ .....	59
4.2.11.1. Notion général sur la disponibilité .....	59
4.2.11.2. Calcul de la disponibilité $D(t)$ pour notre équipement .....	59

4.3. Etude FMD pour le <u>deuxième cas</u> .....	62
4.3.1. Détermination de la MTBF .....	63
4.3.2. Détermination de la probabilité de défaillance $R(T)$ .....	63
4.3.3. Détermination de la densité de probabilité .....	64
4.3.4. Présentation graphique .....	65
4.3.5. La maintenabilité $M(t)$ .....	67
4.3.5.1. Calcul de la maintenabilité $M(t)$ pour notre équipement .....	67
4.3.6. La disponibilité $D(t)$ .....	69
4.3.6.1. Calcul de la disponibilité .....	69
<u>4.4. Cas 3</u> .....	70
4.4.1. Calcul de la maintenabilité .....	70
4.4.2. Calcul de la disponibilité $D(t)$ .....	71
<u>4.5. Cas 4</u> .....	72
4.5.1. Détermination de la MTBF.....	72
4.5.2. Détermination de la probabilité de défaillance $R(T)$ .....	72
4.5.3. Calcul de la maintenabilité .....	74
4.5.4. Calcul de la disponibilité $D(t)$ .....	74
4.6. Discussion des cas étudiés .....	75
4.6.1. Présentation de la fiabilité pour les quatre cas .....	77
4.6.2. Présentation graphique des taux de défaillance pour les quatre cas .....	78
 CONCLUSION.....	 80-81

## LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Organigramme de la maintenance.

Figure 1.2: Pourcentage de différentes techniques de la maintenance conditionnelle.

Figure 2.1 : Organisation de L'AMPTA

Figure 2.2 : Procès de la tuberie sans soudure

Figure 2.3 : Organigramme de département maintenance

Figure 2.4: Organigramme de maintenance curative à l'entreprise TSS

Figure 2.5: Organigramme de maintenance préventive.

Figure 3.1 : les positions de montage d'une courroie.

Figure 3.2 Les différents types de courroies

Figure 3.3 : les courroies plates

Figure 3.4 les courroies trapézoïdales

Figure 3.5 : Les courroies rondes

Figure 3.6 : Les courroies dentées

Figure 3.7 : types de chaînes

Figure 3.8 : Les chaînes plates

Figure 3.9 : Les chaînes à rouleaux

Figure 3.10 : Les chaînes silencieuses

Figure 3.11 : Les engrenages à taille droite

Figure 3.12 : Les engrenages à denture hélicoïdale

Figure 3.13 : Les engrenages à denture chevrons

Figure 3.14 : Les engrenages à denture droite

Figure 3.15 : le couple hélicoïdale.

Figure 3.16 : Les engrenages hypocyloïde

Figure 3.17 : Le train planétaire

Figure 3.18 : La vis sans fin

Figure 3.19 : Les engrenages à crémaillère

Figure 3.20 : évaluation de but d'accouplements

Figure 3.21 : Accouplement rigide

Figure 3.22 : Accouplement à chaîne double

Figure 3.23 : Accouplement à dentures bombées

Figure 3.24 : Accouplement à plots métalliques

Figure 3.25 : Joint d'Oldham

Figure 3.26 : Joint à disques métalliques

Figure 3.28 : Joint tripode

Figure 3.29 : Joint de Cardan

Figure 3.30 : Joint homocinétiques à billes

Figure 3.31 : Accouplement magnétique

Figure 3.32 : Joint homocinétique Thompson

Figure 3.33 : Accouplement à douilles avec clavetage

Figure 3.34 : Accouplement à douilles avec goupillage

Figure 3.35 : Accouplements à Plateaux

Figure 3.36: laminoir à pas de pèlerin.

Figure 3.37: chaîne cinématique de laminoir à pas de pèlerin.

Figure 3.38 : photo du plateau de l'accouplement holset

Figure 3.39 : schéma du plateau selon le dossier technique «HOLSET »  
Figure 3.40 : Schéma de définition de la douille (Diamètre 185 mm)  
Figure 3.41 : photo de la douille de l'accouplement holset.  
Figure 3.42 : Schéma de définition de la goupille (Diamètre 104 mm)  
Figure 3.43 : photo de la goupille de l'accouplement holset.  
Figure 3.44 : photo d'une goupille rouillée.  
Figure 3.45 : photo d'une goupille rompue.  
Figure 3.14 : Les engrenages à denture droite.

Figure 4.1 : Méthode de calcul des TBF et des TTR  
Figure 4.2 : Courbe en baignoire représentant les 3 phases du taux de défaillance fonction du temps.  
Figure 4.3 : Linéarisation de l'équation de Weibull  
Figure 4.4 : courbe de fiabilité  
Figure 4.5 : Courbe de taux d'avarie  
Figure 4.6 : Courbe de densité de probabilité  
Figure 4.7 : Courbe de fonction de répartition.  
Figure 4.8 : Courbe de fonction de maintenabilité  
Figure 4.9 : Courbe de fonction de disponibilité  
Figure 4.10 : courbe de Weibull cas 2.  
Figure 4.11 : courbe de fiabilité  
Figure 4.12 : courbe de taux d'avarie  
Figure 4.13 : Courbe de fonction de répartition.  
Figure 4.14 : Courbe de densité de probabilité  
Figure 4.15 : Courbe de la fonction maintenabilité.  
Figure 4.16 : Courbe de la fonction disponibilité  
Figure 4.17. Courbe de Weibull cas 4  
Figure 4.18 : Histogrammes pour les différentes valeurs des 4 cas.  
Figure 4.19 : Courbe de fiabilité pour les quatre (4) cas.  
Figure 4.20 : Courbe de fiabilité pour les quatre cas jusqu'au maximum de MTBF.  
Figure 4.21 : Courbe de taux de défaillance pour les quatre (4) cas.  
Figure 4.22 : Courbe de taux de défaillance pour les quatre(4) cas avec simplification sur la zone importante.

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1.1 : Les cinq niveaux de la maintenance (Norme AFNOR X60-011)

Tableau 1.2 : Principales techniques utilisées en maintenance conditionnelle.

Tableau 2.1 : Processus de la maintenance Curative

Tableau 2.2 : Processus de la maintenance préventive.

Tableau 3.1 : avantages et inconvénients de la transmission par courroies

Tableau 3.2 : avantages et inconvénients de la transmission par courroies

Tableau 4.1. Liste des TBF en heures enregistrés en 2012.

Tableau 4.2. Evolution de la fonction de répartition cumulée.

Tableau 4-3. Calcul de  $f(t)$  et  $F(T)$ .

Tableau 4.4. Evolution de  $M(t)$  en fonction des TTR enregistrés.

Tableau 4.5. Évolution les différentes valeurs de la disponibilité

Tableau 4-6. Liste des TBF, en heures, retenus pour le cas 2.

Tableau 4-7. La fonction de répartition cumulée pour le cas 2.

Tableau 4.8. Pour les différentes valeurs utilisées pour la distribution de Weibull (cas 2)

Tableau 4-9. Évolution les différentes valeurs pour la mesure de la maintenabilité cas 2

Tableau 4.10. Évolution les différentes valeurs pour la mesure de la disponibilité (cas 2)

Tableau 4.11. pour les différentes valeurs utilisées pour la distribution de Weibull (cas 4).

Tableau 4.12. Comparaison des valeurs des paramètres du modèle de Weibull et des MTBF.

Tableau 4.12.bis. Évolution les différentes valeurs pour les quatre (4) cas FMD.

## INTRODUCTION

En Algérie, la filière maintenance industrielle est en développement continu vu les grands projets qui se dessinent dans les domaines des hydrocarbures, des routes, des nouveaux moyens de transports urbains comme les tramways, des infrastructures de construction comme les logements et industries agroalimentaires. Toutes des disciplines et plein d'autres demandent un support important en maintenance industrielle et surtout pour assurer la continuité de la production et des infrastructures et installations associées. C'est ainsi que le pays a engagé des programmes intéressants pour remettre à niveau les industries et la réhabilitation des procédés dépassés par les années.

La productique comme concept moderne de production et la notion de qualité ont engendré la pratique de la flexibilité et des flux tendus par des techniques comme le juste-à-temps ou le fameux KANBAN. Dans ce contexte, de compétitivité industrielle et économique d'une entreprise doit optimiser plusieurs fonctions comme la production, les ventes et la maintenance. C'est pourquoi le concept d'une fonction maintenance productrice de richesses est généralement avancé pour solidariser la production et toutes les fonctions de soutien vers un même but de l'entreprise industrielle.

Dans ce travail, nous insistons sur l'application des concepts de la maintenance industrielle et de la fiabilité pour trouver des moyens de faire encore des bénéfices même en réparant et à allonger la durée de vie des installations en toute sécurité. L'évolution et la complexité des systèmes de production ainsi que le besoin de produire vite et bien, ont obligé les industriels à mettre de l'ordre dans les ateliers de production et d'entretien.

Cette étude concerne les accouplements HOLSET qui existent au niveau du laminoir à pas de pèlerins à la TSS (Unité AMPTA, Tuberie Arcelor MITTAL, Annaba). Une première approche présente la fonction maintenance dans l'entreprise et une seconde s'intéresse à une revue des mécanismes d'accouplement et leurs types et applications. Nous avons ensuite étudié l'historique des arrêts relatifs à l'accouplement HOLSET en menant une étude complète de fiabilité, maintenabilité et disponibilité. Nous avons aussi profité d'une étude faite sur l'historique de 2008 du même mécanisme pour compléter une comparaison entre les années 2008 et 2012. La partie complétée concerne les calculs de la maintenabilité, de la disponibilité, du taux de défaillance et de taux de réparation en se basant sur le modèle à 3 paramètres de Weibull.

Nous avons trouvé que la fiabilité est en dégradation de 2008 à 2012. Ce qui n'est pas normal, vu que les temps de bon fonctionnement sont devenus plutôt courts et les interventions plus fréquentes. Bien que les goupilles cisailées restent un point faible intentionnellement incorporé dans le système, les calculs montrent qu'il faut repenser le système pour une meilleure utilisation de l'installation.

## 1.1. Définition de la maintenance :

Selon AFNOR X60-010 [7] : la maintenance est définie comme étant l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifique ou en mesure d'assurer un service déterminé. Elle vise toutes les activités destinées à maintenir ou rétablir un bien dans un état ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement, pour accomplir une fonction requise. Ces activités sont une combinaison d'activités techniques, administratives et de management. De nos jours, cette fonction est sensée produire des richesses dans l'entreprise par l'application de méthodes de management des défaillances de façon à optimiser les interventions et suivre le cycle de production à moindre coûts.

## 1.2. Types et organisation de la maintenance [1]:

Lorsqu'au cours d'une tâche préventive un composant interne du matériel est trouvé ou jugé défaillant, sa réparation ou son remplacement doit être considéré comme de la maintenance corrective. S'il est trouvé non défaillant mais dégradé, même au-delà valeur de défaillance potentielle, sa réparation ou son remplacement est du domaine de la maintenance préventive.

### 1.2.1. La maintenance préventive :

Selon AFNOR X60-010, la maintenance préventive a pour objet de réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation d'un bien ou d'un service rendu. Les activités correspondantes sont déclenchées selon un échancier établi à partir d'un nombre prédéterminé d'unités d'usage (maintenance systématique) et/ou de critères prédéterminés significatifs de l'état de dégradation du bien ou du service (maintenance conditionnelle) »

La maintenance préventive a pour objectifs :

- L'augmentation de la durée de vie du matériel ;
- La diminution de la probabilité des défaillances en service ;
- La prévention et la prévision des interventions de maintenance corrective coûteuses ;
- La prévision de bonnes conditions à la maintenance corrective ;
- Eviter la consommation anormale de l'énergie ;
- L'amélioration des conditions de travail du personnel de production ;
- La diminution des causes d'accidents graves.

Cependant nous pouvons distinguer deux sortes de maintenance préventive, l'une systématique et l'autre conditionnelle. La différence réside dans l'application de la méthode et l'importance de l'équipement dans le procédé et le coût des pièces de rechange qui seront provisionnés.

### **1.2.1.1. Maintenance préventive systématique :**

Selon AFNOR X60-010[7], la maintenance préventive systématique est déclarée comme une activité déclenchée suivant un échéancier établi à partir d'un nombre prédéterminé d'unités d'usage. Les remplacements des pièces et des fluides ont lieu quel que soit leur état de dégradation, et ce de façon périodique.

### **1.2.1.2. Maintenance préventive conditionnelle :**

Selon AFNOR X60-010[7] « les activités de maintenance conditionnelle sont déclenchées suivant des critères prédéterminés significatifs de l'état de dégradation du bien ou du service. Les remplacements ou les mises en état des pièces, les remplacements ou les appoints des fluides ont lieu après une analyse de leur état de dégradation. Une décision volontaire est alors prise d'effectuer les remplacements ou les mises en état nécessaires »

### **1.2.1.3. Maintenance prévisionnelle :**

C'est une maintenance préventive subordonnée à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs de la dégradation du bien, permettant de retarder et de planifier les interventions.

## **1.2.2. La maintenance corrective :**

C'est l'ensemble des activités réalisées après la défaillance du bien ou la dégradation de sa fonction pour lui permettre d'accomplir une fonction requise au moins provisoirement. Ces activités sont :

- La localisation de la défaillance ;
- Le diagnostic ;
- La remise en état ;
- Le contrôle du bon fonctionnement.

### **1.2.2.1. Maintenance palliative :**

Activités de la maintenance corrective destinées à permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou partie d'une fonction requise. Appelée couramment dépannage, cette maintenance palliative est principalement constituée d'actions à caractère provisoire qui devront être suivies d'actions curatives.

### **1.2.2.2. Maintenance curative :**

Activités de maintenance corrective ayant pour objectif de rétablir un bien dans un état spécifié ou de lui permettre d'accomplir une fonction requise. Le résultat des activités réalisées doit présenter un caractère permanent. Ces activités peuvent être des réparations, des modifications ou aménagement ayant pour objet de supprimer la ou les défaillance(s).

De manière générale, dans les entreprises, la maintenance s'organise de la manière suivante :

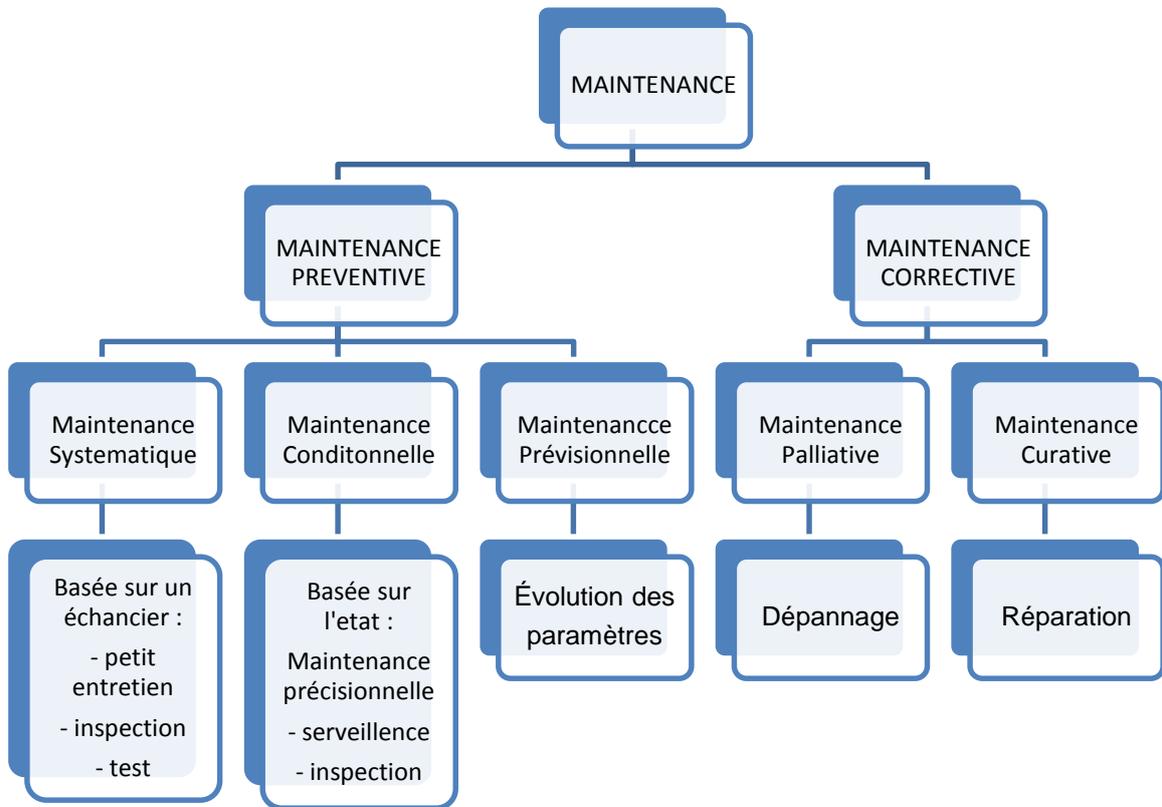


Figure 1.1 : Organigramme de la maintenance.

### 1.3. Les différents niveaux de la maintenance : [1]

Les références de la Maintenance Industrielle et les normes présentent 5 niveaux de maintenance qui sont résumés dans le Tableau 1.1. Ces niveaux s'échelonnent des simples réglages aux grands travaux de reconstruction.

Niveaux	Types de travaux	Personnel d'intervention	Moyens
1 <sup>er</sup> niveau	régler simples prévus par le constructeur ou le service de maintenance au moyen d'éléments accessibles sans aucun démontage ou ouverture de l'équipement.	pilote ou conducteur du système	outillage léger défini dans les instructions d'utilisation
2 <sup>ème</sup> niveau	dépannage par échange standard d'éléments prévus à cet effet, ou d'opérations mineures de maintenance préventive	technicien habilité	outillage léger défini dans les instructions d'utilisation et pièces de rechanges disponibles sans délai.
3 <sup>ème</sup> niveau	identification et diagnostic de pannes suivis éventuellement : - échange de constituants ; - réparation mécanique mineures ; - Réglage et recalonnage général des mesureurs.	technicien spécialisé	outillage prévu et appareils de mesure, banc d'essai, contrôle...
4 <sup>ème</sup> niveau	travaux importants de maintenance corrective ou préventive à l'exception de la rénovation et de reconstruction.	équipe encadrée par un technicien spécialisé	outillage général et spécialisé matériels d'essais, de contrôle...
5 <sup>ème</sup> niveau	travaux de rénovation, de reconstruction ou réparation importantes confiées à un atelier central de maintenance ou à une entreprise extérieure prestataire de service	équipe complète et polyvalente	moyens proches de la fabrication

Tableau 1.1 : Les cinq niveaux de la maintenance (Norme AFNOR X60-011)

## 1.4. Les opérations de la maintenance [1] :

### 1.4.1. Les opérations de maintenance préventive :

Les opérations suivantes sont effectuées de manière continue ou à des intervalles prédéterminés calculés sur le temps ou le nombre d'unités d'usage.

➤ **Inspection** : activité de surveillance s'exerçant dans le cadre d'une mission définie. Elle peut être effectuée sous forme de « rondes » et a pour but la détection de défaillances mineures :

- ✓ Défautes de lubrification (contrôles des niveaux) ;
- ✓ Défautes de pression, de températures, de vibrations ;
- ✓ Détection visuelle de fuites, détection d'odeurs, de bruits anormaux ;
- ✓ Dépannages simples : réglage de tension de courroie, échanges de lampes.

➤ **Contrôle** : vérification de la conformité par rapport à des données préétablies, suivies d'un jugement (décision de non-conformité, d'acceptation, d'ajournement).

➤ **Visite** : activité consistant en un examen détaillé et prédéterminé de tout ou partie des éléments d'un bien. Elle peut entraîner certains démontages et déclencher des opérations correctives des anomalies constatées.

### 1.4.2. Les opérations de maintenance corrective :

➤ **Dépannage** : action sur un bien en panne en vue de le remettre en état de fonctionnement, provisoirement avant réparation.

➤ **Réparation** : intervention définitive et limitée de maintenance corrective.

### 1.4.3. Autres activités du service maintenance :

- **Les travaux d'amélioration** : ils consistent à modifier un équipement pour augmenter sa sécurité, sa fiabilité et sa maintenabilité
- **Les travaux de modernisation** : ils consistent à remplacer des composants âgés ou à leurs adjoindre des composants d'une génération nouvelle.
- **La rénovation** : ces travaux comprennent l'inspection complète de tous les organes suivie de :
  - ✓ la réparation des éléments usés ;
  - ✓ l'achat d'éléments neufs.

### 1.5. Objectifs de la maintenance [1] :

Ses différentes actions doivent assurer la rentabilité des investissements matériels de l'unité de production ou de l'entreprise en maintenant le potentiel d'activité.

C'est un moyen de consolider la compétitivité de l'entreprise. C'est ainsi que le responsable de la maintenance doit aussi être un bon gestionnaire, afin qu'il puisse minimiser les coûts de maintenance et planifier ces opérations dans le temps.

La maintenance est aussi concernée par la maîtrise de qualité symbolisée par l'objectif des **cinq zéros** :

- **Zéro pannes** : C'est un objectif naturel de la maintenance ;
- **Zéro défaut** : L'outil de production est supposé être en parfait état (tout défaut entraîne un arrêt de production d'où augmentation des coûts et des délais) ;
- **Zéro stock, zéro délai** : un outil de fabrication fiable permet une fabrication sans stock (flux tendu) et une livraison sans délai ;
- **Zéro papier** : il faut comprendre « zéro papier inutile », c'est à dire les papiers engendrés par les erreurs, les défauts, les défaillances, les retards qui viennent alourdir le travail et l'organisation.

### 1.6. Approche sur la maintenance conditionnelle [1] :

La maintenance conditionnelle permet de déterminer la nature de l'action courante à effectuer sur le système et éventuellement la date de la prochaine intervention de maintenance en fonction du niveau de vieillissement du système. C'est aussi un outil efficace pour le contrôle de ce qui est compris entre maintenance préventive et maintenance corrective. Cependant, sa mise en place dans un contexte industriel est souvent empirique et ne conduit pas à l'obtention des meilleurs gains.

#### 1.6.1. Aperçu sur les technologies :

Selon AFNOR X60-010[6], la maintenance conditionnelle est déclarée comme une maintenance préventive subordonnée à un type d'évènement prédéterminé (auto diagnostic, information d'un capteur de mesure d'une usure révélateur de l'état de dégradation du bien). Le choix des indicateurs dépend essentiellement de leur capacité à décrire l'installation surveillée, ils sont de deux ordres; les critères de consommation d'énergie, qualité du produit fini.....et les critères de comportement.

Parmi ces dernières, on peut citer de manière non exhaustive, les contrôles de bruit, l'analyse de la température, l'analyse d'huile, la mesure de vibrations

Ce dernier critère est le plus souvent utilisé en raison de son efficacité, de sa réactivité, de sa facilité de mise en œuvre et de la richesse des résultats obtenus. Il est non seulement l'outil de base de maintenance mais aussi de contrôle qualité dans le cas d'une recette

vibratoire d'une installation neuve ou après remise en état. Mais la corrélation de plusieurs critères permet d'affiner les diagnostics.

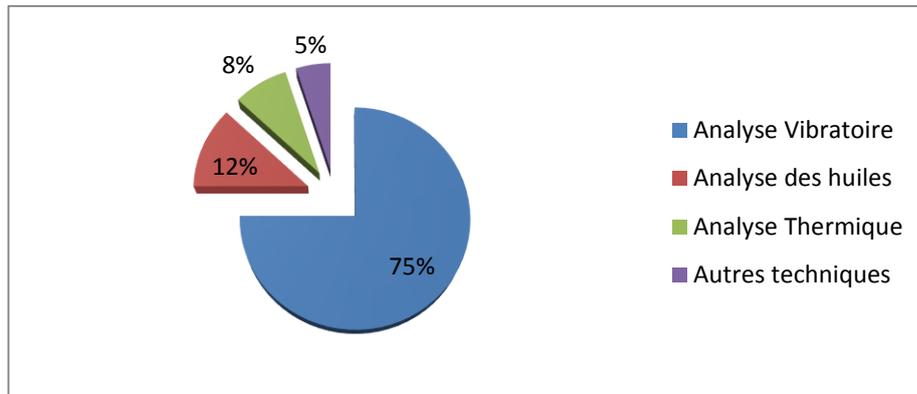


Figure 1.2: Pourcentage de différentes techniques de la maintenance conditionnelle.

### 1.6.2. Principales techniques utilisées en maintenance conditionnelle :

- **L'analyse vibratoire** : cette technique est principalement utilisée pour la surveillance des machines tournantes. Toute machine tournante vibre. Ces vibrations sont les conséquences de défauts de la machine. Plus la machine vibre, plus les défauts sont importants ;
- **L'analyse des huiles** : ces analyses peuvent avoir deux buts : soit déterminer le moment adéquat du renouvellement de l'huile soit pour détecter les premiers symptômes de l'usure anormale des organes. La principale technique utilisée est l'analyse physico-chimique (viscosité teneur en eau, indice d'acidité) ;
- **La thermographie infrarouge** : cette technique permet de mesurer la température de composants sans contact. Tout défaut se traduisant souvent par une élévation de la température, on peut ainsi en mesurer les conséquences ;
- **L'analyse acoustique** : cette technique permet de détecter l'apparition de défauts audibles et autorise une surveillance continue des machines
- **Les examens visuels** : examen visuel direct.

Les principales techniques sont présentées dans le tableau suivant :

	<b>Principaux avantages</b>	<b>Principales limitations</b>	<b>Champ d'applications</b>
<b>Analyse vibratoire</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Détection de défauts à un stade précoce</li> <li>Possibilité de réaliser un diagnostic approfondi</li> <li>Autorise une surveillance continue</li> <li>Permet de surveiller l'équipement à distance «télémaintenance »</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Spectres parfois difficiles interpréter</li> <li>Dans le cas de la surveillance continue, installations relativement coûteuses</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Détection des défauts de tous les organes cinématiques de la machine (balourd, défauts d'alignement, jeux, etc.) et de sa structure</li> </ul>
<b>Analyse d'huiles</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Détection d'une pollution anormale du lubrifiant, avant que celle-ci n'entraîne une usure ou un échauffement</li> <li>Possibilité de connaître l'origine de l'anomalie par analyse des particules</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ne permet pas de localiser précisément le défaut</li> <li>Nécessite de prendre de nombreuses précautions dans le prélèvement de l'échantillon</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Contrôle des propriétés physico-chimiques du lubrifiant, détection d'un manque de lubrification, analyse des éléments d'usure, analyse d'contamination par le processus (étanchéité), etc.</li> </ul>
<b>Thermographie IR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Permet de réaliser un contrôle rapide de l'installation</li> <li>Interprétation souvent immédiate des résultats</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Détection de défauts à un stade moins précoce que l'analyse vibratoire</li> <li>Contrôle limité à ce que voit la caméra (échauffements de surface)</li> <li>Ne permet pas de réaliser un diagnostic approfondi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Détection de tous les défauts engendrant un échauffement (manque de lubrification en particulier)</li> </ul>
<b>Analyse acoustique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Permet de détecter l'apparition de défauts audibles</li> <li>Autorise une surveillance continue</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sensibilité au bruit ambiant</li> <li>Diagnostic souvent difficile à réaliser</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Détection d'un bruit inhabituel pouvant ensuite être analysé par analyse vibratoire</li> </ul>

Tableau 1.2 : Principales techniques utilisées en maintenance conditionnelle.

Toutes ces techniques entrent dans le cadre de contrôle non destructif CND, défini comme suit : les méthodes qui permettent l'essai, l'examen ou la détection de défauts sur une machine ou une pièce, sans en altérer la nature, la structure, ou le fonctionnement.

### 1.6.3. Avantages de la maintenance conditionnelle :

Les études de suivi de la maintenance conditionnelle dans différents domaines indiquent des avantages certains durant l'exploitation. Ces avantages sont résumés ci-après en fonction de critères connus comme la durée de vie et les coûts :

- Réduction de coût 30% et de la durée de réparation par rapport à l'entretien préventif;
- L'accroissement de la durée de vie des pièces par rapport à une politique de changement systématique. Remplacement des pièces défectueuses uniquement;
- La suppression des défauts de jeunesse lors de remise en route après un entretien systématique ;
- Coûts de maintenance réduits de 50-80% ;
- Nombre de pannes réduit de 50-60% ;
- Stocks de PDR réduits de 20-30% ;
- Temps d'arrêt réduit de 50-80% ;
- Cout des heures supplémentaires réduit de 20-50% ;
- Durée de vie des machines accrue de 20-40% ;
- Productivité accrue de 20-30% ;
- Profit accru de 25-60%.

## 2.1. Présentation de l'Unité AMPTA:

La compagnie Arcelor Mittal Pipe and Tubes Algeria (AMPTA) est une compagnie de droit algérien située dans le site du complexe sidérurgique d'el Hadjar au nord-est de l'Algérie et le seul fabricant de tubes sans soudure au Maghreb. Anciennement, le site était nommé TSS. Sa mission principale est de satisfaire l'industrie du pétrole et du gaz en tube de haute qualité, Lines Pipe et Casing des 6 pouces au 14 pouces. Sa capacité annuelle est de 90 000 tonnes.

La tuberie fut construite en 1976 de façon à donner un débouché supplémentaire à l'acier produit sur le site d'El Hadjar, en fabriquant un produit à forte valeur ajoutée et répondre au besoin du marché algérien.

En 2006, le groupe ARCELOR MITTAL décide de créer une division destinée aux tubes pour des applications mécaniques, d'énergie et d'automobiles.

### **Arcelor Mettal Tubular Products opère sur quatre continents :**

L'Europe, l'Afrique, l'Asie et l'Amérique du nord. Pour répondre aux besoins de ces clients à travers le monde. La division Tubular Product est la plus diversifiée dans la production des tubes à travers le monde, via 21 différentes zones d'exploitation dans 11 pays.

En janvier 2007, la tuberie sans soudure (AMPTA) fut finalisée et rattachée à la division «AMPTA » dans le segment énergie.

Depuis son démarrage, la Tuberie sans Soudure a produit plus d'un demi-million de tonnes de tubes sans soudure dont la moitié pour le transport des hydrocarbures (pétrole et gaz).

### **Ses principaux clients sont :**

- SONATRACH
- SONELGAZ
- NAFTAL
- ALTUMET
- KHANAGAZ.

La tuberie fabrique tous ses tubes sans soudure selon les spécifications de l'API (American Petroleum Institute)

Depuis **1986**, la TSS a obtenu la reconnaissance de la qualité de ses produits par l'obtention du label < Monogramme API > délivrée par l'institut Américain du Pétrole.

De plus la Tuberie Sans Soudure a été l'une des premières en Algérie à obtenir, en **1999**, la certification **ISO 9001**.

Les équipements de procès et de contrôles sont remis périodiquement à jour selon les exigences des spécifications API 5L (pour les line pipe) et 5CT (pour les casings et tubing)

## **2.2. Procéd é de fabrication**

Les tubes sans soudures sont des produits tubulaires en acier forg é sans ligne de soudure. Ils seront obtenus à partir d'une ébauche cylindrique par un travail du métal à chaud (laminage) en vue de produire la forme, les dimensions et les propri ét és requises.

### **2.2.1 L'aci érie éctrique (ACE)**

L'aci érie éctrique (ACE) alimente la TSS en mati ère (lingots), elle produit deux types de lingots :

- Lingots ronds :  $\text{Ø } 190 \div 405 \text{ mm}$
- Lingots dod écaux :  $\text{Ø } 300 \div 500 \text{ mm}$

## **2.3. Description des installations de la TSS**

Les é quipements de production de la TSS sont r épartis dans les ateliers suivants :

- Le laminoir à tubes
- Le parach èvement des tubes
- Atelier de fabrication de manchons
- Laboratoires des essais m écaniques (essais de traction et de r ésilience)
- Laboratoire de m étrologie

Ces ateliers sont desservis par les principales installations annexes suivantes :

- Station de pompage
- Station de traitement des eaux
- Sous stations éctriques

## 2.4. Organisation de L'AMPTA :

L'AMPTA est structurée en tête par une direction générale, elle est composée de quatre Directions, trois départements et plusieurs services, La structure d'AMPTA peut se schématiser selon l'organigramme suivant :

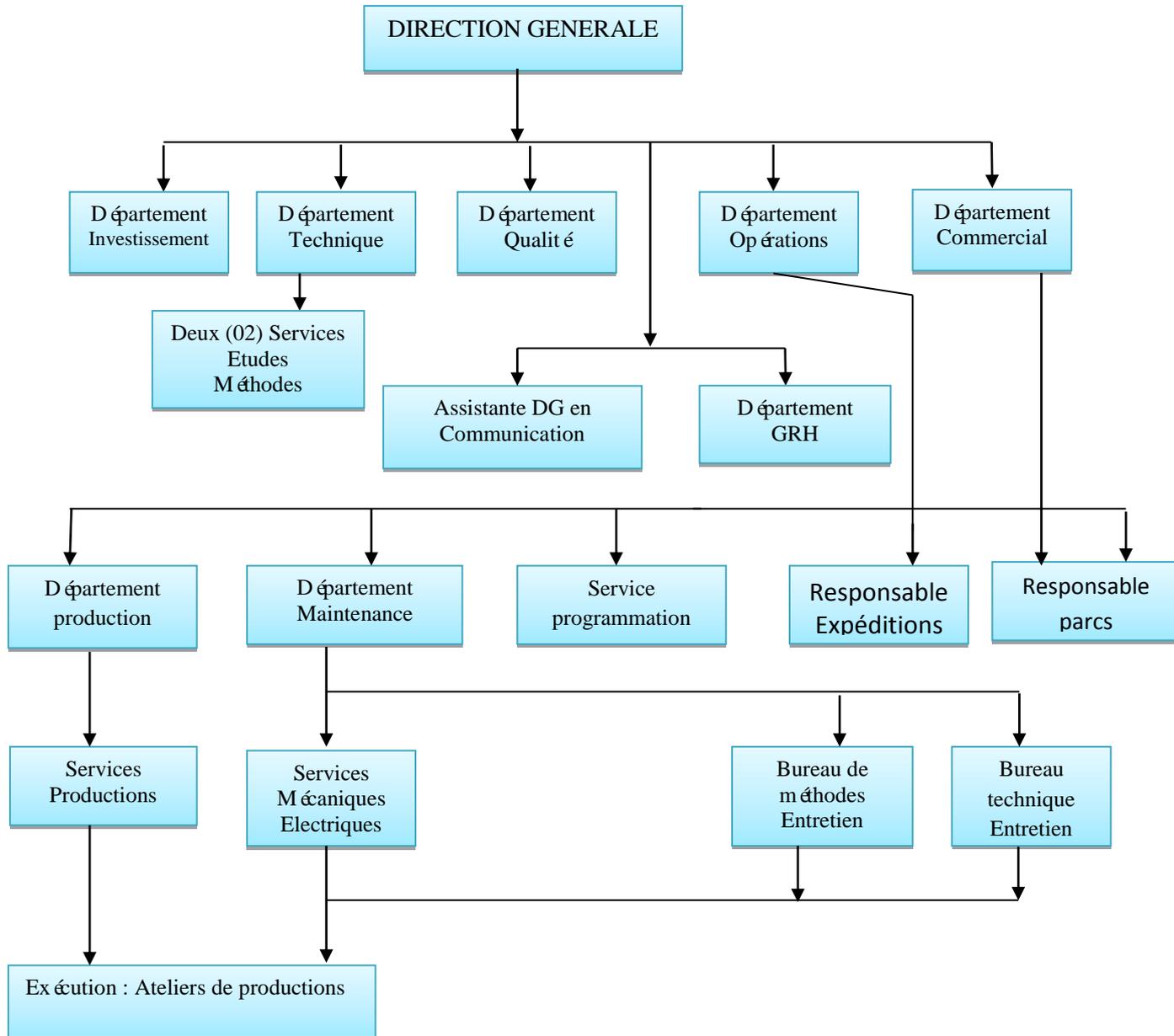


Figure 2.1 : Organisation de L'AMPTA

Le schéma suivant présente tout le processus de la tuberie sans soudure [5] :

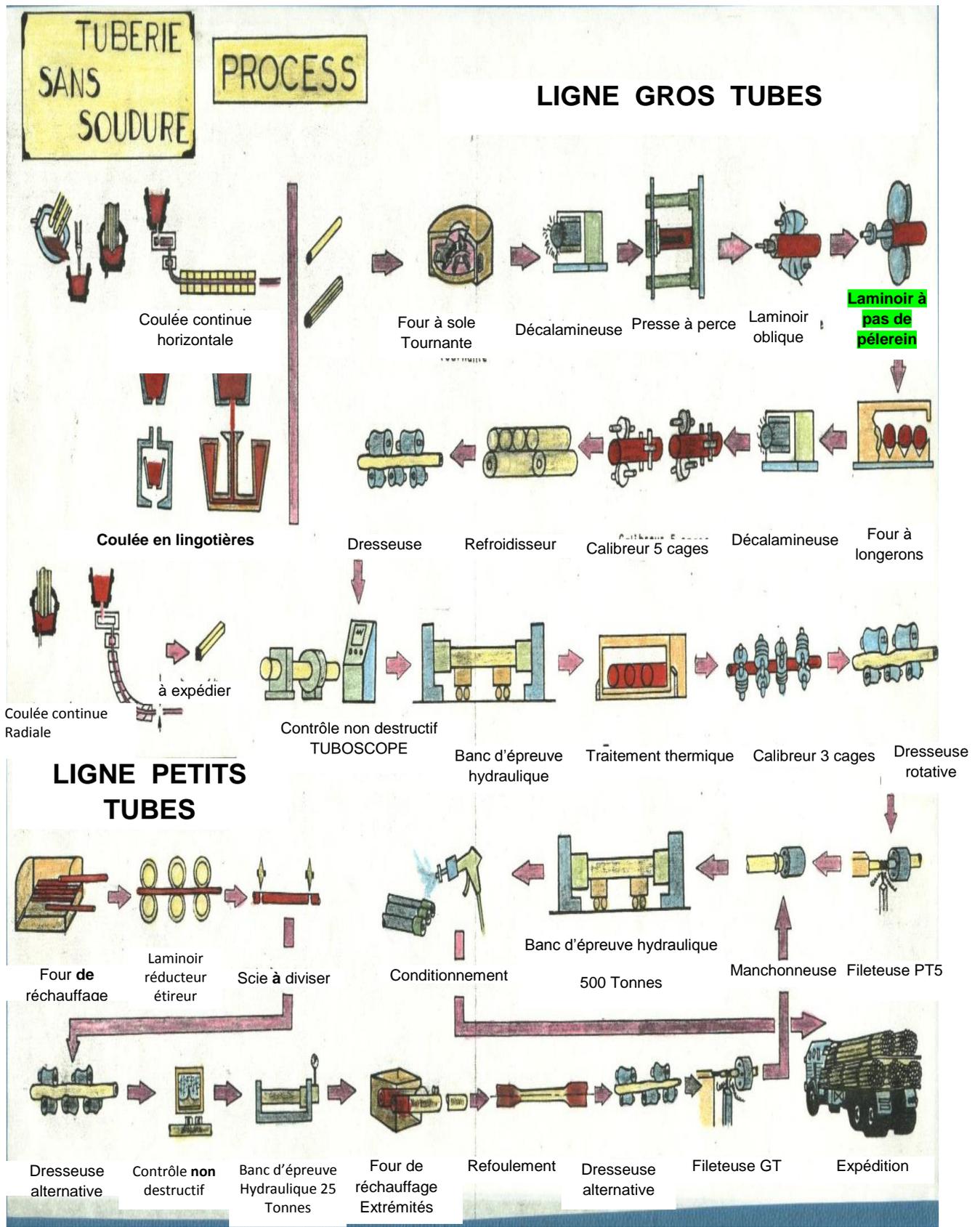


Figure 2.2 : processus de la tuberie sans soudure

**2.5. Organigramme de d épartement maintenance :**

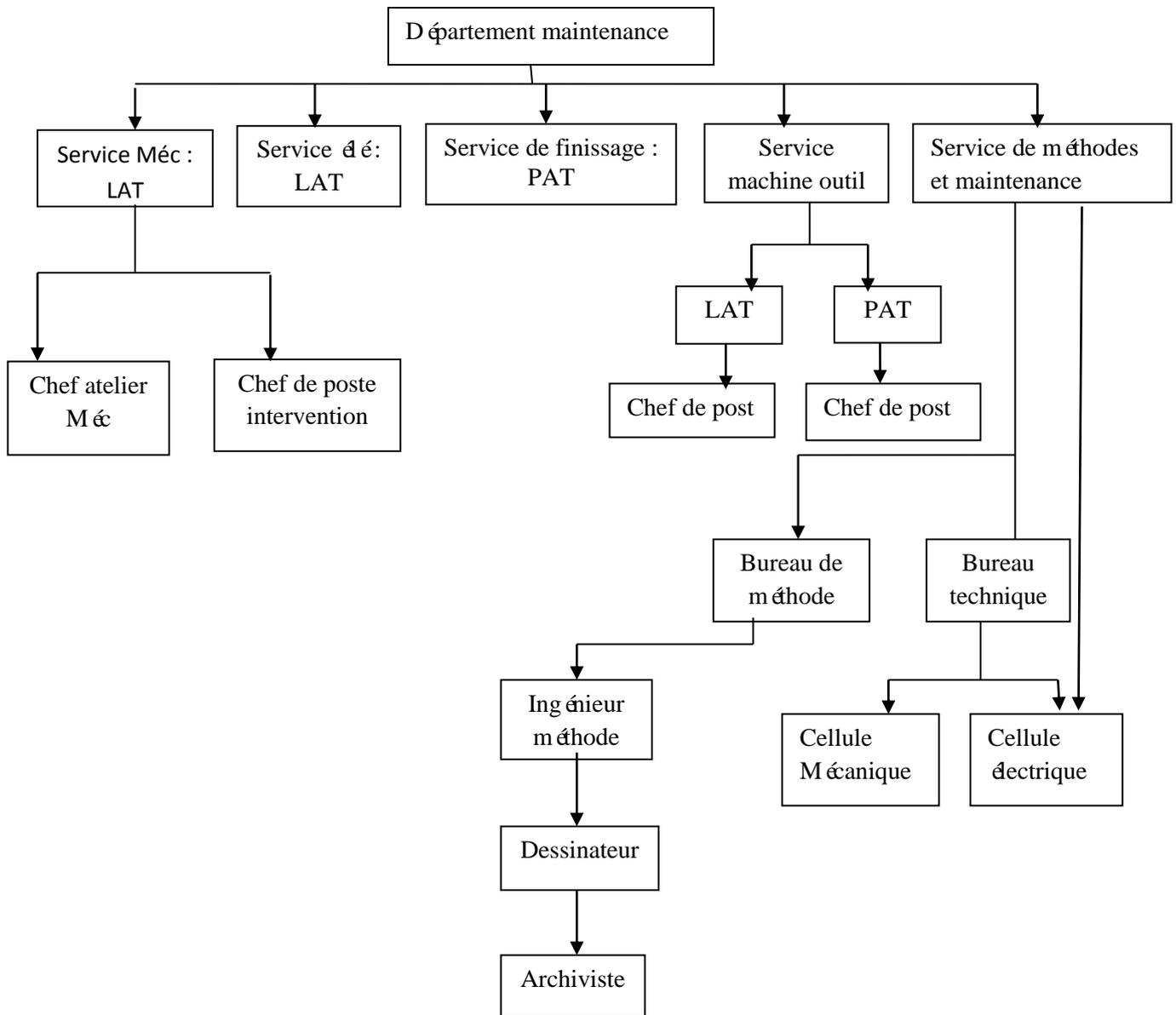


Figure 2.3 : Organigramme de d épartement maintenance

## 2.6. Pr ésentation de la maintenance Au niveau de TSS :

Le d épartement maintenance à la TSS compose de deux services principaux :

- ✓ Le service technique ;
- ✓ Le service des m éthodes ;

L'entreprise travaille avec 2 types de maintenance : «la maintenance curative et la maintenance pr éventive.

### 2.6.1. Organigramme de maintenance curative [5]:

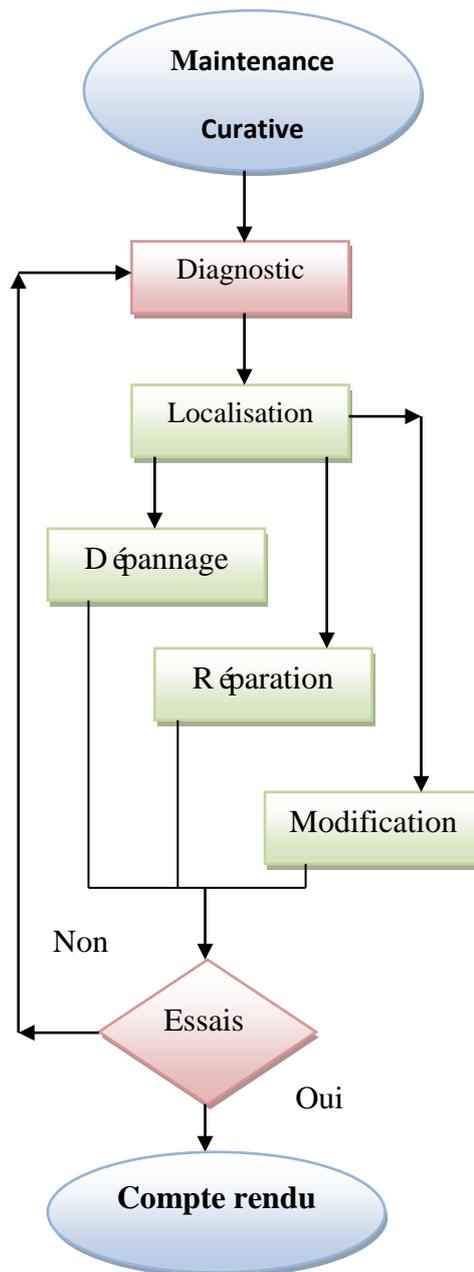


Figure 2. 4: Organigramme de maintenance curative a l'entreprise TSS

### 2.6.1.1. Processus de la maintenance Curative :

Atelier LAT / PAT

Finalité missions	Assurer la remise en état de l'outil de production dans les délais et au moindre coût.
Données de sortie	Outil de production remis en état dans les délais.
Ressources	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Machines</b> : Atelier Laminage / Finissage.</li> <li>➤ <b>Matériaux</b> : Outillage prévu défini dans les instructions de maintenance ainsi que des appareils de mesure et de réglage et éventuellement des bancs d'essai et de contrôle des équipements ainsi que les pièces approvisionnées par le magasin et à l'aide de ces mêmes instructions.</li> <li>➤ <b>Méthodes</b> : Les instructions de la maintenance et l'ensemble de la documentation générale et particulière nécessaire à la maintenance.</li> <li>➤ <b>Milieu</b> : la sécurité, l'hygiène et l'environnement du poste de travail.</li> </ul>

Tableau 2.1 : Processus de la maintenance Curative

2.6.2. Organigramme de maintenance pr éventive [5] :

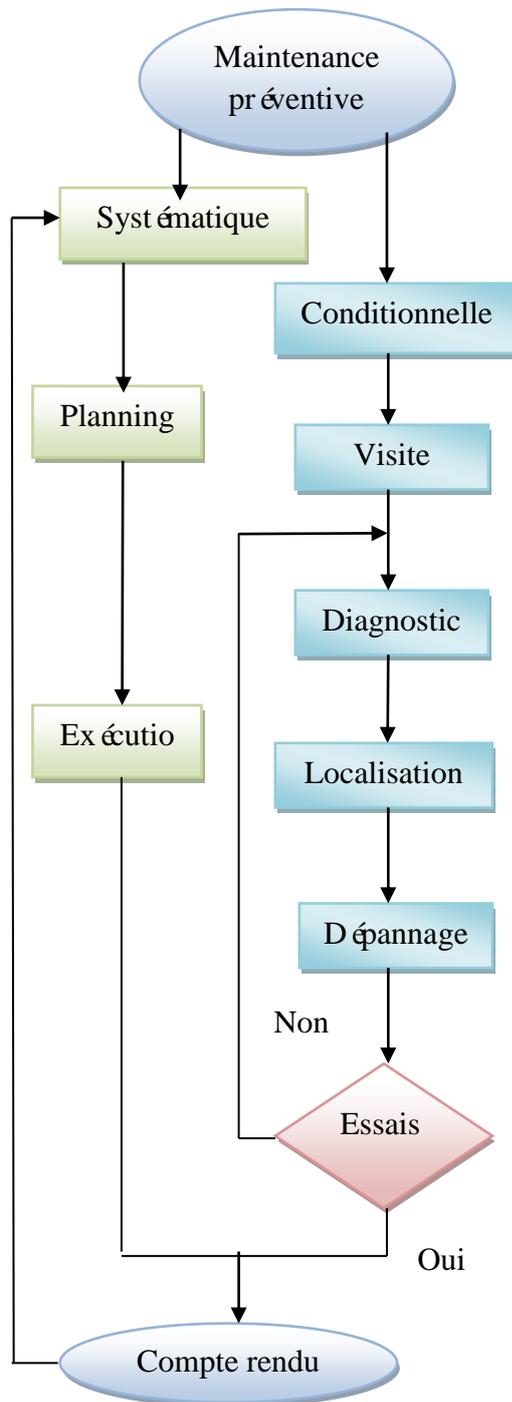


Figure 2.5: Organigramme de maintenance pr éventive

### 2.6.2.1. Processus de la maintenance Préventive :

Atelier LAT/ PAT

Finalité missions	Assurer une maintenance préventive au moindre coût afin de diminuer les arrêts de production conformément au planning établi.
Données de sortie	Une prestation conforme à la demande du processus de réalisation. Assurer une bonne fiabilité des installations de production.
Ressources	<p><b>Machines</b> : Atelier Laminage / Finissage.</p> <p><b>Matériaux</b>: Outillage portable défini par les instructions de maintenance et à l'aide de ces mêmes instructions, on peut se procurer les pièces de rechange transportables nécessaires sans délai et à proximité immédiates du lieu.</p> <p><b>Méthodes</b> : Les instructions de la maintenance et l'ensemble de la documentation générale et particulière nécessaire à la maintenance.</p> <p><b>Milieu</b> : la sécurité, l'hygiène et l'environnement du poste de travail.</p>

Tableau 2.2 : Processus de la maintenance préventive.

Durant le stage de fin d'études de Master, nous avons effectué un travail de synthèse dans l'atelier « laminoir à tubes » pour l'étude des défaillances des goupilles de l'accouplement « HOLSET ». Cet accouplement se trouve dans la chaîne cinématique de laminoir à pas de pèlerins destiné à produire des tubes en aciers sans soudure. Les accouplements mécaniques HOLSET subissent des cassures ou des cisaillements qui nécessitent l'arrêt de l'installation pour changement des pièces usées. Dans le chapitre suivant, nous présentons les systèmes de transmission mécanique avec un aperçu sur différents accouplements.

### 3.1. Les différents modes de transmissions mécaniques :

La transmission est la communication du mouvement d'un organe à un autre. Il existe 4 principaux modes de transmissions mécaniques qui sont :

- La transmission par courroies,
- La transmission par engrenages (pignons),
- La transmission par chaînes,
- La transmission par accouplement.

#### 3.1.1. Les transmissions par courroies [2] :

Elle agit par friction. Elles établissent un contact entre deux poulies (poulie menante et poulie menée) par l'intermédiaire d'une courroie, dans le but de transmettre une puissance.

Les courroies doivent adhérer sur les poulies, mais ne doivent pas s'accrocher. La capacité de transmission de puissance des courroies est en fonction de :

De la tension qui maintient la courroie sur la poulie.

De la friction entre la courroie et la poulie.

De l'arc de contact ou d'enroulement de la courroie sur les poulies.

De la vitesse linéaire de la courroie.

Dans la pratique, plusieurs façons de monter une courroie sont adoptées suivant la contrainte imposée par le mouvement à transmettre. Les positions de montages de courroies rencontrés sont exhibés dans la figure suivante :

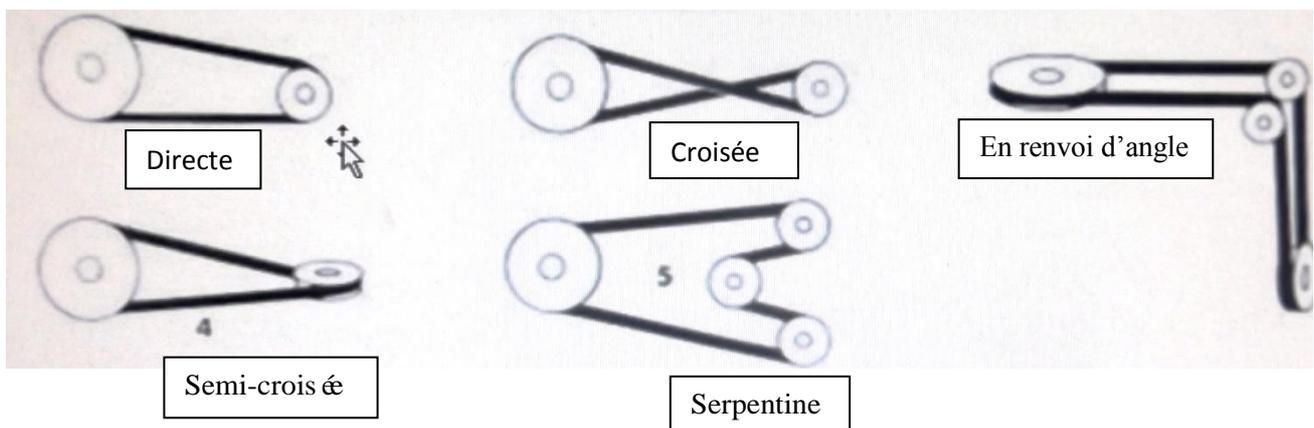


Figure 3.1 : les positions de montage d'une courroie.

## CHAPITRE 3 : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LA TRANSMISSION MECANIQUE ET PRESENTATION DE L'ACCOUPLLEMENT «HOLSET ».

Les avantages et les inconvénients pour une transmission par courroie sont :

<u>Avantages des transmissions par courroies</u>	<u>Inconvénients des transmissions par courroies</u>
Conception simple	Longévité moins grande qu'autres procédés
Peut couteuse	
Absorption des àcoups	Ne supporte pas trop de lourdes charges
Facilité de montage	
Entretien facile	Limitée en précision de mouvement (sauf pour les courroies dentées).

**Tableau3.1 : avantage et inconvénients de la transmission par courroies**

### 3.1.1.1. Les différents types de courroies [4]

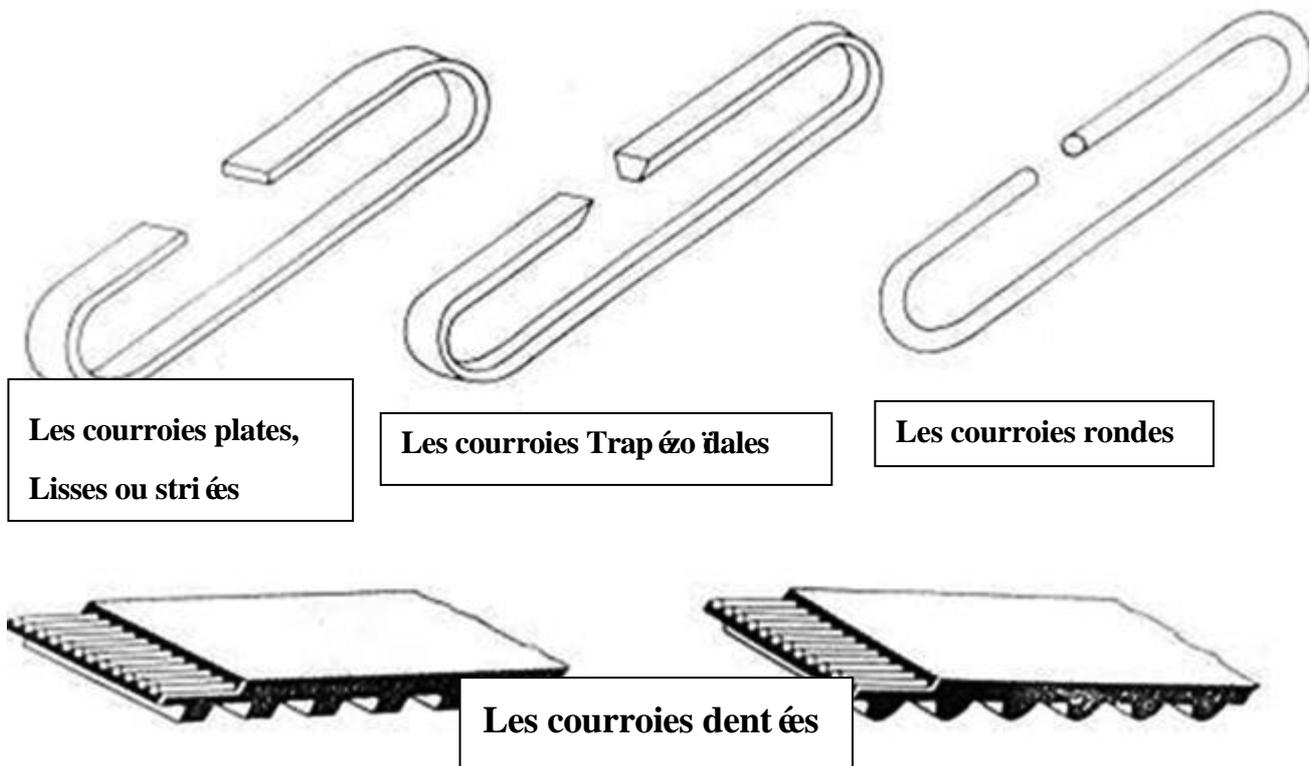


Figure 3.2 Les différents types de courroies

Elles peuvent être constituées de différents matériaux tels que :

- le cuir, le tissu, le néoprène, le chanvre, en ruban d'acier, en fil de fer rond, etc., ou bien être constitué d'un assemblage de tous ces matériaux.

❖ **Les courroies plates :**

Ces courroies sont moins utilisées de nos jours pour les versions lisses. Elles étaient montées sur des systèmes où les poulies sont éloignées les une des autres (banc de scie). On rencontre encore des systèmes où la courroie elle-même effectue un travail ; ces courroies étaient utilisées sur les anciennes batteuses et dans les scieries mécaniques.

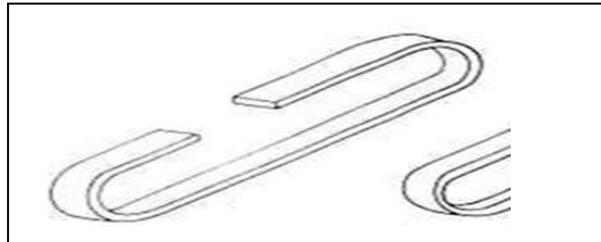


Figure 3.3 : les courroies plates

❖ **Les courroies trapézoïdales :**

Ce sont les courroies les plus utilisées pour les montages avec des charges légères. Les gorges sont assez profondes pour éviter à la courroie de sauter par-dessus les joues. La friction d'effectue uniquement sur les cotés de la courroie (grâce à sa forme conique). Quand la puissance de transmettre est trop importante on utilise plusieurs courroies.

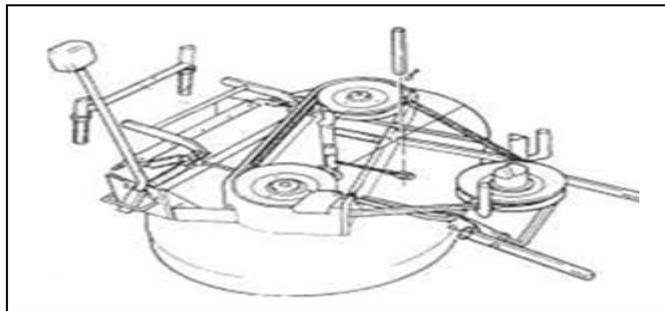


Figure 3.4 les courroies trapézoïdales

❖ **Les courroies rondes :**

Elles ne sont plus utilisées de nos jours en parcs et jardins, mais le reste pour des petites applications tel que des démultiplications pour des petits appareils ménager.

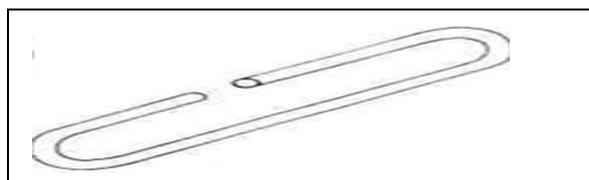


Figure 3.5 : Les courroies rondes

❖ **Les courroies dentées :**

Ces courroies assurent une parfaite synchronisation dans la transmission du mouvement, c'est pourquoi elles sont beaucoup utilisées sur certaines coupes de tondeuses avec des croisements de lames, et en automobile pour les distributions.

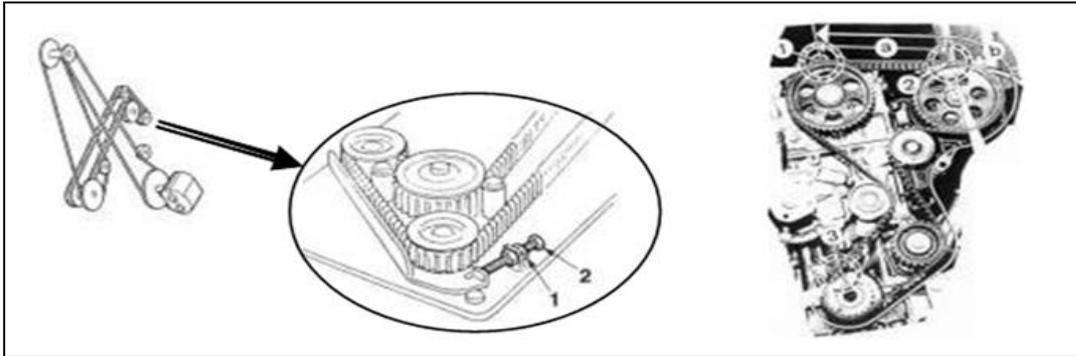


Figure3.6 : Les courroies dentées

**3.1.2. Les transmissions par chaînes [4]:**

Une transmission par chaîne comprend un ou plusieurs pignons et une chaîne (sans fin)

- Les maillons de chaîne s'engrènent avec les dents des pignons et maintiennent un rapport de vitesse constant.
- Les pignons en prise avec le même côté d'une chaîne tourne dans le même sens, s'ils sont en prise par le côté opposé ils tournent en sens inverse.
- Si l'espace entre 2 (dents) maillons (entraxe des maillons) est en nombre pair, les pignons doivent avoir un nombre de dents impaire, et réciproquement afin d'éviter qu'un maillon ne tombe 2 fois dans le même creux de dent et provoque une usure.
- Autant que possible, le brin mou d'une chaîne doit de trouver en bas.
- Les chaînes peuvent être à brins uniques ou à brins multiples.
- Les pignons fous ou tendeurs doivent être en contact avec le brin mou de la chaîne.

## CHAPITRE 3 : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LA TRANSMISSION MECANIQUE ET PRESENTATION DE L'ACCOUPLLEMENT «HOLSET ».

Les avantages et les inconvénients pour une transmission par chaînes sont [2]:

<u>Avantages des transmissions par chaînes</u>	<u>Inconvénients des transmissions par chaînes</u>
Les chaînes ont un excellent rendement et ne glissent pas	La transmission est bruyante.
Elles assurent un entraînement continu.	L'usure est importante en cas de mauvaise lubrification.
Elles peuvent supporter la chaleur et les poussières et ne sont pas affectés par les conditions climatiques.	L'entretien doit être rigoureux.
Elles supportent les charges plus lourdes que les courroies	En vieillissant une chaîne a tendance à s'allonger.
Elles sont flexibles et ont un encombrement réduit.	Elles sont limitées en vitesse.

Tableau 3.2 : avantage et inconvénients de la transmission par courroies

### 3.1.2.1. Les différents types de chaînes : [4]

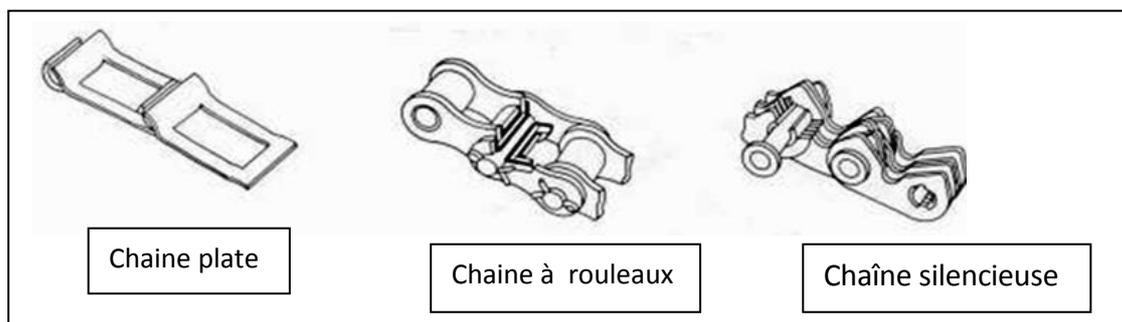


Figure 3.7 : types de chaînes

❖ **Les chaines plates :**

Ces chaines sont constituées par des séries de maillons profilés démontables. On les rencontre dans les transmissions légères à vitesse lente.

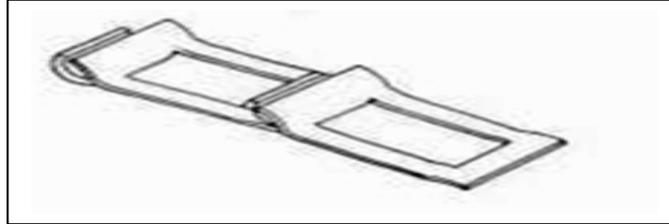
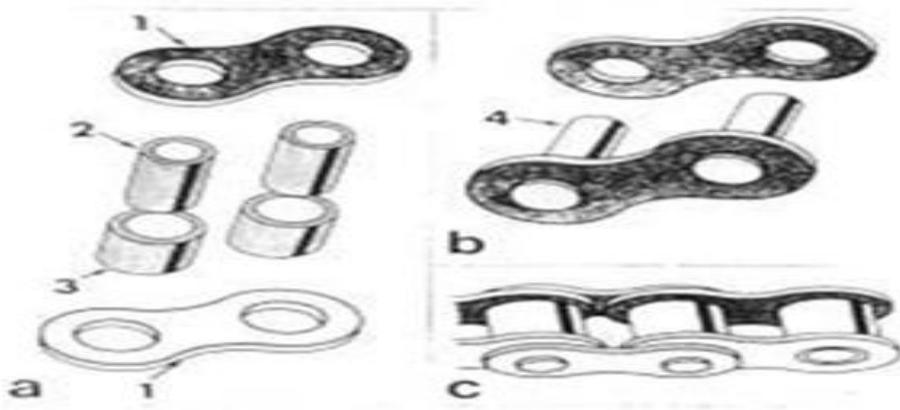


Figure 3.8 : Les chaines plates

❖ **Les chaines à rouleaux :**

Ces chaines sont composées alternativement de maillon intérieur à rouleaux et de maillon extérieur à axe.

Les douilles des maillons sont à rotation libre comme suit :



1 : plaque intérieure

2 : douille

3 : rouleaux

4 : axe

a : maillon intérieur

b : maillon extérieur

c : maillon assemblé

Figure 3.9 : Les chaines à rouleaux

❖ **Les chaines silencieuses :**

Ces chaines sont constituées par des séries de plaques en métal portant une dent à chacune de leurs extrémités et accolées les une aux autres par des axes de façon de former une chaîne sans fin souple.

Ces chaines sont plus silencieuses que les chaines à rouleaux et peuvent donc être installées sur des systèmes tournant à plus grandes vitesses.

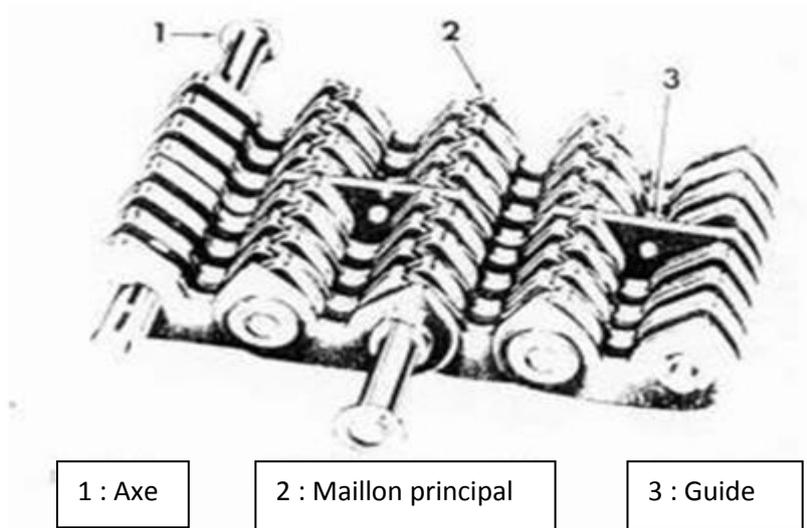


Figure 3.10 : Les chaines silencieuses

**3.1.3. Les transmissions par engrenage [4] :**

Les engrenages sont utilisés pour transmettre la puissance sous un fort couple. Les engrenages en prises ne glissent pas.

**3.1.3.1. Les différents types d'engrenage :**

❖ **Les engrenages à taille droite :**

Les dents sont parallèles à leur axe de rotation. Ce type d'engrenage est très bruyant, il est donc utilisé dans des systèmes où la vitesse de rotation sera peu élevée.

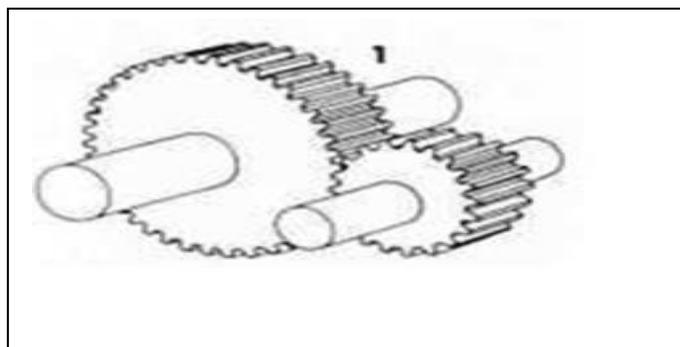


Figure 3.11 : Les engrenages à taille droite

❖ **Les pignons à denture hélicoïdale :**

Ce type de denture crée une poussée oblique qui demandera des roulements à rouleaux, ils permettent de faire passer plus de puissance, tout en étant plus silencieux.

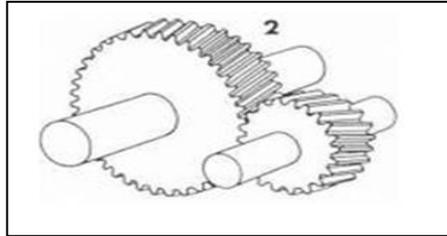


Figure 3.12 : Les engrenages à denture hélicoïdale

❖ **Les pignons à denture chevrons :**

Ce sont des pignons à double oblique, ils sont utilisés pour de fortes vitesses de rotation, sous des faibles charges, (turbines, génératrice).

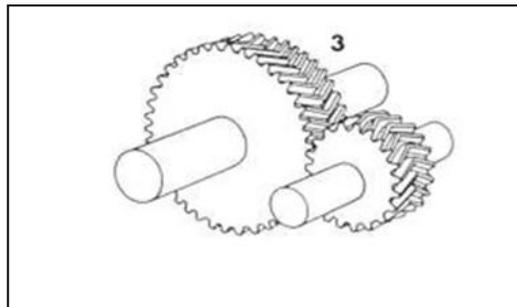


Figure 3.13 : Les engrenages à denture chevrons

❖ **Le couple conique à denture droite :**

C'est un renvoi d'angle, le grand pignon est appelé COURONNE, et le petit PIGNON D'ATTAQUE, car c'est toujours celui qui entraîne.

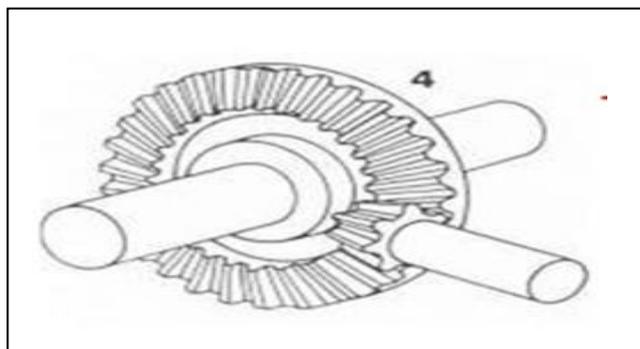


Figure 3.14 : Les engrenages à denture droite

❖ **Le couple conique à denture hélicoïdale :**

Ce système a été conçu pour de fortes charges, et de grandes vitesses de rotation. Il est surtout utilisé pour entraîner des arbres de roues sur les machines agricole, ou constitue une partie du différentiel que l'on trouve sur les boîtes de vitesses ou dans les ponts.

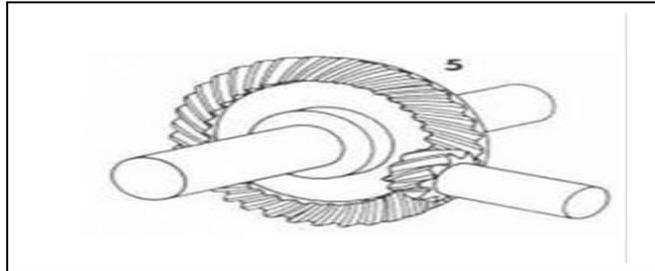


Figure 3.15 : le couple hélicoïdale.

❖ **Le couple hypoïde :**

Il est similaire au précédent, mais le pignon d'attaque est situé en dessous du centre de la couronne. Il est principalement utilisé dans les différentiels automobiles.

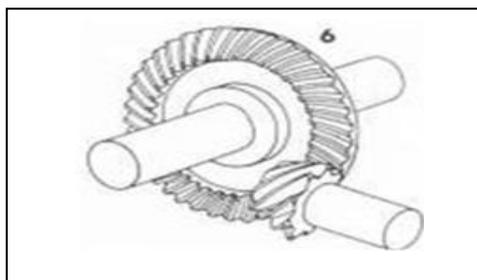


Figure 3.16 : Les engrenages hypoïde

❖ **Le train planétaire :**

C'est un train de pignons dans lequel une couronne extérieure comprend une denture interne qui entraîne des pignons de plus petite dimension appelé satellites. Ces derniers engrènent à leur tour un pignon central appelé planétaire. Il est utilisé dans les boîtes de vitesse, dans les réducteurs d'arbre de roues, Et constitue une autre partie d'un Différentiel.

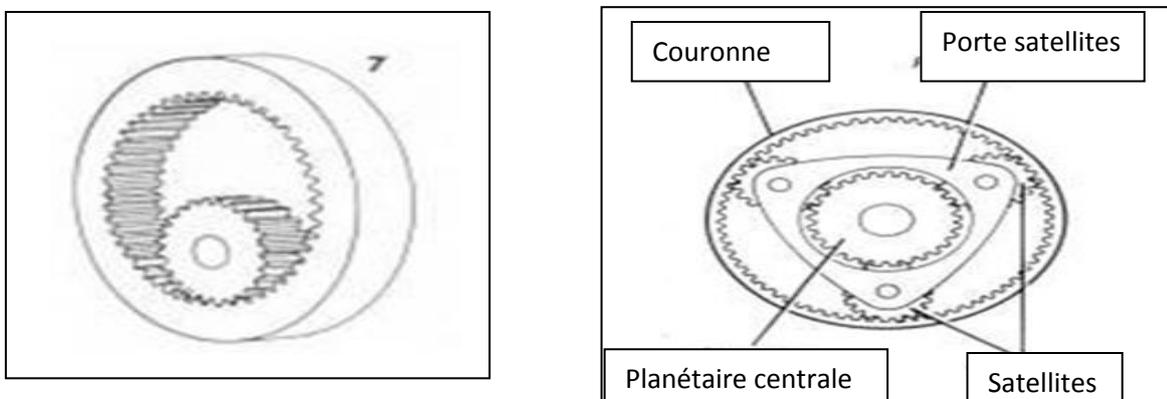


Figure 3.17 : Le train planétaire

❖ **La vis sans fin :**

Il peut être considéré à une vis. Il procure une réduction élevée avec un minimum de place. Il est souvent utilisé dans le petit matériel, et constitue un des organes d'un boîtier de direction.

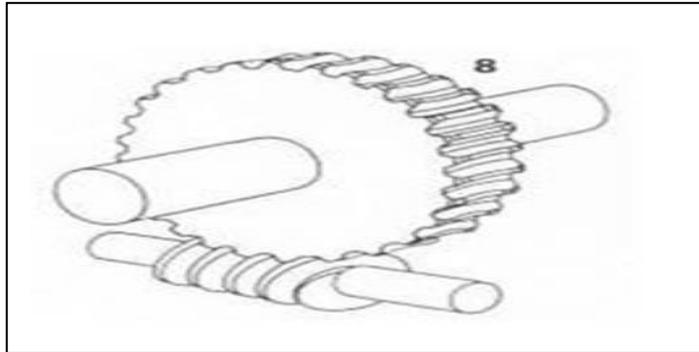


Figure 3.18 : La vis sans fin

❖ **Les engrenages à crémaillère :**

Ils transforment un mouvement rectiligne en mouvement circulaire ou inversement. Ils sont utilisés toujours à faible vitesse.

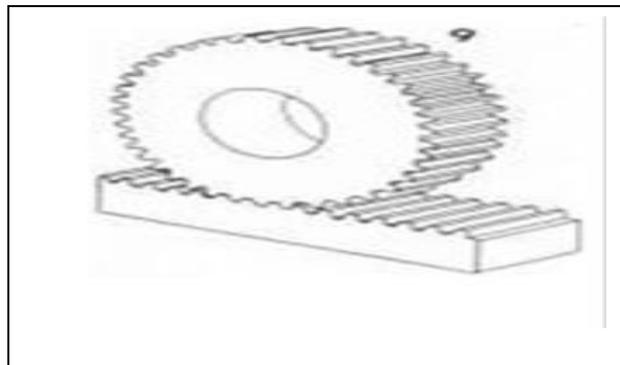


Figure 3.19 : Les engrenages à crémaillère.

### 3.1.4. La transmission par accouplements [3] :

#### But des accouplements :

La fonction principale d'un accouplement mécanique est de relier deux arbres entre eux pour transmettre une puissance. Il peut par ailleurs remplir d'autre fonction, comme corriger un mauvais positionnement axial, ou réaliser un amortisseur entre 2 arbres.

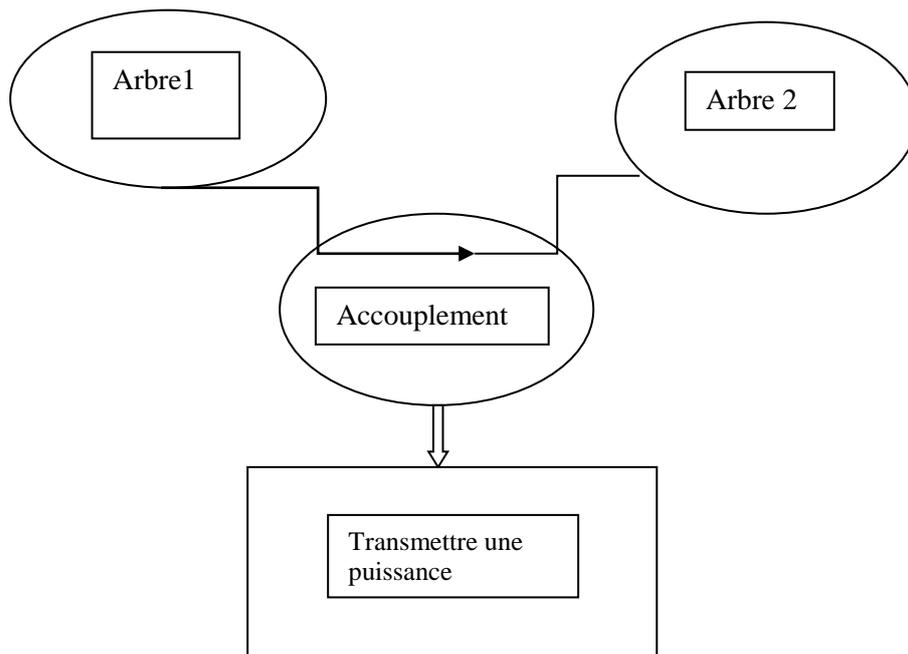


Figure 3.20 : évaluation de but d'accouplements

#### Critère de choix :

- L'angle de brisure (constant ou variable) ou d'écartement angulaire.
- Le d'écartement axial.
- Le d'écartement radial.
- Le couple transmis.
- La vitesse.

**Classification :** Il existe plusieurs classifications des accouplements :

- Les accouplements rigides → la liaison est rigide ;
- Les accouplements flexibles → la liaison n'est rigide qu'en rotation ;
- Les accouplements élastiques → la liaison est élastique.

### 3.1.4.1. QUELQUES FAMILLES D'ACCOUPLLEMENTS [3] :

#### ❖ **Accouplement rigide :**

Il ne permet aucun défaut d'alignement des arbres. La conséquence est que cela va inévitablement augmenter les charges sur les paliers des guidages.



Figure 3.21 : Accouplement rigide

#### ❖ **Accouplement à chaîne double :**

Il est composé de 2 pignons reliés par une chaîne à double rangée fermée sur elle-même. Relativement rustique et peu coûteux, mais il présente beaucoup de jeu

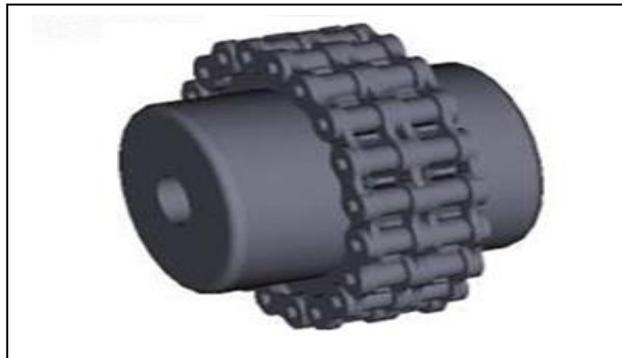


Figure 3.22 : Accouplement à chaîne double

#### ❖ **Accouplement à dentures bombées :**

Le jeu interne, même s'il est plus faible que pour le précédent, peut être un problème, surtout en cas d'inversion du sens de rotation. C'est la forme bombée des dentures qui permet d'accoupler des arbres légèrement désalignés.

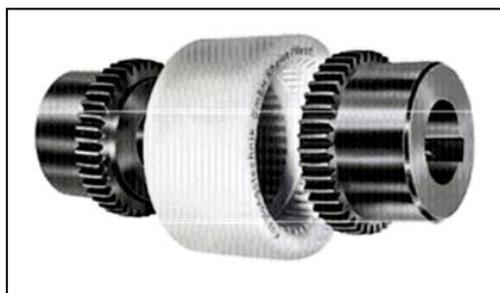


Figure 3.23 : Accouplement à dentures bombées

❖ **Accouplement à plots métalliques :**

Le serrage des vis écrase des empilages de rondelles élastiques, qui se coincent dans leurs logements sur le moyen de sortie. Il s'adapte surtout à un écart axial entre les deux arbres. Il est d'une grande rigidité.

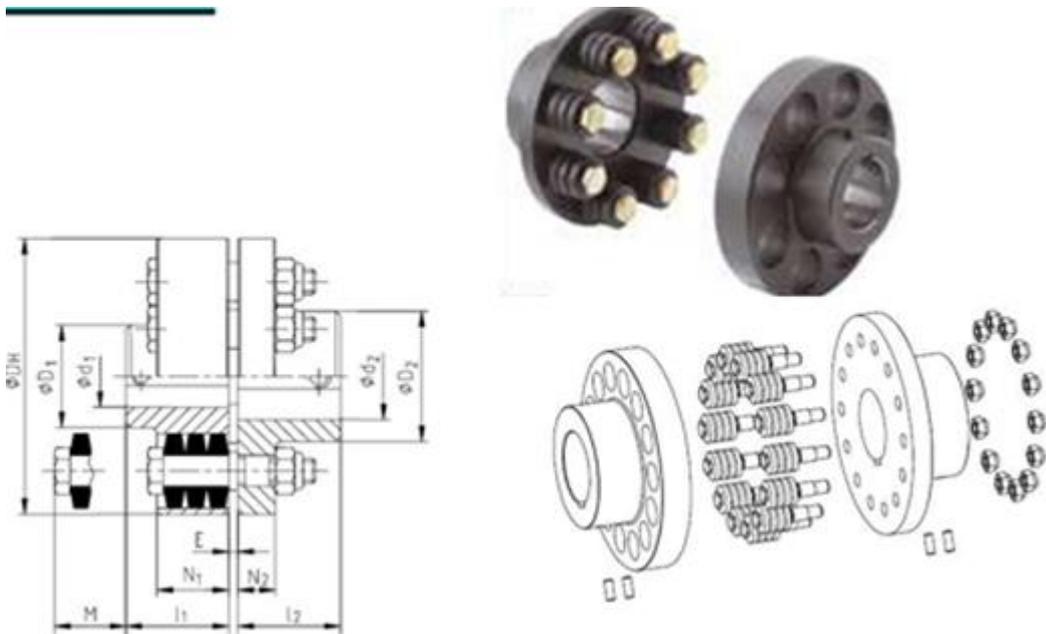


Figure 3.24 : Accouplement à plots métalliques

❖ **Joint d'Oldham :**

Il transmet un couple entre deux arbres parallèles, mais pouvant présenter un désalignement essentiellement radial. Il est parfaitement homocinétique, mais un désalignement exagéré génère des pertes par frottements. La pièce intermédiaire peut être fabriquée en matières plastiques plus ou moins dures.

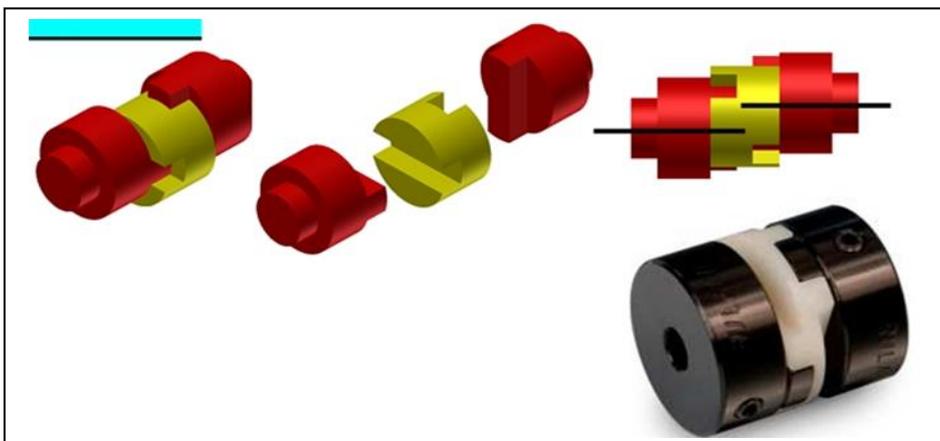


Figure 3.25 : Joint d'Oldham

❖ **Joint à disques métalliques :**

La puissance est transmise via une tôle en acier à ressort, il est très rigide en torsion. Utilisé seul, il autorise un désalignement angulaire modéré



Figure 3.26 : Joint à disques métalliques

❖ **Joints utilisant les élastomères (caoutchoucs) :**

Ils sont très nombreux et de formes très diverses. On distingue les joints dont l'élastomère travaille en compression, les plus rigides, de ceux le faisant travailler plutôt au cisaillement, plus souples et moins précis, mais qui absorbent mieux les vibrations



Figure 3.27 : Joint utilisant les élastomères (caoutchoucs)

❖ **Joint tripode :**

Très utilisé dans la transmission automobile, en particulier en sortie de boîte de vitesses (Contrairement à ce que l'on pense, le vrai « cardan » n'est plus utilisé depuis des dizaines d'années !).



Figure 3.28 : Joint tripode

Il autorise un écart angulaire jusqu'à 25° maximum, ce qui suffit pour que l'arbre d'une roue de voiture suive les déformations de la suspension.

Il est considéré comme homocinétique (en fait, à 1% près environ).

Les recherches portent actuellement sur l'amélioration du rendement, et la réduction des vibrations axiales qu'il génère.

❖ **Joint de Cardan :**

Inventé au XVI<sup>e</sup> siècle par le mathématicien italien Cardano.

Le cardan simple n'est homocinétique que si les arbres sont alignés (ce qui n'a pas un grand intérêt...). Plus l'angle de brisure entre les deux arbres est grand, plus la vitesse de sortie sera saccadée.

Il n'est guère raisonnable d'aller au-delà d'un angle de 45°.

L'homocinétisme s'est possible qu'avec deux cardans déphasés de 1/4 tour (cardan double), et à condition que le montage soit symétrique :

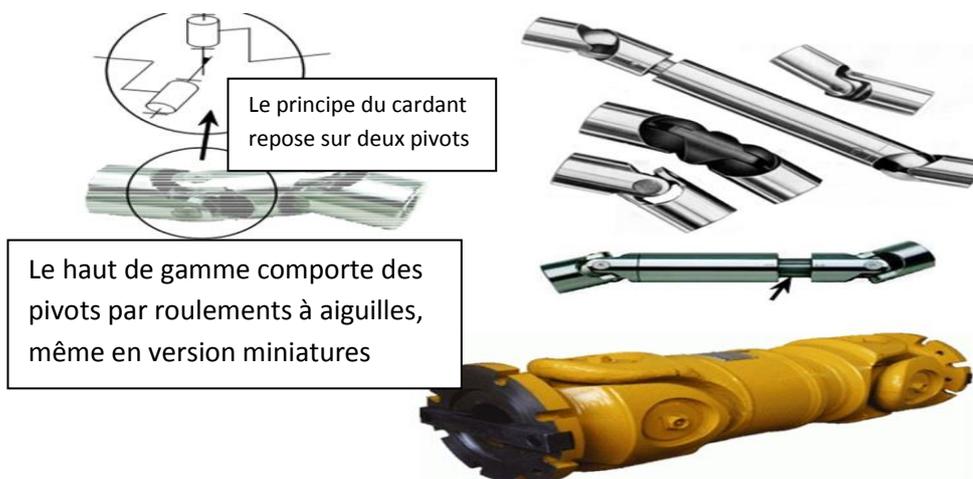


Figure 3.29 : Joint de Cardan

❖ **Joints homocinétiques à billes (type « Rzeppa » ou autres) :**

Il présente l'avantage sur le joint tripode d'être vraiment homocinétique, et surtout de pouvoir se briser jusqu'à un angle de l'ordre de 45°.

C'est pourquoi il est largement utilisé dans les arbres de transmission des tractions avant, côté éroue.

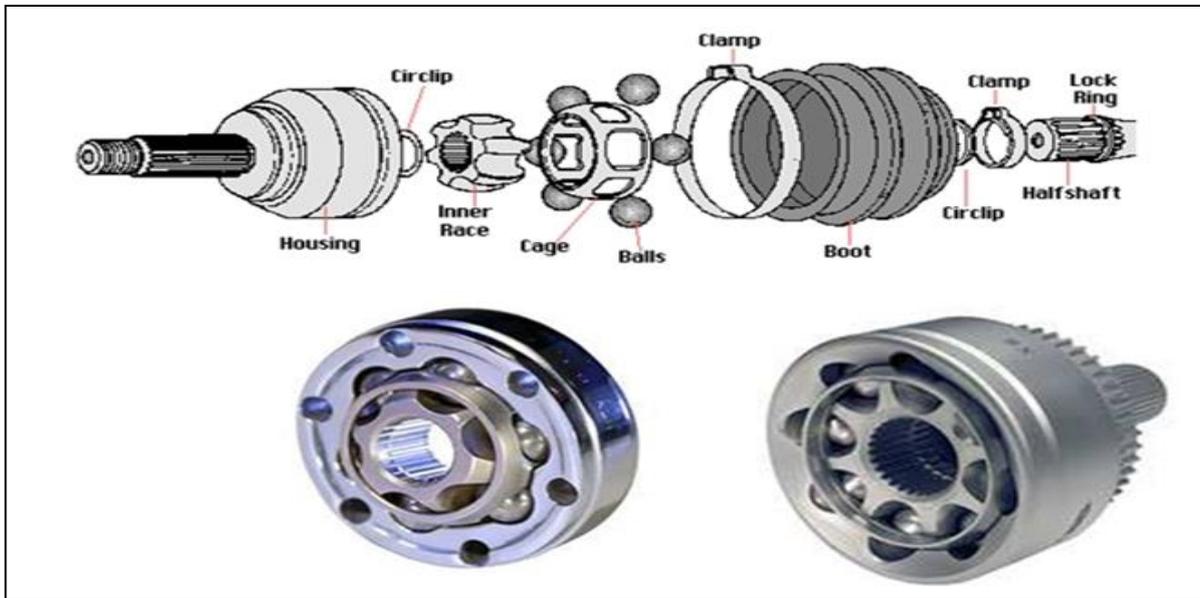


Figure 3.30 : Joint homocinétique à billes

❖ **Accouplement magnétique :**

Il n'y a aucun contact entre l'entrée et la sortie. Elles sont même séparées par une fine membrane métallique qui assure une étanchéité statique parfaite. L'entraînement se fait par des aimants permanents.

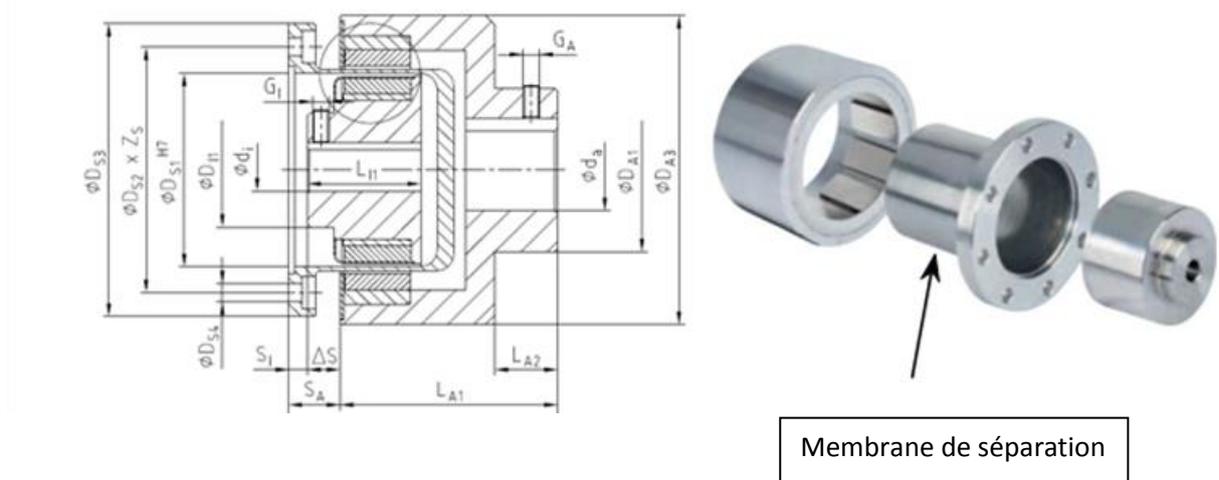


Figure 3.31 : Accouplement magnétique

Ce genre d'accouplement peut être utilisé pour entraîner des pompes qui véhiculent des fluides sensibles ou dangereux (domaine médical, cryogénie, ...).

❖ **Joint homocinétique Thompson :**

Il est constitué de deux joints de cardans l'un dans l'autre, reliés par des petites biellettes.



Figure 3.32 : Joint homocinétique Thompson

❖ **Accouplement à douilles [2] :**

Les extrémités des deux arbres sont ajustées dans l'alésage d'une douille en fonte ou en acier. La liaison arbre-douille est complétée par un goupillage pour les faibles puissances ou par un clavetage pour les grandes forces.

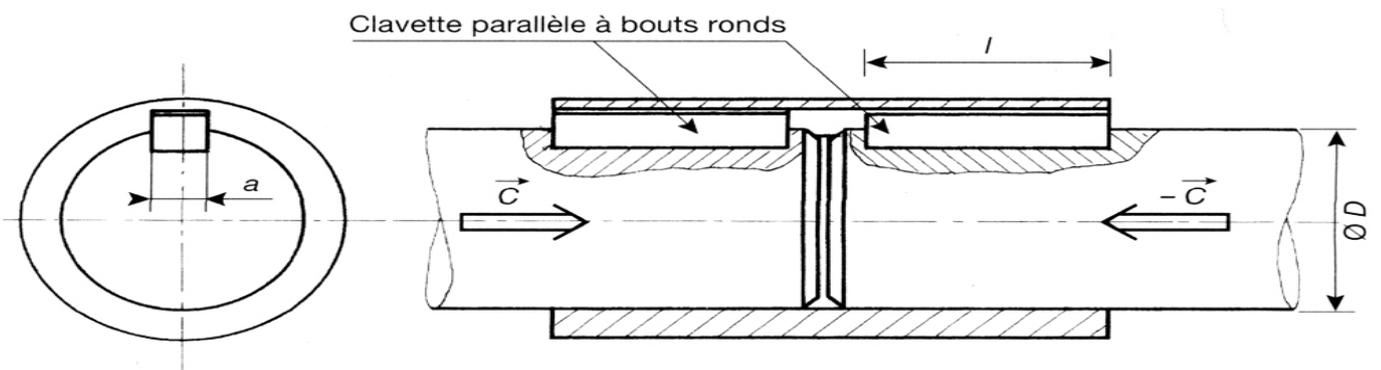


Figure 3.33 : Accouplement à douilles avec clavetage

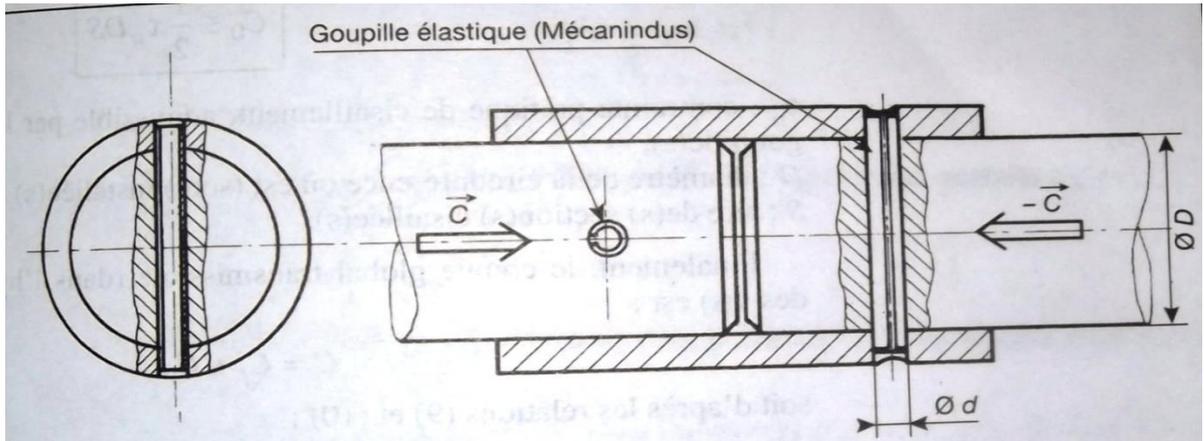


Figure 3.34 : Accouplement à douilles avec goupillage

❖ **Accouplements à Plateaux [2] :**

Les deux plateaux sont encastres (serrage ou encastrement démontable) sur leur bout d'arbre respectif. Un clavetage peut augmenter le couple transmissible. Les deux plateaux sont mis en position l'un par rapport à l'autre par un appui plan associé à un centrage court. La transmission du couple et le maintien en position respectif des plateaux étant réalisés par des boulons ajustés.

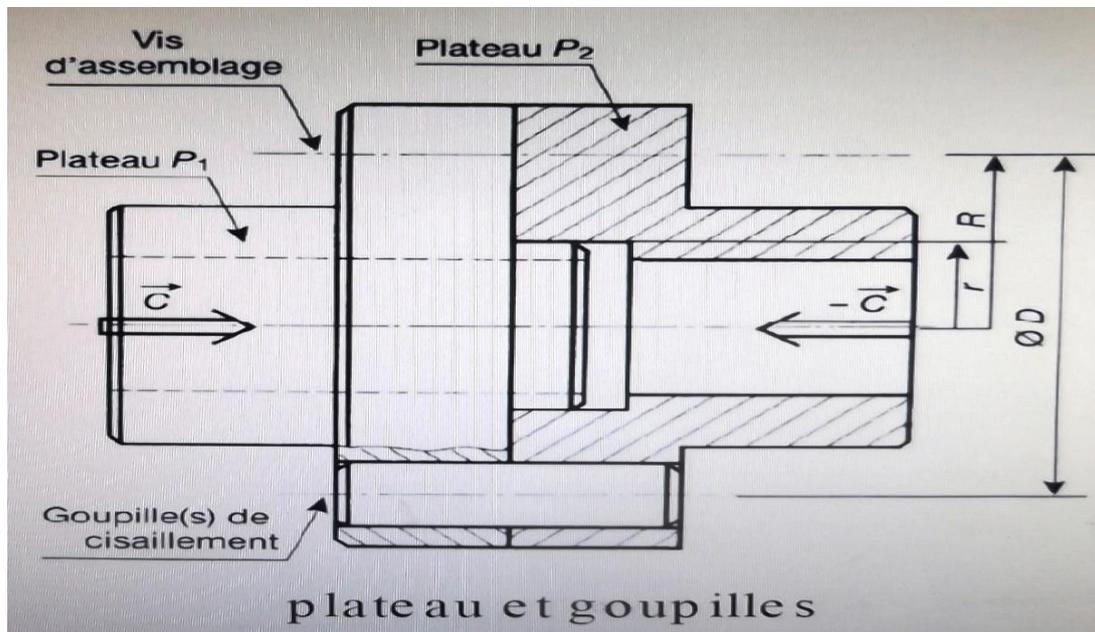


Figure 3.35 : Accouplements à Plateaux

### 3.2. Pr ésentation de l'accouplement « HOLSET » :

L'accouplement « HOLSET », est un accouplement à plateau.

L'accouplement se compose de deux demis accouplements reliés entre eux par des boulons ajustés.

Un goupillage peut augmenter le couple transmissible. Les deux plateaux sont mis en position l'un par rapport à l'autre.

Le coté commande comprend une bague intérieure et une bague extérieure, entre ces deux est logé une douille en bronze. Les deux bagues sont reliés solidement par deux boulons de rupture.

Le coté sortie se compose d'une bague intérieure et d'une bague extérieure entre lesquelles sont logés les éléments en caoutchouc.

L'accouplement Holset est un organe dans laminoir à pas de pèlerin, il assure la rotation entre le réducteur et la cage d'éclouuse.

#### 3.2.1. Laminoir à pas de pèlerin :

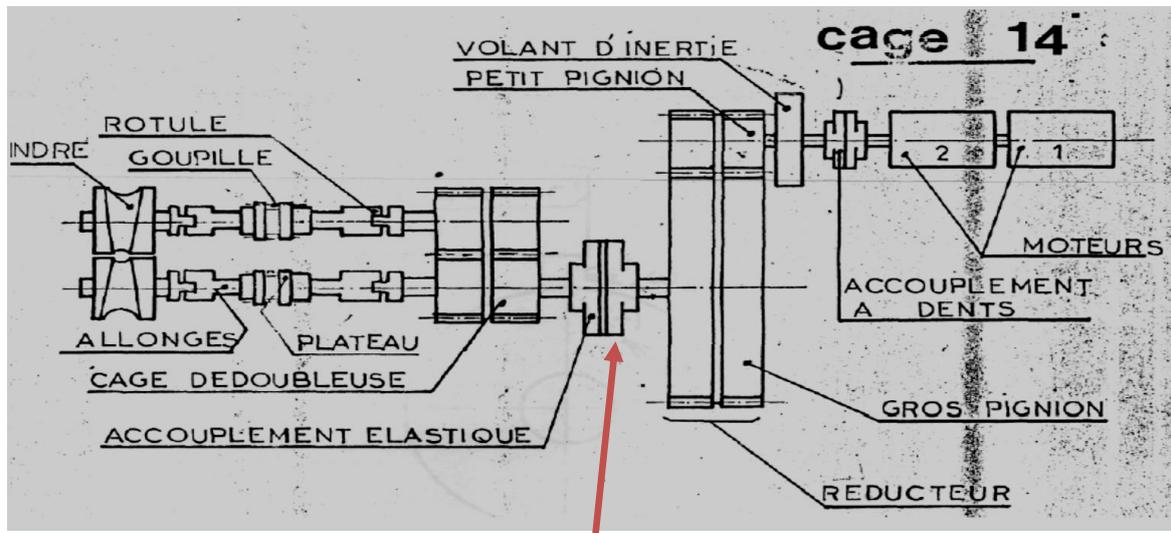
Dans l'atelier de laminoir à tube se trouve laminoir à pas de pèlerin est il se compose de deux trains 8" et 14"

Chaque laminoir est composé de trois parties : la cage, l'appareil de présentation et son chariot ainsi que le circuit des mandrins.



Figure 3.36: laminoir à pas de pèlerin.

3.2.2. Chaîne cinématique de laminoir à Pas de p èrein :



Accouplement HOLSET

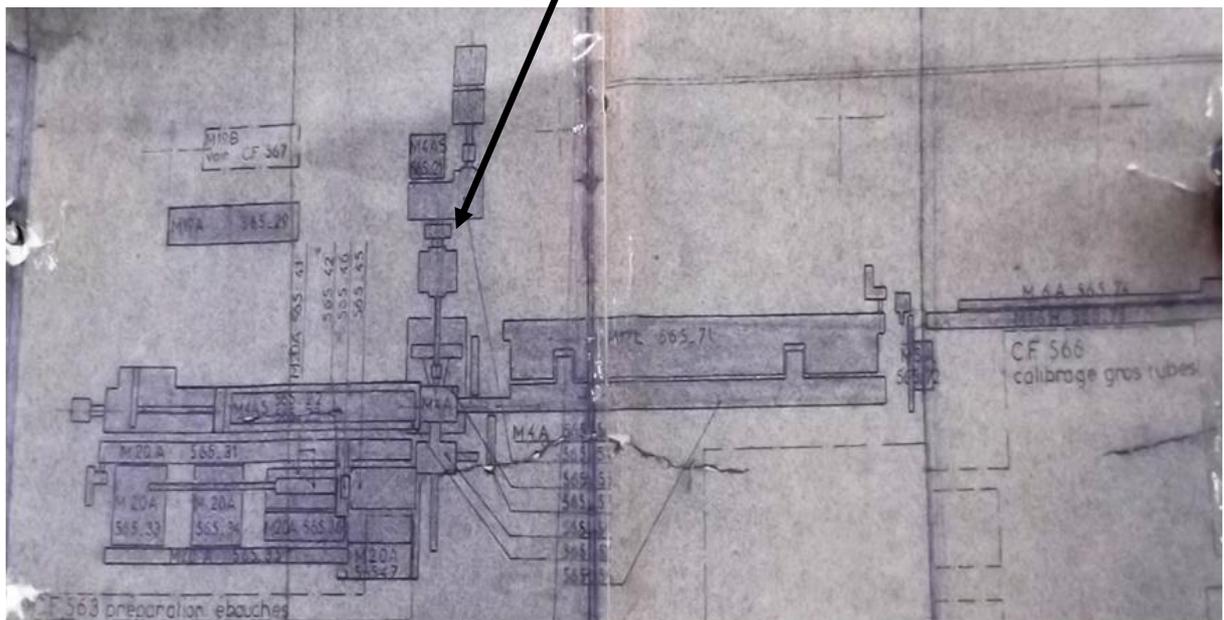
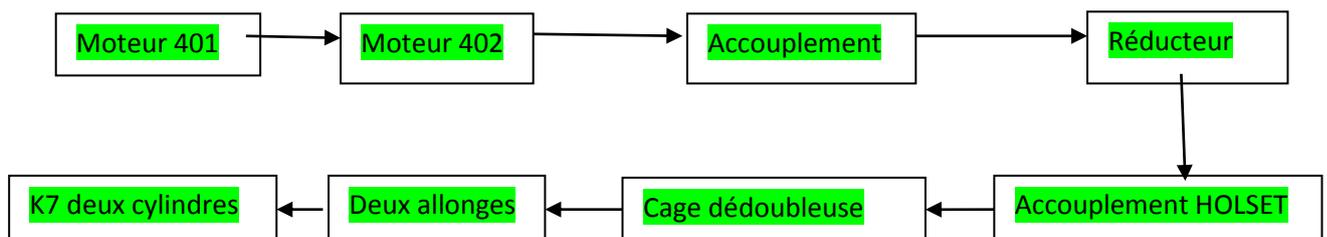


Figure 3.37: chaîne cinématique de laminoir à pas de p èrein. [5]



### 3.2.3. Composition de l'accouplement « HOLSET » :

Il se compose de :

- ✓ Plateaux d'accouplement
- ✓ Les douilles
- ✓ Les goupilles de cisaillement
- ✓ Système de fixation des goupilles
- ✓ Bagues pour goupilles
- ✓ Système de graissage

### 3.2.4. Caractéristique technique de l'accouplement « HOLSET » :

- ✓ Diamètre extérieur 2006,6 mm
- ✓ Largeur 1055mm
- ✓ Alésage coté commande 335mm
- ✓ Alésage coté sortie 400mm
- ✓ Poids global 18 tonne
- ✓ Le nombre de tour:  $N_{\text{sortie}} = 70 \text{ tr/min.}$

### 3.2.5. Description de fonctionnement :

L'accouplement à pour fonction

- ✓ De transmettre le couple moteur à la ligne d'entraînement des cylindres pélerin
- ✓ D'amortir les chocs de laminage.
- ✓ A des moments d'impact sur élevés, d'interrompre la ligne d'entraînement par l'intermédiaire des boulons de rupture.

3.2.6. Schéma présente le plateau de l'accouplement Holset :

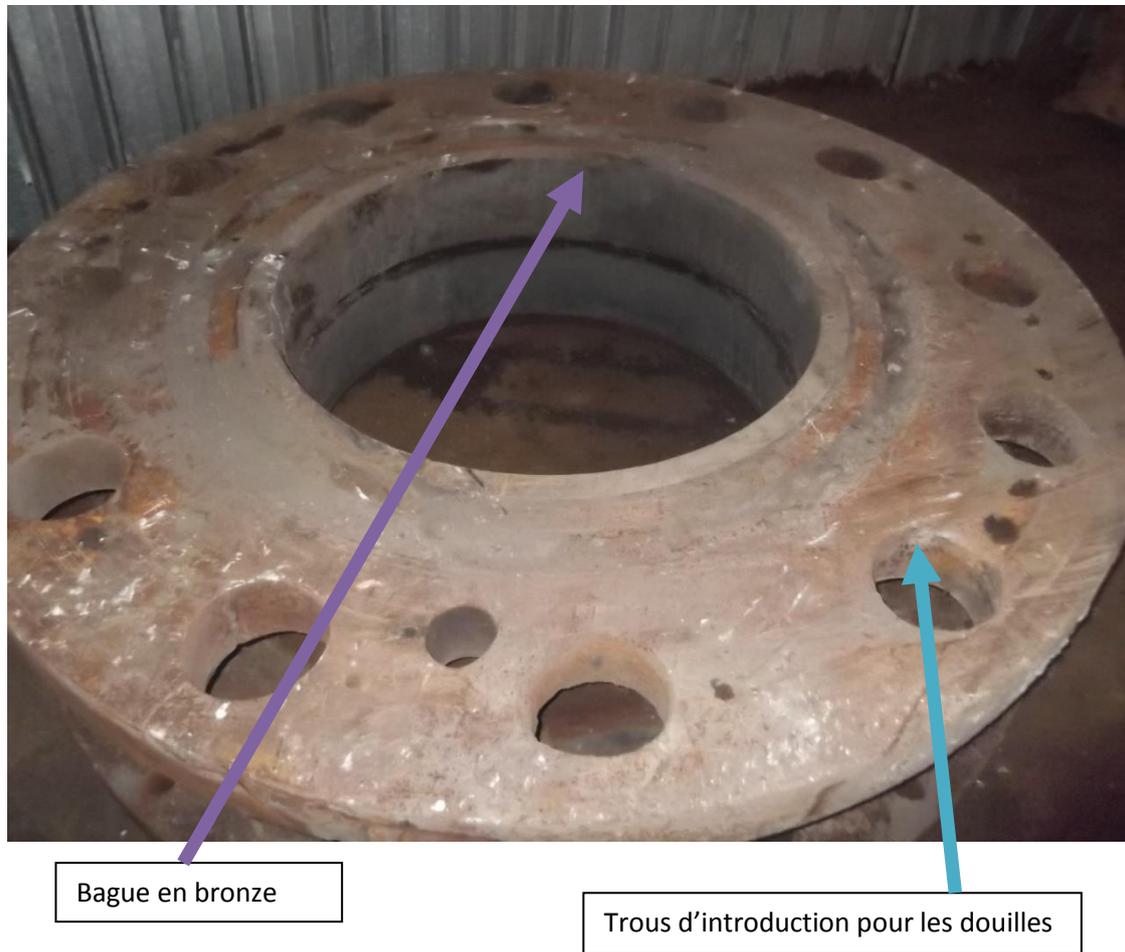


Figure 3.38 : photo du plateau de l'accouplement holset

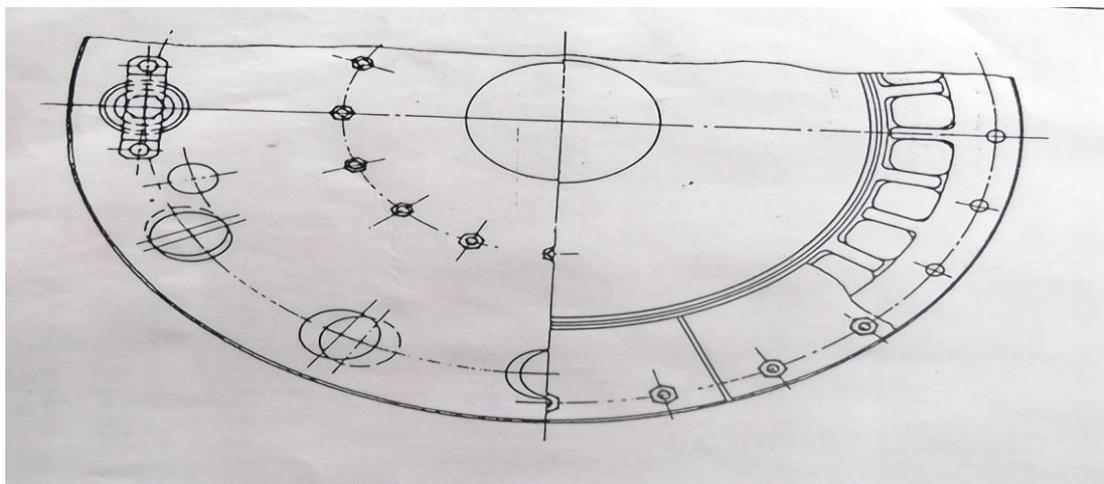


Figure 3.39 : schéma du plateau selon le dossier technique «HOLSET »[5]

3-2-7. Schéma des douilles :

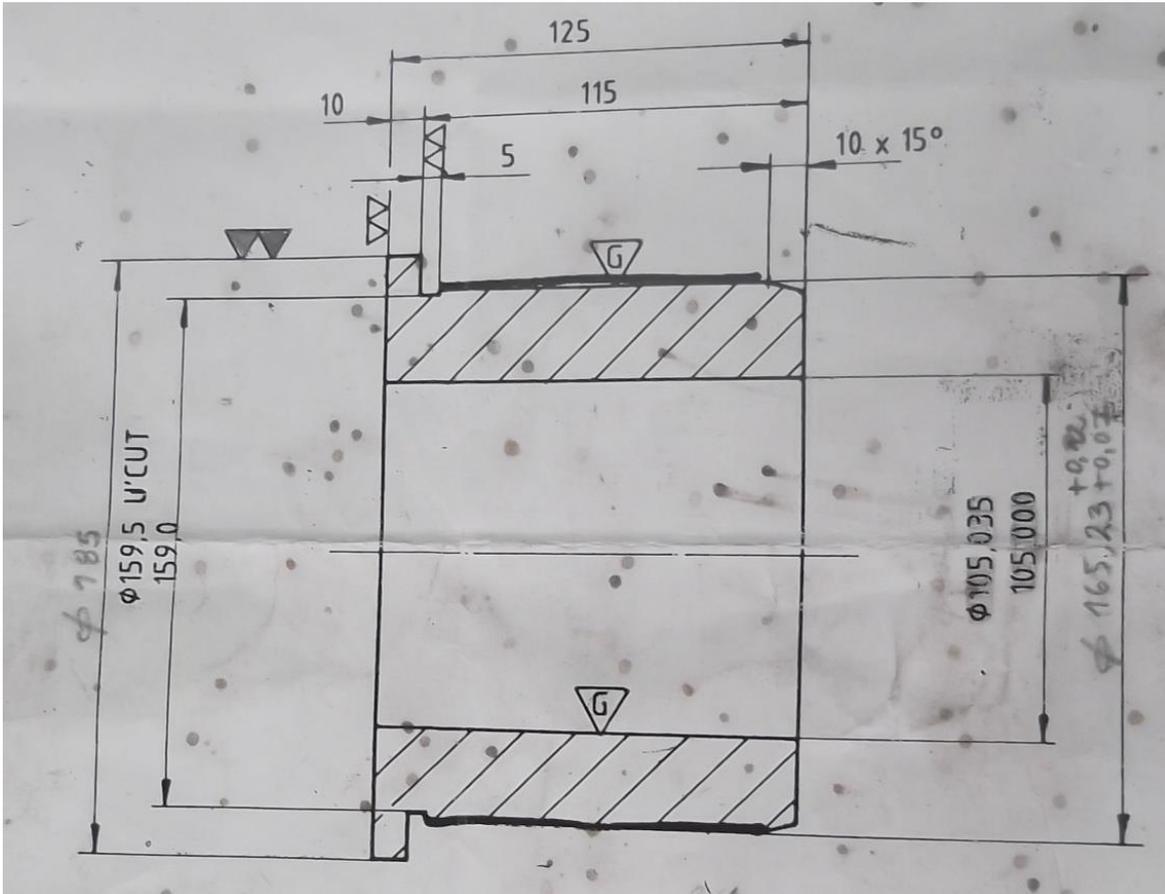


Figure 3.40 : Schéma de définition de la douille (Diamètre 185 mm)[5]



Figure 3.41 : photo de la douille de l'accouplement holset.

3-2-8. Schéma des goupilles :

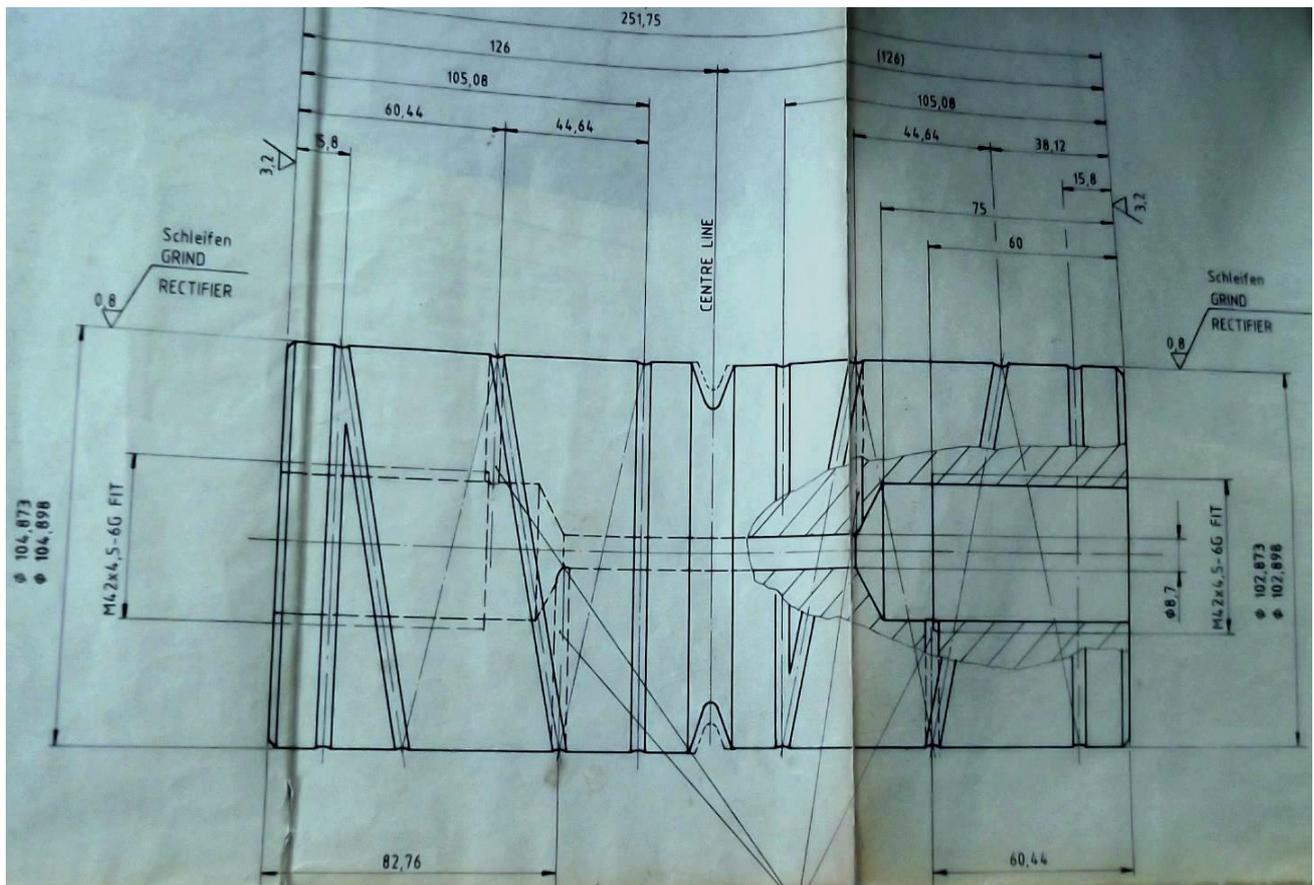


Figure 3.42 : Schéma de définition de la goupille (Diamètre 104 mm)[5].



Figure 3.43 : photo de la goupille de l'accouplement holset.

### 3.2.9. Analyse de quelques d'faillances :

Dans l'accouplement « HOLSET », se passe presque toujours des ruptures dans les goupilles et les photos suivantes vont expliquer ces d'faillances.



Figure 3.44 : photo d'une goupille rouillée.



Figure 3.45 : photo d'une goupille rompue.

### 4.1. Définition de la fiabilité :

Selon AFNOR X06-501: 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 [7].

La fonction fiabilité est notée  $R(t)$  en se référant à l'appellation anglaise « Reliability » et elle représente la probabilité de fonctionnement à l'instant  $t$ .

La probabilité complémentaire notée  $F(t)$  est donc la probabilité de défaillance à l'instant  $t$ . Elle est définie par  $F(t)=1-R(t)$ . Aussi, les définitions normalisées suivantes sont nécessaires :

1. *Fonction requise* : C'est la fonction pour accomplir une mission ou rendre le service attendu. La définition de la fonction requise implique un seuil d'admissibilité en deçà duquel la fonction n'est plus remplie.
2. *Conditions d'utilisation* : C'est la définition des conditions d'usage, c'est-à-dire l'environnement et ses variations, les contraintes mécaniques, chimiques, physiques, etc. Il est évident que le même matériel placé dans 2 contextes de fonctionnement différents n'aura pas la même fiabilité.
3. *Période de temps* : C'est la définition de la durée de mission notée  $T$ , en unités d'usage.

### 4.2. Méthode de calcul des paramètres de la fiabilité :

Cette étude a pour but de déterminer la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité (Etude FMD) de l'accouplement HOLSET suite à l'analyse de l'historique mis à notre disposition par l'atelier LAT dans l'entreprise TSS. L'équipement en question se trouve dans la chaîne cinématique de laminoir à pas de pèrins.

Cette étude FMD a été proposée pour élucider les défaillances et leur occurrence dans les accouplements HOLSET. Il nous a été suggéré de voir l'évolution des paramètres FMD durant les dernières années surtout que le manque d'un plan de maintenance efficace dans l'entreprise peut donner des résultats moyens.

Avec les données exploitées de l'historique des pannes (voir ANNEXE 1), il est possible de calculer les temps de bon fonctionnement (TBF) de la manière suivante :

#### Exemple de calcul :

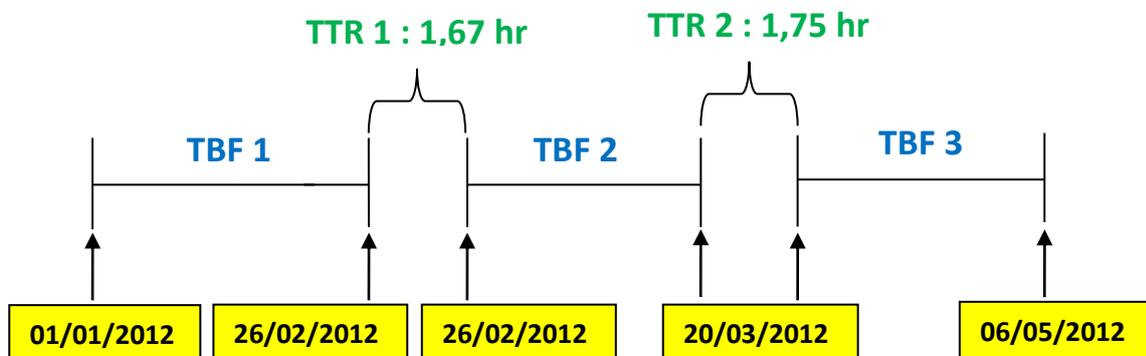


Figure 4.1 : Méthode de calcul des TBF et des TTR

## CHAPITRE 4 : ETUDE FMD DE L'ACCOUPLLEMENT « HOLSET »

Date	Heure D ébut	Heure Fin	Dur ée de la panne (h)
01/01/2012	/	/	commencement
26/02/2012	10:05	11:45	1,67
20/03/2012	13:20	15:05	11,75

TBF1= 56 jours+10,08 heures= (56\*24) +10,08= **1354,08 heures**

TBF2= 12,25heures+22 jours+13.33heures= (22\*24) +12,25+13,33=**553,58 heures**

TBF3= 8.91 heures+46 jours+10,16 heures= (46\*24) +8,91+10,16=**1123,07 heures.**

A partir de cette méthode, on a retrouv ées r ésultats suivants pour le cas 1 qui regroupe l'ensemble des **TBF en heures** de l'année 2012.

<b>TBF1 :</b> 1354	<b>TBF7 :</b> 141	<b>TBF13 :</b> 193,91	<b>TBF19 :</b> 3,83	<b>TBF25 :</b> 119,91	<b>TBF31 :</b> 1155,41	<b>TBF37 :</b> 3,91	<b>TBF43 :</b> 8,83
<b>TBF2 :</b> 553,58	<b>TBF8 :</b> 43,33	<b>TBF14 :</b> 23,49	<b>TBF20 :</b> 167,74	<b>TBF26 :</b> 17,66	<b>TBF32 :</b> 2	<b>TBF38 :</b> 15,33	<b>TBF44 :</b> 7
<b>TBF3 :</b> 1123,07	<b>TBF 9 :</b> 72,08	<b>TBF15 :</b> 42,75	<b>TBF21 :</b> 68,5	<b>TBF27 :</b> 5,75	<b>TBF33 :</b> 8	<b>TBF39 :</b> 27,75	<b>TBF45 :</b> 19,16
<b>TBF4 :</b> 67,24	<b>TBF10 :</b> 356,75	<b>TBF16 :</b> 95,41	<b>TBF22 :</b> 321,91	<b>TBF28 :</b> 8	<b>TBF34 :</b> 25,5	<b>TBF40 :</b> 3,5	
<b>TBF5 :</b> 24,41	<b>TBF11 :</b> 312,58	<b>TBF17 :</b> 74,25	<b>TBF23 :</b> 59,58	<b>TBF29 :</b> 105,08	<b>TBF35 :</b> 6,58	<b>TBF41 :</b> 8	
<b>TBF6 :</b> 482,25	<b>TBF12 :</b> 162 ,41	<b>TBF18 :</b> 67,24	<b>TBF24 :</b> 0.66	<b>TBF30 :</b> 36,41	<b>TBF36 :</b> 65,16	<b>TBF42 :</b> 8,16	

Tableau 4.1 : Liste des TBF en heures enregistr és en 2012.

Afin d'analyser les données de tout historique de pannes, on est sensé choisir une loi statistique qui permet de décrire les différentes phases et évolutions de la fiabilité et le taux de défaillance. D'autres paramètres aussi seront décrits comme la fiabilité ainsi que la disponibilité. Pour cette étude, nous avons choisi la loi de **Weibull** car elle décrit bien l'évolution des défaillances mécaniques représentées par les phénomènes de vieillissement et d'usure.

### 4.2.1. La fonction de fiabilité R(t) :

C'est la probabilité de non-défaillance dans l'intervalle de temps [0, t] c'est à dire la probabilité de défaillance au-delà du temps (t), c'est la fonction complémentaire de la fonction de répartition. Dans le modèle de Weibull, elle est donnée par :

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

### 4.2.2. Le taux d'avarie

$\lambda(t)$  : Probabilité d'avarie au temps  $(t+\Delta t)$  d'un dispositif qui était en bon fonctionnement au début de l'unité de temps  $(t)$ .

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (2)$$

### 4.2.3. La densité de probabilité

La densité de probabilité notée  $f(t)$  est la probabilité d'avoir une seule avarie au temps  $(t)$  d'avarie au temps  $(t)$ . Elle est exprimée par le produit :

$$f(t) = \lambda(t) \cdot R(t) \quad (3)$$

Dans le modèle de Weibull, elle est calculée par la relation :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left[\frac{(t-\gamma)}{\eta}\right]^\beta} \quad (4)$$

### 4.2.4. La fonction de répartition:

C'est la probabilité d'avarie cumulée durant le temps de 0 à  $t$ . Elle est notée  $F(t)$  et calculée, comme suit:

$$F(t) = 1 - e^{-\left[\frac{(t-\gamma)}{\eta}\right]^\beta} \quad (5)$$

Méthode :

1) On classe par ordre croissant les temps de bon fonctionnement.

2) On calcule la fonction de répartition cumulée:

La fonction de répartition cumulée est calculée lorsque le nombre de rang est supérieur à 20.

Dans ce cas on utilise la méthode des rangs moyens d'après l'équation suivante :

$$F(t_i) = \frac{\sum n_i}{N + 1} \quad (6)$$

### 4.2.5. Signification physique des paramètres du modèle de Weibull [1]:

Dans le modèle de Weibull, les paramètres ont les significations suivantes :

$\beta$  : Paramètre de forme. Sa valeur donne une indication sur le mode de défaillance. On a les cas suivants :

- Si  $\beta < 1$  : défaillance cataleptiques.
- Si  $\beta = 1$  : défaillance cataleptiques et de dégradations.
- Si  $\beta > 1$  : défaillance de fatigue structurelle.

$\eta$  : paramètre d'échelle.

$\gamma$  : paramètre d'échelle qui donne le moment de début de dégradation.

- Si  $\gamma = 0$  : dégradation dès le début de l'observation ;
- Si  $\gamma > 0$  : la fiabilité est restée optimale après le démarrage de l'observation et elle a commencé à se dégrader plus tard ;
- Si  $\gamma < 0$  : dégradation avant le début de l'observation.

### Courbe en «Baignoire » :

La courbe en «Baignoire » donne l'évolution du taux de défaillance au cours de la durée de vie d'un équipement. La figure 4.2 représente une évolution typique du taux de défaillance d'un équipement, essentiellement mécanique en fonction du temps.

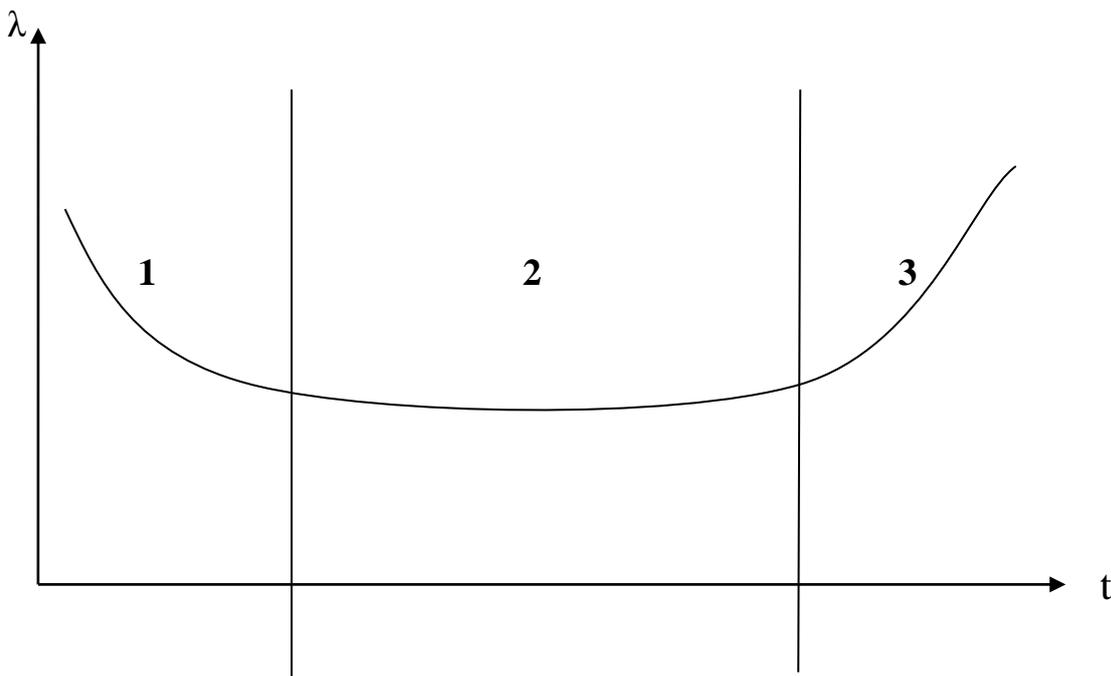


Figure : 4.2 : Courbe en baignoire représentant les 3 phases du taux de défaillance fonction du temps.

## CHAPITRE 4 : ETUDE FMD DE L'ACCOUPLLEMENT « HOLSET »

**Phase 1 :** phase de jeunesse correspond la période de rodage ; Dans cette période, la fiabilité évolue connaître une amélioration rapide. C'est la période de la garantie constructeur. Les défaillances sont, essentiellement issues de la conception et de la fabrication. Ces dernières sont aléatoires et imprévisibles (très difficile à résoudre).

**Phase 2 :** c'est la période où le taux de défaillance est minimal et reste constant. Les défaillances sont des défaillances de dégradation (due à l'utilisation).

**Phase 3 :** phase de vieillesse. C'est une période où la fiabilité se détériore indiquant un accroissement du taux de défaillance. La maintenance préventive doit permettre de retarder le plus possible l'obsolescence. Elle doit, donc, permettre d'augmenter la durée de vie de l'équipement.

Cette étude fait ressortir 4 cas séparés pour les années 2008 et 2012. Pour l'année 2012, il s'agit du cas 1 qui regroupe toutes les données de l'historique (45 TBF) et du cas 2 dont les données ont été traitées pour éliminer les valeurs qui sortent du cadre de travail régulier de l'accouplement. Ces dernières valeurs représentent des durées correspondant à des arrêts de l'installation pour des révisions ou autres alors que les accouplements HOLSET ne pas incriminés. Aussi, les valeurs de TBF anormalement petites qui correspondent en général à des interventions non réussies à cause de montages maladroits ou de désalignement ont été écartées de l'analyse.

Cette même approche a été adoptée pour l'historique de 2008 qui a fait l'objet d'une étude antérieure [6] et les cas 3 et cas 4 ont été déduits. L'étude de 2008 n'était pas complète car elle ne comportait pas les calculs de maintenabilité et de disponibilité, ce qui nous a obligés à reprendre tous les calculs.

### Cas 1 :

TBF	ni	$\sum ni$	F(ti)	f(ti)%
0,66	1	1	0,021	2,17
2	1	2	0,043	4,34
3,5	1	3	0,065	6,52
3,83	1	4	0,086	8,69
3,91	1	5	0,108	10,86
5,75	1	6	0,130	13,04
6,58	1	7	0,152	15,21
7	1	8	0,173	17,39
8	3	11	0,239	23,91
8,16	1	12	0,260	26,08
8,83	1	13	0,282	28,26
15,33	1	14	0,304	30,43
17,66	1	15	0,326	32,60
19,16	1	16	0,347	34,78
23,49	1	17	0,369	36,95
24,41	1	18	0,391	39,13
25,5	1	19	0,413	41,30
27,5	1	20	0,434	43,47
36,41	1	21	0,456	45,65
42,75	1	22	0,478	47,82
43,33	1	23	0,500	50

## CHAPITRE 4 : ETUDE FMD DE L'ACCOUPLLEMENT « HOLSET »

59,58	1	24	0,521	52,17
65,16	1	25	0,543	54,34
67,24	2	27	0,586	58,69
68,5	1	28	0,608	60,86
72,08	1	29	0,630	63,04
74,25	1	30	0,652	65,2
95,41	1	31	0,673	67,39
105,08	1	32	0,695	69,56
119,91	1	33	0,717	71,73
141	1	34	0,739	73,91
162,41	1	35	0,760	76,08
167,74	1	36	0,782	78,26
193,91	1	37	0,804	80,43
312,58	1	38	0,826	82,60
321,91	1	39	0,847	84,78
356,75	1	40	0,869	86,95
482,25	1	41	0,891	89,13
553,58	1	42	0,913	91,30
1123,07	1	43	0,934	93,47
1155,41	1	44	0,956	95,65
1354,08	1	45	0,978	97,82

Tableau 4-2 : Evolution de la fonction de répartition cumulée.

Selon le papier Weibull, on peut déduire les paramètres dont on a besoin ( $\beta$ ,  $\eta$ ,  $\gamma$ ) :

Résultats :

$$\gamma = 0$$

$$\beta = 0,45 \quad \text{d'où :} \quad A = 2,4786$$

$$\eta = 100 \text{ heures}$$

On a trouvé que  $\beta = 0,45$  : ceci correspond à une zone de décroissance rapide, c'est la période de mise en place et de rodage mécanique de l'équipement. Une majorité des défaillances pourraient être dues à des anomalies ou des imperfections de montage à cause d'un service mal effectué ou une étude incomplète sur la nature des matériaux.

### 4.2.6. Détermination de la MTBF :

$$MTBF = MUT = A\eta + \gamma. \quad (7)$$

$$MTBF = 2,4786 * 100 + 0 = 247,86$$

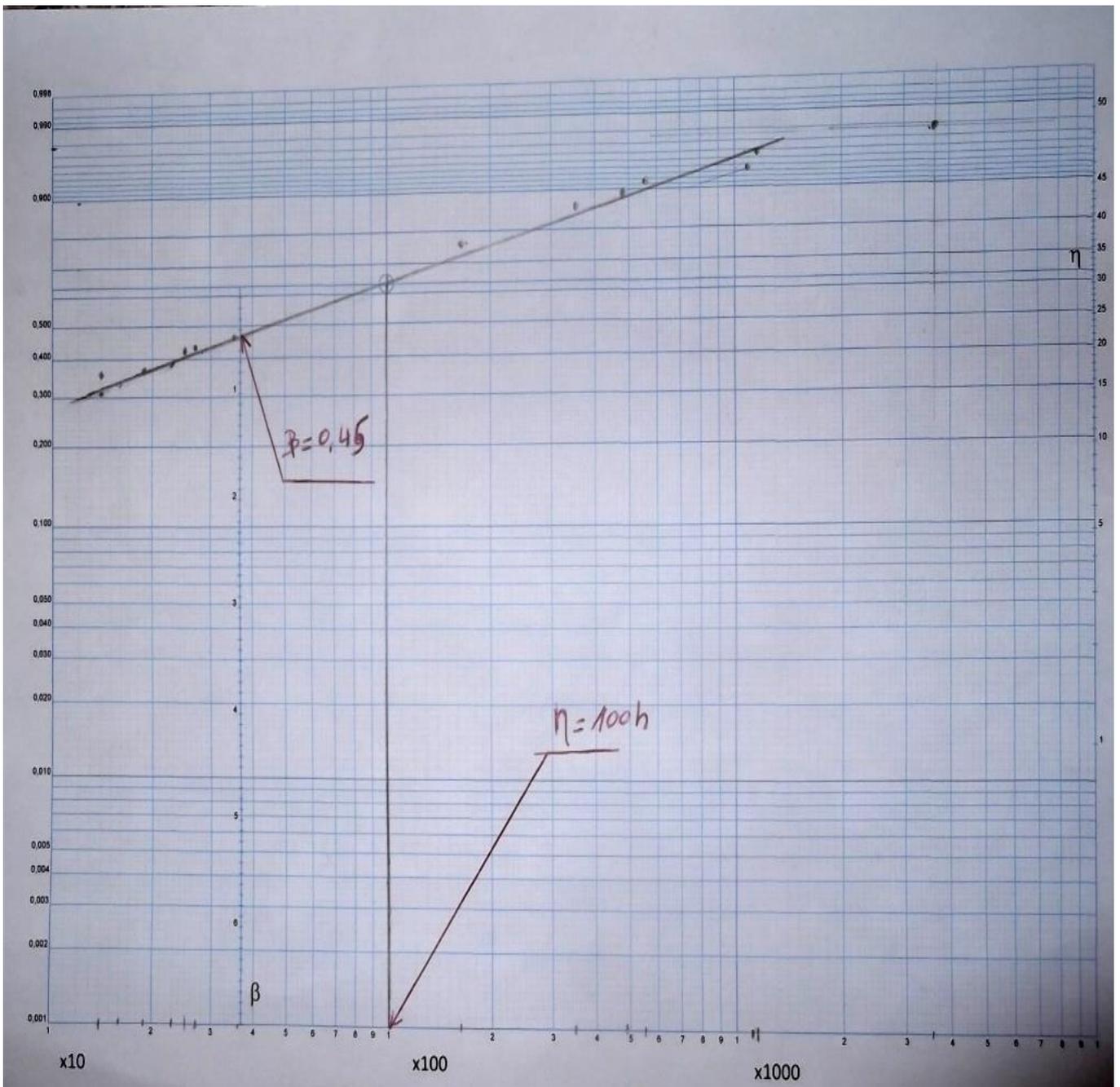


Figure : 4.3 : Linéarisation de l'équation de Weibull

**4.2.7. Détermination de la probabilité de défaillance R(T):**

$$R(T) = e^{-\left[\frac{(MTBF-\gamma)}{\eta}\right]^\beta}$$

$$R(T) = e^{-\left[\frac{(247,86-0)}{100}\right]^{0,45}}$$

**R(T) = 22,26%**

## CHAPITRE 4 : ETUDE FMD DE L'ACCOUPLLEMENT « HOLSET »

TBF	R (ti)	$\lambda$ (ti)	$f(t)= R(ti) * \lambda(ti)$	$F(t)= 1 - e^{-[\frac{(t-y)}{\eta}]^\beta}$
0,66	0,90084	0,07119	0,06413	0,09915
2	0,84200	0,03869	0,03258	0,15799
3,5	0,80153	0,02844	0,02279	0,19846
3,83	0,79423	0,02706	0,02149	0,20576
3,91	0,79252	0,02676	0,02120	0,20747
5,75	0,75835	0,02164	0,01641	0,24164
6,58	0,74534	0,02009	0,01498	0,25465
7	0,73919	0,01942	0,01436	0,26080
8	0,72548	0,01805	0,01309	0,27451
8,16	0,72340	0,01785	0,01291	0,27659
8,83	0,71498	0,01709	0,01222	0,28501
15,33	0,65049	0,01262	0,00821	0,34950
17,66	0,63236	0,01167	0,00738	0,36763
19,16	0,62162	0,01116	0,00694	0,37837
23,49	0,59388	0,00998	0,00592	0,40611
24,41	0,58851	0,00977	0,00575	0,41148
25,5	0,58235	0,00954	0,00555	0,41764
27,5	0,57156	0,00915	0,00523	0,42843
36,41	0,53010	0,00784	0,00415	0,46989
42,75	0,50549	0,00718	0,00363	0,49450
43,33	0,50340	0,00712	0,00358	0,49659
59,58	0,45288	0,00598	0,00270	0,54711
65,16	0,43837	0,00569	0,00249	0,56162
67,24	0,43325	0,00559	0,00242	0,56674
68,5	0,43022	0,00554	0,00238	0,56977
72,08	0,42188	0,00538	0,00227	0,57811
74,25	0,41702	0,00530	0,00221	0,58297
95,41	0,37565	0,00461	0,00173	0,62434
105,08	0,35967	0,00437	0,00157	0,64032
119,91	0,33785	0,00407	0,00137	0,66214
141	0,31123	0,00372	0,00115	0,68876
162,41	0,28826	0,00344	0,00099	0,71173
167,74	0,28306	0,00338	0,00095	0,71693
193,91	0,25997	0,00312	0,00081	0,74002
312,58	0,18823	0,00240	0,00045	0,81176
321,91	0,18409	0,00236	0,00043	0,81590
356,75	0,16992	0,00223	0,00037	0,83007
482,25	0,13134	0,00189	0,00024	0,86865
553,58	0,11533	0,00175	0,00020	0,88466
1123,07	0,05132	0,00118	0,00006	0,94867
1155,41	0,04940	0,00117	0,00006	0,95059
1354,08	0,03954	0,00107	0,00004	0,96045

Tableau 4-3 : Calcul de f(t) et F(T).

4.2.8. Détermination de la densité de probabilité :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t - \gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left[\frac{t-\gamma}{\eta}\right]^\beta} \quad (4)$$

$$f(t) = \frac{0,45}{100} \cdot \left(\frac{247,86-0}{100}\right)^{0,45-1} \cdot e^{-\left[\frac{(247,86-0)}{100}\right]^{0,45}}$$

**f(t) = 0,000606**

4.2.9. Représentation graphique :

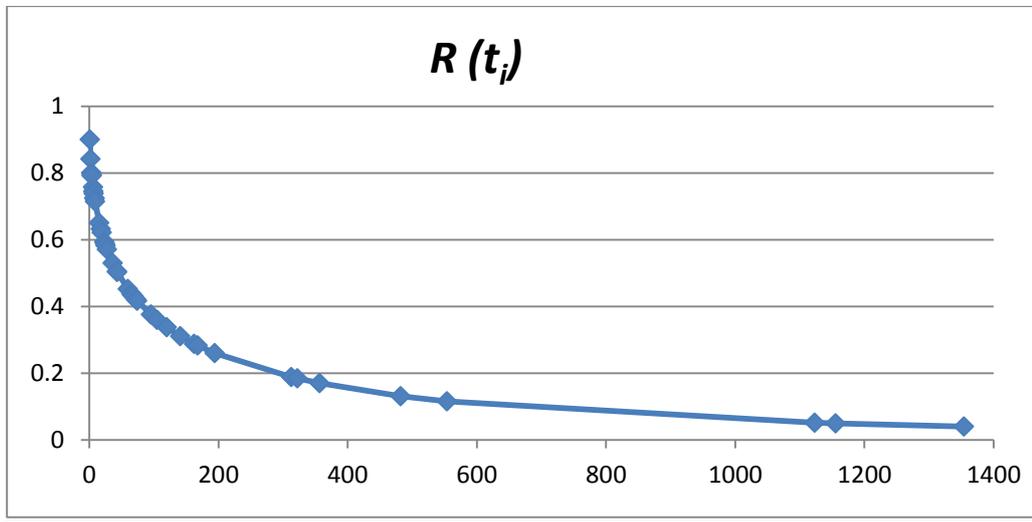


Figure 4.4 : courbe de fiabilité

Analyse de la courbe R(ti) :

Selon l'exploitation des paramètres de papier Weibull, R(t) a été calculée. R(t) décroît avec l'augmentation des TBF veut dire qu'une mauvaise politique de maintenance est appliquée sur l'équipement, ou bien une mauvaise exploitation de ce dernier puisque la valeur de  $\beta=0.45$  est reliée à une période de jeunesse que la fiabilité devra normalement atteindre des valeurs importantes.

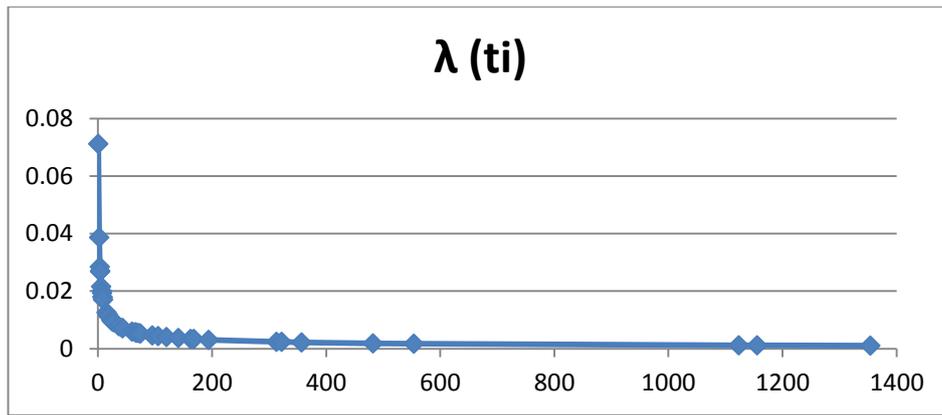


Figure 4.5 : Courbe de taux d'avarie

### Analyse de la courbe $\lambda(t_i)$ :

La courbe prend l'allure du premier tiers de la courbe en baignoire (zone 1), ce qui convient à la période de jeunesse ou de rodage. Cela revient à plusieurs raisons comme: (le mauvais montage, méconnaissance de l'équipement en service.....).

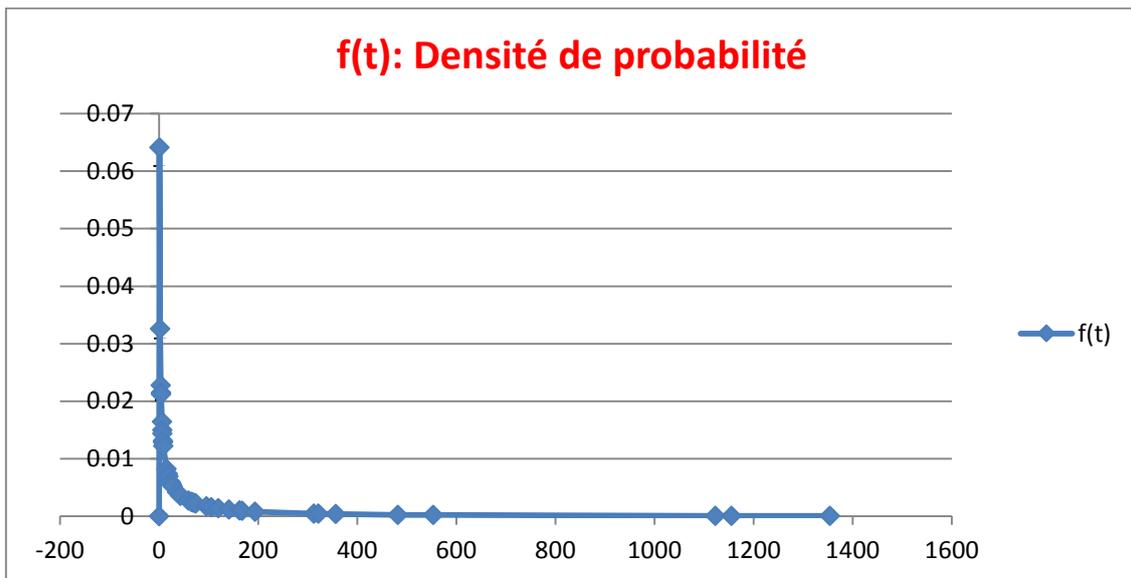


Figure 4.6 : Courbe de densité de probabilité

### Analyse de la courbe $f(t)$ :

Cette courbe de densité de probabilité à l'intérêt de nous montrer la distribution des pannes autour de la moyenne des TBF.

Et dans notre cas la densité de probabilité à diminuer avec l'augmentation des TBF à cause du paramètre de forme  $\beta < 1 = 0.45$ .

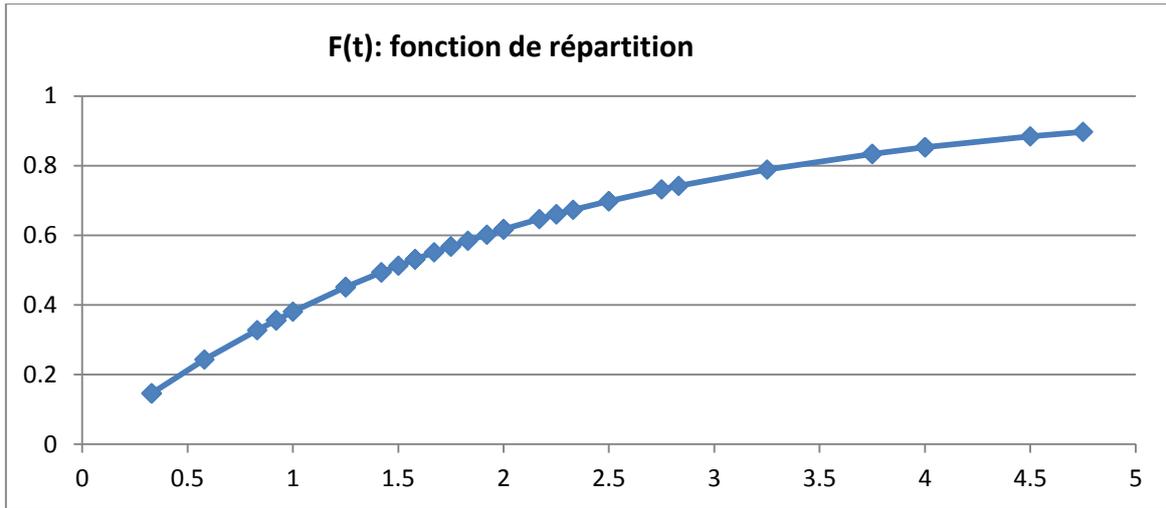


Figure 4.7 : Courbe de fonction de r épartition.

### Analyse de la courbe $F(t)$ :

Cette courbe de fonction de r épartition montre que la r éparation des d éfaillances augmente avec le temps, et cela veut dire que notre équipement est dans l'état de dégradation.

### 4.2.10. La maintenabilité $M(t)$ :

Pour un technicien de maintenance, la maintenabilité est la capacité d'un équipement à être rétabli lorsqu'un besoin de maintenance apparaît. L'idée de « facilité de maintenir » se matérialise par des mesures réalisées à partir des durées d'intervention.

Il est évident que la maintenabilité intrinsèque est le facteur primordial pour que la maintenance soit performante sur le terrain. En effet, une amélioration ultérieure de la maintenabilité initiale n'est jamais chose facile.

Il est donc indispensable que la maintenance sache définir ses besoins et les intégrer au cahier des charges d'un équipement nouveau afin que celui-ci puisse être facilement maintenable.

#### 4.2.10.1. Calcul de la maintenabilité $M(t)$ pour notre équipement :

$$MTTR = \frac{1}{\mu}; \quad (8)$$

$$MTTR = \frac{\sum TTR}{N} \quad (9)$$
$$= 2,16;$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \quad (10)$$
$$= 0,46;$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (11)$$

$$M(t) = 0,6297$$

## CHAPITRE 4 : ETUDE FMD DE L'ACCOUPLLEMENT « HOLSET »

TTR	$M(t)=1-e^{-\mu t}$	TTR	$M(t)=1-e^{-\mu t}$
0,33	0,146	1,92	0,602
0,33	0,146	2,00	0,617
0,33	0,146	2,00	0,617
0,33	0,146	2,00	0,617
0,58	0,243	2,00	0,617
0,83	0,328	2,17	0,647
0,92	0,356	2,25	0,660
0,92	0,356	2,33	0,673
1,00	0,381	2,50	0,698
1,25	0,451	2,50	0,698
1,25	0,451	2,75	0,732
1,25	0,451	2,83	0,742
1,42	0,494	3,17	0,782
1,42	0,494	3,25	0,789
1,50	0,513	3,75	0,834
1,58	0,531	3,75	0,834
1,58	0,531	4,00	0,853
1,58	0,531	4,00	0,853
1,58	0,531	4,50	0,884
1,67	0,551	4,75	0,897
1,75	0,568	4,83	0,901
1,75	0,568	6,17	0,948
1,83	0,584		
		Total = 97,4 h	

Tableau 4.4 : Evolution de M(t) en fonction des TTR enregistrés.

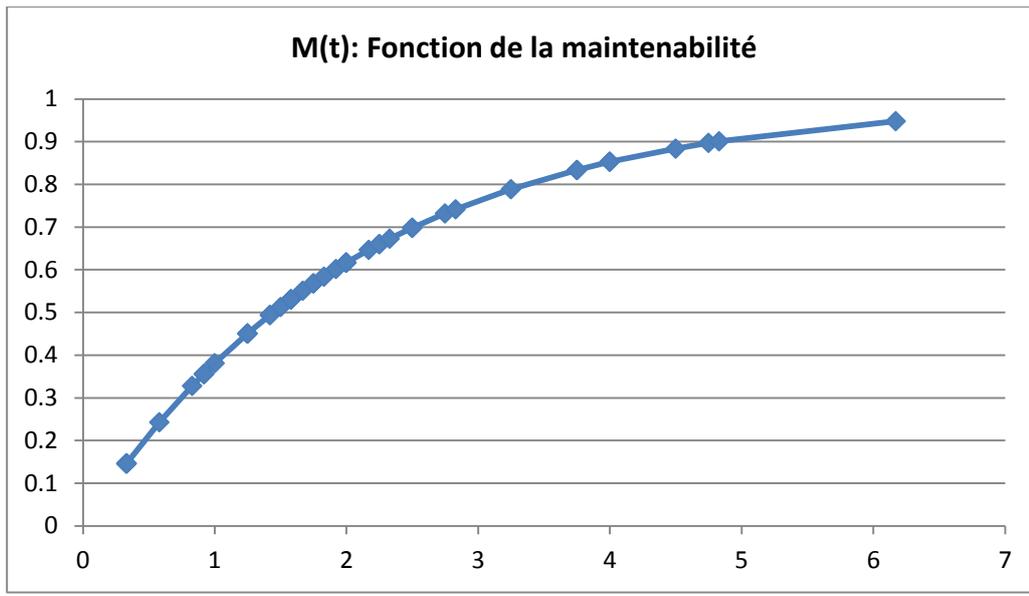


Figure 4.8 : Courbe de fonction de maintenabilité

### Analyse de la courbe $M(t)$ :

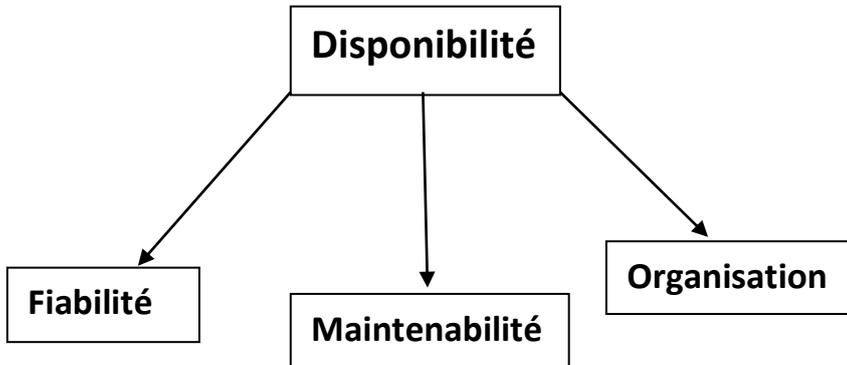
Notre but d'analyser la maintenabilité c'est de réduire le nombre des pannes sur notre équipement et trouver des solutions.

Notre courbe qui représente la maintenabilité montre que cette dernière a une relation proportionnelle avec le temps de réparation. Cela veut dire que l'équipement entre nos mains n'est pas assez bien maintenu.

**4.2.11. La disponibilité  $D(t)$  :**

**4.2.11.1. Notion g é néral sur la disponibilité :**

L'objectif du service de maintenance est d'assurer la disponibilité optimale au moindre cout. Cette disponibilité d é p é nd, essentiellement, des trois param è res pr é sent é s ci-dessous :



La disponibilité est l'aptitude d'un bien, sous les aspects combinés de sa fiabilité, maintenabilité et de l'organisation de sa maintenance, à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions de temps d é termin é es.

Une haute disponibilité exige une excellente fiabilité, mais aussi une bonne maintenabilité

**4.2.11.2. Calcul de la disponibilité  $D(t)$  pour notre é quipement :**

**La disponibilité moyenne :**

$$MTBF = \frac{\sum TBF}{N} \tag{11}$$

$$\frac{7468,9}{45} = 165,97 \text{ h};$$

$$Dm = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \tag{12}$$

$$165,97 / (165,97 + 2,16) = \mathbf{0,9871}$$

**La disponibilité instantané :**

$$D(t) = \frac{\mu}{\mu + \lambda} + \frac{\lambda}{\mu + \lambda} e^{-(\mu + \lambda)t} \tag{13}$$

$$D(t) = \frac{0,46}{0,46 + 0,011} + \frac{0,011}{0,46 + 0,011} e^{-(0,46 + 0,011)t}$$

TTR	D <sub>m</sub> (t)	TTR	D <sub>m</sub> (t)
0,33	0,999	1,92	0,957
0,33	0,999	2,00	0,947
0,33	0,999	2,00	0,932
0,33	0,999	2,00	0,927
0,58	0,998	2,00	0,924
0,83	0,997	2,17	0,915
0,92	0,997	2,25	0,894
0,92	0,997	2,33	0,883
1,00	0,994	2,5	0,859
1,25	0,992	2,5	0,779
1,25	0,992	2,75	0,747
1,25	0,991	2,83	0,738
1,42	0,988	3,17	0,716
1,42	0,986	3,25	0,711
1,50	0,984	3,75	0,651
1,58	0,979	3,75	0,636
1,58	0,978	4,00	0,589
1,58	0,977	4,00	0,494
1,58	0,977	4,50	0,459
1,67	0,975	4,75	0,424
1,75	0,973	4,83	0,292
1,75	0,971	6,17	0,096
1,83	0,959		

Tableau 4.5. Évolution les différentes valeurs de la disponibilité

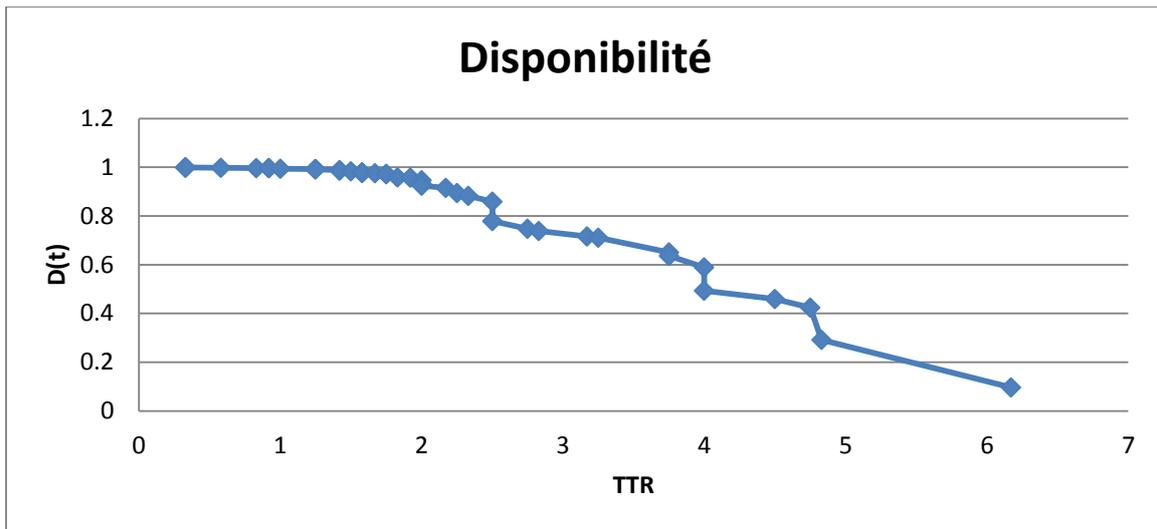


Figure 4.9 : Courbe de fonction de disponibilité

**Analyse de la courbe :**

L'allure de notre courbe est en diminution avec la progression du temps. Dans notre cas, la disponibilité est entraînée de diminuer ce qui veut dire que la maintenance de l'équipement n'est pas correctement assurée.

**Détermination des autres cas d'étude**

Suite à la discussion de ces résultats avec le service maintenance de l'entreprise, il s'avère que :

1. Les TBF > 1000 h comportent aussi des temps d'arrêt importants de l'installation pour autre cause qu'une défaillance de l'accouplement HOLSET
2. Les TBF < 10 h pourraient être dus en général à des défauts de montage ou à des pièces non conformes fabriquées par l'atelier de maintenance.

Par conséquent ; nous proposons une autre étude FMD en éliminant les deux catégories de TBF qui perturbent le cours régulier des interventions. Cette seconde étude est dénommée cas 2. Pour notre deuxième cas, Le tableau 4-1 devient :

<b>TBF1 :</b> 553,58	<b>TBF7 :</b> 72,08	<b>TBF13 :</b> 42,75	<b>TBF19 :</b> 321,91	<b>TBF25 :</b> 25,5
<b>TBF2 :</b> 67,24	<b>TBF8 :</b> 356,75	<b>TBF14 :</b> 95,41	<b>TBF20 :</b> 59,58	<b>TBF26 :</b> 65,16
<b>TBF3 :</b> 24,41	<b>TBF9 :</b> 312,58	<b>TBF15 :</b> 74,25	<b>TBF21 :</b> 119,91	<b>TBF27 :</b> 15,33
<b>TBF4 :</b> 482,25	<b>TBF10 :</b> 162,41	<b>TBF16 :</b> 67,24	<b>TBF22 :</b> 17,66	<b>TBF28 :</b> 27,75
<b>TBF5 :</b> 141	<b>TBF11 :</b> 193,91	<b>TBF17 :</b> 167,74	<b>TBF23 :</b> 105,08	<b>TBF29 :</b> 19,16
<b>TBF6 :</b> 43,33	<b>TBF12 :</b> 23,49	<b>TBF18 :</b> 68,5	<b>TBF24 :</b> 36,41	

Tableau 4-6 : Liste des TBF, en heures, retenus pour le cas 2.

**4.3. Etude FMD pour le deuxième cas :**

TBF	ni	∑ ni	F(ti)	f(ti)%
15,33	1	1	0,033	3,33
17,66	1	2	0,066	6,66
19,16	1	3	0,10	10
23,49	1	4	0,133	13,33
24,41	1	5	0,166	16,66
25,5	1	6	0,20	20
27,5	1	7	0,233	23,33
36,41	1	8	0,266	26,66
42,75	1	9	0,30	30
43,33	1	10	0,333	33,33
59,58	1	11	0,366	36,66
65,16	1	12	0,40	40
67,24	2	14	0,466	46,66
68,5	1	15	0,50	50
72,08	1	16	0,533	53,33
74,25	1	17	0,566	56,66
95,41	1	18	0,6	60
105,08	1	19	0,633	63,33
119,91	1	20	0,666	66,66
141	1	21	0,70	70
162,41	1	22	0,733	73,33
167,74	1	23	0,766	76,66
193,91	1	24	0,80	80
312,58	1	25	0,833	83,33
321,91	1	26	0,866	86,66
356,75	1	27	0,90	90
482,25	1	28	0,933	93,33
553,58	1	29	0,966	96,66

Tableau 4-7 : la fonction de répartition cumulée pour le cas 2.

Selon le papier Weibull on à trouver les résultats suivants :

$\beta = 0,52 \quad \Longrightarrow \quad \mathbf{A} = 2$

$\eta = 150$  heures

$\gamma = 0$

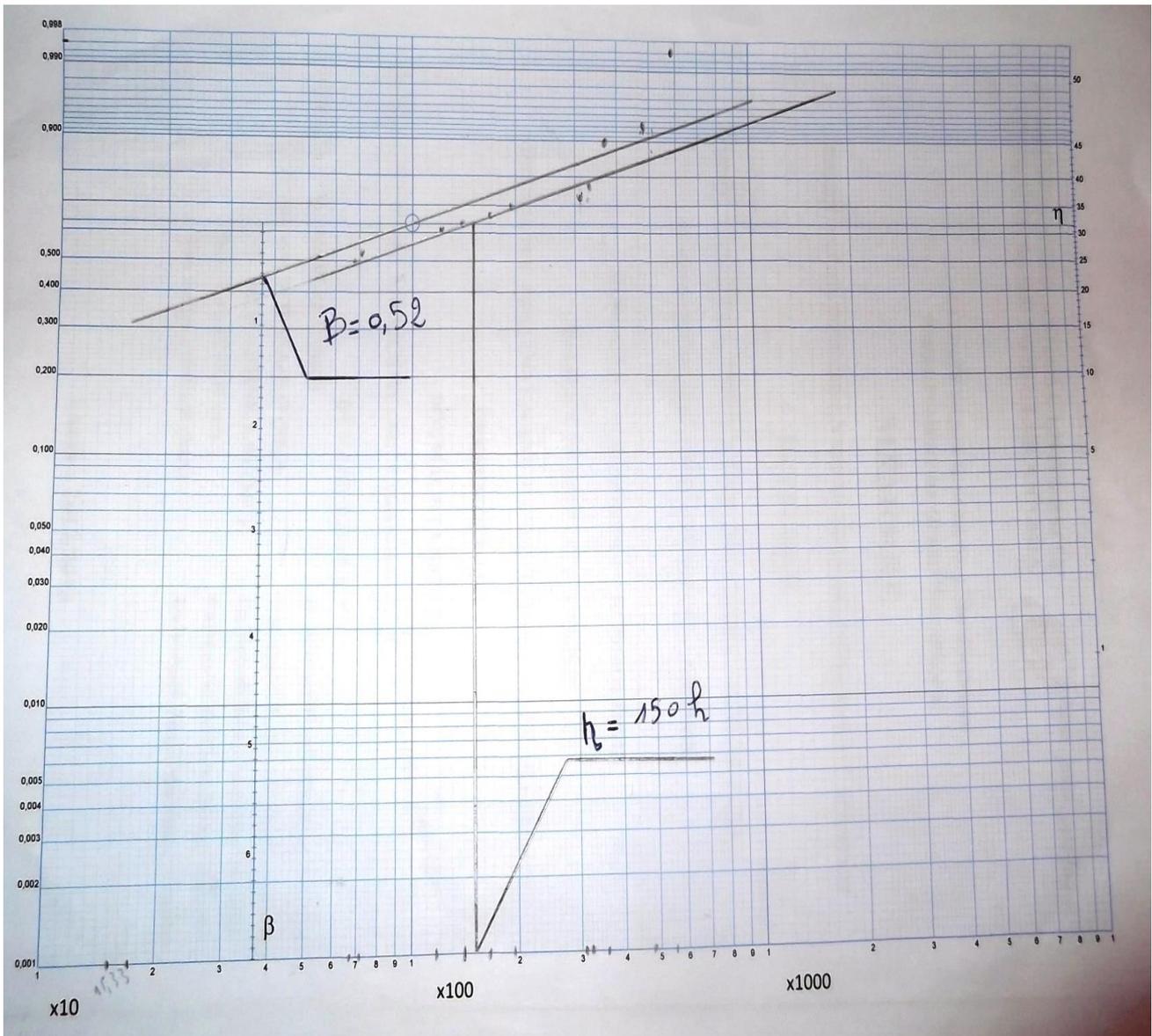


Figure : 4.10 : courbe de Weibull cas 2.

**4.3.1. Détermination de la MTBF :**

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

$$MTBF = 2 * 150 + 0 = 300 h$$

**4.3.2. Détermination de la probabilité de défaillance R(T):**

$$R(T) = e^{-\left[\frac{(MTBF-\gamma)}{\eta}\right]^\beta}.$$

$$R(T) = e^{-\left[\frac{(300-0)}{150}\right]^{0,52}}$$

**R(T)=23,83%**

4.3.3. Détermination de la densité de probabilité :

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

$$f(t) = \frac{0,52}{150} \cdot \left(\frac{300-0}{150}\right)^{0,52-1} \cdot e^{-\left[\frac{(247,86-0)}{100}\right]^{0,45}}$$

**f(t) = 0,00059**

TBF	R (ti)	λ (ti)	f(t)= R(ti) * λ(ti)	F(t)= 1 - e <sup>-[(t-γ)/η]<sup>β</sup></sup>
15,33	0,73680	0,01034	0,00761	0,2632
17,66	0,71982	0,00966	0,00695	0,28018
19,16	0,70964	0,00929	0,00659	0,29036
23,49	0,68295	0,00842	0,00575	0,31705
24,41	0,67772	0,00827	0,00560	0,32228
25,5	0,67169	0,00809	0,00543	0,32831
27,5	0,66107	0,00781	0,00516	0,33893
36,41	0,61944	0,00682	0,00422	0,38056
42,75	0,59415	0,00632	0,00375	0,40585
43,33	0,59198	0,00627	0,00371	0,40802
59,58	0,53864	0,00538	0,00289	0,46136
65,16	0,52299	0,00516	0,00269	0,47701
67,24	0,51743	0,00508	0,00262	0,48257
68,5	0,51413	0,00504	0,00259	0,48587
72,08	0,50503	0,00491	0,00247	0,49497
74,25	0,49970	0,00484	0,00241	0,5003
95,41	0,45368	0,00429	0,00194	0,54632
105,08	0,43559	0,00410	0,00178	0,56441
119,91	0,41061	0,00385	0,00158	0,58939
141	0,37971	0,00356	0,00135	0,62029
162,41	0,35267	0,00333	0,00117	0,64733
167,74	0,34650	0,00327	0,00113	0,6535
193,91	0,31891	0,00305	0,00097	0,68109
312,58	0,23109	0,00243	0,00056	0,76891
321,91	0,22593	0,00239	0,00053	0,77407
356,75	0,20822	0,00228	0,00047	0,79178
482,25	0,15954	0,00197	0,00031	0,84046
553,58	0,13919	0,00184	0,00025	0,86081

Tableau 4.8 : pour les différentes valeurs utilisées pour la distribution de Weibull (cas 2)

4.3.4. Pr é s e n t a t i o n g r a p h i q u e :

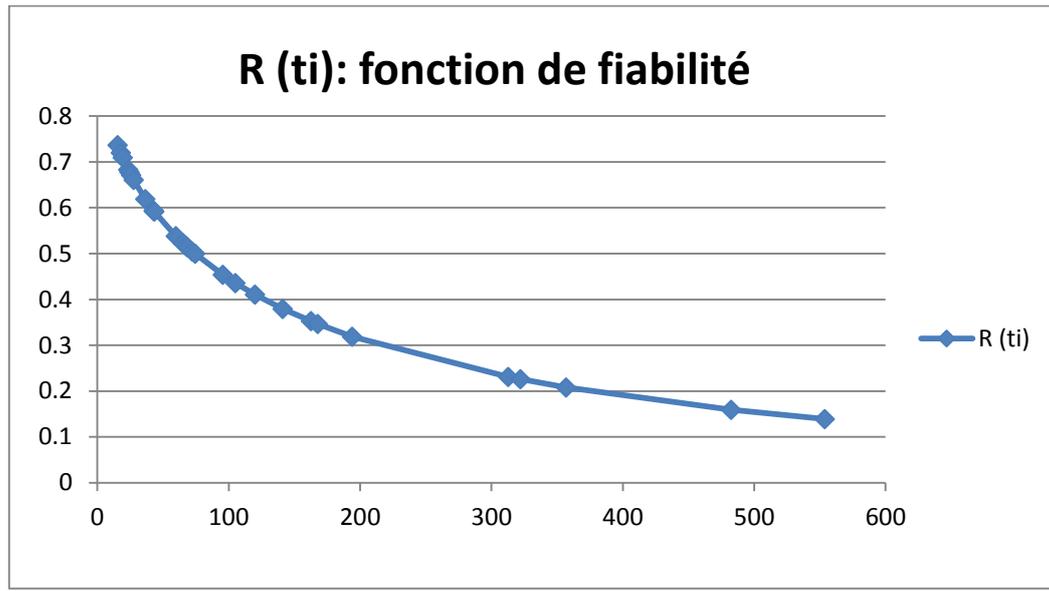


Figure 4.11 : courbe de fiabilité

Analyse de la courbe R (ti) :

Selon l'exploitation des paramètres de papier Weibull qui nous a donné la fiabilité  $R(t)$  diminue avec l'augmentation des TBF veut dire aussi qu'une mauvaise politique de maintenance appliquée sur l'équipement, ou bien la mauvaise exploitation de ce dernier puisque la valeur de  $\beta=0.45$  identifiée une période de jeunesse que la fiabilité devra normalement atteindre des valeurs importante, pour obtenir le maximum de rendement.

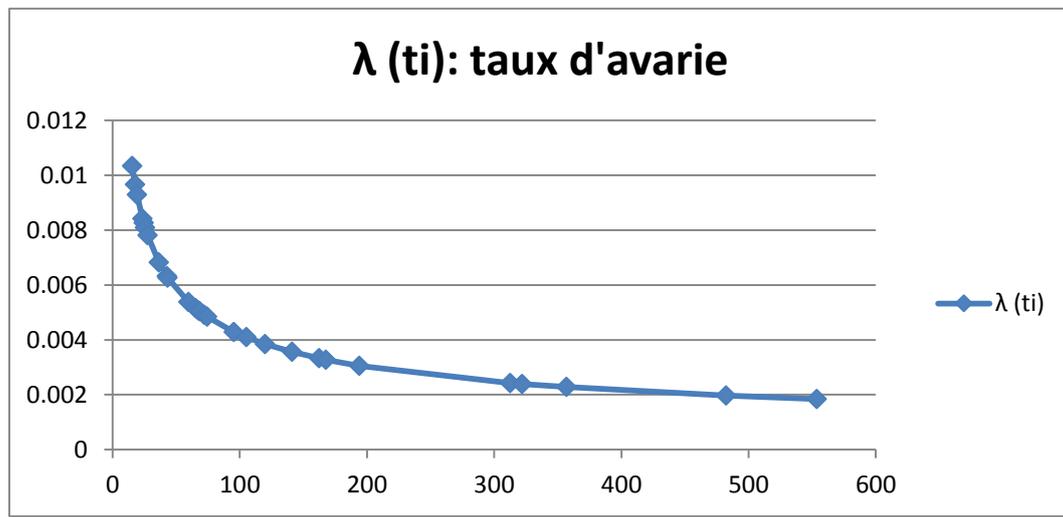


Figure 4.12 : courbe de taux d'avarie

Analyse de la courbe λ (ti) :

En comparant la courbe en baignoire avec les résultats les résultats obtenus dans notre application, on constate que le taux de défaillance diminue avec le temps ( $\beta < 1$ ) ce la correspond à la période de jeunesse ou d'usure.

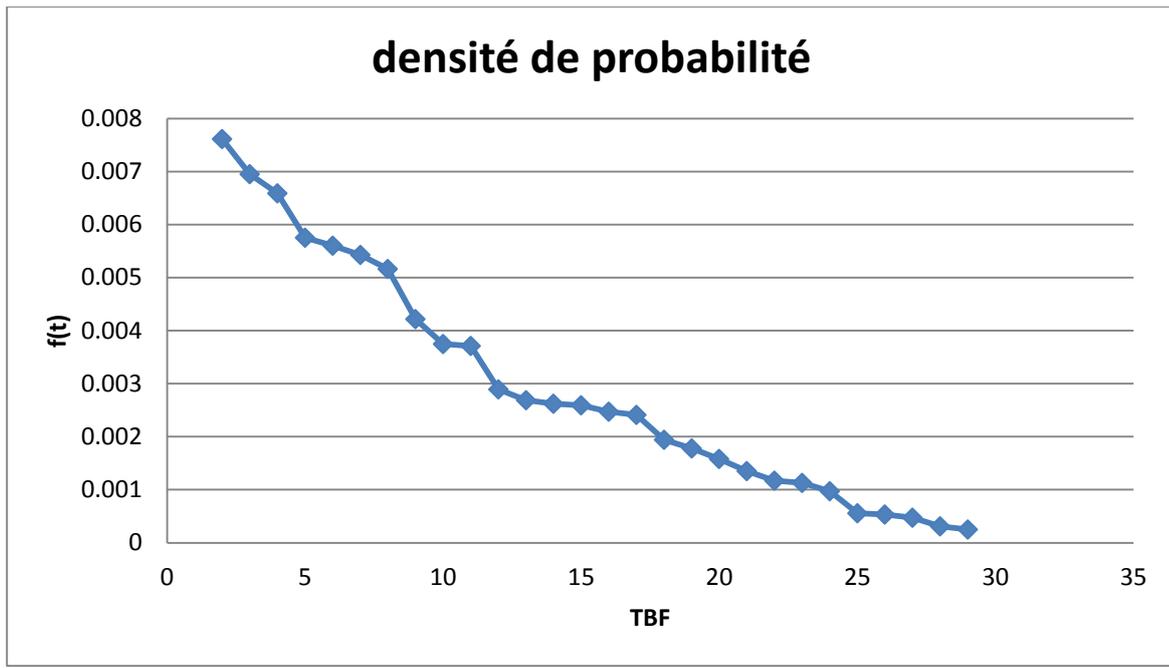


Figure 4.13 : Courbe de fonction de répartition.

### Analyse de la courbe $f(t)$ :

Cette fonction aint été de nous montrer la distribution des pannes autour de la moyenne de temps de bon fonctionnement d'un équipement, est dans notre cas, la densité de probabilité à tendance de diminuer avec l'augmentation de la TBF.

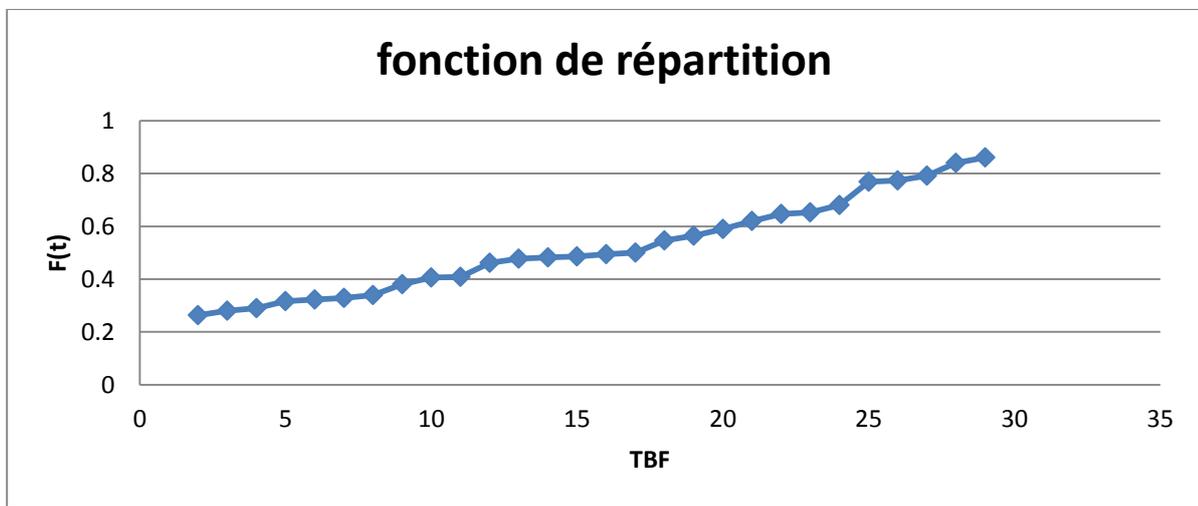


Figure 4.14 : Courbe de densité de probabilité

### Analyse de la courbe $F(t)$ :

Cette courbe de fonction de répartition montre que la réparation des défaillances augmente avec le temps, et ça veut dire que notre équipement est dans l'état de dégradation.

**4.3.5. La maintenabilité  $M(t)$  :**

**4.3.5.1. Calcul de la maintenabilité  $M(t)$  pour notre équipement :**

$$MTTR = 1/\mu ;$$

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

$$\frac{51,91}{29} = 1,79 ;$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{1,79} = 0,56;$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (11)$$

$$M(t) = \mathbf{0,6330}$$

TTR	$M(t)=1-e^{-\mu t}$	TTR	$M(t)=1-e^{-\mu t}$
0,33	0,168	1,75	0,624
0,58	0,277	1,75	0,624
0,83	0,371	1,92	0,658
0,92	0,402	2,00	0,673
0,92	0,402	2,00	0,673
1,00	0,428	2,00	0,673
1,25	0,503	2,17	0,703
1,25	0,503	2,25	0,716
1,42	0,548	2,33	0,728
1,42	0,548	2,50	0,753
1,50	0,568	2,50	0,753
1,58	0,587	2,75	0,785
1,58	0,587	3,75	0,877
1,58	0,587	4,50	0,919
1,58	0,587		
		<b>Total=51,91</b>	
		<b>h</b>	

Tableau 4-9 : Évolution les différentes valeurs pour la mesure de la maintenabilité cas 2

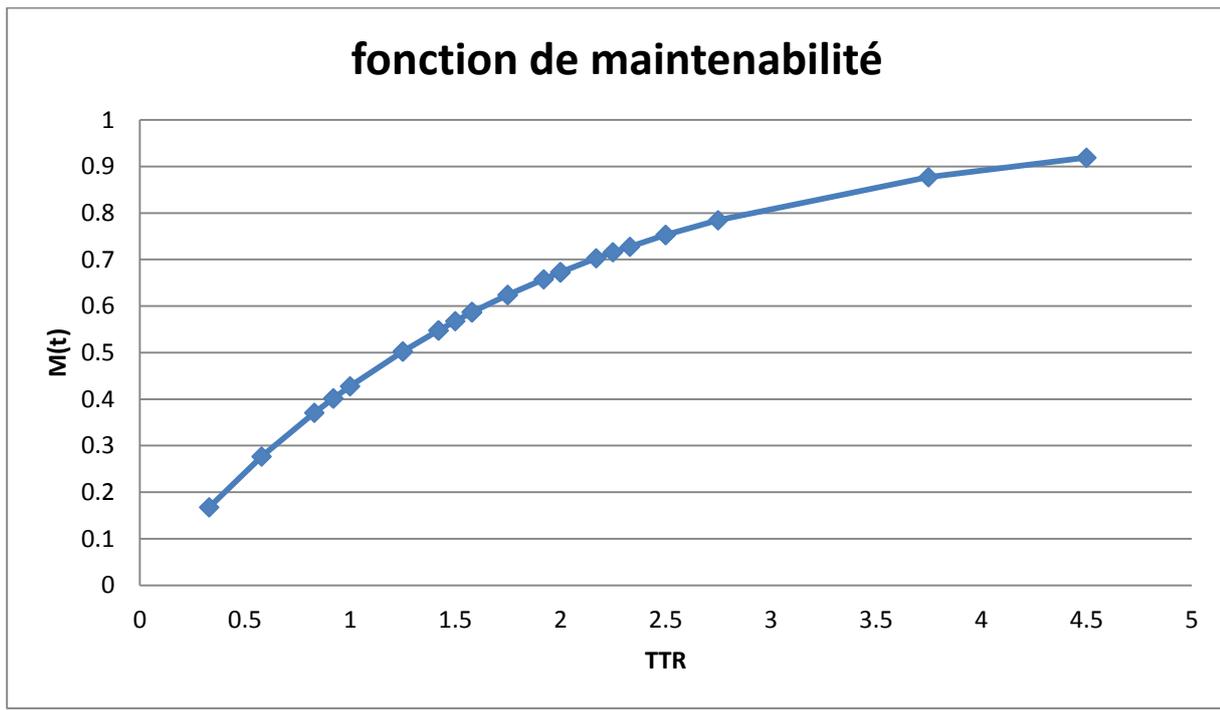


Figure 4.15 : Courbe de la fonction maintenabilité.

### Analyse de la courbe $M(t)$ :

Notre but d'analyser la maintenabilité c'est de réduire le nombre des pannes sur notre équipement et trouver des solutions.

Notre courbe qui représente la maintenabilité montre que cette dernière a une relation proportionnelle avec le temps de réparation. Cela veut dire que l'équipement entre nos mains n'est pas assez bien maintenu.

**4.3.6. La disponibilité  $D(t)$  :**

**4.3.6.1. Calcul de la disponibilité  $D$**

La disponibilité moyenne :

$$MTBF = \frac{\sum TBF}{N}$$

$$\frac{3694,88}{29} = 127,41 \text{ h;}$$

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

$$\frac{127,41}{127,41 + 1,79} = 0,9861$$

La disponibilité instantanée:

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

$$D(t) = \frac{0,56}{0,56 + 0,005} + \frac{0,005}{0,56 + 0,005} e^{-(0,56 + 0,005)t}$$

<b>TTR</b>	<b>D(t)</b>	<b>TTR</b>	<b>D(t)</b>
<b>0,33</b>	<b>0,999</b>	<b>1,75</b>	<b>0,974</b>
<b>0,58</b>	<b>0,998</b>	<b>1,75</b>	<b>0,974</b>
<b>0,83</b>	<b>0,997</b>	<b>1,92</b>	<b>0,971</b>
<b>0,92</b>	<b>0,997</b>	<b>2,00</b>	<b>0,967</b>
<b>0,92</b>	<b>0,997</b>	<b>2,00</b>	<b>0,955</b>
<b>1,00</b>	<b>0,994</b>	<b>2,00</b>	<b>0,955</b>
<b>1,25</b>	<b>0,992</b>	<b>2,17</b>	<b>0,943</b>
<b>1,25</b>	<b>0,992</b>	<b>2,25</b>	<b>0,924</b>
<b>1,42</b>	<b>0,990</b>	<b>2,33</b>	<b>0,916</b>
<b>1,42</b>	<b>0,988</b>	<b>2,50</b>	<b>0,907</b>
<b>1,50</b>	<b>0,985</b>	<b>2,50</b>	<b>0,903</b>
<b>1,58</b>	<b>0,983</b>	<b>2,75</b>	<b>0,874</b>
<b>1,58</b>	<b>0,979</b>	<b>3,75</b>	<b>0,824</b>
<b>1,58</b>	<b>0,978</b>	<b>4,50</b>	<b>0,773</b>
<b>1,58</b>	<b>0,977</b>		

Tableau 4.10. Évolution les différentes valeurs pour la mesure de la disponibilité (cas 2)

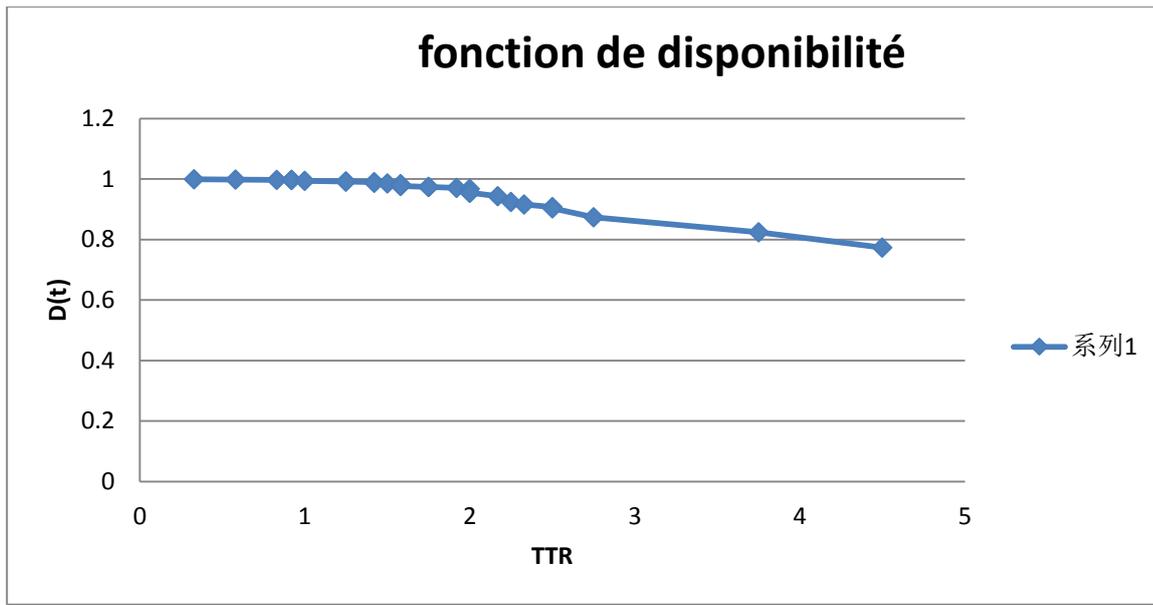


Figure 4.16 : Courbe de la fonction disponibilité

**Analyse de la courbe :**

L'allure de notre courbe nous a donné une stabilisation au début et puis une diminution de la valeur de disponibilité avec la progression de temps.

Tous ça veut dire que la maintenance de l'équipement est entrain de diminuer leur efficacité avec le temps. Est ça montre que la maintenance de l'équipement n'est pas bien faite.

**4.4. Cas 3 :**

Ce cas est déduit des données de 2008 [6] incluant tous les TBF :

**4.4.1. Calcul de la maintenabilité**

$$MTTR = \frac{\sum TTR}{N} \quad (9)$$

**= 1,82 ;**

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \quad (10)$$

$\mu = 0,549;$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (11)$$

$M(t) = 0,6318$

### 4.4.2. Calcul de la disponibilité $D(t)$ :

La disponibilité moyenne :

$$MTBF = \frac{\sum TBF}{N} \quad (11)$$

$$\frac{4287,14}{37} = 115,86 \text{ h};$$

$$Dm = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (12)$$

$$115,86 / (115,86 + 1,82) = 0,9845$$

La disponibilité instantanée:

$$D(t) = \frac{\mu}{\mu + \lambda} + \frac{\lambda}{\mu + \lambda} e^{-(\mu + \lambda)t} \quad (13)$$

$$D(t) = \frac{0,549}{0,549 + 0,0048} + \frac{0,0048}{0,549 + 0,0048} e^{-(0,549 + 0,0048)t}$$

## 4.5. Cas 4 :

### Cas 2008 (TBF valides) :

Après l'élimination des TBF aberrantes (>1000 h et <10 h), avec le model de Weibull on a trouv é que :

$$\beta = 0,95 ; \quad \eta = 250 \text{ h} ;$$

$$\Rightarrow A = 1,0234 ;$$

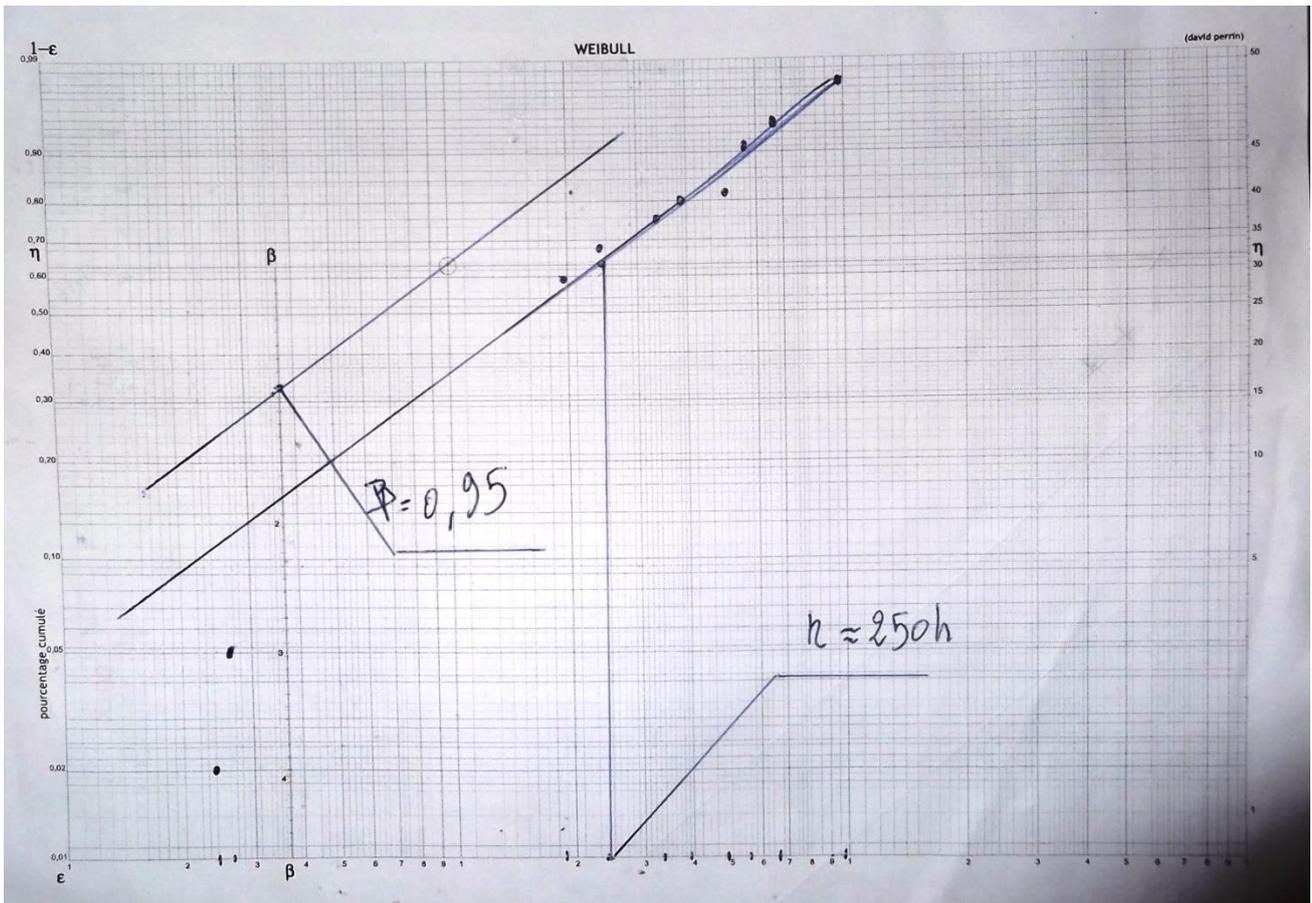


Figure 4.17. Courbe de Weibull cas 4

### 4.5.1. Détermination de la MTBF :

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

$$MTBF = 1,0234 * 250 + 0 = 255,85 \text{ h}$$

### 4.5.2. Détermination de la probabilité de défaillance R(T):

$$R(T) = e^{-\left[\frac{(MTBF-\gamma)}{\eta}\right]^\beta} ;$$

$$R(T) = 35,97\% ;$$

## CHAPITRE 4 : ETUDE FMD DE L'ACCOUPLLEMENT « HOLSET »

TBF	R(ti)	$\lambda(ti)$
24	0,89768	0,00427
25,83	0,8907	0,00425
26,25	0,88911	0,00425
28,91	0,87914	0,00423
33,16	0,86352	0,0042
36,16	0,85272	0,00418
37,33	0,84855	0,00417
64,5	0,75875	0,00406
65,33	0,75619	0,00406
73,08	0,73281	0,00404
83,25	0,7034	0,00401
90,08	0,68441	0,00399
90,16	0,68419	0,00399
91,58	0,68032	0,00399
99	0,66049	0,00398
105,75	0,64301	0,00396
115,75	0,61805	0,00394
118,83	0,61059	0,00394
126,33	0,59282	0,00393
128,58	0,5876	0,00392
188,83	0,464872	0,00385
195,75	0,45265	0,00384
203,41	0,43951	0,00383
240,91	0,38082	0,0038
310,66	0,29252	0,00375
316,25	0,28644	0,00375
339,08	0,26294	0,00374
391,5	0,21626	0,00371
487	0,15196	0,00367
501,83	0,1439	0,00366
519,16	0,13504	0,00366
578,5	0,10872	0,00364
682	0,07468	0,00361
984,55	0,02529	0,00354

Tableau4.11 : pour les différentes valeurs utilisées pour la distribution de Weibull (cas 4).

5.5.3. Calcul de la maintenabilité é

$$\begin{aligned}
 MTTR &= \frac{\sum TTR}{N} & (9) \\
 &= \frac{54,763}{31}; \\
 &= \mathbf{1,77}
 \end{aligned}$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \quad (10)$$

$$\mu = \mathbf{0,564};$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (11)$$

$$M(t) = \mathbf{0,6732}$$

4.5.4. Calcul de la disponibilité éD(t):

La disponibilité é moyenne :

$$MTBF = \frac{\sum TBF}{N} \quad (11)$$

$$\frac{3249,24}{34} = 95,56 \text{ h};$$

$$Dm = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (12)$$

$$95,56 / (95,56 + 1,77) = \mathbf{0,9808}$$

La disponibilité é instantané:

$$D(t) = \frac{\mu}{\mu + \lambda} + \frac{\lambda}{\mu + \lambda} e^{-(\mu + \lambda)t} \quad (13)$$

$$D(t) = \frac{0,549}{0,549 + 0,0048} + \frac{0,0048}{0,549 + 0,0048} e^{-(0,549 + 0,0048)t}$$

**4.6. Discussion des cas étudiés :**

Pour discuter les résultats, nous les avons divisés en 4 cas et les paramètres importants sont illustrés dans les tableaux 4.12 et 4.12bis.

<b>Cas</b>	<b>Paramètre <math>\eta</math></b>	<b>Paramètre <math>\beta</math></b>	<b>MTBF, (h) (Modèle)</b>	<b>MTBF=<math>\Sigma</math>TBF/N (h)</b>	<b>MTTR (h)</b>
Cas 1 (2012)	100 h	0.45	247,86	165,97	2,16
Cas 2 (2012)	150 h	0.52	300	127,41	1,79
Cas 3 (2008)	196 h	0.90	207	228,14	1,82
Cas 4 (2008)	250 h	0.95	255,95	217,74	1,77

Tableau 4.12 : Comparaison des valeurs des paramètres du modèle de Weibull et des MTBF.

<b>cas</b>	<b><math>\lambda</math></b>	<b><math>\mu</math></b>	<b>R(t), %</b>	<b>M(t),%</b>	<b>Dm, %</b>
Cas 1 (2012)	0,011	0,462	22,26	62,97	98,71
Cas 2 (2012)	0,005	0,558	23,83	63,30	98,61
Cas 3 (2008)	0,0048	0,549	34,98	63,18	98,45
Cas 4 (2008)	0,0037	0,564	35,97	67,32	98,08

Tableau 4.12-bis. Évolution les différentes valeurs pour les quatre (4) cas FMD.

Graphiquement, on a les résultats suivants :

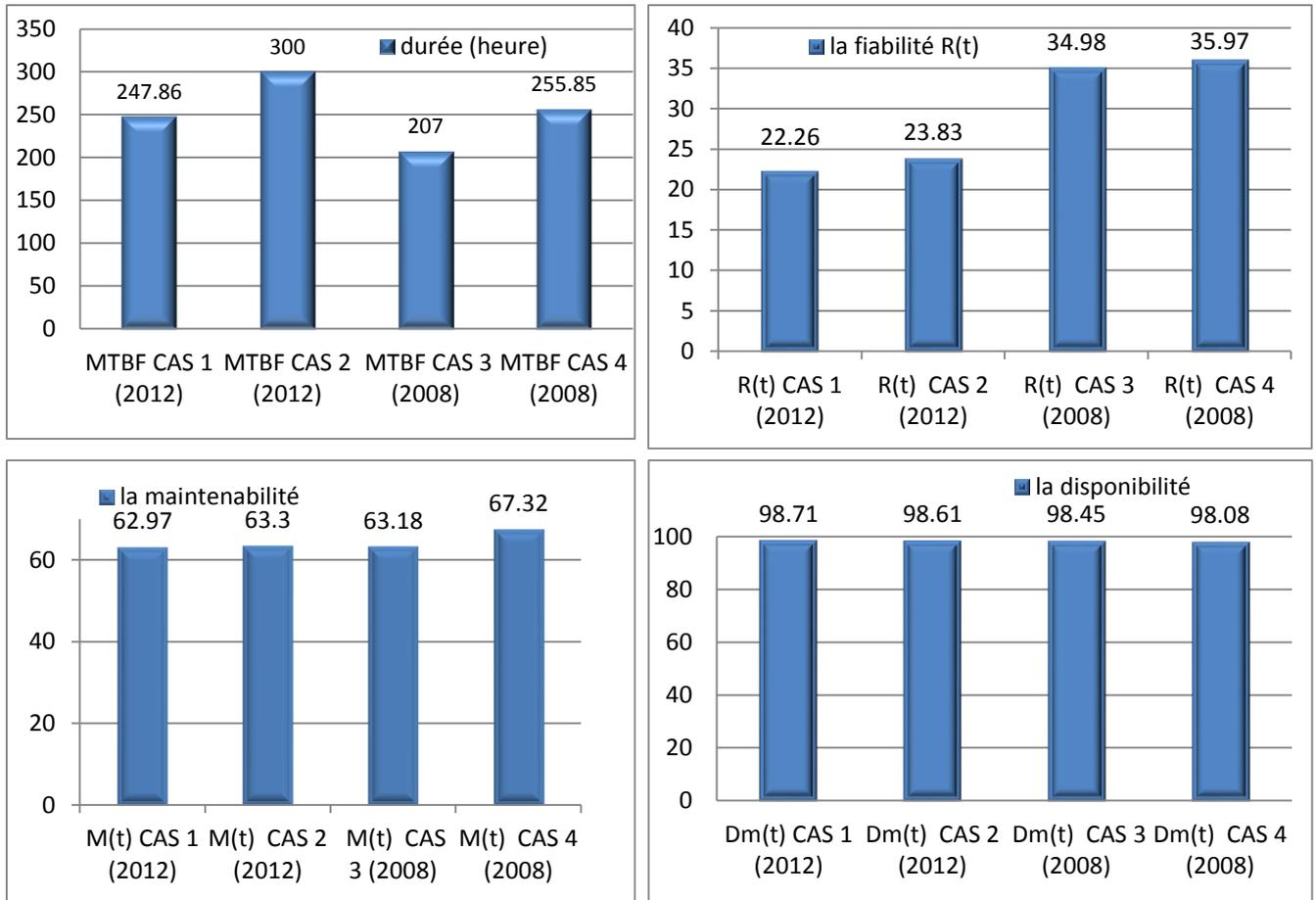


Figure 4.18 : histogrammes pour les différentes valeurs des 4 cas.

Dans le tableau 4.12, il ressort que les paramètres  $\eta$  et  $\beta$  sont ont rapport de 2 autre 2012 et 2008. Ce qui à priori indique une dégradation de la situation en 2012. En diminuant les valeurs anormales, les calculs sont plus précis et représente mieux la situation. En effet pour 2012, le paramètre  $\beta$  passe de 0,45 à 0,52 et  $\eta$  de 100 h à 150 h. comme avancé auparavant au cas de l'année 2008 où  $\beta$  passe de 0,90 à 0,95 et  $\eta$  de 196 h à 250 h.

Cette analyse se répercute sur les autres paramètres calculés. Pour la MTBF, on remarque que celle aussi du model de Weibull sont en général plus importants (tableau 4.12, colonne 4 et 5). De même pour les MTTR, elle augmente légèrement. Et la comparaison des cas 2 et 4 donne une variation négligeable impliquant des valeurs du taux de réparation à voisines. (Tableau 4.12 bis colonne 3).

Quand aux valeurs des fonctions FMD, elle indique aussi cette prestation. (Tableau 4.12 colonne 4-6).

Les valeurs des  $R(t)$  restent anormalement basses. Mais il ans a été expliqué que le mécanisme est utilisé pour les installations en aval. Ceci permet d'avoir plus d'arrêt à cause de cisaillement des goupilles, car les autres équipements sont très couteux mais  $M(t)$  reste acceptable.

En fin, concernant la disponibilité elle est acceptable et la valeur est importante car la différence entre MTBF et MTTR reste très grande (MTTR est négligeable de MTBF). Ces conclusions sont expliquées aussi dans la (Figure 4.17).

## 4.6.1. Présentation de la fiabilité pour les quatre cas :

Pour plus de clarté, on a aussi représenté  $R(t_i)$  en fonction du temps pour les 4 cas (Figure 4.19 et 4.20)

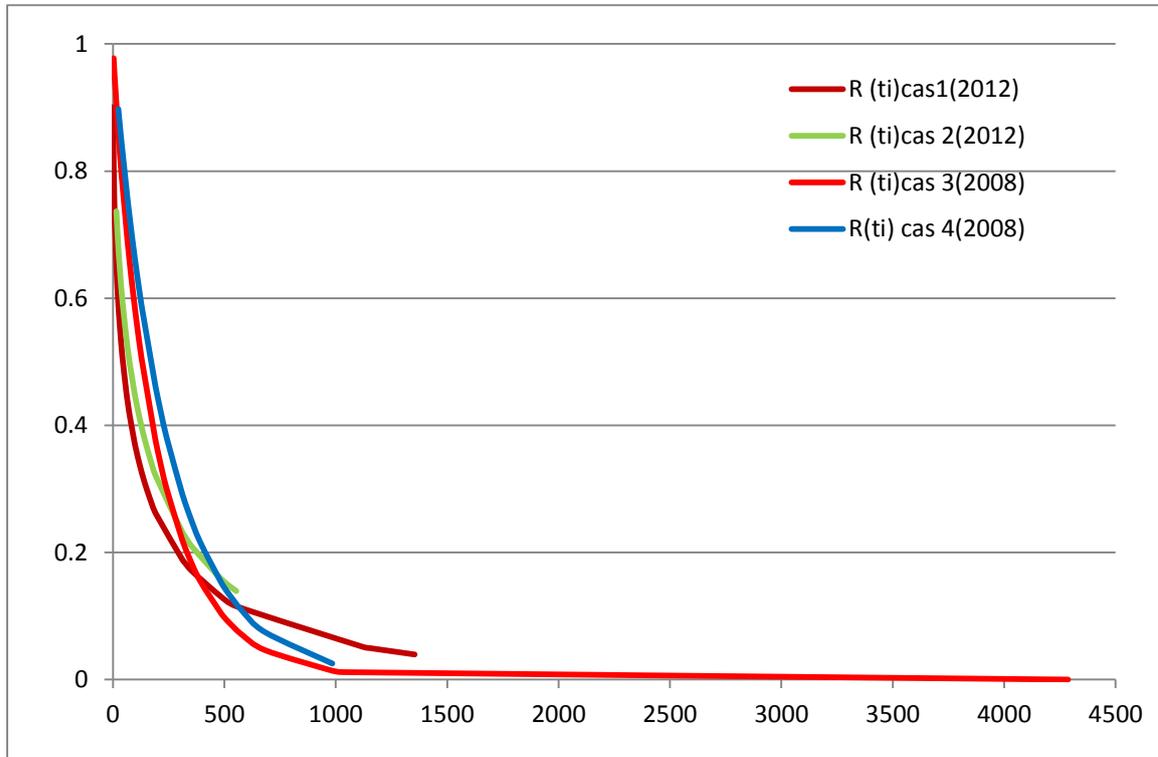


Figure 4.19 : Courbe de fiabilité pour les quatre (4) cas.

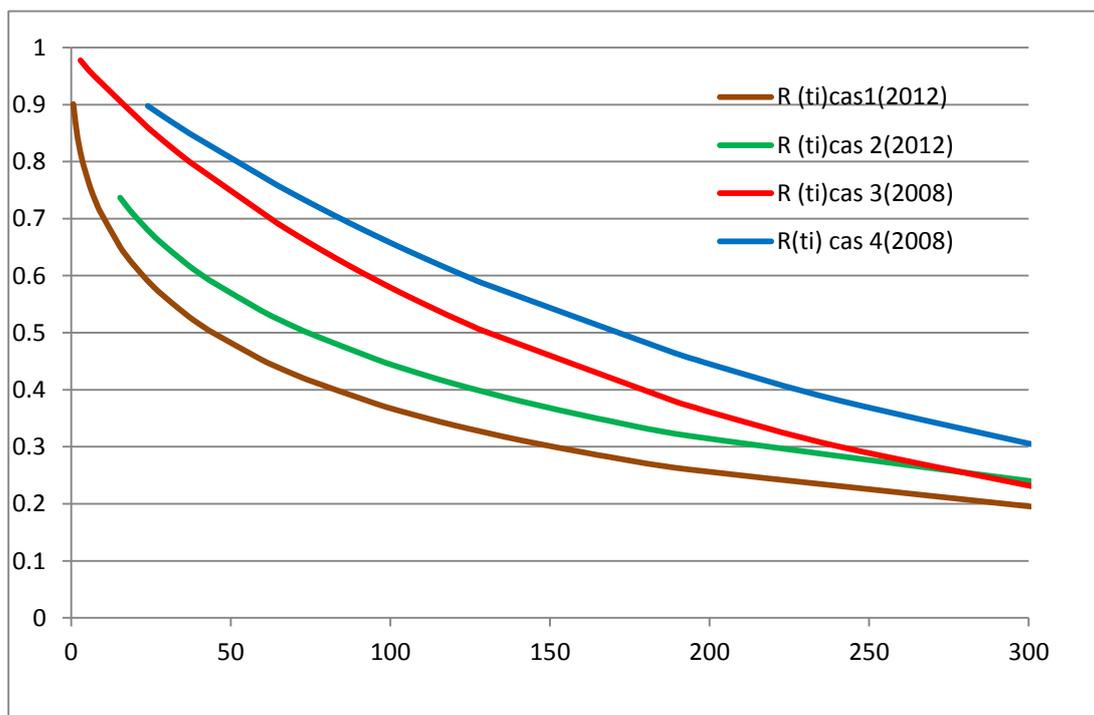


Figure 4.20 : courbe de fiabilité pour les quatre cas jusqu'au maximum de MTBF.

## CHAPITRE 4 : ETUDE FMD DE L'ACCOUPLLEMENT « HOLSET »

On remarque que l'évolution de  $R(t)$  se fait suivant l'ordre : cas 4 suivis des cas 3, 2 et 1 dans l'ordre. (Figure 4.20) ceci implique qu'il y a une dégradation on vieillissement des matériels.

### 4.6.2. Présentation graphique des taux de défaillance pour les quatre cas :

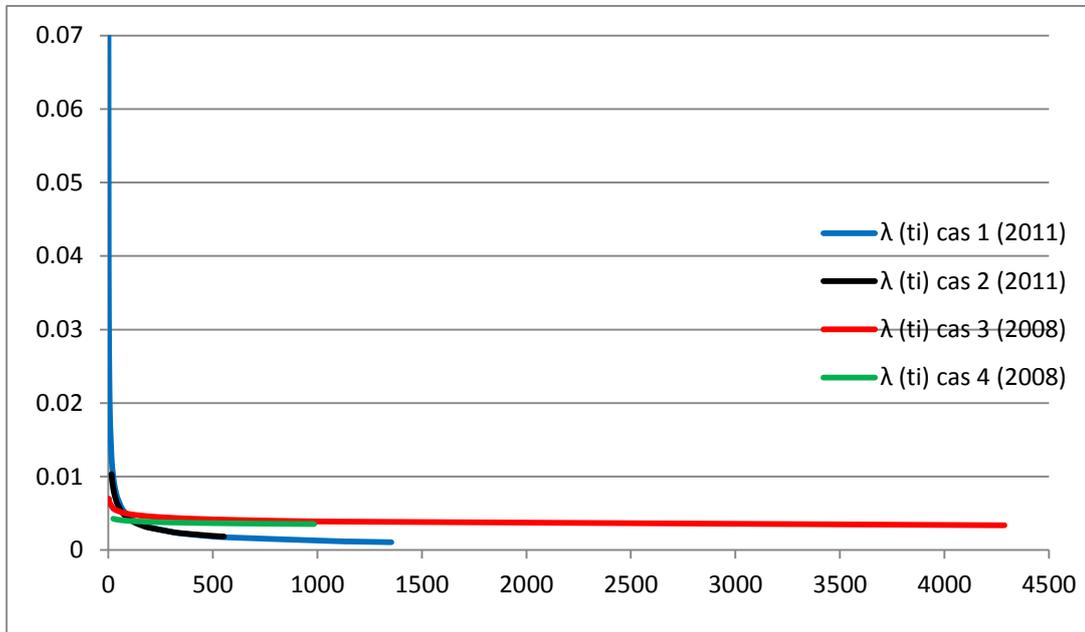


Figure 4.21 : Courbe de taux de défaillance pour les quatre (4) cas.

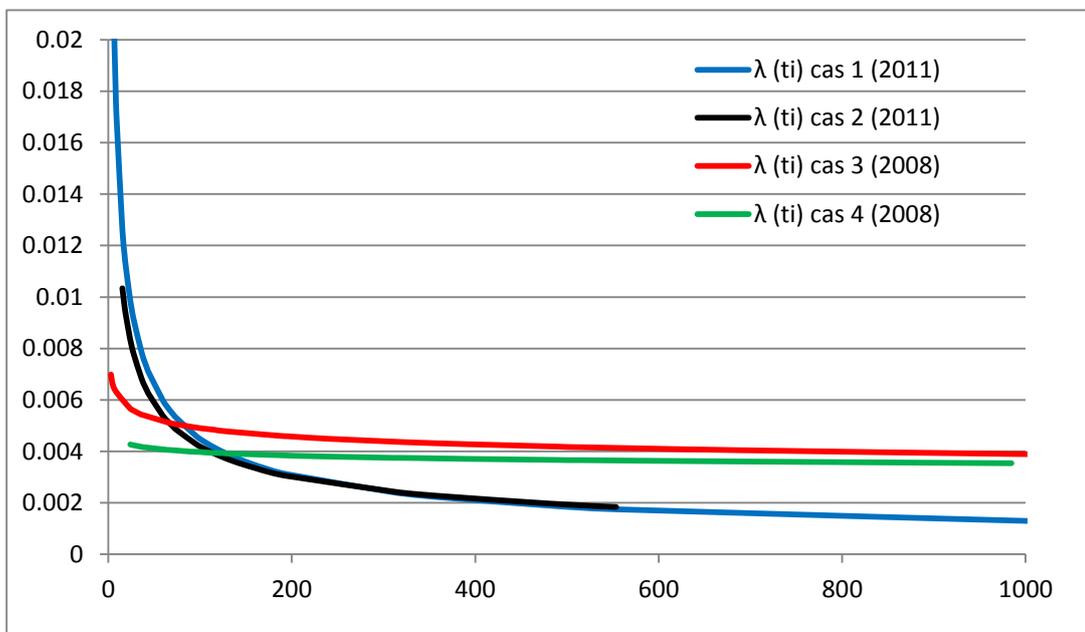


Figure 4.22 : courbe de taux de défaillance pour les quatre(4) cas avec simplification sur la zone importante.

## CHAPITRE 4 : ETUDE FMD DE L'ACCOUPLLEMENT « HOLSET »

---

Pour le taux de défaillance (Figure 4.21 et 4.22), il n'y a pas une conclusion claire, mais pour les petit temps, le cas 1 reste le plus mauvais.

Cette étude a montré qu'il est possible de faire profiter le service maintenance des méthodes basées sur les analyses FMD pour améliorer la disponibilité. Il faut noter qu'une étude de l'historique est importante car plus l'historique est fiable plus les résultats sont exploitables et contribuent à optimiser les interventions de maintenance.

## CONCLUSION

Cette étude a été intéressante à plusieurs niveaux. Elle a permis de faire une idée complète sur les mécanismes de transmission de mouvements et surtout leurs défaillances durant le service. Aussi, elle a été un exemple instructif sur les goupilles d'accouplement et leur utilisation dans les accouplements HOLSET comme moyen de réduire l'impact d'une défaillance et préserver le reste de l'installation.

Au niveau de l'historique, nous avons remarqué qu'une attention particulière doit être accordée aux valeurs des temps d'arrêts enregistrées. Notre analyse a permis de dégager 2 types de données avec l'aide du service maintenance de la TSS (cas 1 : tous les TBF enregistrés et cas 2 : les TBF réguliers). En effet, suite à la discussion de cette approche concernant les TBF très élevés ou anormalement bas, il s'avère que :

1. Les TBF > 1000 h comportent aussi des temps d'arrêt importants de l'installation pour d'autres causes qu'une défaillance de l'accouplement HOLSET, comme les révisions d'autres parties de l'installation.
2. Les TBF < 10 h pourraient être dus en général à des défauts de montage ou à des pièces non conformes fabriquées par l'atelier de maintenance.

Par conséquent ; nous avons proposé une analyse des résultats FMD en éliminant les deux catégories de TBF qui ont perturbé le cours régulier des interventions. Les résultats obtenus sont résumés dans les 2 tableaux suivants :

Cas étudiés	Données TBF	Paramètre $\eta$	Paramètre $\beta$	MTBF, (h) (Modèle)	MTBF= $\Sigma$ TBF/N (h)	MTTR (h)
Cas 1 (2012)	Toutes 2012	100 h	0.45	247,86	165,97	2,16
Cas 2 (2012)	régulières	150 h	0.52	300	127,41	1,79
Cas 3 (2008)	Toutes 2008	196 h	0.90	207	228,14	1,82
Cas 4 (2008)	régulières	250 h	0.95	255,95	217,74	1,77

Cas étudiés	$\lambda$	$\mu$	R(t), %	M(t), %	Dm, %
Cas 1 (2012)	0,011	0,462	22,26	62,97	98,71
Cas 2 (2012)	0,005	0,558	23,83	63,30	98,61
Cas 3 (2008)	0,0048	0,549	34,98	63,18	98,45
Cas 4 (2008)	0,0037	0,564	35,97	67,32	98,08

Il ressort que les paramètres  $\eta$  et  $\beta$  sont en rapport de 2 (c'est-à-dire : 2 fois) entre 2012 (cas 1 et 2) et 2008 (cas 3 et 4) respectivement. Ce qui a priori indique une dégradation de la situation en 2012 sur la base de tous les paramètres calculés. En ayant éliminé les valeurs anormales, les calculs sont devenus plus précis et représentent mieux la situation réelle de service. En effet pour 2012, le paramètre  $\beta$  passe de 0,45 à 0,52 et  $\eta$  de 100 h à 150 h alors que la MTBF calculée passe

de 127,4 h à 165,9 h ce qui peut nous induire en erreur avec une augmentation de MTBF non réelle. Ceci est aussi valable pour l'historique de 2008 où  $\beta$  passe de 0,90 à 0,95 et  $\eta$  de 196 h à 250 h alors que la MTBF serait plus intéressante pour le cas 3.

Cette analyse s'est répercutée sur les autres paramètres calculés. Pour la MTBF, on remarque que celle aussi du modèle de Weibull sont en général plus importants. De même pour les MTTR, elle augmente légèrement. La comparaison des cas 2 et 4 donne une variation négligeable impliquant des valeurs du taux de réparation à voisines.

Quand aux valeurs des fonctions FMD, elles indiquent aussi ce comportement dominé par une fiabilité relativement faible. Les valeurs des  $R(t)$  restent anormalement basses. Mais il nous a été expliqué que le mécanisme est utilisé pour protéger les installations en aval en causant un arrêt avec moins de dégâts. Ceci permet d'avoir plus d'arrêt à cause de cisaillement des goupilles, car les autres équipements sont très coûteux mais  $M(t)$  reste acceptable.

En fin, concernant la disponibilité elle est acceptable et la valeur est importante car la différence entre MTBF et MTTR reste très grande (MTTR est négligeable de MTBF). Ces conclusions sont expliquées aussi dans la (Figure 4.17).

Il serait préférable, si les données des autres années seraient disponibles de comparer durant plusieurs années l'évolution des paramètres FMD et faire une bonne analyse afin de déterminer si on doit continuer à utiliser un tel système ou évoluer vers un autre plus rentable en termes de TBF (plus grand). Aussi, l'étude doit être étendue aux équipements en aval de l'accouplement pour réduire le nombre d'arrêts non programmés.

- [1] : L. BENALI, **Maintenance Industrielle**, office des publications universitaires 2006.  
Edition 2.03.4860
- [2] : PIERRE AGATI, **Construction Mécanique «Transmission de Puissance Par Liens Flexible »**. DUNOD, PARIS, 1996.
- [3] : DOMINIQUE DUBUIS, **Accouplements D'arbres**. <http://www.bacsimargo.fr>.
- [4] : <http://www.lesdifférentsmodesdetransmissionsmécaniques.com>.
- [5] : Document du service de la maintenance TSS, consultant durant le stage pratique. Période : Mars-Avril 2014.
- [6] :Y. Ouadada et M. Ziani, **Etude des goupilles de cisaillement de laminoir de tubes 14" sans soudure**, Mémoire de Master MIFM, Département de Génie Mécanique, Université Badji Mokhtar Annaba, 2011.
- [7] : AFNOR, Recueil des normes Française.

## ANEXE 1 : HISTORIQUE DES PANNE POUR L'ACCOUPEMENT « HOLSET »

### Evolution du dossier historique des pannes

EQUIPEMENT	DESCRIPTION DE L'INTERVENTION	DATE	D ébut intervention	Fin intervention	Dur ée (h) intervention
ACCOUPEMENT HOLSET	CISAILLEMENT DES GOUPILLES AU COURS D'AMORSAGE	26/02/2012	10H05	11H45	1,67
ACCOUPEMENT HOLSET	CISAILLEMENT DES GOUPILLES.	20/03/2012	13H20	15H05	1,75
ACCOUPEMENT HOLSET	CISAILLEMENT GOUPILLE ET COINCEMENT AU NIVEAU ACCOUPEMENT HOLSET.	06/05/2012	10H10	14H10	4,00
ACCOUPEMENT HOLSET	CISAILLEMENT GOUPILLE ACCOUPEMENT HOLSET.	09/05/2012	09H25	11H40	2,25
ACCOUPEMENT HOLSET	CISAILLEMENT GOUPILLE ACCOUPEMENT HOLSET SUITE A LA CASSE DES MORTAISE MANDRIN.	10/05/2012	12H05	13H00	0,92
ACCOUPEMENT HOLSET	CISAILLEMENT GOUPILLE ACCOUPEMENT HOLSET.	30/05/2012	15H15	16H30	1,25
ACCOUPEMENT HOLSET	CISAILLEMENT GOUPILLE ACCOUPEMENT HOLSET.	05/06/2012	13H30	14H30	1,00
ACCOUPEMENT HOLSET	CISAILLEMENT GOUPILLE ACCOUPEMENT HOLSET.	07/06/2012	09H50	11H25	1,58
ACCOUPEMENT HOLSET	CISAILLEMENT GOUPILLE ACCOUPEMENT HOLSET.	10/06/2012	11H30	14H15	2,75
ACCOUPEMENT HOLSET	CISAILLEMENT GOUPILLE ACCOUPEMENT HOLSET.	25/06/2012	11H00	13H00	2,00
ACCOUPEMENT HOLSET	CISAILLEMENT GOUPILLE ACCOUPEMENT HOLSET.	08/07/2012	13H35	15H20	1,75
ACCOUPEMENT HOLSET	CISAILLEMENT GOUPILLE ACCOUPEMENT HOLSET.	15/07/2012	09H45	11H00	1,25
ACCOUPEMENT HOLSET	CISAILLEMENT GOUPILLE ACCOUPEMENT HOLSET.	23/07/2012	12H55	14H20	1,42
ACCOUPEMENT HOLSET	CISAILLEMENT GOUPILLE ACCOUPEMENT HOLSET.	24/07/2012	13H50	15H15	1,42

## ANEXE 1 : HISTORIQUE DES PANNE POUR L'ACCOUPLLEMENT « HOLSET »

ACCOUPLLEMENT HOLSET	CISAILLEMENT GOUPILLE ACCOUPLLEMENT HOLSET.	26/08/2012	10H00	12H00	2,00
ACCOUPLLEMENT HOLSET	SUITE A CHUTTE DE GOUPILLE CSAILLEE DELOGEMENT CACHE ACC - HOLSET, MISE EN PLACE CACHE ET CONTRÔLE GOUPILLES.	30/08/2012	11H25	11H45	0,33
ACCOUPLLEMENT HOLSET	CISAILLEMENT GOUPILLE ACCOUPLLEMENT HOLSET.	02/09/2012	14H00	15H35	1,58
ACCOUPLLEMENT HOLSET	EXTRACTION VIS CISAILLEE SUR GOUPILLE ACC - HOLSET, MONTAGE MONO BLOC ET SERRAGE ETRIERS.	06/09/2012	10H50	11H40	0,83
ACCOUPLLEMENT HOLSET	PROBLEME REPETITIF SUR L'ETRIERS GOUPILLE DE CISAILLEMENT.	06/09/2012	15H30	15H50	0,33
ACCOUPLLEMENT HOLSET	CISAILLEMENT DES GOUPILLE SUITE A UN LINGOT DE T °MINI (UN TEMPS DE SIIJOUR FAIBLE) APRES UN DECLENCHEMENT DU FOUR PAR MANQUE AZOTE (CFL).	13/09/2012	15H35	16H30	0,92
ACCOUPLLEMENT HOLSET	EXTRACTION DES VIS CISAILLES AU NIVEAU MONO BLOCS.	18/09/2012	05H00	06H35	1,58
ACCOUPLLEMENT HOLSET	CHANGEMENT GOUPILLES DE CISAILLEMENT.	01/10/2012	16H30	18H40	2,17
ACCOUPLLEMENT HOLSET	CISAILLEMENT DES GOUPILLES AU COURS DE LAMINAGE.	04/10/2012	06H15	07H45	1,50
ACCOUPLLEMENT HOLSET	CISAILLEMENT DES GOUPILLES AU COURS DE LAMINAGE.	04/10/2012	08H25	14H10	5,75

## ANEXE 1 : HISTORIQUE DES PANNE POUR L'ACCOUPLLEMENT « HOLSET »

ACCOUPLLEMENT HOLSET	CISAILLEMENT DES GOUPILLE AU COURS DE LAMINAGE, DEMONTAGE DES MONO-BLOCS + LES MORCEAUX PLUS L'AJUSTEMENT DE TOUTES LES DOUILLES AVEC MEULE, RETOUCHE DES GOUPILLES A DEUX REPRISES ET LE MONTAGE DES GOUPILLES RETOUCHEES A L'AIDE DE VERIN.	09/10/2012	14H05	17H50	3,75
ACCOUPLLEMENT HOLSET	CISAILLEMENT DES GOUPILLE AU COURS DE LAMINAGE, DEMONTAGE DES MONO-BLOCS + LES MORCEAUX PLUS ALIGNEMENT REPERE (F-FF, M-MM), RETOUCHE DES GOUPILLES A DEUX REPRISES ET LE MONTAGE DES GOUPILLES RETOUCHEES A L'AIDE DE VERIN.	10/10/2012	11H30	14H00	2,50
ACCOUPLLEMENT HOLSET	CISAILLEMENT DES GOUPILLE, DEMONTAGE DES MONO-BLOCS + LES MORCEAUX.	10/10/2012	19H45	21H00	1,25
ACCOUPLLEMENT HOLSET	SUITE DES TRAVAUX DE DEMONTAGE DES MONO-BLOCS + LES MORCEAUX.	11/10/2012	05H00	06H45	1,83
ACCOUPLLEMENT HOLSET	CISAILLEMENT GOUPILLES AU COURS DE LAMINAGE.	15/10/2012	15H50	18H10	2,33
ACCOUPLLEMENT HOLSET	CISAILLEMENT DES GOUPILLES AU COURS DE LAMINAGE.	17/10/2012	06H45	08H40	1,92
ACCOUPLLEMENT HOLSET	CISAILLEMENT DES GOUPILLES AU COURS DE LAMINAGE.	04/12/2012	12H05	13H00	0,92
ACCOUPLLEMENT HOLSET	SUITE DE CHANGEMENT GOUPILLES.	04/12/2012	13H00	15H15	2,25
ACCOUPLLEMENT HOLSET	CISAILLEMENT DES GOUPILLES AU COURS DE LAMINAGE.	04/12/2012	17H15	21H00	3,75
ACCOUPLLEMENT HOLSET	SUITE DE CHANGEMENT GOUPILLES.	05/12/2012	05H00	07H30	2,50
ACCOUPLLEMENT HOLSET	CISAILLEMENT DES GOUPILLES AU COURS DE LAMINAGE.	06/12/2012	09H00	13H00	4,00

3,17

## ANEXE 1 : HISTORIQUE DES PANNE POUR L'ACCOUPLLEMENT « HOLSET »

ACCOUPLLEMENT HOLSET	CISAILLEMENT DES GOUPILLES AU COURS DE LAMINAGE.	06/12/2012	19H35	21H00	1,58
ACCOUPLLEMENT HOLSET	CISAILLEMENT DES GOUPILLES AU COURS DE LAMINAGE.	09/12/2012	07H00	10H15	3,25
ACCOUPLLEMENT HOLSET	REPLISSAGE FOUR A PLATEAU SUITE AU CASSE DES GOUPILLES.	09/12/2012	14H10	14H45	0,58
ACCOUPLLEMENT HOLSET	CISAILLEMENT DES GOUPILLES AU COURS DE LAMINAGE.	10/12/2012	06H05	10H35	4,50
ACCOUPLLEMENT HOLSET	CISAILLEMENT DES GOUPILLES AU COURS DE LAMINAGE.	11/12/2012	14H20	17H10	2,83
ACCOUPLLEMENT HOLSET	CISAILLEMENT DES GOUPILLES AU COURS DE LAMINAGE.	11/12/2012	20H40	21H00	0,33
ACCOUPLLEMENT HOLSET	SUITE DE CHANGEMENT DES GOUPILLES DE CISAILLEMENT.	12/12/2012	05H00	09H50	4,83
ACCOUPLLEMENT HOLSET	CISAILLEMENT DES GOUPILLES AU COURS DE LAMINAGE.	12/12/2012	18H00	21H00	2,00
ACCOUPLLEMENT HOLSET	CISAILLEMENT DES GOUPILLES AU COURS DE LAMINAGE.	13/12/2012	05H50	12H00	6,17
ACCOUPLLEMENT HOLSET	CISAILLEMENT DES GOUPILLES AU COURS DE LAMINAGE.	13/12/2012	19H00	21H00	2,00
ACCOUPLLEMENT HOLSET	CISAILLEMENT DES GOUPILLES AU COURS DE LAMINAGE.	19/12/2012	16H10	16H30	0,33

## ANEXE 2 :

EVOLUTION DES VALEUR DE « A et B » EN FONCTION DE  $\beta$

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

### Annexe 3 : Chronologie des arrêts Année 2008 pour l'accouplement « HOLSET » [6]

Date	H D début	H Fin	Durée de pannes (h)
02/01/2008	2 :15	5 :00	2 :45
03/01/2008	5 :00	6 :15	1 :15
19/01/2008	13 :45	14 :20	0 :35
23/01/2008	8 :30	10 :15	1 :45
27/01/2008	9 :20	11 :00	1 :40
30/01/2008	12 :05	13 :00	0 :55
30/01/2008	13 :00	14 :25	1 :25
09/02/2008	15 :20	17 :20	2 :00
11/02/2008	6 :40	9 :00	2 :20
10/03/2008	19 :00	21 :00	2 :00
25/03/2008	00 :05	00 :25	0 :20
27/03/2008	17 :45	18 :45	1 :00
01/04/2008	17 :35	18 :20	0 :45
05/04/2008	21 :20	22 :10	0 :50
13/04/2008	19 :00	21 :00	2 :00
13/04/2008	21 :00	22 :30	1 :30
15/04/2008	00 :20	2 :20	2 :00
15/04/2008	5 :15	5 :35	0 :20
20/04/2008	11 :55	13 :00	1 :05
20/04/2008	13 :00	14 :30	1 :30
14/05/2008	17 :00	19 :50	2 :50
16/05/2008	5 :00	6 :35	1 :35
19/05/2008	17 :50	19 :00	1 :10
20/05/2008	23 :55	1 :05	1 :10
21/05/2008	13 :15	14 :40	1 :25
Date	H D début	H Fin	Durée de pannes (h)
21/05/2008	21 :45	22 :55	1 :10
30/05/2008	10 :20	11 :45	1 :25
04/06/2008	7 :30	9 :45	2 :15
17/06/2008	14 :00	16 :00	2 :00
20/06/2008	8 :30	10 :00	1 :30
24/06/2008	5 :35	7 :00	1 :25

**Annexe 3 : Chronologie des arrêts Année 2008 pour l'accouplement « HOLSET » [6]**

---

14/07/2008	14 :00	16 :00	2 :00
22/07/2008	19 :45	21 :00	1 :15
22/07/2008	21 :00	21 :50	0 :50
02/09/2008	21 :00	1 :40	4 :40
14/10/2008	21 :35	23 :40	2 :05
19/10/2008	9 :25	10 :45	1 :20
01/11/2008	9 :25	11 :10	1 :45
22/11/2008	2 :20	4 :05	1 :45
13/12/2008	1 :55	3 :05	1 :10
18/12/2008	11 :40	13 :00	1 :20