

N° Série...../2016

UNIVERSITE KASDI MERBAH-OUARGLA  
FACULTÉ DES HYDROCARBURE ET DES ENERGIES RENOUVLABLE ET  
SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS  
Département de Forage et Mécanique des Chantiers Pétroliers



## MEMOIRE

En vue De l'obtention du diplôme de Master

Option : Mécanique des Chantiers Pétroliers

Présenté par :

SAFA Amel

KENNOUNA Ahmed

THEME

**Le contrôle non destructif (CND) et maintenance  
du moteur de fond hydraulique  
(PDM de Sperry-Sun)**

Soutenu le :23/05/2016 devant le jury :

Président :	HELLAL Yazid	M.A.A	UKM , Ouargla
Examineur :	TOUAHRI Abdeldjebbar	M.A.A	UKM , Ouargla
Rapporteur :	ZIARI Saber	M.A.A	UKM , Ouargla

Année universitaire :2015/2016



# DÉDICACE

*Je dédie ce présent mémoire fruit de plusieurs années  
d'effort tout d'abord à :*

✧ *Ma mère, mon père, mes frères **Nasssaradinne**  
**Khaled** et mon sœur **Soundous** et Tout  
la Famille **CHIKHA AMARA**, **DODO**, **Majda**  
ET la Famille **Ghania**, pour leur patience  
ET leur présence dans les moments difficile.*

✧ *Mes chères Amis **HAKIM, AHMED, SALIM***

✧ *A mes collègues et professeurs de l'université de  
Ouargla.*

✧ *A toutes les personnes qui ont contribuées  
de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.*

**KENNOUNA**

**AHMED**



# DEDICACE

*J'ai toujours **pensé** faire ou **offrir** quelque chose à mes parents en signe de reconnaissance pour tout ce qu'ils ont consenti comme efforts, rien que pour nous voir réussir, et voilà, l'occasion est venue.*

☉ *A mes chers parents*

*A ceux qui nous ont donné la **vie**, symbole de beauté, et de fierté, de sagesse et de patience.*

*A ceux qui sont la source de mon **inspiration** et de mon **courage**, à qui je dois de l'**amour** et de la **reconnaissance**.*

☉ *A mes frères et sœurs : **Fatima, Zineb, Kada, Mokhetar.***

☉ *A tous mes Amis sans exception : **Rihana, Aicha, djabra, widade, Messouda, Fatima et zoubida.***

☉ *A notre cher encadreur Mr. Ziari Seber.*

...Amel

# **REMERCIEMENT**

**Je tiens à remercier en premier lieu DIEU le tous  
puissant qui a fait que ce travail soit terminé ;  
En achevant ce modeste travail je tiens à remercier  
mon encadreur : Mr. Ziari Seber**

**Je tiens à remercier le groupe de Sperry-Sun  
Halliburton surtout Mr. Ben Hadia Elhafed;  
Merci pour tous ceux qui ont participé de près ou de  
loin pour réaliser ce travail.**

# Sommaire

	Page
Résumé	
Introduction	1
Chapitre 01	
I. Introduction	3
II. Moteur de fond	3
II.1. Le moteur de déplacement positif (PDM)	3
II.2. Le fonctionnement	3
II.3. les composantes d'un PDM	4
II.3.1. Section motrice	4
II.3.2. La section de roulement	5
II.3.3. Section transmission	6
II.4. Limitation d'utilisation et problèmes pratiques	7
III. La maintenance	9
III.1. Le contrôle non destructif (CND)	10
III.2. Principe général de CND	12
III.3. Les normes utilisées en CND	12
III.4. La définition des normes DS-1	12
III.5. L'inspection par les normes de DS-1	13
Chapitre 02	
I. Introduction	17
II. Le moteur Sperry-Sun	17
II.1. L'élastomère de stator	17
II.2. L'enduit de rotor	18
III. Les procédures de CND appliquée sur moteur Sperry-Sun	19
III.1. Contrôle visuel (optique)	19
III.2. Dimensionnel	20
III.3. L'inspection par la magnétoscopie	21
IV. La maintenance prédictive (conditionnelle)	24
IV.1. Les méthodes d'analyse des défaillances en maintenance prédictive	24
IV.2. L'AMDEC (L'Analyse des Modes de Défaillances et de leur Effet et leur Criticité)	25
IV.3. Les étapes de l'AMDEC services	26
IV.4. L'étude de fiabilité de la loi de Weibull	29
IV.4.1. Fonction de fiabilité R (t)	29
IV.4.2. Préparation des données	32
IV.4.3 Test (KOLMOGOROV SMIROV)	32
Chapitre 03	
I. Introduction	34
II. Première partie : Représentation des défauts détectés par CND	34
II.1. Démontage	34

II.2. Le CND de PDM	36
II.2.1. Défauts au niveau de stator	37
II.2.2. Défauts au niveau de rotor	41
II.2.3. Autre problèmes	47
II.3. Remontage	48
II.4. Le teste de push pull	48
III.L'analyse des modes de défaillance par la méthode AMDEC	49
III.1. Analyse et discussion	50
III.2. Le calcul de fiabilité par la loi du Weibull	51
III.3. Les recommandations	54
Conclusion	55

## La liste de figures

### Chapitre 01

<b>Fig 01</b>	Les différents types de la section motrice	<b>04</b>
<b>Fig 02</b>	La section de roulement	<b>05</b>
<b>Fig 03</b>	La section de transmission	<b>06</b>
<b>Fig 04</b>	Le système déflexion	<b>07</b>
<b>Fig 05</b>	Les différents types de maintenance	<b>09</b>
<b>Fig 06</b>	Les différentes opérations de CND	<b>11</b>
<b>Fig 07</b>	Le principe général de CND	<b>12</b>
<b>Fig 08</b>	Le calcul de fatigue de garniture dans le puits dévié	<b>14</b>

### Chapitre 02

<b>Fig 01</b>	La caméra utilisée dans le CND de l'élastomère	<b>20</b>
<b>Fig 02</b>	Les outils de CND dimensionnel	<b>20</b>
<b>Fig 03</b>	Les outils utilisés dans la magnétoscopie	<b>21</b>
<b>Fig 04</b>	Les étapes de l'AMDEC	<b>26</b>
<b>Fig 05</b>	Les courbes théoriques de Weibull qui désigne $\beta$ par la courbe fiabilité en fonction de temps.	<b>30</b>
<b>Fig 06</b>	Courbes théoriques de Weibull qui désigne $\beta$ par la courbe de densité de probabilité en fonction de temps.	<b>30</b>
<b>Fig 07</b>	Les courbes de $f(t)$ .	<b>31</b>

### Chapitre 03

<b>Fig 01</b>	Les composants internes et externes de PDM Sperry-Sun.	<b>35</b>
<b>Fig 02</b>	Décollement (Debonding) d'élastomère (a. élevé, b. moyen, c. petit).	<b>37</b>
<b>Fig 03</b>	L'érosion d'élastomère	<b>37</b>
<b>Fig 04</b>	Nervure radial d'élastomère	<b>38</b>
<b>Fig 05</b>	Les fissures (cracking) de l'élastomère.	<b>38</b>
<b>Fig 06</b>	Déchirement (tearing) d'élastomère	<b>39</b>
<b>Fig 07</b>	Arrachement (Chunking) de l'élastomère	<b>39</b>
<b>Fig 08</b>	Délaminage de stator	<b>40</b>
<b>Fig 09</b>	Fragments d'élastomère	<b>40</b>
<b>Fig 10</b>	Endommagement de protecteur	<b>41</b>
<b>Fig 11</b>	L'effet peau de serpent (snakeskin) sur le rotor	<b>41</b>
<b>Fig 12</b>	<i>Marquage radial /circulaire (radial / circumferential scoring) de rotor.)</i>	<b>42</b>
<b>Fig 13</b>	Le découpage de l'enduit (coating indentations)	<b>42</b>
<b>Fig 14</b>	Ecaillage de l'enduit de rotor (coating chipping)	<b>43</b>
<b>Fig 15</b>	Rainurage (coating & base material gouging) de rotor	<b>43</b>
<b>Fig 16</b>	La contamination de rotor	<b>44</b>
<b>Fig 17</b>	L'érosion de rotor	<b>44</b>
<b>Fig 18</b>	La fissuration (crack) de rotor	<b>45</b>

<b>Fig 19</b>	La corrosion de rotor	<b>45</b>
<b>Fig 20</b>	Les piques du rotor	<b>46</b>
<b>Fig 21</b>	Empreintes sur l'extrémité du corps du rotor	<b>47</b>
<b>Fig 22</b>	L'endommagement des pièces de PDM	<b>47</b>
<b>Fig 23</b>	L'arborescence de PDM	<b>49</b>
<b>Fig 24</b>	La courbe de nombre de défaillance cumulé (Y) en fonction de criticité ©	<b>51</b>
<b>Fig 25</b>	La distribution de Weibull	<b>52</b>



## La liste des tableaux

### Chapitre 02

<b>Tableau 1</b>	Tableau de l'AMDEC	<b>27</b>
<b>Tableau 2</b>	Les critères de fréquence	<b>27</b>
<b>Tableau 3</b>	Les critères de gravité	<b>28</b>
<b>Tableau 4</b>	Les critères de détection	<b>28</b>
<b>Tableau 5</b>	Exemple de tableau AMDEC maintenance	<b>28</b>

### Chapitre 03

<b>Tableau 1</b>	Les opérations de CND appliqué pour chaque élément	<b>36</b>
<b>Tableau 2</b>	L'évaluation de la criticité	<b>50</b>
<b>Tableau 3</b>	Les TBF et calcul de la distribution de Weibull	<b>52</b>
<b>Tableau 4</b>	Les paramètres de la loi de Weibull	<b>53</b>
<b>Tableau 5</b>	La variation entre la fonction de réparation réel ( $F_r$ ) et la fonction de réparation ( $F_{th}$ )	<b>54</b>

## **La liste des abréviations :**

**AC :** Alternator Courant

**AFNOR :** Association Française de NORmalisation

**AMDEC :** L'Analyse des Modes de Défaillances et de leur Effet et leur Criticité

**API:** American Petroleum Institut

**ASME:** American Society of Mechanical Engineers

**ASTM:** American Society for Testing and Materials

**CI :** la moyenne du courbe index durant le forage

**CND :** Contrôle Non Destructif

**CV :** Constant Velocity

**DC :** Direct Courant

**DEA:** drilling enginneers association

**DIN :** Norme de l'Institut Deutshes

**DS1:** Drilling Standards 1

**Footage :** la longueur totale du puits foré en « ft »

**HDLS:** Heavy Duty Landing String

**HNBR:** Hydrogenated Nitrile Butadiene Rubber

**ID :** Diamètre Intérieure

**LCM:** Lost Circulation Material.

**PDM** : Positive Displacement Motor.

**WOB**: Weight On Bit

**R(t)** : La fonction de fiabilité

**TBF** : Temps de Bon Fonctionnement

**MTBF** : Moyen de Temps de Bon Fonctionnement

**OD** : Diamètre extérieure

**DP** : Damage Point

**RPM**: Rotation Per Minute

**ROP**: Ration Of Penetration

**NBR**: **Nitrile Butadiène Rubber**

**ppm**: Part Per Million

**MPI**: Magnetic Particle Inspection

**WOB**: Weight On Bit

## **Résumé**

Cette étude permet de détecter les défauts de moteur de fond hydraulique de Sperry-Sun, plusieurs méthodes de contrôle non destructif ont été appliquées. Ces défauts engendrés par une concentration de contraintes et peuvent avoir de lourdes conséquences. Il est donc important d'inspecter les différents composants du moteur pour assurer son intégrité, ainsi que, l'amélioration de la qualité de service. Le contrôle optique, dimensionnel et/ou la magnétoscopie permet de détecter de nombreux défauts. Toutes ces techniques utilisées offrent des résultats différents.

Une analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) du PDM de Sperry-Sun, permet d'améliorer la qualité et la fiabilité du système en question. Le calcul par la loi de Weibull permet d'extraire la MTBF pour améliorer la disponibilité du moteur.

En effet, l'utilisation d'une nouvelle technologie contribue à éliminer les pertes de temps pendant le forage et/ou à réduire les problèmes qui représentent un risque sur la santé de l'équipement et l'intégrité physique de l'opérateur.

*Mots clés : PDM, contrôle non destructif, AMDEC, la loi Weibull*

## **Abstract**

In order to detect the faults of the depth hydraulic motor of Sperry-Sun; various methods of control non destructive are applied. These faults cause the concentration of strain (overwork) and can meet onerous consequences. This study aimed at enhancing service quality. Optical, dimensional and/or magnetoscope control are among the detection of various faults, all the used techniques offer different results. In the purpose of enhancing research means that the analysis of the Failures Modes, their effects and their criticity (FMEC) and PDM of Sperry-sun. This means allow us to enhance the quality and authenticity of the system under study. The calculating with Weibull low allows the recognition of MTBF of this motor to enhance the motor's availability. Consequently, the use of new technology contribute in avoiding wasting time while drilling and/ or reduction of problems that represents a risk for the goodness of the equipment and on the operator's health.

**Key words:** PDM, non distractive control, FMEC, Weibull.

## ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى الكشف عن عيوب المحرك الهيدروليكي سيبري سان. تطبق عدة طرق للمراقبة بدون إتلاف على المحرك. ينتج تمرکز القوى عليه عيوب هذه الأخيرة تؤدي إلى نتائج قاسية. لضمان السير الحسن للمحرك يجب مراقبة عناصره الهدف من هذا العمل هو تحسين نوعية الخدمة. تسمح المراقبة البصرية، مراقبة الأبعاد و المراقبة المغناطيسية بالكشف على عدة عيوب. تعطي كل التقنيات المستعملة نتائج مختلفة على المحرك سيبري سان بغية تحسين وسائل البحث، تستعمل تقنية لام داك التي تعني تحليل شكل العطب، أسبابه، نتائج و مخاطره تسمح هذه الأخيرة بتحسين إمكانية النظام المدروس.

يسمح الحساب بقانون وي بول (Weibull) بمعرفة معدل وقت الأداء الجيد لهذا المحرك و ذلك من أجل التوافق في النهاية نستنتج أن استعمال تقنية جديدة تساهم في التقليل من ضياع الوقت أثناء الحفر أو تخفيض المشاكل التي تمثل مخاطر على حالة الجهاز و صحة المستعمل.

**الكلمات المفتاحية:** بي دي أم، أم داك، مراقبة من غير إتلاف، قانون ووي بول

## Introduction

La maintenance joue un rôle incontournable dans le contrôle de qualité du produit, elle est considérée comme une technique d'organisation et de gestion.

Dans le domaine pétrolier, les équipements de forage travaillent dans des conditions dures de température, de pression, de vibration, et agents chimiques agressifs (la boue...),...etc. Ces conditions génèrent des défaillances simples et critiques, ce qui rend nécessaire de prévoir les pannes avant leur occurrence.

Dans ce travail, on va traiter le CND (contrôle non destructif) du moteur PDM (positive displacement motor) qui a pour objectif la détection des défaillances et la diminution du temps d'intervention pendant le forage et donc l'amélioration de la qualité de service. A l'issue de ça, on va pouvoir établir une **AMDEC** (**A**nalyse des **m**odes de **d**éfaillances, leur **e**ffet et leur **c**riticité) ce qui va nous permettre d'identifier les éléments les plus critiques du moteur, et pour finir, une évaluation de la fiabilité du système.

Le travail comporte trois chapitres :

Dans le premier chapitre on va décrire le PDM, son fonctionnement, sa composition et après ça, on va aborder la partie qui traite du CND.

Dans le deuxième chapitre, on va aborder les différentes méthodes du CND appliquées sur le PDM de Sperry-Sun selon les normes de DS-1, ensuite, on exposera les différents outils d'analyse des défaillances en l'occurrence l'AMDEC et enfin, une partie théorique sera consacrée à la loi de Weibull.

Dans le troisième chapitre on va répertorier les différents problèmes du moteur hydraulique Sperry-Sun détectés par le CND, effectuer une analyse par la méthode AMDEC et évaluer la fiabilité du PDM.

Et enfin une conclusion.



# Chapitre 01

## **I- Introduction :**

Le premier concept du moteur de fond est apparu trente ans avant la technique du forage rotary, en 1873, mais sa première application n'a eu lieu qu'en 1924. Après plusieurs dizaines d'années, vers 1950, 80% des puits ont été forés en utilisant des moteurs de fond entraînés par les fluides de forages sous pression. En 1975, ce moteur est devenu similaire au pompe aux cavités progressives ou bien pompe à moineau, en le rendant plus avantageux, par W. Clark.

Les turbo foreuses, ont été utilisées après 1980, cette dernière est équipée par un réducteur de vitesse.

De nos jours, ils existent plusieurs versions des moteurs de fond, soit de déplacement positif (PDM), soit une turbo-foreuse [1].

## **II- Moteur de fond :**

Il existe deux types :

- ❖ Turbo foreuse ;
- ❖ Les moteurs de déplacement positif.

### **II.1. Le moteur de déplacement positif (PDM : Positive Displacement Motor) :**

Le moteur de déplacement positif s'appelle aussi le moteur volumétrique, hydraulique à déplacement positif ou à cavité progressive, il est basé sur le principe des pompes à Moineau [1].

### **II.2. Le fonctionnement :**

Le rotor et le stator correspondent étroitement et engendrent des cavités étanches les unes des autres.

Quand le fluide de forage est pompé à travers le moteur, une montée de pression apparaît entraînant la rotation du stator et permettant le passage du fluide dans la cavité voisine. Le fluide progresse alors de cavité en cavité entraînant ainsi une rotation régulière du rotor.

La vitesse de rotation est proportionnelle au débit à travers le moteur [2].

### II.3. les composantes d'un PDM :

Le PDM se compose de trois sections, sont :

- Section motrice (**Power Section**).
- Section transmission (**Transmission Unit**).
- Section d'appui (**Bearing Section**) [3].

#### II.3.1. Section motrice :

Cette section est constituée d'un stator et d'un rotor

##### ❖ Le rotor :

C'est une pièce hélicoïdale en acier, monobloc ou constituée de plusieurs tronçons raccordés par soudure, le diamètre extérieur est protégé contre la corrosion par : un revêtement en oxyde de chrome, une trempe de surface ou une cémentation et une nitruration [4]. La nature complexe de la boue, les additifs chimiques, et les solides dans la boue peuvent endommager et corroder l'enduit du rotor.

##### ❖ Stator :

Il est constitué d'un tube métallique doté à l'intérieur d'un revêtement en élastomère lisse ou bien ébauché [4]. Le choix du matériau et son design est basé sur les paramètres de forage, la durée de stockage et de transport, la résistance à l'abrasion, l'érosion, la température et les additifs de la boue.

La variation de la vitesse et du couple se fait selon le nombre de lobes figure (I.1).

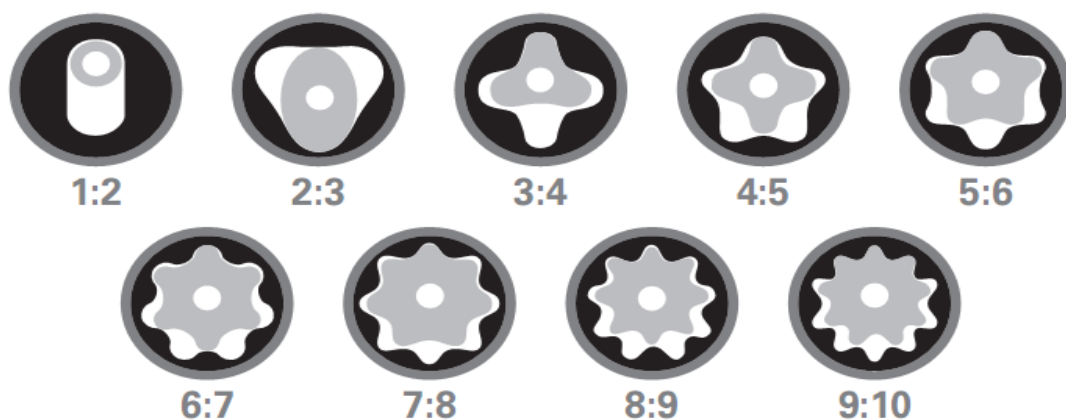


Figure (I.1) [3]: Les différents types de la section motrice.

### II.3.2. La section de roulement (Bearing section) :

Elle contient des paliers / roulements qui supportent et transmettent la poussée vers le bas de la section motrice, ainsi que la force de réaction au poids appliqué sur l'outil de forage, dirigée vers le haut. Les charges axiales agissant sur l'arbre de sortie sont supportées par les roulements à billes (**Ball Bearings**) tandis que des paliers de friction radiaux (**Journal Radial Bearings**) fournissent le support latéral au-dessus et au-dessous des roulements à billes. Ces roulements sont lubrifiés, soit par le fluide de forage lui-même, soit en étant enfermés dans des logements étanches remplis d'huile (5-10 % du débit)[6].

#### ❖ Arbres D'entraînement (Drive shaft) :

L'arbre d'entraînement est un composant conçu pour supporter les charges axiales, la fatigue, et la torsion maximale. Il a un raccordement dans son extrémité inférieure pour visser l'outil de forage [3].

La section de roulements contient le roulement axial, radial et l'arbre d'entraînement. Figure (I.2)



Figure (I.2) [3]: La section de roulement.

### II.3.3 La section de transmission (Transmission Unit) :

Elle transmet le couple et la vitesse de rotation produits par la section motrice à l'arbre d'entraînement (**Drive Shaft**). Cette transmission doit éliminer les mouvements légèrement excentriques du rotor par rapport au stator, et délivrer uniquement un mouvement concentrique à l'arbre d'entraînement. De plus elle doit être capable de transmettre la poussée vers le bas engendrée par la section motrice, et de permettre au rotor de rester correctement aligné par rapport à l'axe du stator, et enfin de supporter une certaine excentricité dans le cas d'un **housing** présentant une déflexion (**Bent Housing**) [6].

La figure (I.3) représente la section de transmission de mouvement de rotation vers l'outil. Les différents composants de cette section sont le **CV shaft**, **CV coupling (upper and lower)** et le système de déflexion. Figure (I.4)



Figure (I.3) [3]: La section de transmission.

C'est la partie la plus importante du **PDM**, car elle contient l'angle de déviation de trajectoire du puits pétrolier. Les stabilisateurs excentriques (**offset**) situés à l'extrémité de la section de roulements, avec une lame à la fois plus large (I-4-a) ou bien trois lames et parfois quatre lames.

Et le système ajustable, faisant partie intégrante du **Mandrel**, **Adjusting ring**, de l'**Offset Housing** et du **Stator Housing Adaptot**.

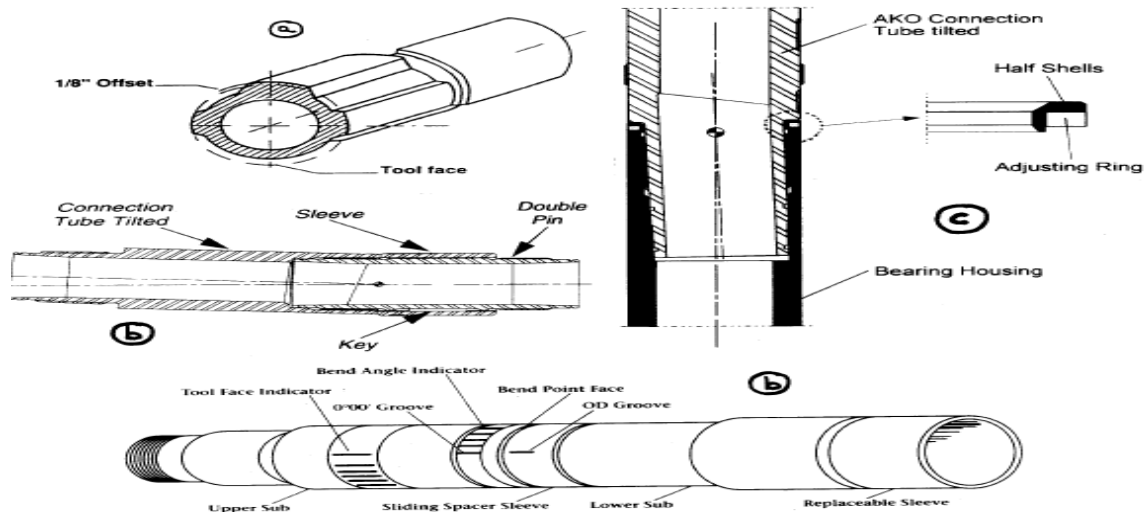


Figure (I.4) [6] : Le système de déflexion.

#### II.4. Limitations d'utilisation et problèmes pratiques :

Les moteurs de fond sont des outils relativement fragiles, en particulier leurs stator et roulements. Ceci entraîne quelques limites de fonctionnement. La durée de vie d'un moteur peut être dramatiquement réduite si ces limites ne sont pas respectées.

- **Couple réactif :**

La rotation de l'arbre est obtenue par le passage du fluide de forage à travers le rotor/stator.

Pendant le forage l'outil rencontre une résistance qui se traduit par un couple, et le moteur a alors tendance à tourner en sens inverse en raison du débit qui continue à l'actionner, jusqu'à atteindre un état d'équilibre. Ce phénomène est appelé couple réactif.

Son amplitude dépend à la fois du type d'outil de forage, de la puissance du moteur et de la formation forée. Ceci peut aller jusqu'à l'impossibilité de diriger le puits et donc de forer.

- **Calage :**

Si un poids excessif est appliqué à l'outil de forage, le moteur calera (stall-out) c'est à dire stoppera brutalement de tourner.



Des calages répétitifs risquent d'endommager le moteur, en particulier son stator, et doivent être évités.

Le calage est en général dû à un excès de poids sur l'outil, lui-même dû à une grande différence de pression.

Il peut également être dû à une usure du moteur qui causera une perte de puissance et une impossibilité de forer.

- **Chute de pression à l'outil de forage :**

La perte de pression à travers l'outil de forage affecte le débit de circulation et donc la quantité de fluide traversant les roulements et donc leur lubrification.

Il est donc quelquefois nécessaire de limiter cette perte de pression en utilisant soit des duses de gros diamètre soit un outil sans duses.

- **Bouchage :**

Dans les formations tendres ou l'accumulation de déblais est un problème, le moteur peut avoir tendance à se remplir et se boucher.

Ce problème peut être résolu par l'introduction d'une valve anti-retour entre l'outil et le moteur.

- **Quantité de solides dans le fluide de forage :**

Un excès de solides dans le fluide de forage aura un effet abrasif accélérant l'usure du stator et même du rotor.

- **Température :**

Les élastomères constituant les stators supportent mal les hautes températures réduisant la durée de vie des moteurs.

- **Boues à l'huile :**

De même les boues à base d'huile ont un effet corrosif sur les élastomères et réduisent la durée de vie des moteurs.

Là aussi des progrès récents améliorent les performances des moteurs.

- **Durée de vie des outils de forage :**

La durée de vie des outils de forages à molettes est limitée par un nombre total de rotation des roulements et donc inversement proportionnelle à la vitesse de rotation des outils.

Un outil utilisé avec un moteur à grande vitesse verra sa durée de vie réduite, limitant la longueur foré en une seule descente [7].

### III- la maintenance :

Avec le développement de l'industrie, les solutions de maintenir le bon fonctionnement des équipements mécanique sont aussi devenues indispensables, car le rendement de ces derniers est passé par leur bon maintien durant l'exploitation.

La maintenance vise à maintenir ou à rétablir un bien dans un état spécifié afin que celui-ci soit en mesure d'assurer un service déterminé [8].

Il existe plusieurs types de maintenance, comme nous indique La figure (I.5), la maintenance corrective et la maintenance préventive.

La maintenance préventive conditionnelle est basée sur les tests et les contrôles des équipements comme CND. On a aussi la maintenance à échelle majeure (maintenance d'amélioration et les travaux neufs).

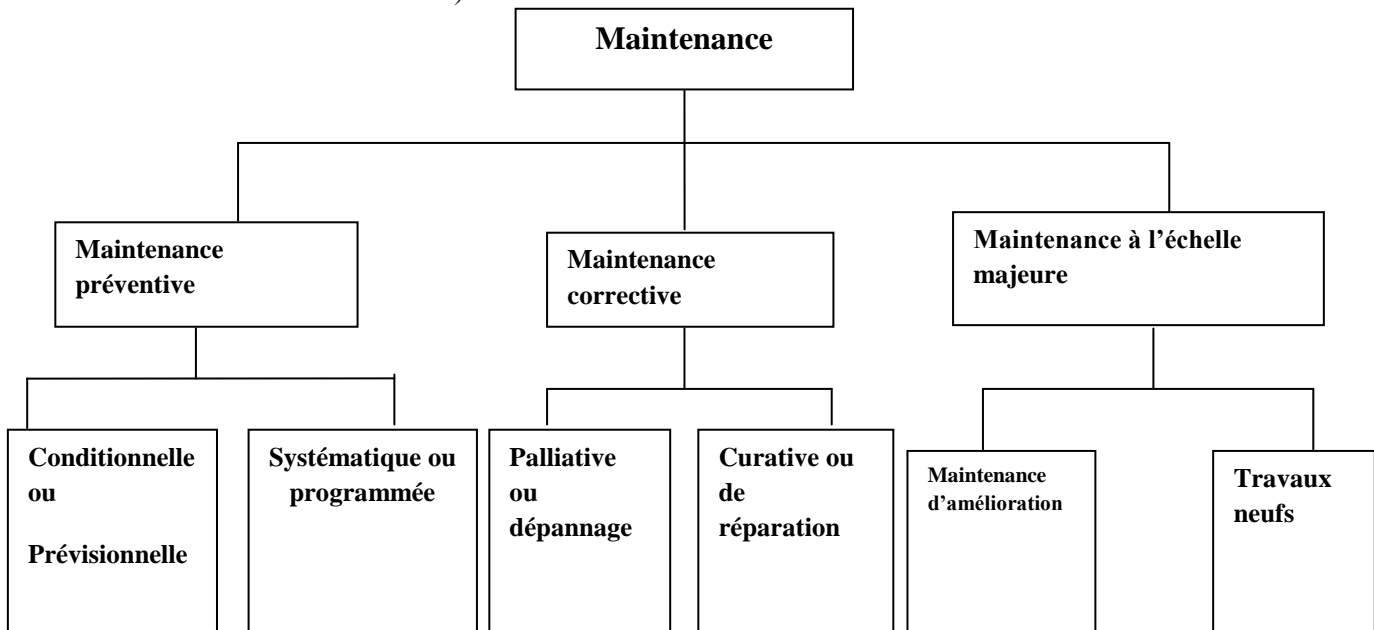


Figure (I.5) [9]: Les différents types de maintenance.

### III.1. Le contrôle non destructif (CND) :

Le CND met en œuvre des techniques d'évaluation permettant d'apprécier sans destruction l'état des pièces et ainsi de formuler un avis sur leur aptitude à remplir la fonction à laquelle elles sont destinées. Ainsi, le CND vise des aspects d'assurance qualité, d'aptitude au bon fonctionnement et de sécurité. Ces derniers nécessitent une bonne connaissance de tous les phénomènes mis en jeux, en particulier de la nocivité des défauts et de leur évolution dans le temps. Dans le secteur du CND, il en va tout autrement car il s'agit d'assurer le bon fonctionnement d'une installation et donc la sécurité, en réalisant des contrôles ponctuels de certaines pièces de cette installation. Le CND intervient en laboratoires, en ateliers, sur chantiers et sur sites de production, et ce, en phase de conception, de fabrication et de surveillance de l'installation [10].

En fait, détecter un défaut dans une pièce, c'est physiquement, mettre en évidence une hétérogénéité de matière, une variation locale de propriété physique ou chimique. Pour cela les défauts se classifiaient en deux grandes catégories liées à leur emplacement : les défauts de surface, les défauts internes :

- Les défauts de surface, sont accessibles à l'observation directe mais pas toujours visibles à l'œil nu, ils peuvent se classer en deux catégories distinctes :
  - Les défauts ponctuels : Sont les plus nocifs sur le plan technologique, il s'agit des criques, piqûres, fissures, craquelures, généralement aptes à provoquer à terme la rupture de la pièce, pour leur détection on emploie des méthodes non destructives sensibles, telles que le ressuage, la magnétoscopie, les courants de Foucault, les ultrasons.
  - Les défauts d'aspect : Sont des variations de paramètres géométriques ou physiques (rugosité, surépaisseur, taches diverses) attire le regard et rend le produit inutilisable, où le contrôle visuel est possible, mais on cherche à le remplacer par des contrôles optiques automatiques.
- Les défauts internes sont des hétérogénéités de natures, de formes, de dimensions extrêmement variées, localisées dans le volume du corps à contrôler. il s'agira de criques internes, de porosités, de soufflures, d'inclusions diverses. Dans ce cas on utilisera la radiographie, le sondage ultrasonore, l'émission acoustique ou la neutronographie [10].

L'examen visuel est le plus simple et le plus général des procédés CND, il est aussi le point final de la majorité des autres procédés non destructifs. Voir la figure (I.6).

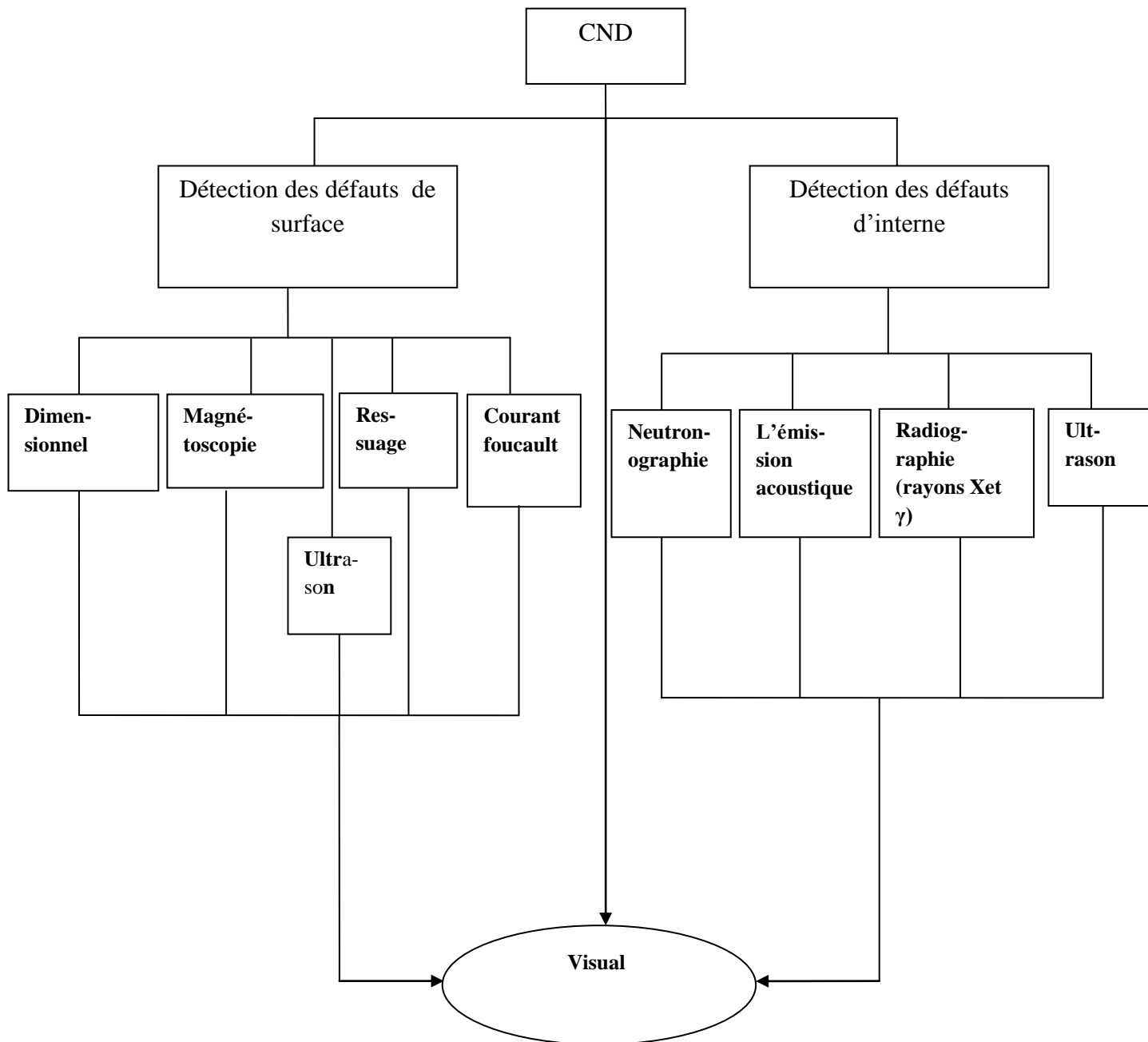
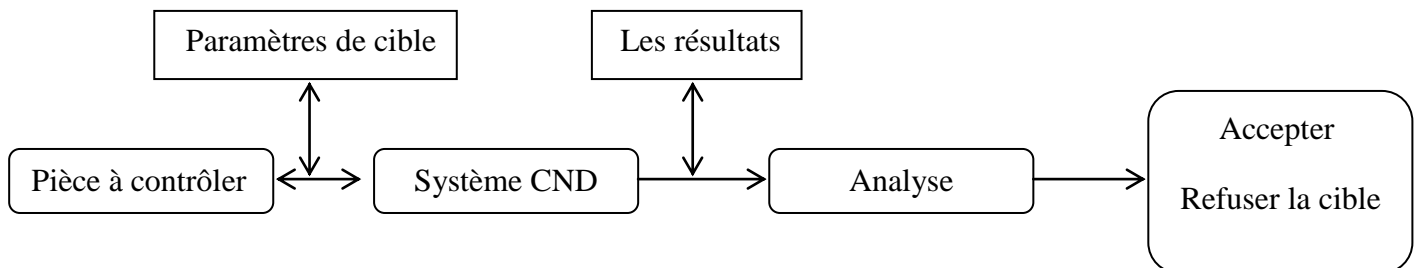


Figure (I.6): Les différentes opérations de CND.

### III.2. Le principe général du CND :

Quelle que soit la méthode adoptée, on peut représenter la mise en œuvre d'un système CND comme suit :



*Figure (I.7): Le principe général de CND.*

La cible se caractérise par un ensemble de paramètres que l'on va chercher à estimer afin de former un diagnostic d'intégrité.

### III.3. Les normes utilisées en CND :

Il existe plusieurs normes et standards qui entament le CND, telles que : AFNOR (Association française de normalisation), ASME (American Society of Mechanical Engineers), ASTM (American Society for Testing and Materials), DIN (Norme de l'Institut Deutshes), API (American Petroleum Institut), DS1 (Drilling Standards 1), ...etc

### III.4. La définition des normes DS-1 :

Sont des normes fournies par des associations de forage (drilling engineers association « DEA ») et des autres parties comme DEA Project 74. La première édition est publiée en Décembre 1992. Le deuxième en avril 1998. La troisième est divisée en trois volumes, ces volumes sont disponibles pour tous les compagnies et les institutions qui s'intéressent à la fabrication, la désign et les opérations de l'inspection et la maintenance préventive [11].

### **III.5. L'inspection par les normes de DS-1 :**

L'inspection, est un examen des équipements de forage pour s'assurer qu'ils ne se sont pas usés ou endommagés et n'ont pas dépassé pas les normes de service. Il existe 31 méthodes d'inspection qui sont définies sur le standard de DS-1. Plusieurs méthodes spécifiques pour certains composants. Ces procédures peuvent être modifiées par les clients [11].

#### **a- Les catégories d'inspection :**

##### **Catégorie 01 :**

Est appliqué dans les puits peu profonds, de routine et les puits développés. Quand les pannes des équipements sont visuels et les coûts sont très bas.

##### **Catégorie 02 :**

Est appliqué dans les conditions de forage de routine, mais d'une façon peu fréquente.

##### **Catégorie 03 :**

Elle est utilisée lorsque les usures sont apparues, les risques de fatigue ou pertes des parties dans le puits est minimal.

##### **Catégorie 04 :**

Elle est utilisée dans les conditions de forage plus difficiles que celle de la catégorie 03. Spécialement dans les cas où les coûts du fishing et les pertes sont importants.

##### **Catégorie 05:**

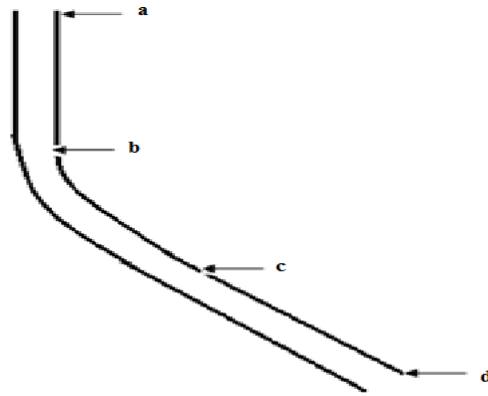
Le coût de panne est très élevé.

##### **Catégorie HDLS (Heavy Duty Landing String):**

Elle est utilisée pour les cordes de levage et les équipements de levage:

- 1- Poids excédant 1 million pounds ;
- 2- Lorsque les composants de sonde et la masse des tiges excédant plus de 5% de la capacité de tension des équipements de levage.





**Figure (I.8) [11] :** Le calcul de fatigue de garniture dans le puits dévié.

La fatigue est responsable de l'endommagement de la garniture, qui peut être localisé d'après la formule suivante :

$$DP = \frac{CI * RPM * FOOTAGE}{ROP * 10^6} \quad (\text{I-1})$$

**a:** la surface;

**b:** kick off point;

**c:** tangent point;

**d:** section TD.

**DP :** le point endommagé ;

**CI :** la moyenne du courbe index durant le forage ;

**RPM :** la vitesse moyenne durant le forage ;

**Footage :** la longueur totale du puits foré en « ft »;

**ROP :** le taux moyen de pénétration durant le forage.\*

**b- Les fréquences d'inspection :**

Le client doit également décider comment faire l'inspection, la fréquence d'inspection est basé sur la longueur foré ou les heures de rotation parce que la défaillance se produit par la fatigue [11].

**c- Les objectives de l'inspection :**

L'activité principale de l'inspecteur est définie sous deux objectives :

- Assurer que chaque composant a la capacité de charge exigée. Il importe de dire que les deux dimensions critiques de capacité de charge OD et ID sont facilement mesurables sur site.
- Détecter les fissures induites par la fatigue. Il faut donc, transporter les équipements dans un emplacement convenable pour réaliser une inspection efficace [11].

**d- Les conditions d'inspection selon DS-1 :****- Secteur d'inspection :**

Il sera confortable et contient des conditions spéciales de travail de luminosité et d'aération.

**- Facilités :**

Le client doit faire tous ce qu'est nécessaire pour faciliter le travail de l'inspecteur (préparation de pièces qui doivent être inspecté ...).

**- Temps d'inspection :**

L'inspecteur doit avoir le temps adéquat de conduire correctement l'inspection.\*

**- Accès :**

Le client doit garantir à l'inspecteur un accès pour faire l'inspection dans un environnement confortable et des conditions de sûreté [12].

# Chapitre 02

## I- Introduction :

Notre travail concerne la maintenance conditionnelle du moteur de fond hydraulique Sperry-Sun, pour cette raison on va diviser ce chapitre en deux parties. En première partie, on va entamer les procédés CND appliqués sur ce dernier et en deuxième lieu arrive la méthode AMDEC (Analyse de Mode de Défaillance leur Effet et leur Criticité) pour analyser les résultats obtenus de la partie précédente.

## II- Le moteur Sperry-Sun :

Les moteurs Sperry-Sun sont une technologie très avancée grâce design des matériaux dont ils sont fabriquées, ils sont conçus pour être utilisé dans les différents types de forages pétrolier, spécialement dans le forage horizontal. Les conceptions de moteur de Sperry-Sun expliquent les effets cumulatifs des paramètres de fond: abrasion, corrosion, érosion, charges mécaniques dynamiques, vibration, choc et effets géothermiques [3].

### II-1 L'élastomère de stator :

Le choix de matériaux et design l'élastomère de moteur est basé sur les paramètres de forage de la durée de stockage et du transport, le choix se fait selon la résistance de l'abrasion, l'érosion, la température et les additifs de la boue [3].

Il y'a deux types :

#### a- Standard service (nitrile butadiène rubber (NBR)) :

Résiste à des températures allant jusqu'à 130 ° C, en dépassant cette valeur dans certain cas. Le **NBR** est techniquement acceptable, car il a une haute résistance aux aditifs chimiques contenus dans la boue. Les performances du **NBR** ont un rapport avec l'acrylonitrile, plus cette teneur est élevée, plus il est plus résistant à l'usure, à la haute température et de très bonnes propriétés mécaniques

#### b- Special service caoutchouc nitrile hydrogen (hydrogenated nitrile butadiene rubber (HNBR)):

Ces propriétés dépendent de la teneur en acrylonitrile et le degré d'hydrogénation. Il est adapté aux applications particulières en température plus élevée [3].

## II-2 L'enduit de rotor :

La nature complexe de la boue, les aditifs de la boue et les solides étrangers dans la boue peuvent endommager et corroder l'enduit du rotor. La tendance de corrosion est indiquée par le contenu de chlorure de la boue par ppm [3]. Il existe plusieurs types de l'enduit de rotor :

### 1- Couche en chrome dur (Hard chrome plate) :

Elle n'est sensible à la boue à faibles tendances corrosives. La microfissuration de Chrome permet éventuellement aux agents corrosifs de créer des sites corrosifs. On peut remarquer :

- Des piqûres légères dans les fluides de forage sont initiées lorsqu'on atteint une teneur en chlorure entre 20.000 à 30.000 ppm.
- Pas de dommages significatifs lorsqu'on utilise une teneur en chlorure inférieure à 75 000 ppm.
- Une corrosion importante du rotor si on dépasse 75 000 ppm de teneur en chlorure.

### 2- Une couche en Chrome dur plus une sous couche dense (Hard Chrome Plate with a Dense Underlay) :

Cette couverture est utilisée comme une barrière dense entre la couche chromée microfissurée et l'acier inoxydable, le matériau de base du rotor.

- Au-dessus d'une teneur en chlorure de 75 000 ppm, des légères piqûres peuvent se produire, mais cela peut être géré sur certaines applications.
- Lorsque la teneur en chlorure ne dépasse pas 100 000 ppm dans la boue, rien n'est significatif.
- Les dommages moyens par la corrosion ne peuvent se produire qu'au delà de 125.000 ppm de teneur en chlorure dans la boue.

### 3- Couche chromée scellée chimiquement (Chemically Sealed Chrome Plate) :

Cette couche assure l'étanchéité des microfissures qui se trouvent tout au long de la couche chromée, en la rendant plus dense, ce qui bloque le passage d'agents corrosifs de la boue utilisée.

- Au-dessus d'une teneur en chlorure de 75 000 ppm des légères piqûres peuvent se produire, mais cela peut être géré sur certaines applications.
- Lorsque la teneur en chlorure ne dépasse pas 200 000 ppm dans la boue, rien n'est significatif.

- Les dommages moyens par la corrosion peuvent se produire qu'au-dessus de 150.000 ppm.de teneur en chlorure dans la boue.

#### **4- Revêtement en Carbure et en alliages avancées (Carbide and Advanced Alloy Coatings) :**

Ce dense revêtement est déposé sur le rotor en utilisant la technique de pulvérisation de flamme, se qui réduit la porosité et offre une meilleure résistance à la corrosion. Utilisation avec succès en teneur en chlorure supérieure à 200 000 ppm, dans la boue [3]

### **III- Les procédures de CND appliquée sur moteur Sperry-Sun :**

Les procédures CND appliquées sur le moteur hydraulique Sperry-Sun sont :

- ❖ Visuelle (optique) ;
- ❖ Dimensionnelle ;
- ❖ Magnétoscopique :
  - Blacklight ;
  - Magnetic Particle Inspection (MPI) [12].

Le CND des pièces de PDM est exposé dans l'annexe 01.

#### **III-1- Contrôle visuel (optique):**

Cette procédure couvre l'examen visuel de corps et des filetages pour évaluer l'endommagement et l'état des joints, des chanfreins et des bandes dures, selon :

- 1- Pour les bandes dures, il ne faut pas dépasser plus de 3/16" au dessus de surface de OD sans fissure ou perte des épaisseurs plus de 1/8" ;
- 2- Toutes connections et les corps rond sont vérifiés, en existence des fissures en excluant les microfissures ;
- 3- Minimum d'illumination en cours d'inspection est 50 foot-candless ;
- 4- Les surfaces d'étanchéités (de joint) doivent être dégagées des défauts d'aspect tels que le dépôt de corrosion ou l'enlèvement de matière, toutes piqûres de corrosion ou interruption de surface qui excède 1/32" en profondeur ou occupe plus de 20% de largeur à n'importe quel endroit du joint seront rejetés ;
- 5- Les surfaces de filetage et des chanfreins ne doivent pas contenir des fosses et des imperfections qui dépassent 1/16" en profondeur ou 1/8" de diamètre, pénétrant au-dessous de filetage ou occupant plus de 1 1/2" de ses filets hélices, il faut les rejeter ;
- 6- Après d'inspection, il faut protéger le filetage protecteur avec un couple de 50 à 100 ft-lbs[13] ;



La caméra de la figure (II.1) a inspecté les défauts difficiles à détectés comme les défauts de stators.



*Figure (II.1): La caméra utilisée dans le CND de l'élastomère*

### **III-2 Dimensionnel :**

L'inspection dimensionnelle des diamètres extérieurs, des diamètres intérieurs, des pas de filetage et de rigidité de l'élastomère. La figure (II.2) représente les différents outils de cette inspection [13].



*Figure (II.2): Les outils de CND dimensionnel*

### III-3 L'inspection par la magnétoscopie :

La magnétoscopie est la méthode CND, par excellence, utilisée pour la détection et la localisation des discontinuités superficielles et sous-jacentes (proches de la surface) sur des alliages ferromagnétiques.

Elle a ses propres limites d'utilisation. Malgré ses atouts indéniables, la magnétoscopie ne bénéficie pas toujours d'une très bonne image [11].

#### ❖ Principe général de magnétoscopie :

Après le nettoyage, si nécessaire, de la surface à contrôler et la démagnétisation de la pièce ferromagnétique, elle sera aimantée et le produit indicateur constitué de particules magnétiques pouvant être soit en suspension dans un liquide porteur (ancre magnétique), soit sous forme de poudre sèche (limaille de fer) prête à l'emploi est appliqué. Sous un éclairage approprié, les indications de discontinuité sont observées, relevées et interprètes. Après le contrôle, les pièces sont, si nécessaire, démagnétisées [13].

La figure (II.3) représente les équipements tels que : la bobine, le gaz oil, l'aimant, les miroirs, la lampe et la peinture.



*Figure(II.3): Les outils utilisés dans la magnétoscopie*

- 1- De préférence pour examiner des matériaux tubulaires utiliser le **AC** ;
- 2- Les équipements de CND utilisés en magnétoscopie doivent être calibrés chaque 12 mois, afin de les vérifier des problèmes électriques. Même Si les équipements n'ont pas été utilisés durant une année ou plus. Il faut les calibrer avant leur utilisation ;
- 3- la démagnétisation, doit utiliser un champ supérieur au champ utilisé pour la magnétisation :
  - Pour **AC coil**, le champ magnétique utilisé y compris entre 5000 et 10000 ampere-tour ;
  - Pour **DC coil**, il faut reverser et réduire l'intensité du courant ;
  - Après la démagnétisation, le champ magnétique en chaque point de pièces ne doit pas dépassé 3G (Gauss).
- 4- La température ne doit pas dépasser 135°F.

❖ **Les procédures et les critères d'inspection :**

- Pour l'inspection par poudre, le minimum niveau de lumière doit être 50 foot-candless , L'intensité de lumière ambiante visible est mesurée dans les surface durant les fluorescents magnétiques mouillés ne doit pas dépasse 2 ft-candless ;
  - La concentration doit être de 0.1 à 0.4 ml/100ml;
  - L'intensité de **Blacklight** doit être mesurée avec la lumière ultraviolet[13];
  - Déterminer la polarité du champ magnétique existant dans chaque fin de test des pièces qui utilisent la plaquette du magnétomètre [13];
  - L'inspection des surfaces de chaque connections est un examen par **Blacklight**. Les miroirs doivent être utilisée pour examiner les filetages ;
  - Les fissures dans les surfaces mécaniques male-femelle ou dans 1" de la fin de male vont être rejetées[12].
- 5- Le champ magnétique doit être en parallèle à l'axe de la pièce, cette dernière ne doit pas dépasser 18"[13] :
- Pour les pièces cylindrique les calcules dépendent du diamètre D et de la longueur L de la pièce à inspecter ;
  - Pour les pièces non-cylindrique les calcules dépendent de la dimension la plus large entre D et la longueur L.
- $L/D \geq 4/1$  la magnétisation doit être avec  $\pm 10\%$  d'ampère-tour :

$$\text{Ampère – tour} = \frac{35.000}{\left(\frac{L}{D} + 2\right)} \quad (\text{II-1})$$

- $4 > L/D > 2$  la magnétisation doit être avec  $\pm 10\%$  d'ampère-tour :

$$\text{Ampère – tour} = \frac{45.000}{\frac{L}{D}} \quad (\text{II-2})$$

- Pour les pièces de grandes dimensions la magnétisation se fait par un courant entre 1200 ampère-tours et 4500 ampères –tours [14].
- **AC yoke** fournissent des moyens efficaces de magnétisation de partie pour la détection des discontinuités de surface et **DC yoke** détecte la discontinuité proche de la surface. Le **yoke** crée un champ magnétique longitudinal entre les pôles. [14].
- La force de magnétisation par le **yoke** est déterminée par une force de levage, le minimum pour **AC yoke** est 10lb (4.5Kg) et pour **DC yoke** est 50lb (22.7Kg). [14].

### A- L'inspection de connections par Blacklight :

Cet examen se fait sur les corps ferromagnétique et les connections de surface transversale fissurée, en utilisant les fluorescents magnétiques mouillés.

Les équipements d'inspection utilisés sont:

- Bassin média particule :
  - De base pétrolière d'exposition fluorescence naturel sous **blacklight**, en excluant le Diesel ou la gazoline
  - Les équipements de **Blacklight** de source et intensité sont requises. Un étiquetage est nécessaire pour mettre en évidence les calibrations passés de moins de six mois. L'étiquette doit indiquer la date de calibration et la date de la prochaine calibration ;
  - **DC Spire** avec la capacité de rotation, d'induire le champ magnétique longitudinal, de moins 1200 Ampère-tour par pouce l'**OD** du connections est requise ;
  - Le champ magnétique particule indicateur comprend le paquet de magnétique et la bande indicateur de flux magnétique ou pénétrromètre magnétique ;
  - Il est nécessaire d'utiliser cette procédure dans l'obscurité [12].

### **B- MPI d'inspection :**

Cette procédure concerne les surfaces fissurées, en utilisant les poudres magnétiques sèches en activant le champ **AC** ou un liquide magnétique avec un champ **AC** et **DC** :

- 1- Pour la poudre sèche, les composants doivent être magnétisés par **AC yoke** ou **AC coil** ;
- 2- Pour liquide fluorescents :
  - **DC coil**, **AC yoke** ou **AC coil** peuvent être utilisés pour la magnétisation de surface [13].

### **IV- La maintenance prédictive (conditionnelle):**

D'après la norme **AFNOR X 60-100**, la maintenance conditionnelle se définit comme une maintenance préventive subordonnée à un type d'évènement prédéterminé (autodiagnostic, information d'un capteur, mesure d'une usure), révélateur de l'état de dégradation du bien.

Ce type de maintenance comprend toutes les tâches de restauration de matériels ou de composants non défaillants, entreprise en application d'une évaluation d'état et de la comparaison avec un critère d'acceptation préétabli (défaillance potentielle).

Elle est liée à la surveillance et au diagnostic du système et n'entraîne l'action de réparation que si une panne est détectée [17].

#### **IV-1- Les méthodes d'analyse des défaillances en maintenance prédictive:**

La maintenance préventive diminuera quantitativement d'une façon systématique mais s'améliorera qualitativement par la maintenance conditionnelle, malgré qu'elle est souvent onéreuse, vue qu'elle nécessite des procédés fiables plus une analyse approfondie, en se basant sur plusieurs méthodes, telles que : l'**AMDEC**(L'Analyse des Modes de Défaillances et de leur Effet et leur Criticité), la méthode 12 étapes, **ABC**, analyse **PM**, **PAMCO**, l'analyse pourquoi-pourquoi, **SMED**, l'arbre de cause 5 M, la représentation graphique,...etc

Pour réaliser notre travail on a choisi la méthode **AMDEC** vu son extensivité, sa vaste utilisation car elle s'étend sur plusieurs disciplines, son optimisation des contrôles, des tests, des essais [17] plus son aptitude d'estimer les futures criticités.

#### **IV-2 L'AMDEC (L'Analyse des Modes de Défaillances et de leur Effet et leur Criticité) :**

C'est une méthode d'analyse préventive de la sûreté de fonctionnement des produits et des équipements [19].

Elle est avant tout une méthode d'analyse de systèmes, statique, s'appuyant sur un raisonnement inductif, pour l'étude organisée des causes, des effets des défaillances et de leur criticité. Elle a été employée pour la première fois à partir des années 1960 dans le domaine de l'aéronautique pour l'analyse de la sécurité des avions [19].

Elle touche la défaillance de produit dans tous ses stades, en procédé, processus, conception, production et en service.

L'objectif de notre travail est d'analyser les défaillances de moteur de fond hydraulique Sperry-Sun lors de maintenance, donc on s'intéresse à l'AMDEC services.

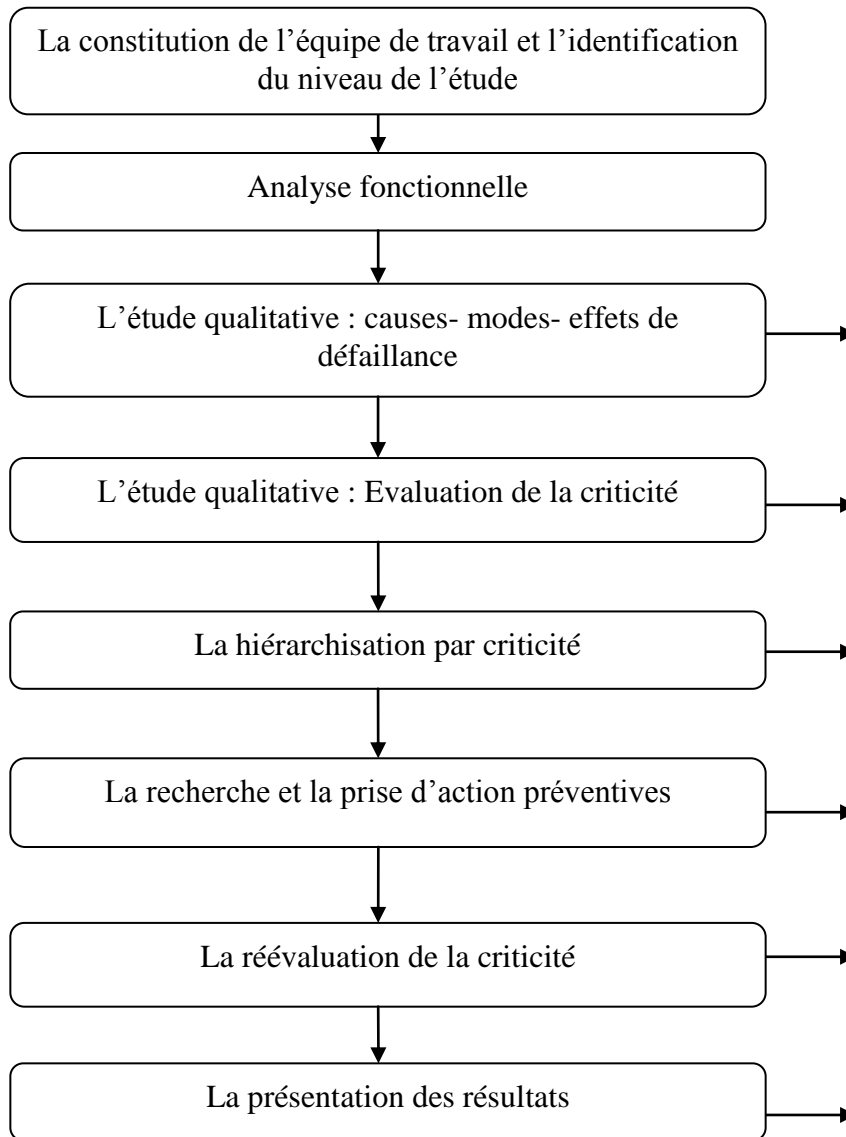
- **L'AMDEC services**

Il est pratiqué sous la responsabilité de celui qui a déterminé le service ou les modalités de la prestation du service. Les objectifs de l'AMDEC services sont de :

- respecter les contraintes ;
- définir les points critiques ;
- proposer des changements sur le service ou la prestation ;
- optimiser, voire créer les contrôles ;
- déterminer des mesures de secours ou des mesures préventives ;
- élaborer et suivre un plan d'action.

**IV-3 Les étapes de l'AMDEC services :**

L'analyse par la méthode AMDEC se fait en huit étapes résumer en diagramme de figure (II.4).



*Figure (II.4) [19] : Les étapes de l'AMDEC*



Tableau AMDEC :

Identification du Problème	Étude fonctionnelle	Analyse des défaillances			
		Composant	Fonction	Mode	Cause
Indiquer le Composant	Lister toutes les fonctions devant être assurée par le composant considéré	Lister tous les modes de défaillance pour chaque fonction	Lister toutes les causes pour chaque mode	Pour chaque cause, listé les effets les plus graves et Estimer le temps d'intervention	Trouver pour chaque effet, les moyens de détection possibles

Tableau (II.1) [20] : Tableau de l'AMDEC

La quatrième étape l'évaluation de la criticité (Étude quantitative) est basé sur les calculs de fréquence, gravité et détectabilité. Ces critères sont appuyés sur des matrices de cotation :

**a. la fréquence F**

Matrice de cotation de la fréquence destinée pour une notation de criticité :

Critère fréquence	Note
Moins d'une fois par an	1
1 à 2 fois par an	2
3 à 12 fois par an	3
Plusieurs fois par mois	4

Tableau (II.2) [20] : Les critères de fréquence



**b. la gravite G**

Matrice de cotation de la gravité destinée pour une notation de la criticité :

Critère gravité	Indice
Arrêt de travail sur le puits inférieur à 10 minutes	1
Arrêt de travail sur le puits compris entre 10 à 30 minutes	2
Arrêt de travail sur le puits compris entre 30 minutes et 2 heures	3
Arrêt de travail sur le puits supérieur à 2 heures	4
Sécurité/Qualité	5

Tableau (II.3) [20]: Les critères de Gravité.

**c. la détectabilité D :**

Matrice de cotation de la détection destinée pour une notation de la criticité :

Critère détection	Note
Détection totale	1
La détection est exploitable.	2
La détection est faible.	3
IL s'agit du cas sans détection	4

Tableau (II.4) [20] : Les critères de détection

**d. Criticité C**

Calcul de criticité :

Criticité =Fréquence \* Gravité \* Détection

$$C = F \times G \times D \text{ (II -3)}$$

**Tableau AMDEC**

Identification de système		Etude fonctionnelle	Analyse de défaillance				Estimation de criticité			
Section	Composant e	Fonction	Mode de défaillance	Cause	effet	Détection	G	F	D	C=RPN

Tableau (II. 5) : Exemple de tableau AMDEC maintenance

**IV-4 L'étude de fiabilité (loi de Weibull)**

L'expression de loi de Weibull recouvre en fait toute une famille de lois, certaines d'entre elles apparaissant en physique comme conséquence de certaines hypothèses.

Cette loi constitue surtout des approximations particulièrement utiles dans des techniques diverses alors qu'il serait très difficile et sans grand intérêt de justifier une forme particulière de loi. Une distribution à valeurs positives (ou, plus généralement mais moins fréquemment, à valeurs supérieures à une valeur donnée) a presque toujours la même allure. croît jusqu'à un maximum et décroît plus lentement. Il est alors possible de trouver dans la famille de Weibull une loi qui ne s'éloigne pas trop des données disponibles en calculant  $\beta$  et  $\eta$  à partir de la moyenne et la variance observées [24].

**IV-4-1 Fonction de fiabilité R (t) :**

La forme générale de la fonction de fiabilité est désignée par  $R(t)$  représentant la probabilité de bon fonctionnement à l'instant  $t$ .

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \tag{II-4}$$

Sa fonction de répartition  $F(t)$  est la probabilité que le dispositif soit en panne à l'instant  $t$ . Elle est exprimée par :

De

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

Son taux instantané de défaillance  $\lambda(t)$  est un estimateur de fiabilité. Il s'exprime par :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \tag{II-6}$$

Remarque si :

$$\text{Si } \begin{cases} \gamma = 0 \\ \beta = 1 \end{cases} \lambda(t) = \frac{1}{\eta} = \frac{1}{MTBF} \tag{II.7}$$

Sa densité de probabilité  $f(t)$  se calcul par l'expression suivante :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \text{ A vect } \geq \gamma \tag{II.8}$$

La courbe théorique de distribution est montrée aux figures(II.5) et (II.6). On peut remarquer l'influence du paramètre  $\beta$  (coefficient de forme).

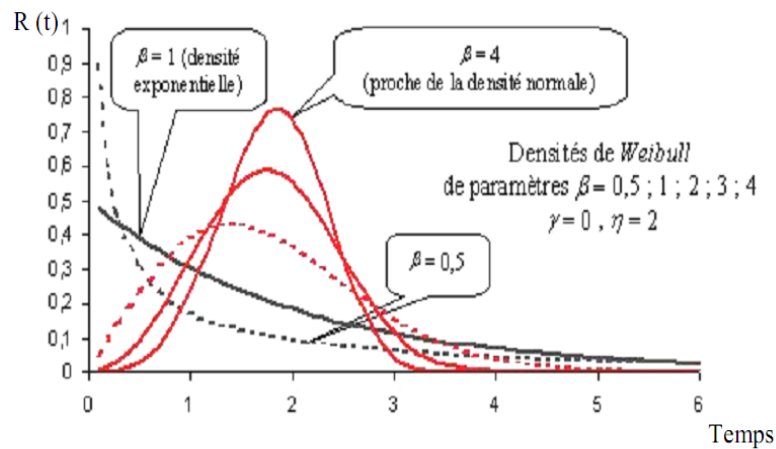


Figure (II.5) [20] : Les courbes théoriques de Weibull qui désigne  $\beta$  par la courbe fiabilité en fonction de temps.

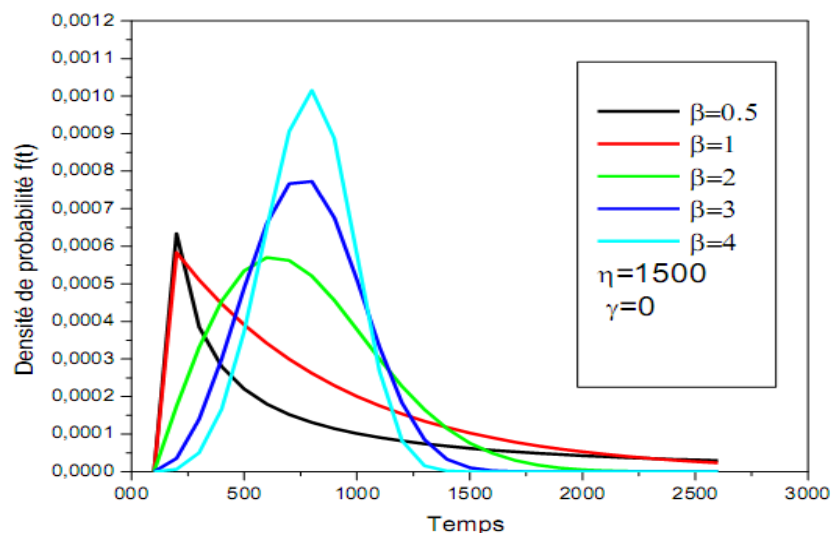


Figure (II.6) [20] : Courbes théoriques de Weibull qui désigne  $\beta$  par la courbe de densité de probabilité en fonction de temps.

- $\gamma$  : paramètre d'origine des temps ; il prend en compte le fait que les composants étudiés sont neufs ou ont été déjà utilisés avant l'essai, avec ou sans remplacement.

Lorsqu'on n'a utilisé que des composants neufs,  $\gamma = 0$ . La formule de Weibull est dite à deux paramètres.

- $\beta$  : paramètre de forme, Il définit le type de phénomène de dégradation en cause.
- $\eta$  : paramètre d'échelle.

Les valeurs de  $\eta$  et de  $\beta$  permettent de calculer le MTBF :

$$MTBF = \gamma + \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \tag{II-9}$$

$$MTBF = \gamma + A\eta \tag{II-10}$$

Notons que cette valeur obtenue est indépendante du temps ; elle correspond à la somme de zéro à l'infini des temps de fonctionnement des composants étudiés.

- $\beta < 1 \Rightarrow \lambda(t)$  décroît  $\rightarrow$  période de jeunesse.
- $\beta = 1 \Rightarrow \lambda(t) = cte$
- ❖ Indépendance du temps.
  - $\beta > 1 \Rightarrow \lambda(t)$  croît  $\rightarrow$  période d'obsolescence.
  - $1.5 < \beta < 2.5 \rightarrow$  exprime un phénomène de fatigue.
  - $3 < \beta < 4 \rightarrow$  expriment un phénomène d'usure.

Le paramètre de position gamma donne des indications sur le retard de la fonction  $f(t)$ . La figure (II.7) montre cette variation.

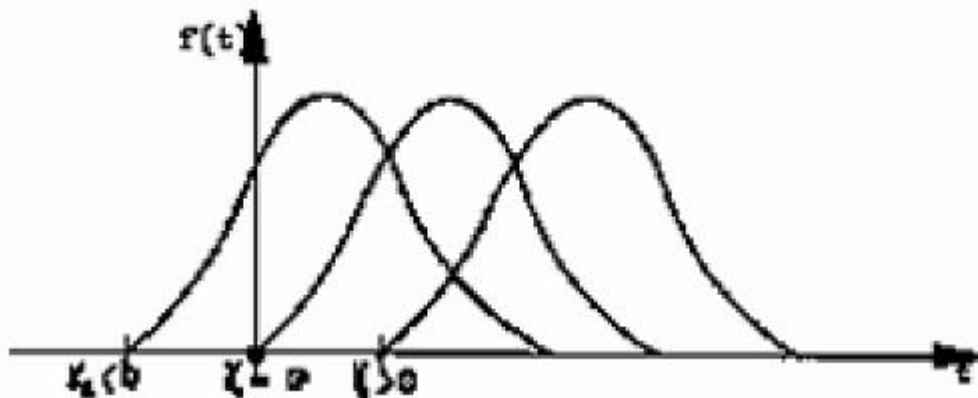


Figure (II.7) [20] : Les courbes de  $f(t)$ .

- Avec  $\gamma < 0$  ceci explique qu'une probabilité de défaillance est déjà présente au moment de l'installation du système.
- Avec  $\gamma = 0$  une probabilité de défaillance sera présente dès la mise en service du Système
- Avec  $\gamma > 0$  une probabilité de défaillance dans les premières utilisations du système est nulle.

Paramètre d'échelle  $\eta(\eta)$  : Ce paramètre permet d'utiliser le papier d'Allan Plait quelque soit l'ordre de grandeur de  $t$ . Il n'a donc pas à être interprété [23].

**IV-4-2 Préparation des données**

- Calcul des Temps de bon fonctionnement
- Classement des temps de bon fonctionnement en ordre croissant
- N = nombre de Temps de bon fonctionnement
- Recherche des données F (i), F(i) représente la probabilité de panne au temps

Correspondant au Temps de bon fonctionnement de nième défaillant.

On a 3 cas différents [23] :

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

$$F(i) = \frac{Ni}{N} = \frac{\sum Ri}{N} \approx F(t) \tag{II.11}$$

4- Si  $20 < N < 50$ , On affecte un rang « Ni » à chaque défaillance (approximation des rangs moyens) :

$$F(i) = \frac{Ni}{N+1} \approx F(t) \tag{II-12}$$

5- Si  $N < 20$ , On affecte un rang « Ni » à chaque défaillance (approximation des rangs médians) :

$$F(i) = \frac{Ni-0.3}{N+0.4} \approx F(t) \tag{II-13}$$

**IV-4-3 Test (KOLMOGOROV SMIRNOV)**

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

Cette valeur est comparée avec  $D_{N,\alpha}$  Qui est donnée par la table de Kolmogorov Smirnov (voir annexe1). Si  $D_{N,max} > D_{N,\alpha}$  On refuse l'hypothèse [2].

# Chapitre 03

## I- Introduction :

Dans ce chapitre, on va exposer, en premier lieu les défauts de surfaces engendrés lors des opérations CND effectuées sur différents éléments du moteur de fond hydraulique Sperry-Sun.

Ces défauts ou bien les résultats obtenus vont être analysés par la méthode AMDEC, afin de trouver les éléments qui affectent le système (moteur de fond) tant du point de vue sécurité que celui de fiabilité par la détection des causes de ces défauts en indiquant leurs impacts (criticité) et calculer les indicateurs de fiabilité.

## II- Première partie : Représentation des défauts détectés par CND:

### II.1. Démontage :

Le démontage est une étape primordiale pour faire le CND afin de pouvoir inspecter les différents organes qui composent le moteur du fond hydraulique. Ces composants sont reliés entre eux par des filetages droits sauf le **Rotor catcher**, la **Nut catcher** et le **lower coupling End** qui sont dotés de filages gauches pour assurer la sécurité du PDM en cas de desserrage de son organe au fond de puits. Avant le démontage, il faut connaître le nombre des heures de service du moteur de fond et régler son 'angle à 0 degré, ensuite on le passe au **torque master** pour le séparer du **Lifting Sub** qui assure le déplacement facile du PDM en chantier pétrolier à partir du sol jusqu'au plancher du Mat de forage. En deuxième étape, on desserre le **power section** qui se compose du **rotor**, du **stator** et du **rotor catcher** avec le **torque master** en maintenant le **Drive shaft**. En troisième lieu, il faut desserrer la partie de transmission au niveau de **stator adapter** qui assure la connection entre le **stator** et le **bearing pack**. Ce dernier, est composé du **Upper et Lower coupling**, du **Mandrel**, du **offset** et **offset pad**, **adjusting Ring** sans oublier le **CV shaft**, le **lower bearingsub** et **Nut catcher** en terminant le démontage de tous ses composants finalement on a que le **Drive shaft** placé à la machine de couplage. Cette opération est reliée d'une façon directe avec le chiffre de couplage par ce que tous les pièces ont des différents couples de desserrage spécialisés écrits sur la feuille de démontage. Figure III-1.

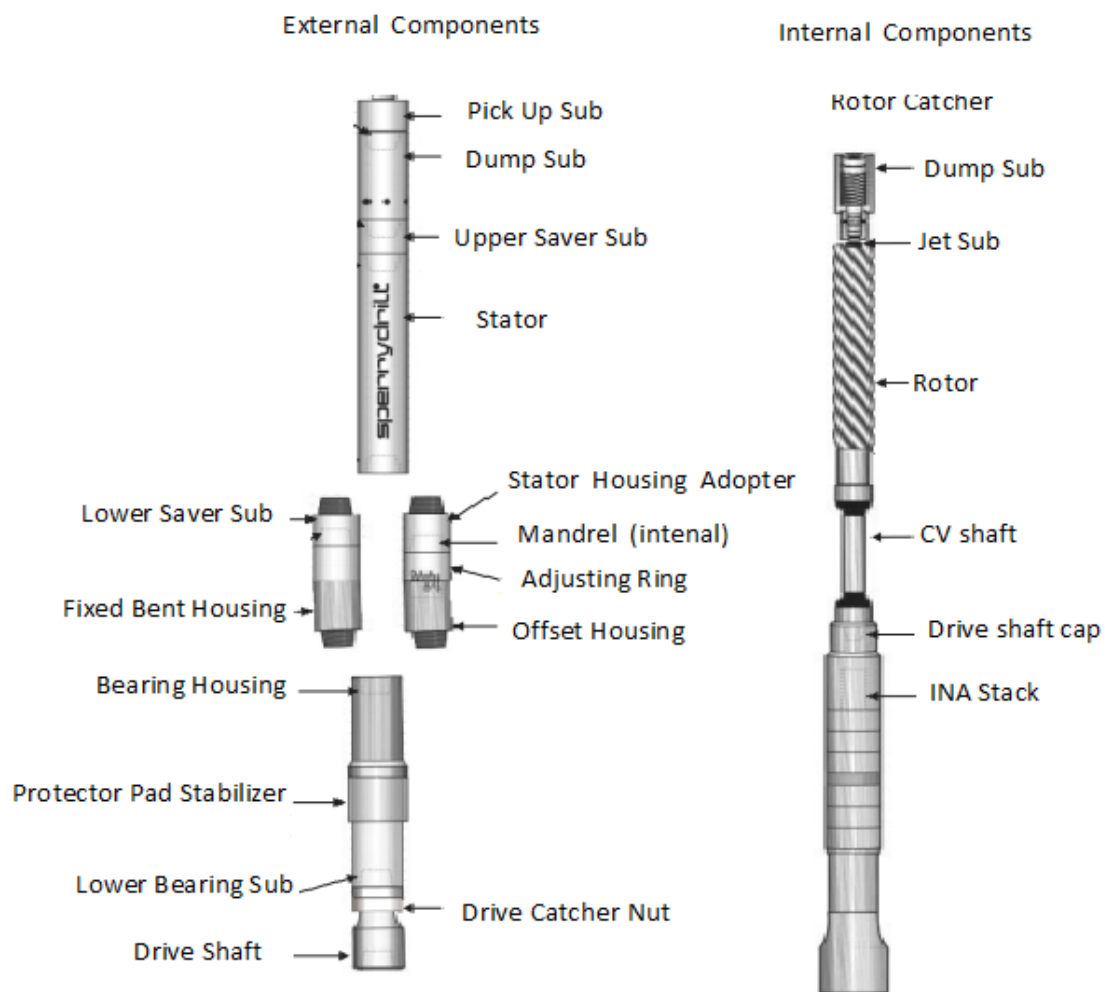


Figure (III-1) [24]: Les composants internes et externes de PDM Sperry-Sun.



**II.2. Le CND de PDM :**

Les défauts représentés dans cette partie sont obtenus à partir des opérations de contrôle, effectués sur les moteurs Sperry-Sun au niveau des ateliers d’Halliburton.

La section	Le composant	Détection
Section motrice (stator)	Elastomère	Visuel (camera) Test de rigidités
	Protecteur	Visuel Dimensionnelle Magnétoscopie
Section motrice (Rotor)	Rotor	Visuel Magnétoscopique
	rotor cacher	Visuel Magnétoscopique
section de roulement	INA stack	Visuel Dimensionnelle
	roulement radial	Visuel Dimensionnelle
	drive shaft	Visuel Magnétoscopique
	drive shaft cap	Visuel
Section de transmission	CV shaft	Visuel Magnétoscopique
	thrust pad	Visuel Dimensionnelle
	middle mandral	Visuel Magnétoscopique
	offste housing	Visuel Magnétoscopique
	CV coupling	Visuel Magnétoscopique
Stableux		Visuel Magnétoscopique
catcher nut		Visuel Magnétoscopique

*Tableau (III.1): Les opérations de CND appliqué pour chaque élément.*

Le tableau (III.1) représente les opérations de CND convenables à chaque élément inspecté.

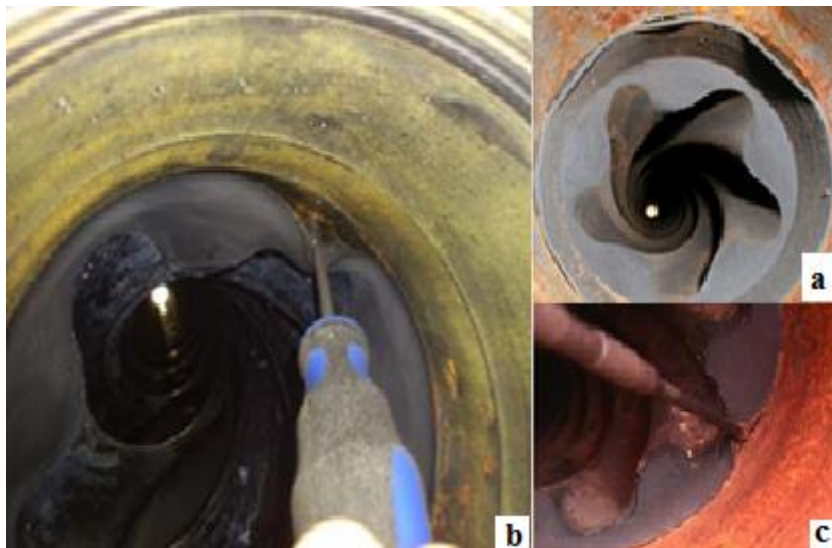
**II.2.1. Défauts au niveau de stator :**

- **Décollement (debonding):**

L'élastomère peut décoller de deux manières sont :

- L'élastomère peut décoller de l'adhésif ;
- L'adhésif peut décoller de protecteur en acier.

L'élastomère décollé à cause des défauts de fabrication, la pression et le mouvement hélicoïdal de la boue.

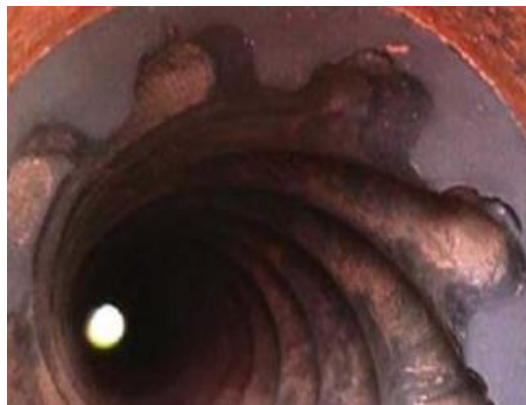


**Figure(III.2) :** *Décollement (Debonding) d'élastomère (a. élevé, b. moyen, c. petit).*

- **Erosion (Wash) :**

Elle se produit ou se développe par le mouvement hélicoïdal de la boue à débit maximum.

Figure III.3 représente l'érosion l'élastomère.



**Figure(III.3):** *L'érosion d'élastomère.*

- **Nervure radial (elastomer radial ribbing) :**

Il apparait dans les lobes crête du stator à cause de l'existence des solides, les sables et les objets étrangers dans la boue, marquage radial, découpages, des plaquettes manquantes, boursoufflures, fissures, piqure ébréchant, rainurage ou l'érosion sur le rotor. (Figure (III.4))



*Figure (III.4): Nervure radial d'élastomère.*

- **Fissure (cracking):**

Il apparait dans les cuvettes de stator, ils suivent le chemin hélicoïdal du lobe, les fissures peuvent être indicatives des charges lourdes pendant une longue durée du travail. Les centres des lobes ont été chauffés. Figure (III.5).



*Figure (III.5) : Les fissures (cracking) de l'élastomère.*

- **Déchirement (tearings) :**

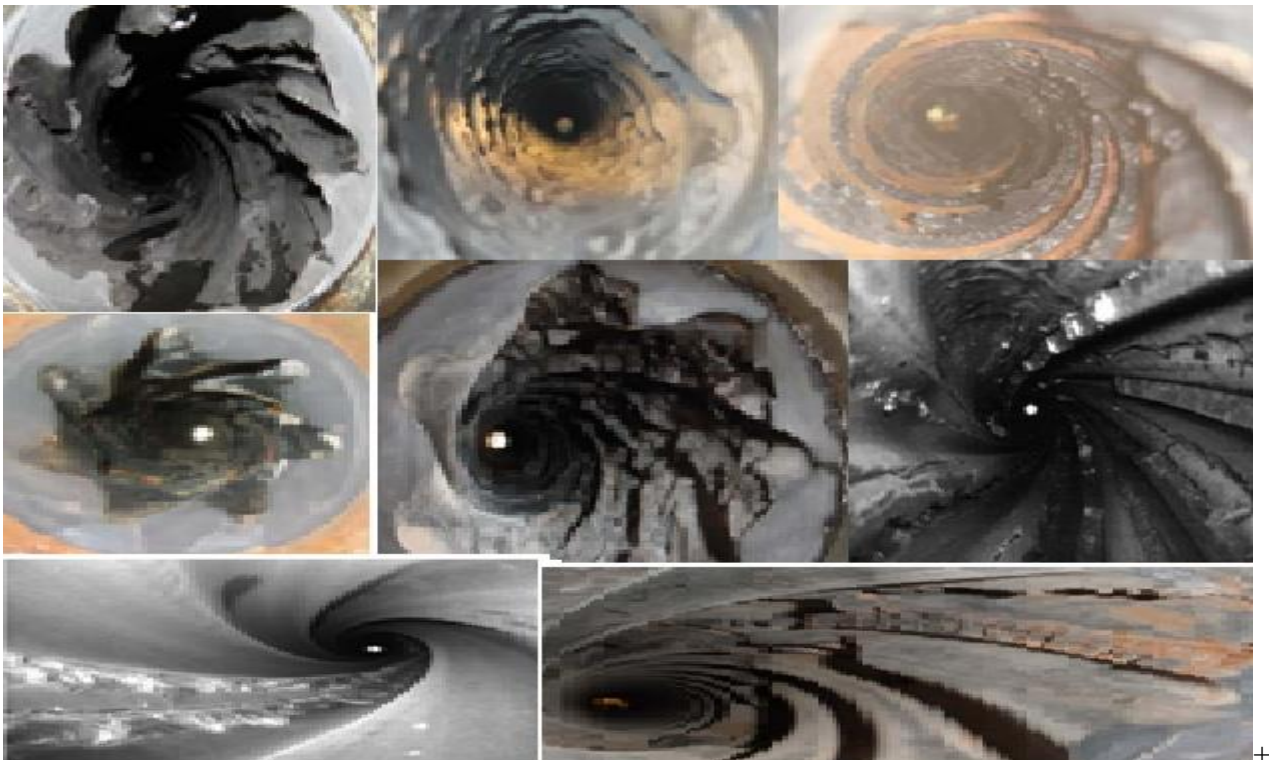
Il s'agit d'une perte des parties d'élastomère à cause du développement de la fissure, de la charge lourde ou de l'existence des solides étrangers durs. Figure (III.6).



*Figure (III.6) : Déchirement (tearing) d'élastomère.*

- **Arrachement (chunking) :**

Il se produit par le frottement du rotor avec le stator pendant le montage ou démontage ainsi que par l'effet des objets étrangers ou par le mouvement hélicoïdal de la boue à haute pression. Figure (III.7).



*Figure (III.7) : Arrachement (Chunking) de l'élastomère.*



- **Délamination :**

Il se produit pendant le moulage à cause de frottement entre le protecteur et l'élastomère.  
Figure (III.8).



*Figure (III.8): Délamination de stator.*

- **Fragments d'élastomère :**

Le moteur doit être régulièrement inspecté pour contrôler les signes d'endommagement à cause des objets étrangers, du décoller d'élastomère ou ceux dus à dégradation chimique et thermique. Figure (III.9)



*Figure (III.9) : Fragments d'élastomère.*

- **Les défauts de protecteur :**

Sont des marquages externes, revêtement excentrique, usure, fissure, protecteur flambé à cause de WOB, endommagement du filetage. Figure III.10.



*Figure (III.10) : Endommagement de protecteur.*

**II.2.2. Défauts au niveau de rotor :**

- **L'effet de peau de serpent (Snakeskin) :**

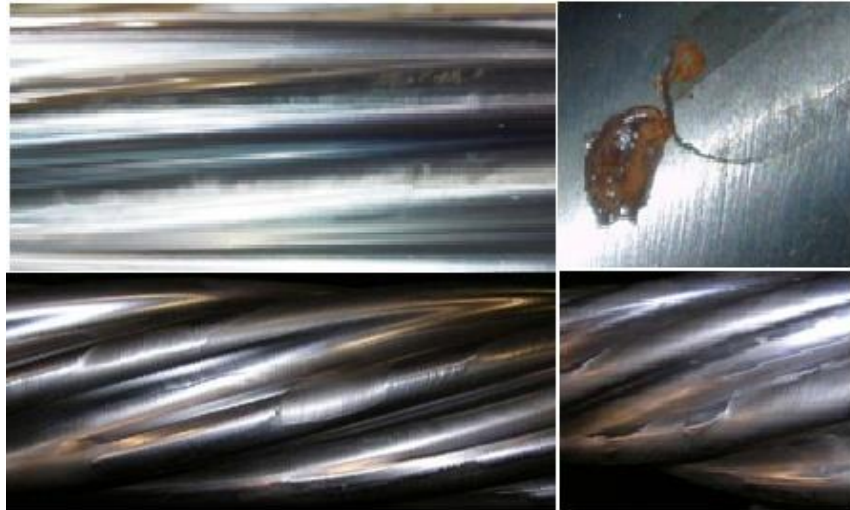
Il est le signe de la fatigue de la couche de chrome causé par les agents corrosifs, nervure radial et l'endommagement d'élastomère. Figure(III.11).



*Figure (III.11) : L'effet peau de serpent (snakeskin) sur le rotor.*

- **Marquage radial et circulaire (radial / circumferential scoring):**

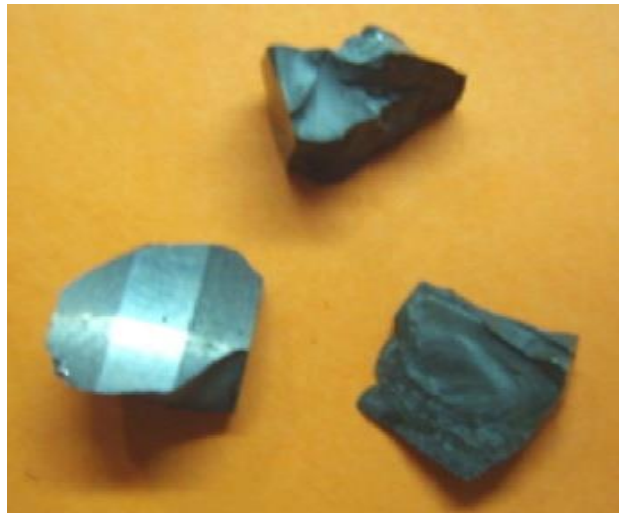
Il se produit par l'existence des solides, sables et/ou objets étrangers dans la boue, le potentiel de corrosion de la boue et l'endommagement d'élastomère. Figure (III.12).



*Figure (III.12) : Marquage radial /circulaire (radial / circumferential scoring) de rotor.*

- **Le découpage de l'enduit (coating indentations):**

Il se produit par les objets étrangers intercalés entre le rotor et le stator et l'endommagement d'élastomère. Figure(III.13)



*Figure (III.13) : Le découpage de l'enduit (coating indentations).*

- **Ecaillage de l'enduit (coating chipping):**

Il se produit par des objets durs étrangers introduits entre le rotor et le stator. Figure (III.14).



*Figure (III.14) : Ecaillage de l'enduit de rotor (coating chipping).*

- **Rainurage (coating & base material gouging) :**

A L'instar du défaut précédent, en plus d'être causé par la présence de durs objets étrangers entre le rotor et le stator, il est initié par un mauvais montage et démontage du moteur, par l'endommagement d'élastomère et par le potentiel corrosif de la boue de forage. Figure (III.15).



*Figure (III.15): Rainurage (coating & base material gouging) de rotor.*



- **Contamination :**

Le moteur peut être contaminé par différents types de LCM (Lost Circulation Material), de ciments ou des additives de la boue, qui peuvent agir comme des agents abrasifs. Leur importance dépend des opérations de forage et des procédures de mélange. Figure (III.16).



*Figure (III.16) : La contamination de rotor.*

- **Erosion :**

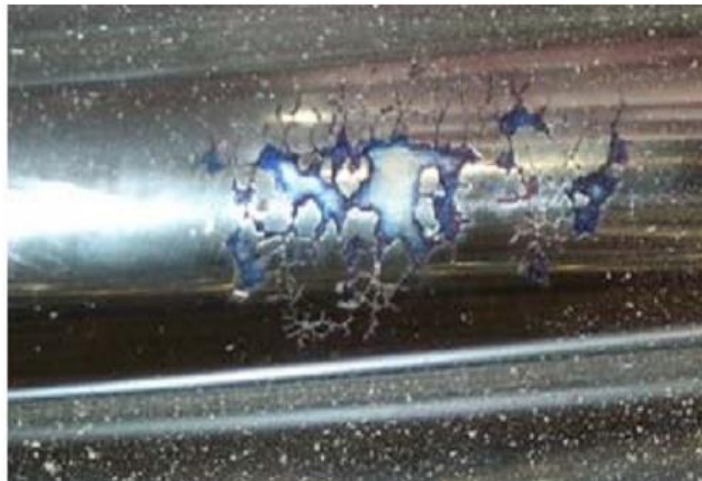
Elle peut se produire par l'écoulement de la boue à haute pression et à grand potentiel de corrosion, et par l'existence de sable et de solide dans la boue de forage. Figure (III.17).



*Figure (III.17): L'érosion de rotor.*

- **Fissure (crack):**

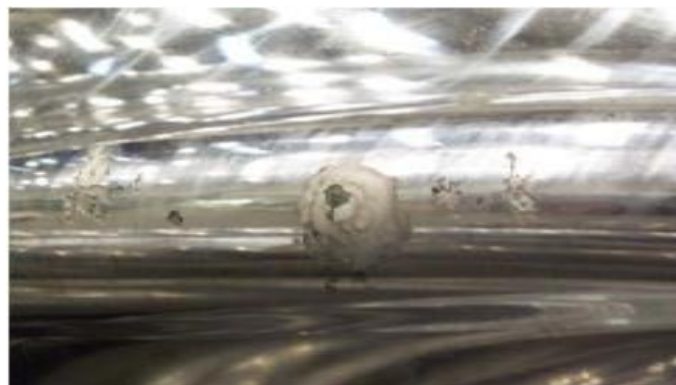
Elle apparait au niveau de la couche de chrome due aux attaques des produits chimiques constitutifs de la boue et certain type et le niveau de l'abrasion des agents corrosive dans la boue, l'existence des objets étrangers et l'endommagement d'élastomère. voir la figure (III.18).



*Figure (III.18) : La fissuration (crack) de rotor.*

- **Corrosion :**

Il apparait quand les agents corrosifs (Chlorure) dans la boue qui pénètrent dans le rotor et attaque l'interface entre le métal et l'enduit du rotor. Figure (III.19).



*Figure (III.19) : La corrosion de rotor.*

- **Les pertes de plaquettes (coating platelets missing):**

Elles se produisent par des effets mécaniques et chimiques. Les effets mécaniques sont générés par le passage des solides à grande dimension entre le rotor et le stator. Les effets chimiques sont produits par l'attaque des agents corrosifs (sels/ chlorure) sur l'interface métal/ enduit du rotor.

- **Piqûres :**

Les agents corrosifs, les solides étrangers et l'endommagement d'élastomère de stator peuvent générer des piqûres sur les lobes de rotor. La couche de Chrome est l'enduit le plus corrodé et à un niveau moindre vient le carbure. Figure (III.20).



*Figure (III.20) : Les piqûes du rotor.*

- **Le flambage du rotor :**

Il est évident que le WOB (weight on bit) et les charges élevées sur le rotor peuvent tordre le rotor.



- **Empreintes sur l'extrémité du corps du rotor :**

Elles se produisent par l'application du couple de serrage sur le corps du rotor induit par l'action de la clé de serrage, ainsi que l'action des agents corrosifs et la nature de la boue et l'endommagement de l'élastomère. Figure (III.21).



*Figure (III.21) : Empreintes sur l'extrémité du corps du rotor.*

**II.2.3. Autres problèmes :**

La figure (III.22) représente différents endommagements de pièces constituant le PDM. On peut citer le bouchage, l'érosion du drive shaft cap, l'usure de l'offset et du adjusting ring, l'écrasement du middle mandrel, l'endommagement et l'usure au niveau de la cage des billes dans le CV shaft et l'usure du CV coupling.



*Figure (III.22) : L'endommagement des pièces de PDM.*

#### II.4. Remontage :

Après avoir terminé les étapes de démontage et d'inspection (**CND**), vient la phase finale qui consiste à remonter le système. La figure III-1, représente les composants internes et externes du **PDM Sperry-Sun**. Après le nettoyage et l'inspection des différents organes du moteur, on commence par le **Drive shaft** par sa pose au niveau du sol, puis on place le **Nut catcher** et le **Lower radial bearing** et l'**Ina stack** après on pose le **Belleville Spring** (tous ces équipements sont protégés par le **bearing housing** qui est serré avec la **Nut catcher**), après cela, on repose le **Upper Stationary** dans le **Bearing housing** et sur ce termine l'opération de montage de la partie inférieure du moteur de fond (**Bearing section**). La transmission est une partie essentielle car elle est responsable de la déviation de la trajectoire du puits pétrolier, elle est entamée par le placement du **CV shaft** et la pose du **lower** et **Upper coupling end**, le **Mandrel**, l'**adjusting Ring** et sans oublier la remplacement de l'huile lubrifiant du **CV Bots**. La partie motrice est la section qui fait tourner le **Rotor** par la force hydraulique générée par les pompes à boue. Enfin, et pour terminer la montage total du **PDM**, on place le **Rotor** dans le **Stator** en équipant cette partie par un **Rotor catcher** qui a le rôle d'assurer la sécurité des organes en cas de desserrage. Aussi, et pour achever le remontage du **PDM** il faut l'équiper d'un **Lifting** pour faciliter son mouvement. Toutes ces opérations sont faites avec le graissage de tous les organes en assurant un couple bien déterminé en ayant recours au **Build sheet** (25) du montage du **PDM**.

#### II.5. Le teste de push pull :

Après la phase de remontage du **PDM**, on effectue le test **push pull** qui se déroule suivant les étapes ci-contre:

- Après le montage du **PDM** dans le **Torque master**, on visse le **push/pull nubbin** dans le taraudage du **drive shaft**;
- On applique une poussé par une force d'une valeur approximative de 4000 lb-force ;
- On mesure par le pied à coulisse le vide entre le **drive shaft** et le **catcher nut** ;
- On tire l'ensemble par une force approximative de 4000 lb-force;
- On effectue une nouvelle mesure par le pied à coulisse du vide entre le **drive shaft** et le **catcher nut** ;
- On calcule la différence des mesures prises dans le **Build sheet**,
- Vérifier que cette valeur ne dépasse pas celle du **Build sheet**.

**III- L'analyse des modes de défaillance par la méthode AMDEC :**

Afin d'exploiter les données CND, on a pu procéder à une analyse des modes de défaillances afin de déceler les éléments les plus critiques. Pour cette fin, on va réaliser l'AMDEC maintenance du moteur Sperry-Sun.

L'analyse fonctionnelle est présentée sous forme d'arbre décrivant les différentes interactions des éléments du moteur sujet de l'étude. Figure (III.23).

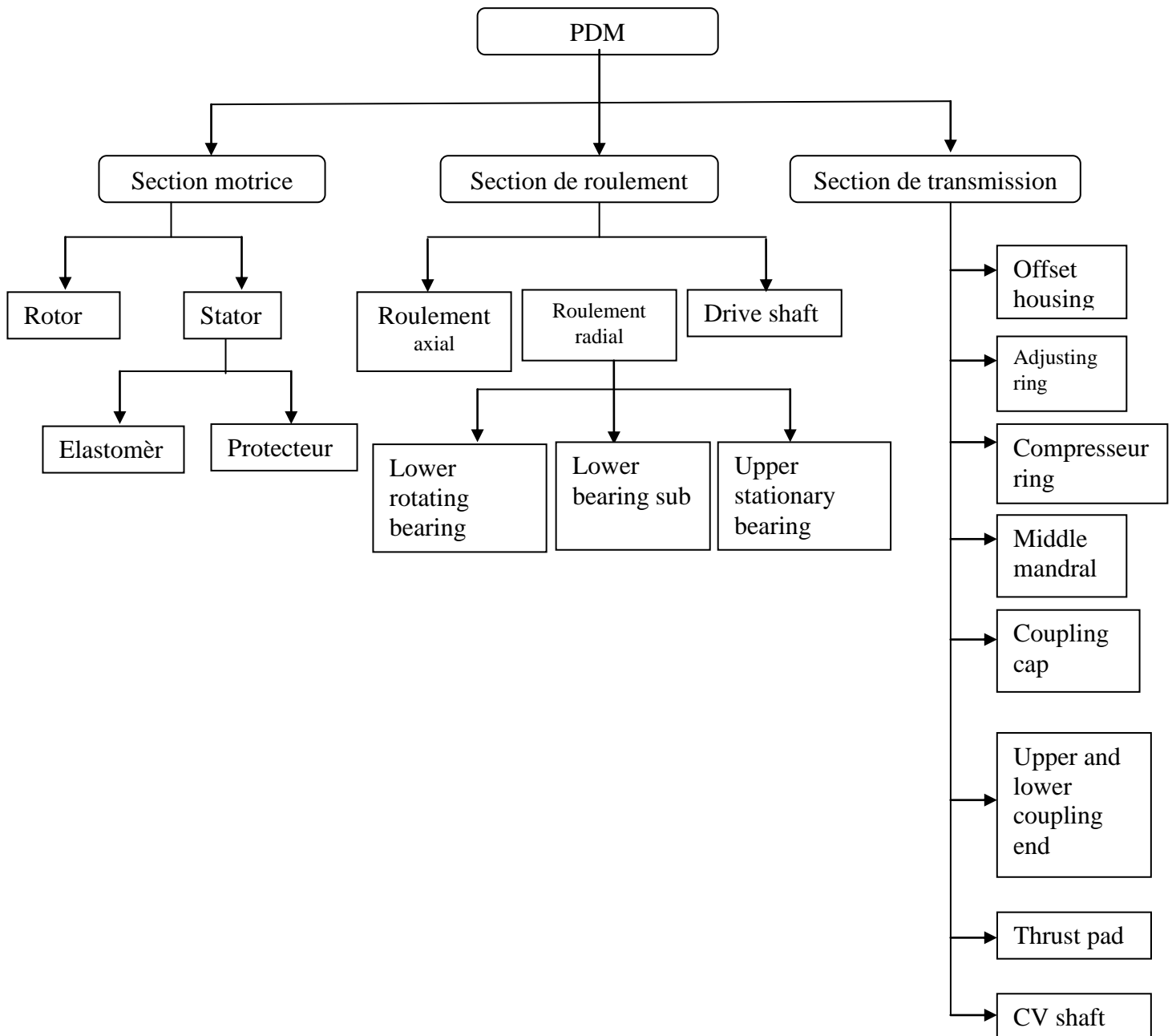


Figure (III.23) : L'arborescence de PDM.

Le tableau AMDEC maintenance de l'annexe 04 se compose de :

- Jumelage entre le tableau III.1 et l'arborescence de moteur figure III.22.
- Défauts cités dans la première partie de ce chapitre
- Fonctionnement de chaque élément.
- Impacts des défauts sur les éléments du moteur.

Pour quantifier notre étude, on va rajouter d'autres composantes: La gravité, la fréquence, la non détection et la criticité (voir les étapes de l'AMDEC services).

Ces composantes nous permettent d'effectuer une étude qualitative.

**III.1. Analyse et discussion :**

Pour faire la discussion des résultats, il faut prendre une valeur seuil de la criticité.

C	N° de défaillance	Y	
2	1	1	Risque acceptable
4	3	4	
8	8	12	
10	3	15	Risque qui devrait être réduit voire supprimé
12	1	16	
15	1	17	
16	8	25	
20	2	27	
24	3	30	
32	3	33	Risque inacceptable
36	3	36	
64	2	38	

**Tableau (III- 2) : L'évaluation de la criticité.**

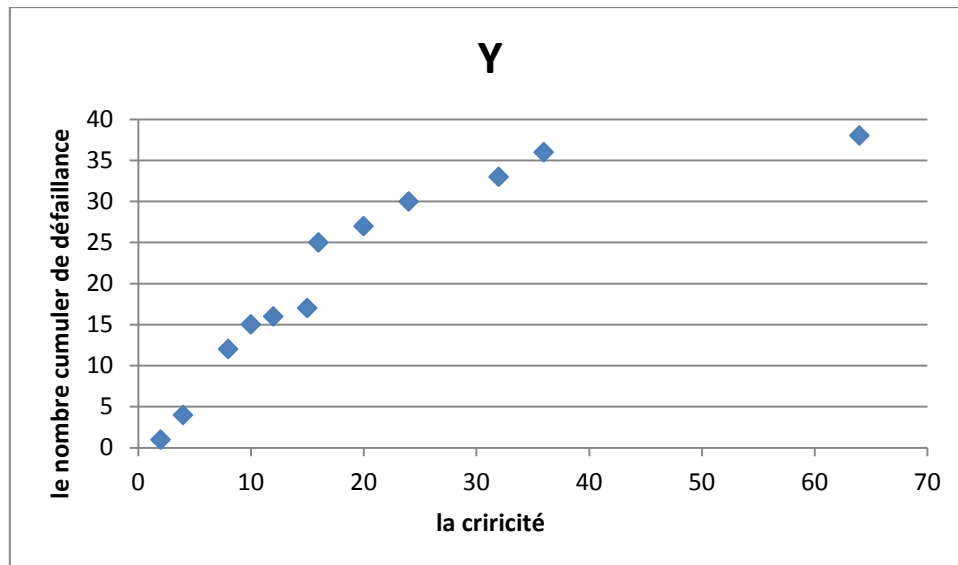


Figure (III-24) : La courbe de nombre de défaillance cumulé (Y) en fonction de criticité ©.

D'après les résultats obtenus par l'AMDEC, on peut répertorier les modes de défaillance par rapport à la valeur de la criticité qui est évalué à 24, en trois catégories :

- Risque acceptable (pas de maintenance spécifique à appliquer)
- Risque qui devrait être réduit voire supprimé (instauration d'une maintenance appropriée afin de diminuer la valeur de ce risque ;
- Risque inacceptable dont il faut le supprimer et ce en appliquant une maintenance préventive trop stricte.

### III.2. Le calcul de fiabilité par la loi du Weibull :

Le tableau III.3 représente les temps de défaillance pour chaque moteur t, ces temps classé par ordre croissant i, les valeurs de  $\ln t$  et  $\ln (\ln (1/ (1-F(t))))$  son calculées. Le calcul de la fonction de défaillance est faite par approximation des rangs moyens ( $20 < N < 50$ ) car on a un échantillon de 24 cas. On affecte un rang "Ni" à chaque défaillance. Voir équation (II-12).



I	T	F(t)	ln(t)	ln(ln(1/(1-F(t))))	i	t	F(t)	ln(t)	ln(ln(1/(1-F(t))))
1	32,25	4%	3,474	-3,199	13	96	52%	4,564	-0,309
2	44,5	8%	3,795	-2,484	14	106,25	56%	4,666	-0,197
3	54	12%	3,989	-2,057	15	109	60%	4,691	-0,087
4	56,5	16%	4,034	-1,747	16	114,25	64%	4,738	0,021
5	61,5	20%	4,119	-1,500	17	121	68%	4,796	0,131
6	64	24%	4,159	-1,293	18	125,75	72%	4,834	0,241
7	67,75	28%	4,216	-1,113	19	137	76%	4,920	0,356
8	71,25	32%	4,266	-0,953	20	151,5	80%	5,021	0,476
9	78,75	36%	4,366	-0,807	21	163,5	84%	5,097	0,606
10	83	40%	4,419	-0,672	22	219	88%	5,389	0,752
11	83,25	44%	4,422	-0,545	23	246	92%	5,505	0,927
12	85,75	48%	4,451	-0,425	24	309,28	96%	5,734	1,169

Tableau (III.3) : Les TBF et le calcul de la distribution de Weibull.

La figure (III.25) représente  $\ln(\ln(1/(1-F(t))))$  en fonction  $\ln t$ , les valeurs sont un nuage des points, qui peuvent être ajustés par une droite (courbe linéaire).

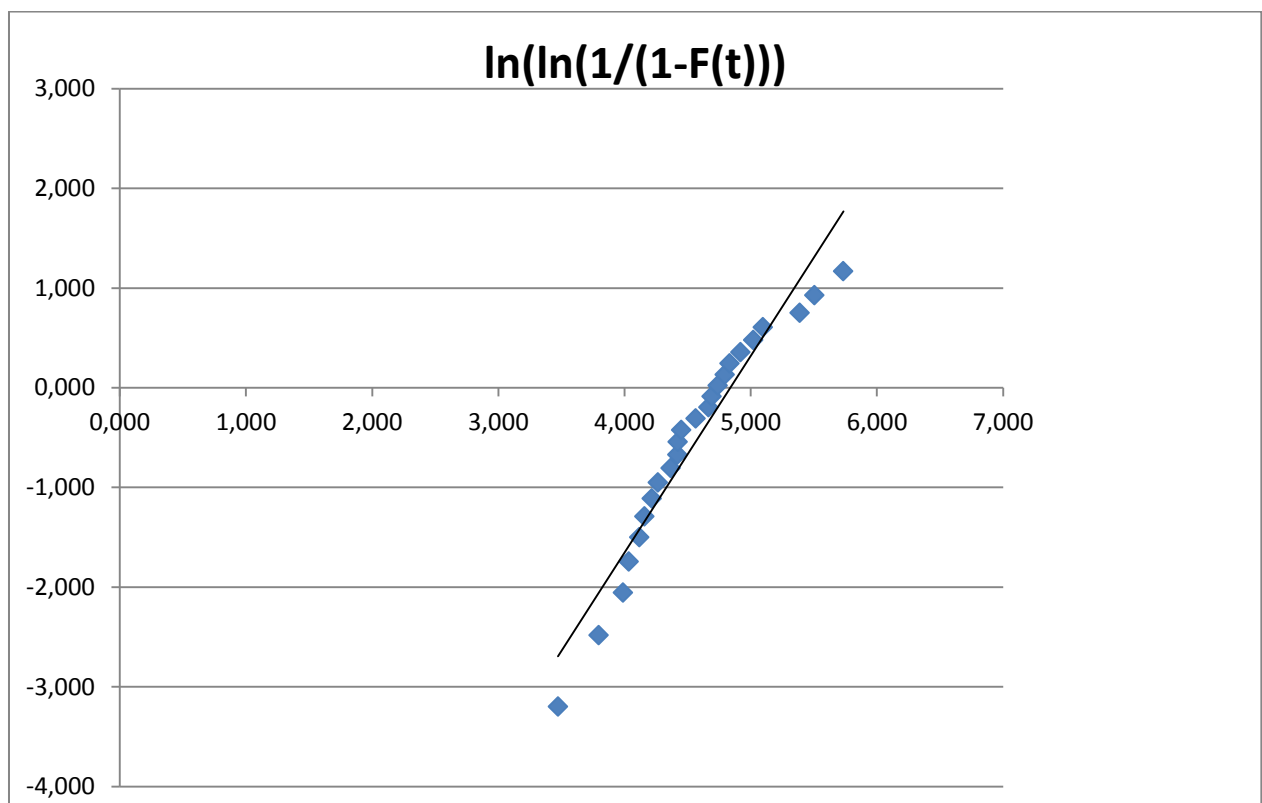


Figure (III.25) : La distribution de Weibull.

D'après la courbe de figure (III-25), on peut calculer les paramètres suivants :

B	1,974
H	126,177
R	0,966856786
Y	0
Rideal	1
$\Delta R$	0,033143214
A	0,88646
B	0,46872
MTBF	111,8512709
$D_{N,\alpha}$	0,2142
R(MTBR)	45%

Tableau (III.4) : Les paramètres de la loi de Weibull

$1.5 < \beta < 2.5$  donc notre cas exprime la défaillance par la fatigue.

$Y=0$  car on a une courbe linéaire.

La valeur de MTBF est acceptable comparé aux temps de mission. La fiabilité (selon équation II-4) à la MTBF (tableau III-5) est faible. Cette valeur n'est pas acceptable, à cause des difficultés de maintien du système au cours du forage. Le R qui représente le coefficient de corrélation qui traduit le niveau de linéarité entre  $F(t)$  et TBF, sa valeur est légèrement inférieure à 1 ce qui est considéré comme une bonne corrélation. Les fonctions de répartitions théoriques et réelles sont convergentes en considérant l'erreur  $D_{N,\alpha}$ .

Le calcul des  $D_{N,\alpha}$  se fait par interpolation linéaire et des données du tableau de loi Kolmogorov-Smirnov (Annexe 02). Les valeurs de A et B sont prises à partir du tableau (Annexe 03). Le calcul de la MTBF se fait selon l'équation (II-10).

Le tableau (III .6) représente la différence entre  $F_{th}$  et  $F_r$  .

TBF	$F_{th}$	$F_r$	$ F_{th}-F_r $	TBF	$F_{th}$	$F_r$	$ F_{th}-F_r $
32,25	0,065	4%	2,542%	96	0,442	52%	7,825%
44,5	0,120	8%	3,994%	106,25	0,509	56%	5,055%
54	0,171	12%	5,073%	109	0,527	60%	7,280%
56,5	0,185	16%	2,511%	114,25	0,560	64%	7,956%
61,5	0,215	20%	1,495%	121	0,602	68%	7,828%
64	0,230	24%	0,966%	125,75	0,630	72%	9,034%
67,75	0,254	28%	2,605%	137	0,692	76%	6,839%
71,25	0,276	32%	4,355%	151,5	0,762	80%	3,814%
78,75	0,326	36%	3,416%	163,5	0,811	84%	2,864%
83	0,354	40%	4,571%	219	0,949	88%	6,870%
83,25	0,356	44%	8,403%	246	0,976	92%	5,616%
85,75	0,373	48%	10,721%	309,28	0,997	96%	3,718%

Tableau (III .5): La variation entre la fonction de réparation réel ( $F_r$ ) et la fonction de réparation théorique ( $F_{th}$ ).

### III.3. Les recommandations :

A l'issue de cette étude nous recommandons de :

- Utiliser le crépin avec le moteur avant de l'introduire dans le puits ;
- Utiliser une nouvelle technologie en l'occurrence le moteur hydraulique Geoforce qui présente les avantages :
  - L'élastomère du stator est mince et uniforme ;
  - Un bon enduit métallique du rotor ;
  - Un arbre de transmission flexible ;
  - Les roulements radiaux sont fabriqués avec du tungstène fondu qui est considéré comme un bon anticorrosif ;
  - Le moteur de GeoForce est conçu pour offrir le couple et la vitesse les plus élevés possibles dans toute la gamme des différences de pression de fonctionnement réalisables et maintenables ;
  - Il travaille dans un large intervalle de températures qui peuvent atteindre 188°C.
  - Une bonne correction de la trajectoire ;
  - Un meilleur contrôle de l'angle de déviation ;
  - Une grande résistance chimique.

## Conclusion

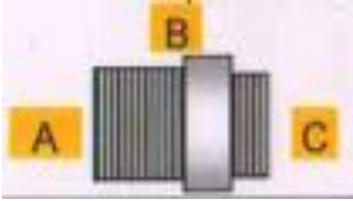

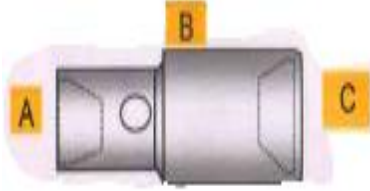
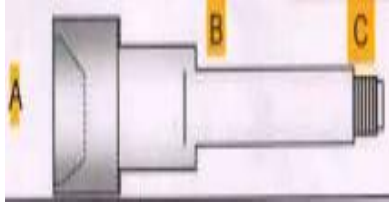
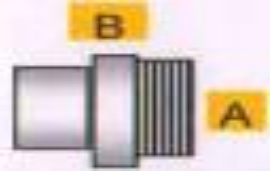
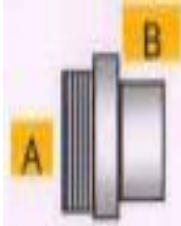

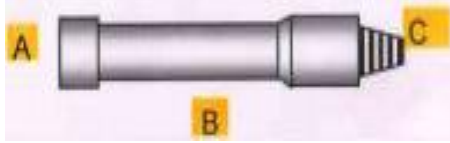

Grâce aux progrès technologiques dans le domaine pétrolier, le contrôle des équipements est considéré comme un élément nécessaire pour améliorer la qualité de service surtout les équipements de fond le risque est plus important.



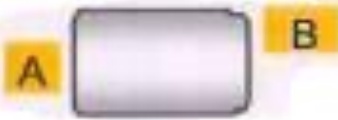

Le CND est une technique multidisciplinaire qui permet la détection des défaillances par différents méthodes.

Dans ce travail, nous avons étudié le moteur hydraulique Sperry-Sun, ce qui nous a permis d'appliquer son CND dans les ateliers d'Halliburton par les trois méthodes : optique (visuel), dimensionnelle ou de magnétoscopie selon les normes DS-1. Le recensement des défauts relevé sur les moteurs nous a aidé à effectuer son AMDEC (analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leur criticité) afin d'analyser les dysfonctionnements du PDM et enfin, la modélisation de la fiabilité par la loi de Weibull, nous a permis d'extraire la moyenne des temps de bon fonctionnement.

On recommande à la clé de cette étude d'utiliser de nouvelles technologies se qui permettent une plus grande résistance mécanique, thermique et chimique.

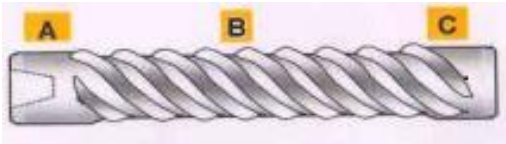
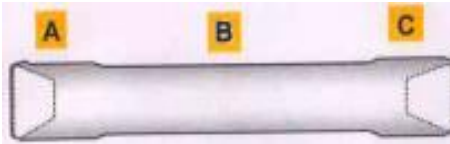
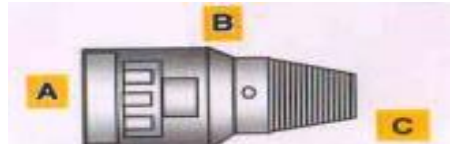

**annexes**

LOWER BEARING SUB S/R							BEARING HOUSING S/R							DRIVE SHAFT CAP S/R							DRIVE SHAFT S/R							
																												
LENGTH :							LENGTH :							LENGTH :							LENGTH :							
LOC - A			LOC - B		LOC - C		LOC - A			LOC - B		LOC - C		LOC - A			LOC B		LOC - C		LOC - A			LOC - B		LOC - C		
ID	CON	COD	BOOY CONC	ID	CON	COD	I D	CON	COD	BOOY CONN	I D	CON	COD	OD	CON	COD	BOOY COND	C O	CON	COD	OD	CO	COD	BOOY COND	ID	CON	COD	
COM							COM							COM							COM							
CV CAP – RM (p)				CV CAP – LH (p)			DRIVER SHAFT CATCHER S/R							LIFTING SUB							STABILIZER SLEEVE S/R							
																												
LENGTH :				LENGTH :			LENGTH :							LENGTH :							LENGTH :							
LOC - A		LOC - B		LOC - A		LOC - B		LOC - A			LOC - B				LOC - A			LOC - B		LOC - C		LOC - A			LOC - B			
CON	COD	BOOY COND	CON	COD	BOOY COND	CO	CON	COD	BOOY COND				OD	CON	COD	BOOY COND	O	CON	COD	CO	CON	COD	BOOY COND					
COM							COM							COM							COM							

TRASMISSION SHAFT S/R			ADJUSTING RING NUT S/R			PROTECTOR SLEEVE S/R			ROTOR CATCHER S/R					
														
LENGTH :			LENGTH :			LENGTH :			LENGTH :					
LOC - A		LOC - B	LOC - C	LOC - B		LOC - A		LOC - B		LOC - C				
BOOY COND	BOOY COND	BOOY COND		BOOY COND	OO		CON	COD	BOOY COND	BOOY COND		ID	CON	COD
<b>ABBREVIATIONS: - CD QULER DIAMETRE - CON: CONNECTION COD: CONDITION -</b>														

La suite

La suite

		REPORT N°		ASSEMBLED DATE				
<b>Customer</b>  <b>Halliburton /Sperry Sun</b>  <b>Address :</b>	TOOL TYPE :			INSPECTION PROCEDURE				
				N°	METHODE	CONNECTION	BODY	ID /BORE
				01	Visual inspection			
				02	Eddy Curent inspection			
	Serial N°		SIZE		03	Dimensionnel inspection		
					04	Magnétique particule inspection		
					05	Liquide Pénètrant Inspection		
				06	Ultrasonique Inspection			
ROTOR S/R	STATOR S/R		CV HEAD – RH S/R		CV HEAD – LH S/R			
								
LENGTH:		LENGTH:		LENGTH		LENGTH:		







## Annexe 02

Tableau de loi Kolmogorov-Smirnov

N	Niveau significatif				
	0.2	0.15	0.1	0.05	0.01
1	0.900	0.925	0.950	0.975	0.995
2	0.684	0.726	0.776	0.842	0.929
3	0.565	0.597	0.642	0.708	0.828
4	0.494	0.525	0.564	0.624	0.733
5	0.446	0.474	0.510	0.565	0.669
6	0.410	0.436	0.470	0.521	0.618
7	0.381	0.405	0.438	0.486	0.577
8	0.358	0.381	0.411	0.457	0.543
9	0.339	0.360	0.388	0.432	0.514
10	0.322	0.342	0.368	0.410	0.490
11	0.307	0.326	0.352	0.391	0.468
12	0.295	0.313	0.318	0.375	0.450
13	0.284	0.302	0.325	0.361	0.433
14	0.274	0.292	0.314	0.349	0.418
15	0.266	0.283	0.304	0.338	0.404
16	0.252	0.274	0.295	0.328	0.392
17	0.250	0.266	0.286	0.318	0.381
18	0.244	0.259	0.278	0.309	0.371
19	0.237	0.252	0.272	0.301	0.363
20	0.231	0.246	0.264	0.294	0.356
25	0.210	0.220	0.240	0.270	0.320
30	0.190	0.200	0.220	0.240	0.290
35	0.180	0.190	0.210	0.230	0.270
>36	$\frac{1.07}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{N}}$	$\frac{0.180}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{N}}$

**Annexe 03**

Distribution de Weibull : valeurs des coefficients A et B en fonction du paramètre de forme

$\beta$	A	B	$\beta$	A	B	$\beta$	A	B
0.2	120	1901	1.5	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
0.3	9.2625	50.08	1.6	0.8966	0.574	4.2	0.9086	0.244
0.35	5.291	19.98	1.65	0.8942	0.556	4.3	0.9102	0.239
0.4	3.3234	10.44	1.7	0.8922	0.54	4.4	0.9146	0.235
0.45	2.4686	6.46	1.75	0.8906	0.525	4.5	0.9125	0.23
0.5	24	47	1.8	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
0.6	1.546	2.65	1.9	0.8874	0.486	4.8	0.916	0.218
0.65	1.3663	2.18	1.95	0.8867	0.474	4.9	0.9171	0.214
0.7	1.2638	1.85	2	0.8862	0.463	5	0.9162	0.21
0.75	1.1906	1.61	2.1	0.8857	0.443	5.1	0.9192	0.207
0.8	1.133	1.43	2.2	0.8856	0.425	5.2	0.9202	0.203
0.85	1.088	1.29	2.3	0.8859	0.409	5.3	0.9213	0.2
0.9	1.0522	1.17	2.4	0.8865	0.393	5.4	0.9222	0.197
1	1	1	2.6	0.8882	0.367	5.6	0.9241	0.191
1.05	0.9803	0.934	2.7	0.8893	0.355	5.7	0.9251	0.186
1.1	0.9649	0.878	2.8	0.8905	0.344	5.8	0.926	0.165
1.15	0.9517	0.83	2.9	0.8919	0.334	5.9	0.9269	0.183
1.2	0.9407	0.787	3	0.893	0.316	6	0.9277	0.18
1.25	0.99314	0.75	3.1	0.8943	0.325	6.1	0.9266	0.177
1.3	0.9236	0.716	3.2	0.8957	0.307	6.2	0.9294	0.175
1.35	0.917	0.667	3.3	0.897	0.299	6.3	0.9302	0.172
1.4	0.9114	0.66	3.4	0.8984	0.292	6.4	0.931	0.17
1.45	0.9067	0.635	3.5	0.8997	0.285	6.5	0.9316	0.168
1.5	0.9027	0.613	3.6	0.9011	0.278	6.6	0.9325	0.166
1.55	0.8994	0.593	3.7	0.9025	0.272	6.7	0.9335	0.163
1.6	0.8966	0.574	3.8	0.9083	0.266	6.8	0.934	0.161
1.65	0.8942	0.556	3.9	0.9051	0.26	6.9	0.9347	0.15

## L'annexe 04 : la tableau de l'AMDEC de PDM Seppery- Sun

Identification de système		Etude fonctionnelle	Analyse de défaillance				Estimation de criticité			
Section	Composante	fonction	Mode de défaillance	cause	effet	Détection	G	F	D	C=RPN
La section motrice	Satator (élastomère)	Crée le couple et la vitesse nécessaire pour le forage	Décollement	Défaut de fabrication Pression et mouvement turbine de la boue	La démunissions de vitesse La démunissions de la rigidité Le cout Deve de maintenance	Visuel	1	2	2	4
			Erosion	Le mouvement turbine de la boue à débit élevé avec une vitesse élevée Endommageant localise avec une pression élève	Augmentation de la vitesse L'endommagement de rotor	Visuel (camera)	4	3	2	24
			fissure	Charge lourd Longue durée de travaille Les centres des lobes ont été chauffés	L'endommagement de rotor et stator Le cout minimal élevé Risque sur les opérations et l'environnement La qualité de l'opération est diminuée	Visuel (camera)	4	3	3	36
			déchirement	Développement de fissure charge lourd l'existence des solides étrangers durs	L'endommagement de rotor diminuer la vitesse Pression augmente Cout élevé de maintenance Risque sur les operateurs et l'enivrement Pertes de temps	Visuel (camera)	4	3	3	36

## L'annexe 04 : la tableau de l'AMDEC de PDM Seppery- Sun

La suite :

Identification de système		Etude fonctionnelle	Analyse de défaillance				Estimation de criticité			
Section	Composante	fonction	Mode de défaillance	cause	effet	Détection	G	F	D	C=RPN
La section motrice	Satator (élastomère)		Arrachement	Charge lourd Longue durée de travaille Les centres des lobes ont été chauffés	L'endommagement de rotor et stator Le cout minimal élevé Risque sur les opérations et l'environnement La qualité de l'opération est diminuée	Visuel (camera)	4	3	3	36
			fragment	Le frottement pendant le moulage entre le protecteur et l'élastomère	L'endommagement de rotor Risque humain et l'enivrement Le cout élève de maintenance	Visuel	4	4	4	64
	Protecteur	Protection d'élastomère	marquage externe	Les objets étrangers Décollement Dégradation chimique et thermique	Endommagement de rotor et bouchage de drive shaft Dégradation de qualité de travaille Augmentation de pression Perte de temps Cout élève de maintenance Risque élève	Visuel	1	1	2	2

## L'annexe 04 : la tableau de l'AMDEC de PDM Seppery- Sun

La suite :

Identification de système		Etude fonctionnelle	Analyse de défaillance				Estimation de criticité			
Section	Composante	fonction	Mode de défaillance	cause	effet	Détection	G	F	D	C=RPN
La section motrice	Protecteur	Protection d'élastomère	tube excécentrique	WOB élevé Les formations La pression de la boue	L'endommagement de stator Le cout élève de maintenance	Visuel Dimensionnelle	4	1	2	8
			fissure	Problème de fabrication Les charges sur le protecteur	Endommagent de protecteur et l'élastomère Le cout élève de maintenance Risque élevé	Visuel Magnétoscopique	4	1	3	12
			endommagement de filetage	WOB La fatigue	L'endommagement de protecteur Le cout élève de maintenance	Magnétoscopique	4	2	2	16

## L'annexe 04 : la tableau de l'AMDEC de PDM Seppery- Sun

La suite :

Identification de système		Etude fonctionnelle	Analyse de défaillance				Estimation de criticité			
Section	Composante	fonction	Mode de défaillance	cause	effet	Détection	G	F	D	C=RPN
La section motrice	protecteur	Protection d'élastomère	marquage radial/circulaire	Couple de serrage plus élevé d'un couple autorisé Fatigue Le cout élève de maintenance	Problème de couplage Perdue a l'intérieur de puits Cout de fishing élevé	Visuel	4	1	2	8
	Rotor	Créée le couple et la vitesse nécessaire	effet de peau de serpent et fissure	L'existence des solides, sables et/ou objets échange La potentiel de corrosion de la boue L'endommagement d'élastomère	L'endommageant de stator Cout de main élevé	Visuel	4	1	1	4
			découpage	Les agents corrosifs de la boue Nervurer radial et l'endommagement d'élastomère et l'existence des fatigues	L'endommageant de rotor (acier) Cout de main élevé	Visuel	4	2	4	32



## L'annexe 04 : la tableau de l'AMDEC de PDM Seppery- Sun

La suite :

Identification de système		Etude fonctionnelle	Analyse de défaillance				Estimation de criticité			
Section	Composante	fonction	Mode de défaillance	cause	effet	Détection	G	F	D	C=RPN
La section motrice	Rotor	Crée le couple et la vitesse nécessaire	rainure	Les objets étrangers entre le rotor et le stator L'endommagement d'élastomère	L'endommageant de stator Diminution de la vitesse Cout élevé	Visuel	4	1	1	4
			Contamination	Dures objectes étrangers introduit entre le rotor et le stator Dures objectes étrangers Mouvais montage et démontage L'endommagement d'élastomère Le potentiel de corrosion de la boue	L'endommageant de stator Diminution de la vitesse Cout de maintenance élevé	Visuel	5	1	4	20
			érosion	L'existence LCM, aiment et les additive de la boue Les objets étrangers des abrasive frotté	Coincement de rotor Diminution de la vitesse et performance de PDM	Visuel	4	2	2	16

## L'annexe 04 : la tableau de l'AMDEC de PDM Seppery- Sun

La suite :

Identification de système		Etude fonctionnelle	Analyse de défaillance				Estimation de criticité			
Section	Composante	fonction	Mode de défaillance	cause	effet	Détection	G	F	D	C=RPN
La section motrice	Rotor	Créée le couple et la vitesse nécessaire	corrosion	L'écoulement de la boue à haute pression Grande potentielle de corrosion de la boue L'existence des sables et les solides dans la boue	L'endommagement de stator La corrosion de rotor Diminution de la vitesse Cout de maintenance élevé	Visuel	4	1	2	8
			les pertes de plaquettes	La pénétration des agents corrosive dans le rotor et attaquer l'interface entre l'acier et l'enlient de rotor	Diminution de la performance de PDM Cout de maintenance élevé	Visuel	5	1	2	10
			pique	Passage de solides à grande dimension L'attaque des agents corrosif (sels/chaleurs) entre l'acier et l'enlient de rotor	Diminution de la performance de PDM Cout de maintenance élevé	Visuel	4	3	2	24

## L'annexe 04 : la tableau de l'AMDEC de PDM Seppery- Sun

### La suite

Identification de système		Etude fonctionnelle	Analyse de défaillance				Estimation de criticité			
Section	Composante	fonction	Mode de défaillance	cause	effet	Détection	G	F	D	C=RPN
La section motrice	Rotor	Créée le couple et la vitesse nécessaire	l'endommagement de filetage	WOB élevé Les charges sur le rotor sont élevé	Diminution de la vitesse et la performance de moteur L'endommagement de stator Le cout élevé	Visuel Magnétoscopique	4	1	2	8
			flambage	L'existence des agents corrosive et solide étrangers Endommagement d'élastomère	Diminution de la performance de PDM Cout de maintenance élevé	Visuel	4	1	2	8
	rotor cacher	La sécurité de moteur et il supporte le poids de moteur	l'endommagent et fissure de corps	Torque élevé Fatigue	Problème de couplage Perdue à l'intérieur de puits Risque humain et l'enivrement	Visuel Magnétoscopique	4	1	2	8
			l'endommagent et fissure de filetage	Fatigue	Perdue à l'intérieur de puits	Visuel Magnétoscopique	4	1	2	8

## L'annexe 04 : la tableau de l'AMDEC de PDM Seppery- Sun

La suite :

Identification de système		Etude fonctionnelle	Analyse de défaillance				Estimation de criticité			
Section	Composante	Fonction	Mode de défaillance	cause	effet	Détection	G	F	D	C=RPN
section de roulement	roulement radial	Absorber le les chocs et les vibrations radial	l'endommagement de filetage	Frottement Vibration Pression de la boue	Augmentation des jeux et les chocs L'endommageant de PDM	Visuel Dimensionnel	5	1	2	10
			l'endommagement de upper, lower bearing et lower bearing housing	La contamination des produits entre Lower Rotating Bearing et Lower Bearing Sub	L'augmentation de pression Erosion de Drive Shaft Cap	Visuel Dimensionnel	4	3	2	24
	INA stack	Absorber le les chocs et les vibrations axial	soudé l'un dans l'autre	Torque élevé Fatigue	Problème de couplage	Visuel	5	1	4	20
			l'usure	Haute Température Vibration frottement l'angle de déviation élevé Jaring	Coincement Augmentation des chocs L'endommageant de PDM Cout de maintenance élevé	Visuel Dimensionnel	5	1	3	15

## L'annexe 04 : la tableau de l'AMDEC de PDM Seppery- Sun

La suite :

Identification de système		Etude fonctionnelle	Analyse de défaillance				Estimation de criticité			
Section	Composante	Fonction	Mode de défaillance	cause	effet	Détection	G	F	D	C=RPN
section de roulement	drive shaft	Supporter le poids des roulements	l'endommagement et fissure de filetage ou de corps	Frottement Vibration Pression de la boue	Chocs L'endommageant de PDM	Visuel Magnétoscopie	4	2	2	16
	drive shaft cap	Permet de passage une petite quantité de la boue pour le refroidissement et lubrification des roulements	érosion	Pression élevé Les objets étrangers	L'influence sur le INA stack et radial bearing	Visuel	4	2	2	16
			bouchage	L'existence des objets étrangers La boue à base d'huile	Augmentation de frottement L'endommagent des roulements	Visuel	4	4	4	64

## L'annexe 04 : la tableau de l'AMDEC de PDM Seppery- Sun

La suite :

Identification de système		Etude fonctionnelle	Analyse de défaillance				Estimation de criticité			
Section	Composante	Fonction	Mode de défaillance	cause	effet	Détection	G	F	D	C=RPN
Section de transmission	CV shaft	Permet de transmission le mouvement hélicoïdal de rotor vers l'outil sous forme une rotation	l'usure et l'endommagement les places des billes	Fatigue Les charges élevées	Problème de couplage Cisaillement	Visuel Magnétoscopique	4	4	2	32
	thrust pad	Eviter le frottement de CV shaft avec les couplings	usure et diminution de l'épaisseur et profondeur de rainure	Fatigue Les charges élevées	Problème de transfert du MVT	Visuel	4	4	2	32
	middle mandral	Pour crée le bend	l'endommagement et usure de corps et filetage	Grande angle Les contraintes de formateur	Cisaillement Problème de la trajectoire Perte de Temps	Visuel Magnétoscopique	4	2	2	16
	offste housing	Pour crée le bend	fissure et l'endommagement de filetage	Fatigue Grande torque supérieur a torque autorisé	Problème de couplage Cisaillement	Visuel Magnétoscopique	4	1	2	8

## L'annexe 04 : la tableau de l'AMDEC de PDM Seppery- Sun

La suite :

Identification de système		Etude fonctionnelle	Analyse de défaillance				Estimation de criticité			
Section	Composante	Fonction	Mode de défaillance	cause	effet	Détection	G	F	D	C=RPN
	CV couplage	Pour la transmission de mouvement vers l'outil	fissure de filetage	Fatigue Grande torque de couplage a couple autorisé	Problème de couplage	Visuel Magnétoscopique	4	2	2	16
			usure de corps	Fatigue Le torque élevé	Problème de couplage	Visuel Magnétoscopique	4	2	2	16
Stableux		Pour faire la stabilisation de moteur	usure	Fatigue	Problème de guidage l'outils	Visuel Magnétoscopique	4	2	2	16
catcher nut		Pour supporte le poids de moteur	Usure	Frottement Fatigue WOB, pression	Problème de forage perte dans puits Cout élevé	Visuel Magnétoscopique	5	1	2	10

# Glossaires



### **Pompe à cavité progressive (pompe de Moineau) :**

Elle se compose d'un rotor métallique doté d'un profil hélicoïdal, et d'un stator en élastomère doté d'un profil interne de double hélice. Lorsque le rotor est monté dans le stator une série de cavités étanche de taille et de profil indiqués, sont formées à l'intérieur de la pompe. Lorsque la pompe se fonctionne, le rotor tourne et les cavités se déplacent dans une trajectoire en spirale et transportant le fluide de l'entrée à la sortie de la pompe.

### **Élastomère :**

L'élastomère est un mélange des constituants qui inclure renforcer des remplisseurs et des plastifiants. Pendant se mélangeant, on ajoute de divers constituants qui favorisent l'édition absolue moléculaire appropriée pendant traiter (vulcanisation) tels que le produit final a propriétés mécaniques, chimiques et thermique requises d'un stator de moteur de fond.

### **Turbo foreuse :**

La turbo foreuse constitue plusieurs stators et rotors, formant les étages, tels que celles de 90 étages ou de 250 étages ...etc. ces étages s'entraînent par la boue de forage, en déterminant le couple produit.

Généralement, la turbo-foreuse se compose en deux sections, sont :

- ❖ La section motrice,
- ❖ Section paliers et butées.

### **Ressuage :**

C'est une méthode destinée à révéler la présence de discontinuités ouvertes en surface de pièces métalliques, essentiellement, mais aussi en céramique. Elle consiste à badigeonner (par immersion ou par pulvérisation électrostatique, parfois mais rarement, au pinceau) la cible avec un liquide fluorescent ou coloré en rouge, qui pénètre dans les discontinuités. Après nettoyage de la cible, un révélateur est appliqué et, en faisant « ressuier » le liquide resté dans les fissures, va les révéler.

### **Thermographie (IRT) :**

Les méthodes de contrôle thermique consistent à exciter un matériau ou une structure par un apport d'énergie (mécanique, photonique, chauffage par induction, air chaud...). La diffusion de la chaleur dans le matériau et l'impact qu'elle a sur la distribution de température de surface renseignent sur les propriétés thermophysiques des matériaux et sur d'éventuels défauts ; un temps de propagation d'une onde de chaleur dans un matériau peut par exemple permettre de mesurer la diffusivité thermique du matériau et ainsi en déduire la conductivité thermique.

### **Contrôle par ultrason :**

Le contrôle par ultrasons est basé sur la transmission, la réflexion et l'absorption d'une onde ultrasonore se propageant dans la pièce à contrôler. Le train d'onde émis se réfléchit sur les défauts puis revient vers le traducteur (qui joue souvent le rôle d'émetteur et de récepteur). L'interprétation des signaux permet de positionner le défaut et de définir ses dimensions relatives.

### **Par le rayon X :**

La tomographie par absorption de rayons X est une technique non destructive qui permet la reconstruction d'images « en coupe » d'un objet à trois dimensions. La tomographie à rayons X permet donc d'accéder au cœur de la matière pour en apprécier les variations d'absorptions radiologiques et les différences de composition. Elle permet également de localiser très finement toute hétérogénéité, singularité, vide ou inclusion présents dans un objet, ainsi que de vérifier l'assemblage et le positionnement des ensembles mécaniques complexes.

Enfin, lorsque les temps d'acquisition sont compatibles avec les vitesses de certains phénomènes physiques, la tomographie peut conduire à des mesures dynamiques pour suivre, par exemple, l'évolution d'un matériau soumis à des contraintes.

### **Méthode des rayons $\gamma$ :**

On emploie aussi en radiographie des sources d'émission radioactives à base d'isotopes  $\text{Co}^{60}$ ,  $\text{Ir}^{192}$  et  $\text{Cs}^{137}$ . Les transformations nucléaires dans ces isotopes sont accompagnées d'une émission de rayons  $\gamma$ . Ces derniers ne sont rien d'autre que des rayons X d'origine nucléaire. Leur spectre d'émission est strictement monochromatique (une seule énergie de rayonnement). En raison du danger que présentent les substances radioactives les intensités des sources sont maintenues faibles par rapport à celles des rayons X. Cela implique souvent des temps de pose très longs, notamment pour le contrôle d'épaisseurs importantes. Cette méthode a l'avantage de ne pas employer d'alimentation électrique et en raison de la petite taille de la source radioactive ( $\sim \text{mm}^3$ ), on peut facilement contrôler des pièces de forme complexe, auxquelles il ne serait pas possible d'accéder avec un tube à rayons X.

### **CND par un courant Foucault :**

Lorsque l'on place un corps conducteur dans un champ magnétique variable dans le temps ou dans l'espace, des courants induits se développent en circuit fermé à l'intérieur de celui-ci, ce sont les courants de Foucault. Ainsi, une bobine parcourue par un courant variable, alternatif par exemple, génère de tels courants induits qui, créant eux-mêmes un flux magnétique qui s'oppose au flux générateur, modifient par là-même l'impédance de cette bobine.

### **Emission acoustique (AT)**

Le contrôle par émission acoustique consiste à recueillir l'émission d'une pièce ou structure soumise à sollicitation, par exemple lors d'une épreuve hydraulique ou pneumatique. La propagation des ondes ultrasonores élastiques dans le matériau, détectée par un maillage de capteurs, peut conduire à une localisation des sources d'endommagement du matériau en temps réel (fissuration...) et à une évaluation de leur sévérité. C'est une méthode globale (tout l'appareil est contrôlé en même temps) et dynamique (les défauts non évolutifs ne sont pas détectés).

### **Neutronographie :**

La neutronographie est une technique de mesure nucléaire (contrôle non destructif) dont le principe est similaire à celui de la radiographie à rayons X mais qui emploie des neutrons comme source de rayonnement. Les neutrons utilisés dans les techniques de neutronographie sont essentiellement des neutrons thermiques, de faible énergie. Ces neutrons peuvent être détectés à l'aide de plusieurs types de détecteurs. Ils nécessitent l'emploi d'un convertisseur, élément à même de produire une interaction avec le neutron incident. Les convertisseurs utilisés sont essentiellement des isotopes absorbeurs de neutrons, produisant une réaction de capture neutronique de type  $(n,\gamma)$ .

### **Maintenance à l'échelle majeure :**

Maintenance effectuée dans le but de permettre l'accomplissement par le bien de fonctions nouvelles ou supplémentaires, ou des mêmes fonctions, dans de meilleures conditions.

### **Maintenance d'amélioration**

Visant à améliorer la fiabilité et la maintenabilité du système ou modifier un équipement ou un sous-ensemble de façon à augmenter sa sécurité, sa fiabilité, sa maintenabilité et donc sa disponibilité.

### **Travaux neufs :**

Travaux de construction, d'installation, de mise en service après installation de nouveaux biens ou équipements

### **Maintenance corrective :**

Exécutée après la détection d'une panne destinée à remettre ou bien dans un état dans lequel, il peut accoupler une fonction requise.

**Palliative ou dépannage :**

Destinée à permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou partie d'une fonction requise.

**Curative ou de réparation :**

Ayant pour objet de rétablir un bien dans état spécifique pour lui permettre d'accomplir une fonction requise.

Le résultat des actions réalisées des actions réalisées doit présenter un caractère permanent.

**Maintenance préventive :**

Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien.

**Conditionnelle :**

Basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs des fonctionnements intégrant les actions qui en découlent.

**Prévisionnelle :**

Maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et l'évaluation de paramètres significatifs de dégradation de bien.

**Systématique ou programmée :**

Exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usages mais sans contrôles préalable de l'état du bien.

**HAZOP :**

La méthode de HAZOP pour HAZard OPerability, c'est une méthode de considération systématique des dérives des paramètres d'une installation en vue d'en identifier les causes et les conséquences, cette méthode est particulièrement utile pour l'examen de systèmes thermo-hydrauliques, pour lesquels des paramètres comme le débit, la température, la pression, la concentration... sont particulièrement importants pour la sécurité de l'installation.

**Arbre de défaillance :**

L'analyse par l'arbre des défaillances fut historiquement la première méthode déductive mise au point en vue de procéder à un examen systématique des risques. Visant à déterminer l'enchaînement et les combinaisons d'évènements pouvant conduire à un événement redouté pris comme référence. Elle est également utilisée pour analyser a posteriori les causes d'accidents qui se sont produits. Dans ces cas, l'évènement redouté final est généralement connu car observé. On parle alors d'analyse par arbre des causes, l'objectif principal étant de déterminer les causes réelles qui ont conduit à l'accident. L'analyse par l'arbre de défaillance permet d'estimer la probabilité d'occurrence de séquences accidentelles à condition de disposer de la probabilité d'occurrence de l'évènement initial et de la probabilité de défaillance des barrières de sécurité.

**L'arbre des évènements :**

Cette méthode s'applique sur des sous-systèmes bien déterminés, elle est utilisée dans le domaine d'analyse après accidents en vue d'expliquer les conséquences observées résultant d'une défaillance du système.

**Nœud papillon :**

C'est une approche de type arborescente largement utilisée dans le pays européens. Elle combine l'arbre de défaillance et l'arbre d'évènement

**Analyse préliminaire des risques (APR) :**

C'est une méthode d'usage très général couramment utilisée pour l'identification des risques au stade préliminaire de la conception d'une installation ou d'un projzt. En conséquence, cette méthode ne nécessite généralement pas une connaissance approfondie et détaillée de l'installation étudiée.

**What-if :**

C'est une méthode dérivée de l'HAZOP. Elle prévoit une analyse moins profonde des évènements, se contentant d'en considérer les conséquences sans en examiner les causes. Elle prévoit en revanche les actions d'amélioration à entreprendre.

## **MOSAR :**

Méthode organisée d'analyse de risque, cette méthode intégrée qui permet d'analyser les risques sur un site de manière progressive. Elle se base sur le modèle MADS (méthodologie d'analyse du dysfonctionnement des systèmes) c'est-à-dire le libération d'un flux de danger par un système source sous l'effet d'un évènement initiateur interne ou externe et l'impact de ce flux sur une cible, qui peut elle-même devenir système source de danger pour un processus équivalent. Elle est constituée de deux modules plus ou moins indépendants, un analyse macroscopique des risques et l'autre un analyse détaillée des scénarios. La méthode MOSAR est basé sur les méthodes de APR, AMDEC, l'arbre de défaillances. Est une méthode qualitative, semi-quantitative ou quantitative.

## **SMED (Single Minute Exchange of Die):**

Cette méthode est à l'origine un outil d'analyse et d'optimisation des changements de format. Nous parlons, en TPM, de changement de série, ce qui ouvre le champ d'application au changement de produit pour les usines qui présentent un nombre important de références et qui cherchent à développer leur flexibilité.

La méthode SMED consiste à "éplucher" le temps d'un changement de série qui se compte entre la dernière unité conforme produite par la machine, jusqu'à la première unité conforme produite à la cadence nominale de la machine de la série suivante. Soit, pour résumer, le temps d'arrêt + le temps de démarrage, y compris le temps des réglages nécessaires

## **PM :**

Les méthodes traditionnelles de résolution de problèmes s'adressent principalement à l'étude des causes spéciales. ANALYSE : C'est la démarche qui conduit à mettre en évidence les principes ou les lois naturelles qui génèrent le problème et qui permet de clarifier les mécanismes et conditions d'apparition de celui-ci.

2 P = Problème : perte chronique (qualité, fiabilité, performance) + Physique : principe ou loi naturelle à l'origine du problème.

5 M = Mécanisme de génération du problème + 4M : Machine – Main d'œuvre – Matériel – Méthodes .

L'analyse 2P 5M est une méthode d'analyse systématique d'un problème qui examine tous les facteurs causals et identifie toutes les anomalies pour les réduire à ZERO.

Pour définir ce qu'est-ce qu'un facteur causal on définira les termes:

- FACTEUR POTENTIEL : Toute condition qui peut contribuer au problème.
- CAUSE : Toute condition qui précède et crée toujours le problème.

### **La trempe de surface :**

La trempe superficielle est un procédé de traitement thermique superficiel qui n'affecte que la surface de la pièce pour lui apporter une grande dureté tout en conservant un bon allongement et une grande résilience au cœur. Différentes techniques permettent l'application du principe consistant à chauffer localement - et rapidement pour éviter la diffusion thermique au centre de la pièce -, la surface d'une pièce en acier jusqu'à la température d'austénitisation et la refroidir rapidement, le plus souvent, par jet d'eau.

### **La cémentation :**

Historiquement, la cémentation désigne le fait d'enrober un objet de poudre ou de pâte, le ciment, et de faire chauffer le tout<sup>1</sup>. La réaction entre l'objet et le ciment provoque une modification des propriétés de l'objet.

### **La nitruration :**

La nitruration est une réaction chimique qui permet d'introduire un ou plusieurs groupements nitrons  $\text{NO}_2$  dans une molécule. C'est une réaction qui fait partie des plus importantes en chimie industrielle avec la chloration et la sulfonation.



## Bibliographies

- [1] c. Lyons, W. (1940). *Standard handbook of petroleum and natural gas engineering volume 1*. Houston, Texas: Gulf publishing company.
- [2] Mostapha, M. (2008-2009). *L'étude de performance de PDM*. Hassi Messoude: Mahjoubi Douadi.
- [3] Halliburton. (September 2009). *Technique information handbook third edition*. Direction drilling Sperry Drill.
- [4] Baker Hughes INTEQ. (December 1995). *Drilling engineering workbook a distributed learning course*. Thorne Houston, United States of America: Training and development.
- [5] w. tiraspolsky. (Août 1981). *les moteur de fond hydraulique*. Publication de l'institut Français du pétrole: Société des éditions Technip.
- [6] Sonatrach. *programation et realisation d'un puits horizontal*. Sonatrach.
- [7] Szezuka, J.-P. (Juin 2005). *Forage dirigé Ingénierie et methodes*. ENSPM.
- [8] AFNOR. *Gestion de la maintenance industrielle*. AFNOR.
- [9] sécurité, F. p. (Mars 2003). *Laurent Barbat (Cramif)*. 65, boulevard Richard-Lenoir-75011 Paris: Institut National de Recherche et de sécurité.
- [10] Chalmond, B. (2003). *Diagnostic et évaluation des systèmes de production: controle non-destructif*.
- [11] DUMONT-FILLON, J. *Controle non destructif (CND)*. technique d'ingénierie traité mesures et contrôle.
- [12] Tom H. Hill, P. M. (Janvier 2004). *Standard DS-1 Drill Stem Inspection Third Edition Sponsor Companies*. DEA.
- [13] Tom H. Hill, P. M. (Janvier 2011). *Standard DS-1 Drill Stem Inspection fourth Edition Sponsor Companies*. DEA.
- [14] Brayn Lancon, J. S. (26 September 2014). *Magnetic Particle Examination*. Halliburton
- [15] Ishak, M. T. *Extraction d'indicateurs robustes pour le diagnostic des défauts mécaniques : Comparaison de L'EMD et des ondelettes (WT) these magister*. UNIVERSITE FERHAT ABBAS - SETIF .
- [16] Olivier Boutou, G. L. (2007). *AMDEC guide paratique deuxieme édition*. rue Francis de Pressensé, 93571 La Plaine Saint-Denis Cedex: AFNOR.
- [17] Nabeul, I. (2013-2014). *Chapitre 5: Analyse des défaillances et aide au diagnostic*.
- [18] Lemaitre. (Mars 1993). *Qualité et projet*. Paris: Institut Lemaitre.
- [19] Kélada, J. (1994). *L'AMDEC*. Ecole des HEC.

[20]Bahaz Abdelaziz, B. M. (23/06/2013). *Analyse inductive de recherche des effets des pannes sur untreuilde forage these de master professionnel*. Ouargla: Université Kasdi Merbah.

[21]Clément, P. *Gestion des opération de maintenance IMM115 cours 7 à 9: Amélioration de la fiabilité*. Université du Québec, Ecole de technologie supérieure, département de génie mécanique.

[22]Pr.Ahmed Bellaouar, M. S. (2013-2014). *Fiabilité, maintenabilité, disponinilité*. Université Constantine1.

[23]KADI Mohammed, G. D. (08 /06/2014 ). *ETUDE ET AMELIORATION FMD D'UNE MOTOPOMPE CENTRIFUGE*. Ouargla : Université Kasdi Merbah .

[24] Services, H. S. *Torque Sheet*. Halliburton Sperry Drilling Services.