

République Algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
Faculté des hydrocarbures et des énergies renouvelables et sciences de la terre et l'univers
Département forage et mécanique des chantiers pétroliers



MEMOIRE

Pour obtenir le diplôme de Master Professionnel
Option : mécanique des chantiers pétroliers

Réalisé Par :

OUALI Ahmed / BOULIFA Ismail

-THEME -

Optimisation de la maintenance préventive (Cas des bandes de frein d'un treuil De forage NATIONAL OILWELL 840E)

Soutenu publiquement le : 20/ 06/2018

Devant le jury :

Président :	M. BOUKSANI Mohamed	UKM OUARGLA
Encadreur :	M . ZIARI Saber	UKM OUARGLA
Examineur :	M. BENSACI Med Abdelatif	UKM OUARGLA

Année Universitaire : 2017/2018

Dédicace

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 me voir réussir, et voilà l'occasion est venue.

A ceux qui m'ont donné la vie , symbole de beauté, de fierté et de sagesse.

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 chers parents la lumière de ma vie et A mes frères et ma très chère sœur ;

A mon binome 'Ismail'

A mon ami et mon frère 'Azzeddine'

*A mes amis 'Tahar, Naim, Nacer, Mazigh,
Brahim'*

A tous mes amis de l'université de ouargla

Et surtout le groupe MCP.

Hamidou



Dédicace

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 me voir réussir, et voilà l'occasion est venue.

A ceux qui m'ont donné la vie , symbole de beauté, de fierté et de sagesse.

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 chers parents la lumière de ma vie

A mon frère 'dhiya eddine'

A mon binome 'ahmed'

A mes amis 'Heythem , fares, anis, azzeddine, ,

A tous mes amis de l'université de ouargla

Et surtout le groupe MCP.

Ismail





Remerciements

Au terme de ce travail,

Nous tenons, en premier lieu à remercier le bon Dieu pour le courage et la patience qu'il nous a donnés afin de mener ce projet à terme.

Nous remercions notre encadreur Mr. ZIARI Saber pour son aide précieuse et ses conseils judicieux.

Nous remercions nos parents et tous les enseignants de notre département qui ont contribué à notre formation.

Nous tenons à remercier tous le personnel de l'atelier de la maintenance des équipements pétroliers d'ENAFOR.

Enfin nos remerciements vont à tous ceux qui de près ou de loin nous ont aidés à l'élaboration de ce mémoire, soient profondément remerciés.

OUALI Ahmed

&

BOULIFA Ismail



ملخص:

صيانة الانظمة البترولية اصبحت جزء اساسي من اجل تطور و سيرورة المؤسسات باحثه على غزو اسواق جديدة. ففي حالة الدراسة التي قمنا بها ركزنا على تحسين الصيانة في الروافع و نلك عبر استغلال المعطيات و مواقية التدخلات التصحيحية و الوقائية. مما سمح لنا بدراسة موثوقية الجهاز و حساب الوقت التحسيبي للصيانة الوقائية

الكلمات المفتاحية : تحسين، الصيانة ، الروافع ، التصحيحية، موثوقية، التحسيبي

Résumé :

La maintenance des systèmes pétroliers est devenue un élément principal pour le développement des entreprises cherchant à conquérir de plus en plus de marchés. Dans notre cas d'étude, on s'est focalisé sur l'optimisation de la maintenance préventive appliquée au treuil **de forage**. Et cela à travers l'exploitation des données et les temps d'interventions correctives et préventives, ce qui nous a permis de faire une étude fiabiliste et trouver une périodicité d'intervention systématique.

Mots clés : optimisation, treuil, fiabilité, périodicité, forage.

Abstract :

The maintenance of the petroleum systems has become a main element for the companies's developpement, looking to conquer more and more markets. In our case of survey, we focused on the optimization of preventive maintenance applied on the drilling drawworks, and this trough the exploitation of data to the deadlines of the corrective and preventive interventions allowed to us to do a reliability survey and calculate the optimal time of the preventive maintenance.

Key words : reliability, drawworks, petroleum, optimization, maintenance.

SOMMAIRE

Dédicace	I
Remercîment	II
Résumé	III
Sommaire	IV
Liste des figures	V
Liste des tableaux	VI
Abréviations	VI
Symboles	VII
Annexes	VII
Introduction générale.....	1
Chapitre I : Description du treuil de forage NATIONAL OILWELL 840E	
I-1 Introduction au forage pétrolier	03
I-2 Description de l'appareil de forage	03
I-3 Classification des appareils de forage.....	03
I-4 Fonctions d'un appareil de forage	04
I-4.1 Fonction rotation	04
I-4.2 Fonction pompage	04
I-4.3 Fonction levage	05
I-5 Le treuil de forage	06
I-5.1 Spécifications et caractéristiques technique du treuil de forage NATIONAL OILWELL 840E ..	07
I-6 Les différentes parties mécaniques du treuil de forage NATIONAL OIWLELL 840E	07
I-6.1 détails sur les différentes parties de mécanique du treuil de forage NATIONAL OIWLELL 840E..	07
I-7 Systèmes de transmission et circuits du treuil de forage	12
I-7.1 Système de transmission	12
I-7.2 Les circuits du treuil de forage	13
I-8 Les système de sécurité du treuil de forage NATIONAL OILWELL 840E	15

Chapitre II : Maintenance du treuil de forage NATIONAL OILWELL 840E

II-1 Histoire de la maintenance	17
II-2 Définition de la maintenance	17
II-3 Les différentes formes de la maintenance	17
II-3.1 Maintenance préventive	17
II-3.2 Maintenance corrective	18
II-4 Les objectifs de la maintenance	19
II-5 Méthodologie de la maintenance	19
II-5.1 L'observation	19
II-5.2 L'analyse	19
II-5.3 La communication	20
II-5.4 La recherche permanente d'amélioration	21
II-6 Maintenance appliqué sur le treuil de forage NATIONAL OILWELL 840E	22.

Chapitre III : Notions de fiabilité

III-1 Concept généraux sur la fiabilité	28
III-1.1 Définition de la fiabilité	28
III-1.2 Objectifs de la fiabilité en maintenance	28
III-2 Expressions mathématiques de fiabilité	28
III-2.1 Fonction de fiabilité $R(t)$ et fonction de défaillance $F(t)$	28
III-2.2 Taux de défaillances instantané	29
III-2.3 Indicateur de fiabilité	30
III-3 Les différentes phases du cycle d'un produit	31
III-3.1 Taux de défaillance pour des composants électroniques	32
III-3.2 Taux de défaillance pour des composants mécaniques	32
III-4 Fiabilité d'un système	33
III-4.1 Fiabilité d'un système constitué de plusieurs composants	34
III-5 Lois de fiabilité	35

III-5.1 Lois discrètes	35
III-5.2 Lois continues	36
Chapitre IV : Optimisation de la maintenance préventive (Cas des bandes de frein d'un treuil de forage NATIONAL OILWELL 840E)	
IV-1 Définition de l'optimisation de la maintenance préventive	42
IV-2 Le remplacement systématique au bout d'une périodicité prédéterminer	42
IV-3 Problème de fissuration des bandes de freins	42
IV-3.1 Les effets	42
IV-3.2 Historique de certains endommagements sur des bandes de frein du treuil 840E	43
IV-4 Modèle de Weibull pour l'optimisation d'une intervention systématique	43
IV-4.1 Cas étudié et préparation des données	43
IV-4.2 Calcul des paramètres de Weibull	44
IV-4.3 Exploitation de la loi de Weibull	45
IV-4.4 Etude du modèle de Weibull	46
IV-5 Choix d'une politique de maintenance	46
IV-5.1 Situation du problème et prérequis	46
IV-5.2 Evaluation de chacun des couts	46
IV-5.3 Application sur le cas étudié	47
IV-5.4 Abaques d'optimisation de la période d'intervention systématique	49
IV-6. Analyse et discussion des résultats	49
Conclusion générale.....	51
Annexes	52
Références bibliographiques	54

LISTE DES FIGURES :

Chapitre I : Description du treuil de forage NOW 840E	
Figure I.1 : Table de rotation	04
Figure I.2 : Le circuit de pompage	04
Figure I.3 : Principe de la fonction de levage.	05
Figure I.4 : Tambour de manœuvre et son arbre.	07
Figure I.5 : Frein principal	08
Figure I.6 : Conception du frein électromagnétique.	09
Figure I.7 : Embrayage pneumatique.	10
Figure I.8 : Cabestans et tambour de curage.	10
Figure I.9 : Cinématique de la transmission du treuil de forage NOW 840^E.	12
Figure I.10 : Circuit de refroidissement.	13
Figure I.11 : Système de commande pneumatique du Twin stop.	14
Chapitre II : Maintenance du treuil de forage NOW 840 E.	
Figure II.1 : Méthode de conception des plans de maintenance préventive.	16
Figure II.2 : Type de maintenance.	17
Figure II.3 : Exemple d'arbre de décision appliqué au choix des méthodes de maintenance.	18
Figure II.4 : Quelques flux de communication interne en maintenance.	19
Figure II.5 : La roue de Deming.	20
Figure II.6 : Schéma technologique de réparation d'un treuil de forage.	20
Chapitre III : Notions de fiabilité.	
Figure III.1 : Fonction de défaillance.	28
Figure III.2 : Fonction associée.	28
Figure III.3 : Courbes caractéristiques du taux de défaillance.	30
Figure III.4 : La courbe en baignoire.	30
Figure III.5 : Courbe de défaillance en mécanique.	32
Figure III.6 : Composants en série.	33
Figure III.7 : Composants en parallèle.	34
Figure III.8 : Papier de Weibull.	38
Figure III.9 : Redressement des nuages des points.	38
Figure III.10 : Recherche de Beta.	39
Chapitre IV : Optimisation de la maintenance préventive.	
Figure IV.1 : Fixation des bandes de frein.	41
Figure IV.2 : Exemple de fissures sur les bandes de frein.	42
Figure IV.3 : Papier de Weibull.	44
Figure IV.4 : Représentation des MTBF.	46
Figure IV.5 : Courbe de variation $C_2(\Theta) / C_1$	47
Figure IV.6 : Abaque d'optimisation de la maintenance systématique.	48

LISTE DES TABLEAUX :

Chapitre I : Description du treuil de forage NOW 840E	
Tableau I.1 : Classification des appareils de forage.	03
Tableau I.2 : Caractéristiques techniques du treuil de forage National Oilwell 840E.	06
Chapitre II : Maintenance du treuil de forage NOW 840E.	
Tableau II.1 : Périodicités des interventions de maintenance préventive.	21
Tableau II.2 : Pannes et remèdes du treuil de forage National Oilwell 840E.	24
Chapitre IV : Optimisation de la maintenance préventive.	
Tableau IV.1 : Historique des pannes des bandes de frein du treuil de forage National Oilwell 840E.	43
Tableau IV.2 : Tableau des valeurs TBF, R (i) et F(i).	43
Tableau IV.3 : Valeurs correspondantes à MTBF.	44
Tableau IV.4 : Représentation des différentes données de la loi de Weibull.	45
Tableau IV.5 : Détermination du coût direct et indirect.	46
Tableau IV.6 : Coûts C_1 & C_2 en fonction de Θ.	47

LISTE DES ABREVIATIONS :

Abréviations	Désignation des abréviations
MTTR	Moyen de temps de réparation.
MTBF	Moyen de temps de bon fonctionnement.
TBF	Temps de bon fonctionnement.
TTR	Temps technique de réparation.
TA	Temps d'arrêt.

LISTE DES SYMBOLES :

Symbole	Désignation du symbole
T(h)	Temps.
R(t) (%)	La fonction de fiabilité
F(t) (%)	La fonction de défaillance.
f(t) (%)	Densité de fiabilité.
$\lambda(t)$	Taux de défaillance.
η	Paramètre d'échelle.
β	Paramètre de forme
γ	Paramètre de position.
F (i) %	Probabilité de panne au temps
C₁	Coût d'une intervention corrective.
C₂	Coût d'une intervention préventive.
P	Coût indirect de défaillance.
p	Coût direct de défaillance.
r	Ratio économique.

LISTE DES ANNEXES :

Annexe	Titre
Annexe 1	Distribution de Weibull

INTRODUCTION

Dans l'industrie pétrolière, les entreprises de forage sont en voie de développement continu à travers le temps. Etant donné que la fonction maintenance est une activité non négligeable de la fonction forage, il serait indéniable de les dissocier.

La technologie des équipements de forage a fait un bond gigantesque ce qui a rendu le rôle de la maintenance encore plus important. On cite notamment le treuil de forage qui est le cœur de l'appareil de forage. A ce juste titre, on a décidé d'élaborer une étude fiabiliste afin de pouvoir déterminer le choix de la politique de maintenance qui peut nous aider à atteindre l'efficacité et la rentabilité optimale, sachant que cette dernière relève d'une importance majeure à la rentabilité d'un forage.

L'objectif de cette étude est de choisir une périodicité optimale de la maintenance préventive qui permet de réduire les coûts de maintenance et assurer la disponibilité de l'appareil de forage.

Pour ce faire, nous avons vu utile de scinder notre travail en 4 chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à la description du treuil de forage ;
- Le deuxième chapitre tiendra compte de la maintenance du treuil de forage ;
- Le 3^{ème} chapitre déploie des notions de fiabilité ;
- Le 4^{ème} chapitre s'intéresse à l'application pratique de l'optimisation pour le cas de l'équipement de production étudié.

Nous terminerons notre travail par une conclusion.

I-1 Introduction au forage pétrolier

En 1889 à Titusville (Pennsylvanie), le pétrole jaillissait pour la première fois sur le sol des Etats-Unis, d'un puit foré à 69.5ft. Le colonel Drake venait d'entrer dans l'histoire.^[8] Et depuis ce temps le forage a connu des développements en passant du forage par battage au forage rotary qui consiste à utiliser des trépan à dents types tricône ou des outils diamant.

I-2 Description de l'appareil de forage

Le choix de l'appareil adapté au but à atteindre est un travail essentiel pour obtenir le maximum de rendement et le meilleur prix de revient.

Les appareils au câbles ont encore gardé beaucoup d'adeptes, tout au moins pour les faibles profondeurs et la traversée des formations à faible pression. Mais l'appareil rotary, avec circulation de boue à base d'eau ou à base d'huile, avec circulation d'air ou de gaz dans certain cas, continue et continuera à connaître une faveur croissante en raison de son rendement élevé et de sa puissance de pénétration.^[2]

I-3 Classification des appareils de forage

Vous verrez qu'il existe toute une gamme d'appareils légers, moyens et lourds, convenant à différentes profondeurs d'emploi.

Leur équipement et leur installation dépendent de différents facteurs : Prix d'achat souhaité, sécurité de fonctionnement désirée, puissance demandée, etc.

Le cas d'un appareil d'exploitation travaillant en zone connue est à traiter différemment de celui d'un appareil d'exploration qui doit faire face à toutes sortes d'aléas. Quoi qu'il en soit, retenez qu'il est toujours extrêmement dangereux pour la bonne utilisation et la sécurité du trou de vouloir faire plus qu'on ne peut. Faire travailler ses machines à leur limite de puissance est une hérésie technique.^[3]

Et pour classifier les appareils de forage , on a deux caractéristiques à voir :

- La capacité de profondeur de forage maximale ;
- La puissance du treuil.

La règle du pouce donne d'une manière pragmatique : « Pour 100ft de forage, il faut 10HP de puissance au treuil ». D'où :

Appareil léger	(4921-6561)ft	(1500-2000)m	(650)HP
Appareil moyen	(11482)ft	(3500)m	(1300)HP
Appareil lourd	(19685)ft	(6000)m	(2000)HP
Appareil super lourd	(26246-32805)ft	(8000-10000)m	(3000)HP

Tableau I.1 : Classification des appareils de forage

I-4 Fonctions d'un appareil de forage

Tous les équipements installés dans un appareil des forage permettent d'assurer les trois fonction principales :

I-4.1 Fonction rotation :

Le mouvement de rotation nécessaire au fonctionnement du trépan est communiqué à l'arbre de forage par la table de rotation (**Figure I.1**) au système conventionnel ou par les Top Drive au système moderne. Cet ancien système « table de rotation » se compose de 3 parties : Le bâti, la partie tournante et l'arbre d'entraînement.



Figure I.1 : Table de rotation

I-4.2 Fonction Pompage

La fonction pompage assure l'acheminement du fluide de forage depuis l'aspiration de la pompe jusqu'au retour vers les bacs. Cette fonction est assurée par tout un circuit pompage (**Figure I.2**), la puissance nécessaire pour réaliser la circulation de la boue dans les forages dépend de la puissance des pompes a boues.

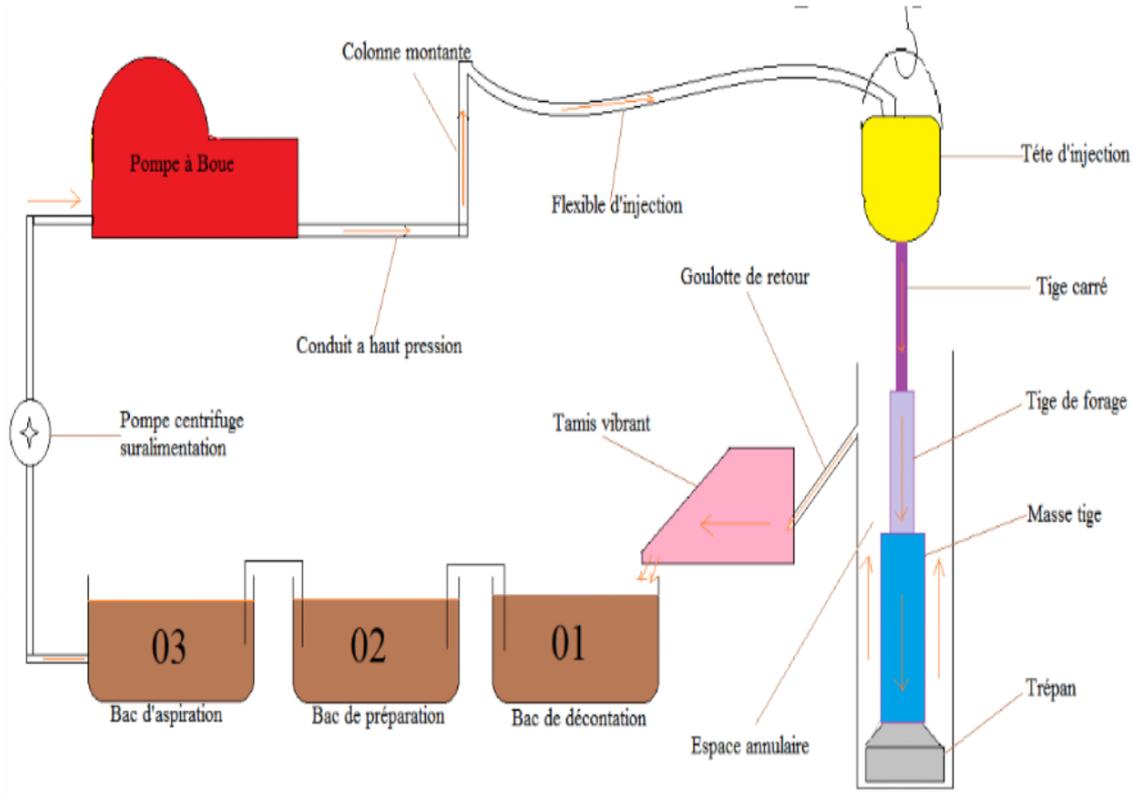


Figure I.2 : Le circuit de pompage

I-4.3 Fonction levage

Pour soulever la garniture de forage (ensemble tiges, tiges lourdes, et masse tige), il faut utiliser une grue de grande capacité, car la garniture de forage peut atteindre un poids supérieur à 150 tonnes. Cette grue est constituée : (d'un mat, un palan comprenant les moufles fixe et mobile et le câble, le crochet et un treuil).

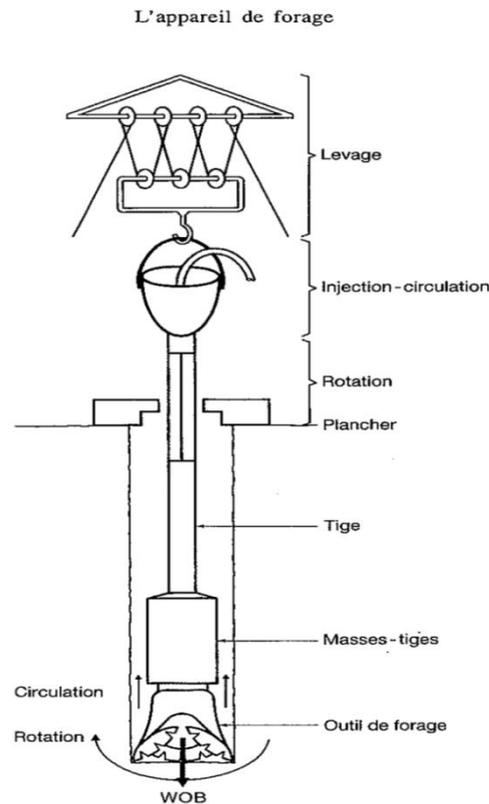


Figure I.3 : Principe de la fonction de levage

Ce qui compte plus pour nous dans ce sujet c'est le treuil, le cœur de la fonction de levage et le centre de l'appareil de forage.

I-5 Le treuil de forage

C'est le centre de l'appareil de forage, comme nous l'avons vu précédemment c'est la capacité du treuil qui caractérise un appareil de forage et indique la classe de profondeur des forages que l'on pourra effectuer.^[10]

Le treuil regroupe un ensemble d'éléments mécaniques et assure plusieurs fonctions :

- Les manœuvres de remontée et de descente (levage) du train de tiges à des vitesses rapides et en toute sécurité, ce qui constitue son utilisation ;
- L'entraînement de la table de rotation dans quelque cas ;
- Le vissage et dévissage du train de tiges ainsi que les opérations de curage.

I-5.1 Spécifications et caractéristiques techniques

Nomenclature du treuil NATIONAL OILWELL 840E

Spécifications technique	
8	Diamètre de l'arbre d'entrée
4	Nombre de vitesse Avant
0	Nombre de vitesse arrière
E	Entraînement électrique
Puissance développé	1400 HP
Profondeur moyenne de puit	3350 à 4880m
Tambour principal	
$\varnothing \times$ Longueur	28" \times 52"
\varnothing De jante \times Largeur	50" \times 10"
Dimensions et poids	
Largeur	15"-6" 7/16 (4.73m)
Longueur	22"-8" (6.9m)
Hauteur	8"-4" 7/8 (2.56m)
Poids	20.41 tonnes

Tableau I.2 : Caractéristiques techniques du treuil de forage NATIONAL OILWELL 840E

I-6 Les différentes parties mécaniques du treuil de forage NATIONAL OILWELL 840 E

Le treuil NATIONAL OILWELL 840E est constitué de plusieurs ensembles mécaniques :

- Le châssis ;
- Le tambour et l'arbre du tambour ;
- Frein principal ;
- Frein auxiliaire ;
- Les embrayages ;
- Cabestan et tambour de curage ;

I-6.1 Détail sur les différentes parties mécaniques de treuil de forage NATIONAL OILWELL 840E

• **Le châssis**

Le châssis-ski et la carcasse doivent être extrêmement rigides. Sinon il se produirait des changements dans le centrage et les alignements des paliers à roulements.

La solidité de la construction, qui n'est pas facile à réaliser est nécessaire, car le treuil est soumis à des efforts pendant le forage et en cours de déménagement.

Le châssis-ski est constitué de poutrelles en acier, parallèle aux arbres, pour les treuils de moyenne et grande puissance et perpendiculaires aux arbres, pour les treuils de petite puissance. Le châssis doit prévoir également une aire de travail et être accessible pour les travaux de réparation et contrôle.^[11]

- **Le tambour et l'arbre du tambour**

Le tambour du treuil de forage 840-E représente une virole ronde de 28''x52'' (diamètre x longueurs) avec deux poulies de frein 50''x 10'' (diamètre x largeurs) sur chaque côté. Fabriqué en acier pour moulage E36, le tambour est réalisé en pièces coulées d'un seul bloc avec des cannelures pouvant porter un câble de diamètre 1'' 3/8, une telle construction permet d'obtenir un tambour léger, rigide et solide. Le tambour et les poulies sont munis de nervures afin de les rendre plus rigides. Les poulies de frein portent des cavités remplies d'eau qui servent à l'évacuation de la chaleur dégagée au freinage.

Les gorges du tambour sont non spirales, parallèles les unes aux autres. Le passage d'une gorge à une gorge voisine s'effectue en forme de gradins avec un pas égale à une moitié du pas de l'enroulement des câbles. L'enroulement réalisé de cette façon rend la pose du câble plus compacte, interdit l'enfoncement du câble dans les couches inférieures pendant les opérations de descente et améliore le contact des couches séparées du câble, ce qui augmente la durée de service de ce dernier. Le dispositif de fixation du câble au tambour se fait du côté du rebord sous forme d'une plaque serrée par des boulons. Le nombre de couches de câble enroulé sur le tambour doit être le plus réduit possible, il ne dépassera pas 3 couches. Le tambour du treuil est monté serré avec clavetage sur l'arbre- tambour.^[11]



Figure I.4 : Tambour de manœuvre et son arbre

- **Frein principal**

Il est constitué de deux bandes métalliques de forme circulaire d'une largeur de 10'' et une longueur 146'' chacune. Ces bandes sont reliées par une barre d'équilibrage qui répartit également la force de freinage entre les deux bandes et réduit ainsi l'usure des patins. Chaque bande enveloppe une jante solidaire au tambour avec un angle d'embrassement 300°. La surface de ces jantes est cémentée, afin d'être plus résistante à l'usure, un refroidissement des jantes par circulation d'eau intérieure maintient une température normale.

Chaque bande de frein est équipée de 11 garnitures de dimensions 10''x12''x 2'' fabriqué en tissu en fibre pressé d'un coefficient de frottement $f=0,5$ chaque patin est fixé sur la bande par 6 boulons en bronze. Les garnitures du côté fixe de la bande sont soumises à une pression beaucoup plus grande (environs 7 bars) que pour les suivantes, il en résulte que cette partie s'use plus vite que le reste de la bande.

Il présente également un système de réglage et de blocage destiné à resserrer ou relâcher les bandes de frein. La partie arrière ou inférieure des bandes reliée au levier de frein par l'intermédiaire de cames montées sur un arbre. Ceci est calculé de telle sorte qu'un poids de 70 kgf sur le levier de longueur 1,30 m entraîne une force de 900 kgf sur les bandes de freins provoquant ainsi une compression progressive sur les 300° de circonférence des jantes et de frein, et par suite l'arrêt de la rotation du tambour. Le déplacement de la partie mobile de la bande est de l'ordre de quelques centimètres. Il est très important que les bandes soient réglées de manière à présenter en position relâchée un jeu suffisant entre la jante et la garniture pour éviter le frottement. ^[11]

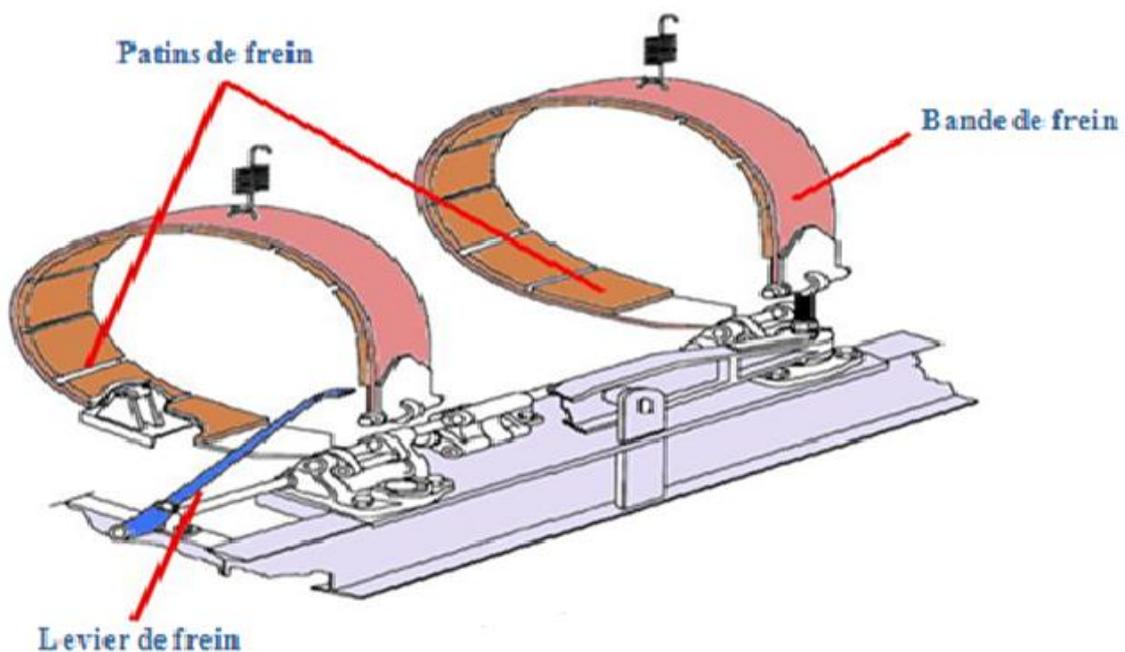


Figure I.5 : Frein principal

- **Frein auxiliaire (Frein électromagnétique)**

Ce frein est relié à l'arbre principal par un embrayage doté d'un système de roue libre. Le courant alternatif de la sonde alimente à travers un redresseur (pour le transformer en courant continu) et un rhéostat placé sur le tableau du maître sondeur pour faire varier et contrôler l'intensité du courant des bobines du frein. Ces bobines deviennent des aimants et créent un champ magnétique. Un tambour traverse en tournant ce champ, ce qui crée des courants de Foucault à l'intérieure du tambour. Une force de freinage se développe entre les bobines et le tambour. La force varie proportionnellement à l'intensité du courant contrôlée par le rhéostat. Le rhéostat est réglé par un volant.^[8]

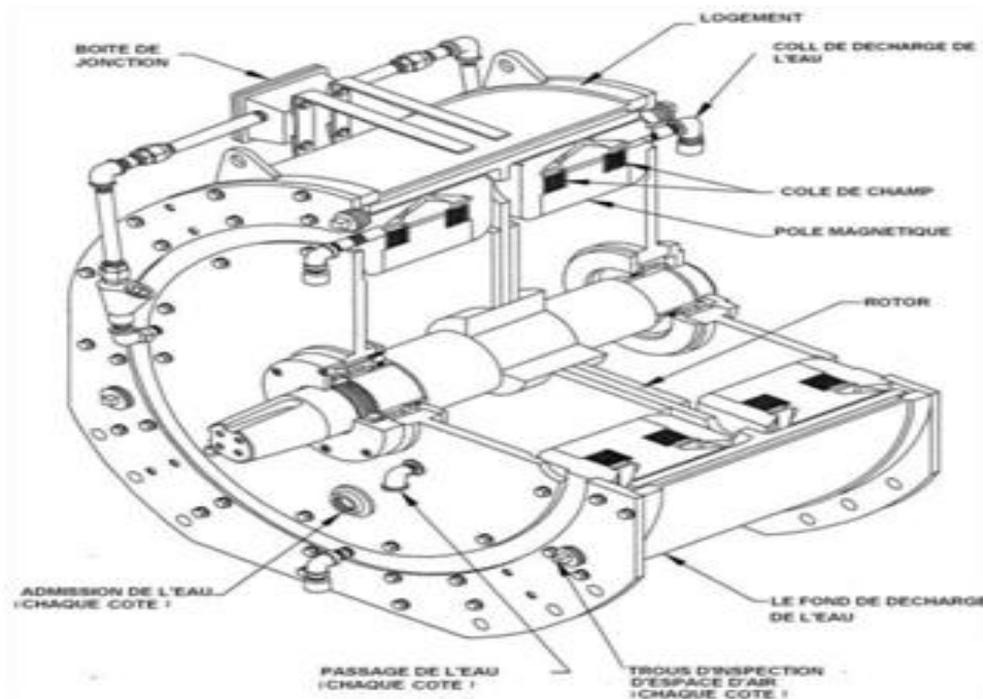


Figure I.6 : Conception du frein électromagnétique

- **Les embrayages**

Dans le treuil 840-E on distingue 3 types d'embrayage :

Embrayage pneumatique à sabot, pneumatique à disque et mécanique à clabot. Les 2 embrayages pneumatiques à sabot (grande vitesse et petit vitesse) sont placés sur les cotés de l'arbre-tambour ils permettent l'accouplement entre l'arbre-tambour et la roue dentée pendant la rotation de celle-ci. Ils sont de type « airflex 38VC1200 » dans ce type d'embrayage l'accouplement est assuré grâce à des patins de friction et une chambre à air annulaire. Des boulons de sécurité sont utilisés dans tous les embrayages de friction pour l'opération de secours.

Les 2 embrayages pneumatiques à disque sont placés sur l'arbre secondaire pour entraîner les poupées de vissage et dévissage des tiges de forage. Les 2 embrayages pneumatiques à disque (pour

l'entraînement de la table de rotation et de tambour de curage) sont du type « airflex 24CB500 ». Les embrayages mécaniques à clabots ou à denture permettent l'accouplement, seulement lorsque les arbres sont à l'arrêt, à une vitesse très faible ou identique. Ils sont robustes, économiques et ne demandent pratiquement aucun entretien ni protection. On les utilise donc encore dans le treuil 840-E, en particulier dans la boîte de vitesses et la commande du frein auxiliaire.

La tenue en service des embrayages dépend de la correction dans l'alignement, et de la vitesse d'alimentation en air. La pression normale de service est comprise entre 5.5 et 8.5 kg/cm², dans cette gamme de pression la capacité peut être considérée comme directement proportionnelle à la pression d'air. [4]

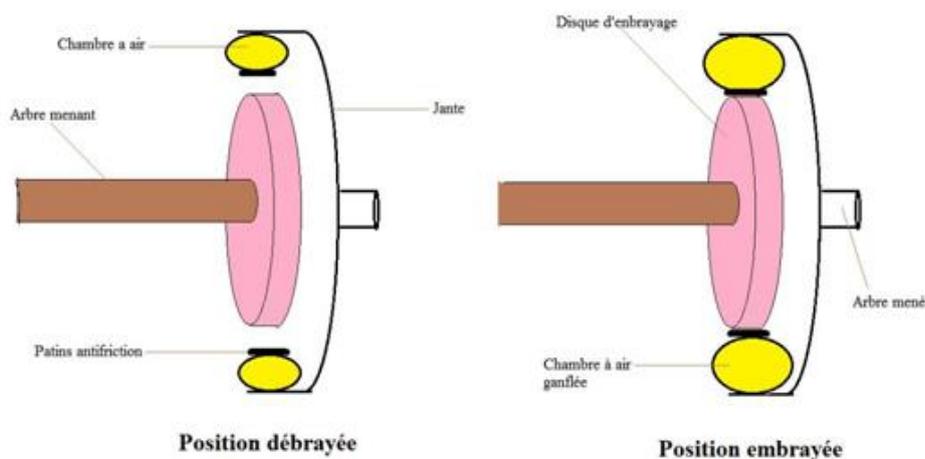


Figure I.7 : Embrayage pneumatique

- **Cabestan et tambour de curage**

- **Les cabestans**

Ces accessoires ont deux fonctions : le vissage et le dévissage de la garniture de forage à l'aide des clés, et la manutention des charges sur le plancher. Le treuil 840-E est équipé de deux cabestans à commande pneumatique. Ils sont installés sur un arbre situé dans la partie supérieure du treuil, l'un à gauche pour le dévissage et l'autre à droite pour le vissage. Un cabestan est constitué d'un tambour coulissant et d'une poupée clavetée sur l'arbre. La traction sur la clé de vissage, ou de dévissage est assurée par le tambour sur lequel est monté à demeure un câble métallique. [11]

- **Le tambour de curage**

Le tambour de curage 59'' x 12'' ³/₄ (longueur x diamètre) est monté sur l'arbre du cabestan (Cathead shaft), c'est-à-dire au dessus de tambour de manœuvre. Sa conception et sa fabrication sont sensiblement identiques au tambour de manœuvre. freinage est assuré par un frein mécanique à bandes dont la commande se fait à partir du poste de commande du treuil. [11]

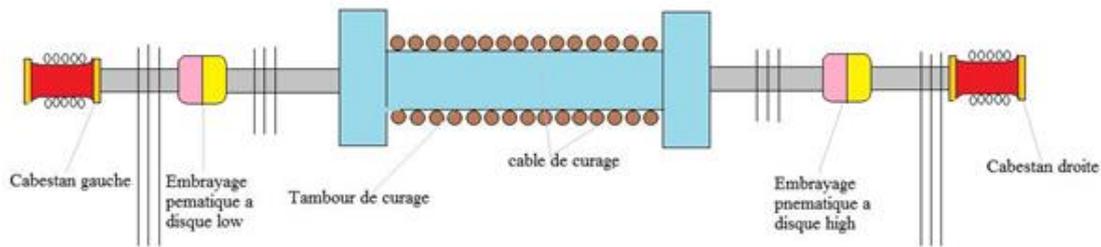


Figure I.8 : Cabestan et tambour de curage

I-7 Système de transmission et circuits de treuil de forage NATIONAL OILWELL 840E

I-7.1 Système de transmission

Les deux moteurs développent une puissance 1400HP à la boîte de vitesse du treuil, par l'intermédiaire de chaînes le mouvement est transmis à l'arbre-tambour, les embrayages transmettent le mouvement au tambour à des vitesses soit HI ou LOW.

- **Procédure de sélection de vitesses du treuil 840E :**

La sélection des vitesses dépend de la charge au crochet.

- **1ère vitesse : LO-LO**

Arrêter les moteurs électriques, freiner l'arbre d'entrée avec le frein d'inertie, enclencher le clabot dans le grand pignon de l'arbre de sortie, remettre les moteurs électriques en marche puis à l'aide de la manette de commande pneumatique alimenter l'embrayage LOW.

- **2ème vitesse : LO-HI**

Le clabot est toujours enclenché dans le grand pignon de l'arbre de sortie, puis à l'aide de manette de commande on alimente l'embrayage HI du tambour.

- **3ème vitesse : HI-LO**

Arrêter les moteurs électriques, freiner l'arbre d'entrée avec le frein d'inertie, enclencher le clabot dans le petit pignon de l'arbre de sortie, remettre les moteurs électriques en marche puis à l'aide de la manette de commande pneumatique alimenter l'embrayage LOW.

- **4ème vitesse : HI-HI**

Le clabot est toujours enclenché dans le petit pignon de l'arbre de sortie, puis à l'aide de manette de commande on alimente l'embrayage HI du tambour.

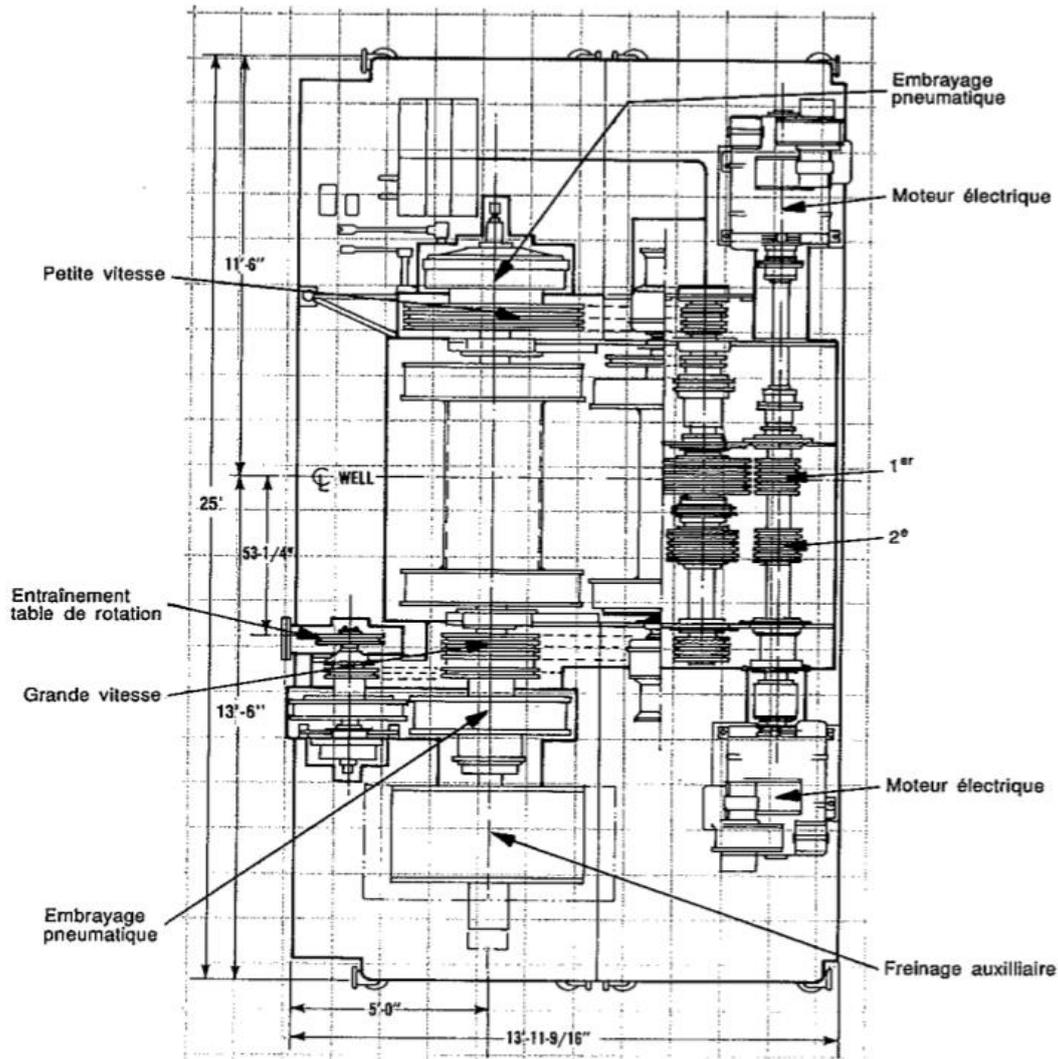


Figure I.9 : Cinématique de la transmission du treuil de forage NATIONAL OILWELL 840E

I-7.2 Les circuits du treuil de forage NATIONAL OILWELL 840E

- Le circuit d'air

Le réservoir d'air est muni de deux valves, la première valve alimente les embrayages de l'arbre tambour et les transmissions (75psi), la deuxième alimente les autres embrayages et le reste des organes du treuil (110psi).le circuit d'air alimente toutes les parties du treuil par des conduites de 1'' ½. Plusieurs types de valves permettent de commander l'admission et le vidange de l'air dans les organes pneumatiques du treuil :

- **Relay valve** : Cette valve a pour rôle de monter la manette des embrayages et couper l'alimentation des embrayages LOW et HI par l'intermédiaire d'air venant de l'orifice du crown-o-matic.
- **Relay valve type « S »** : Cette valve a 3 voies comporte un orifice « IN » un orifice « OUT » et « SXT » la valve reçoit des signaux a partir de la manette de commande elle renvoie cette pression en plus grande capacité d'écoulement vers les embrayages.

Grâce a cette valve le temps de remplissage de la chambre à air est minimale pour permettre un embrayage rapide et une adhérence parfaite. [12]

- **Circuit de refroidissement**

Il est important d’avoir une réserve d’eau pour le refroidissement du frein à bande et le frein électromagnétique, la pompe doit refouler un débit d’eau 100 GPM (378 litres par minute) à 50-75psi pendant un travail normal à cause du diamètre réduit des conduites. [12]

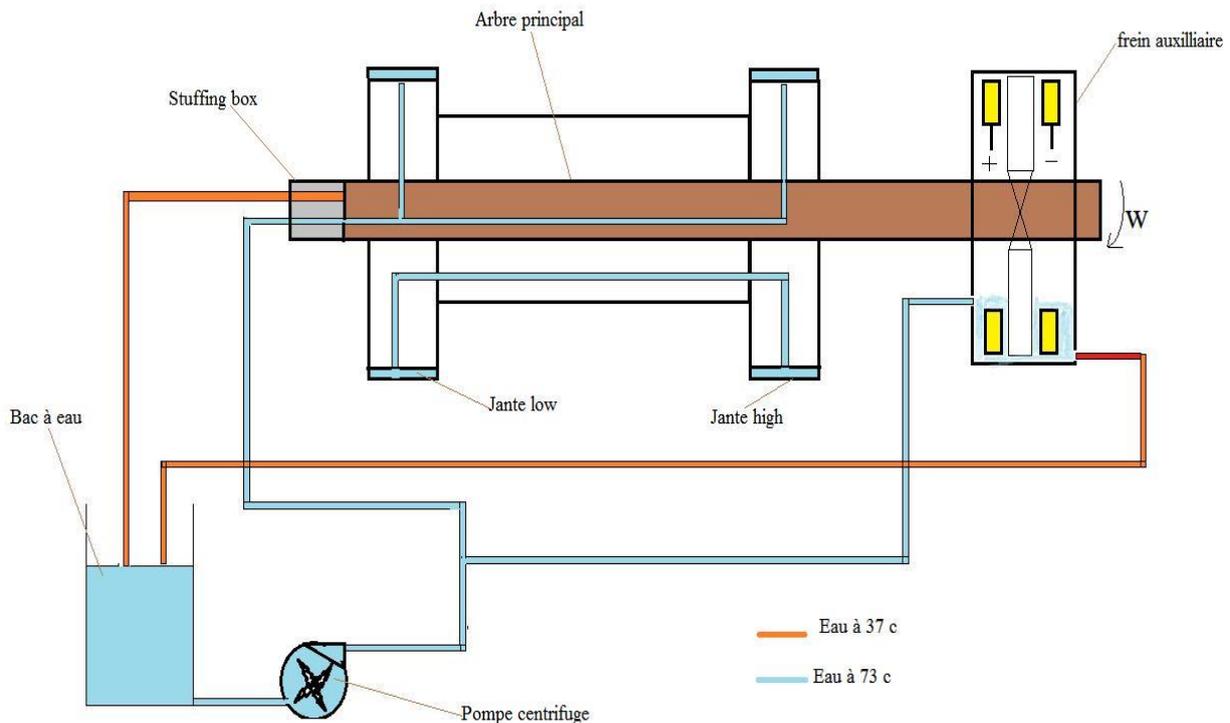


Figure I.10 : Circuit de refroidissement

- **Circuit de Lubrification**

Pour assurer un rendement maximum de tout équipement mécanique, il est nécessaire d’avoir une bonne lubrification avec des huiles et des graisses propres. Un système simple de vaporisateur d’huile est fourni pour la lubrification et le refroidissement des chaînes du treuil 840E, des gardes sont conçus pour assurer le retour d’huile au puisard et prévenir toute huile d’entrer dans les éléments de l’embrayage.

La pompe à l’huile est montée dans le puisard de l’huile du treuil et est conduite par une chaîne de l’arbre d’admission (input shaft). Un filtre de succion et un filtre de décharge sont utilisés pour filtrer l’huile.

Le puisard doit être rempli avec la quantité et la viscosité d’huile nécessaire Capacité du Puisard d’Huile du Treuil 840E: 35 U.S. Gal. (133 L). Les roulements dans le treuil, qui ne sont pas lubrifiés par l’huile de la chaîne motrice, sont lubrifiés par la graisse. Les embouts de graissage et les panneaux de graissage sont situés de façon pratique autour du treuil. [12]

I-8 Les systèmes de sécurité

• Le Twin Stop

Le Twin Stop Bea Cat est conçu pour protéger à la fois les moufles et le plancher relatif, en engageant automatiquement le frein à bande du treuil de forage à des points pré-réglés dans un sens ou dans l'autre. Le Twin Stop est mené par chaîne à partir de l'arbre d'entraînement du tambour principal.

Au fur et à mesure que le pignon de Twin Stop se trouve tourner par le mouvement de tambour, l'arbre de sortie du réducteur de vitesses tourne moins d'un tour complet durant un trajet complet du moufle mobile vers le haut ou vers le bas du mat de forage.

Le Twin Stop Bear Cat se compose de trois systèmes de base :

- Un système de commande mécanique ;
- Un système de commande pneumatique ;
- Un système de freinage pneumatique.

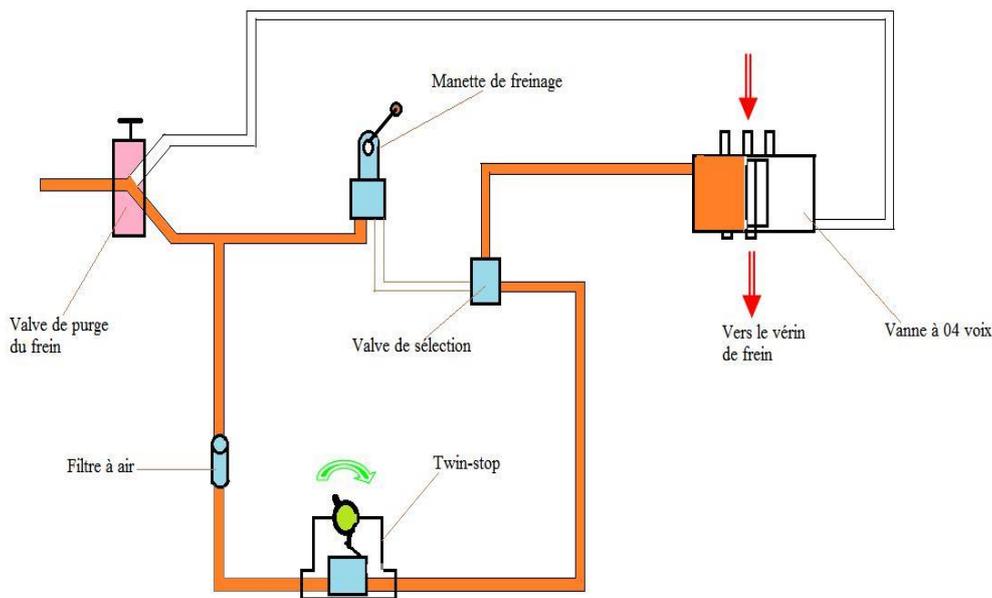


Figure I.11 : Système de commande pneumatique du Twin Stop

• Le crown-O-matic

Le crown-O-matic a pour rôle d'éviter la collision entre le moufle mobile et le moufle fixe. Il est monté juste au-dessus du tambour de manœuvre. Sous forme de levier qui s'actionne lorsque les couches du câble sur le tambour dépassent une limite définie à l'avance pour éviter que le moufle mobile dépasse une certaine hauteur dans la tour.

L'embrayage doit être déblayé avant de freiner, ceci évite toute défaillance mécanique.

II-1 Histoire de la maintenance

Le terme « maintenance », forgé sur les racines latines manus et tenere, est apparu dans la langue française au XII^e siècle. L'étymologiste Wace a trouvé la forme main-teneor (celui qui soutient), utilisé en 1169 : c'est une forme archaïque de « mainteneur ». [6]

II-2 Définition de la maintenance

D'après la norme **AFNOR X60-000**

La maintenance est l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise.

II-3 Les différentes formes de la maintenance

II-3.1 Maintenance préventive

La norme **FD X 60-000** décrit la maintenance préventive ainsi :

Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinés à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien, elle est subdivisée en :

- **Maintenance conditionnelle** : Maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement et intégrant les actions qui en découlent.
- **Maintenance systématique** : Maintenance préventive exécutés à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien.

La figure suivante représente la méthode de conception des plans de maintenance préventive.

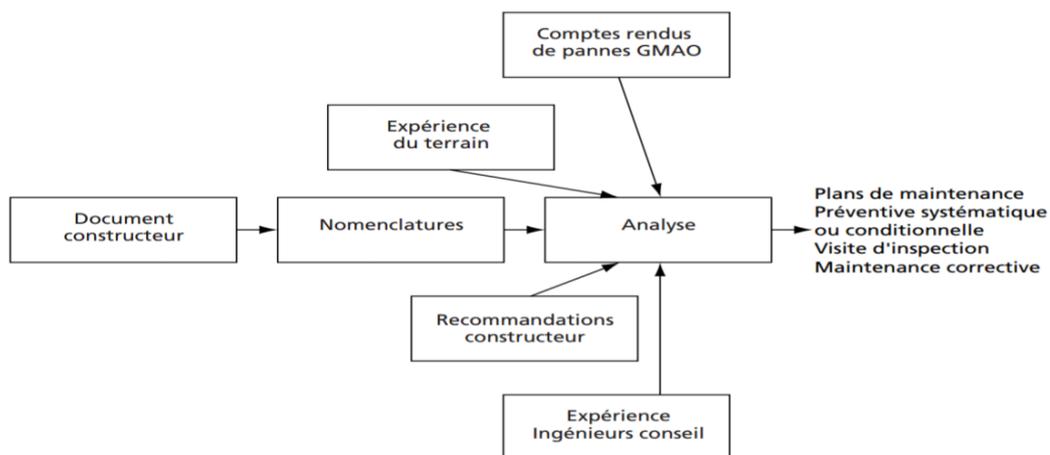


Figure II.1 : Méthode de conception des plans de maintenance préventive

II-3.2 Maintenance corrective

Ensemble des activités réalisées après la défaillance d'un bien, ou la dégradation de son fonctionnement, pour lui permettre d'accomplir une fonction requise, au moins provisoirement.

Note: la maintenance corrective comprend en particulier:

- La localisation de la défaillance et son diagnostic ;
 - La remise en état avec ou sans modification ;
 - Le contrôle du bon fonctionnement.
- **Maintenance palliative :** Activités de maintenance corrective destinées pour permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou une partie d'une fonction requise. Elle est appelée couramment "dépannage", la maintenance palliative est principalement constituée d'actions à caractère provisoire qui devront être suivies d'actions curatives.
 - **Maintenance curative :** Activités de maintenance corrective ayant pour objet de rétablir un bien dans un état spécifié ou de lui permettre d'accomplir une fonction requise.

Le résultat des activités réalisées doit présenter un permanent, ces activités peuvent être:

- Des réparations ;
- Des modifications ou améliorations ayant pour objet de supprimer la (ou les) défaillance (s).

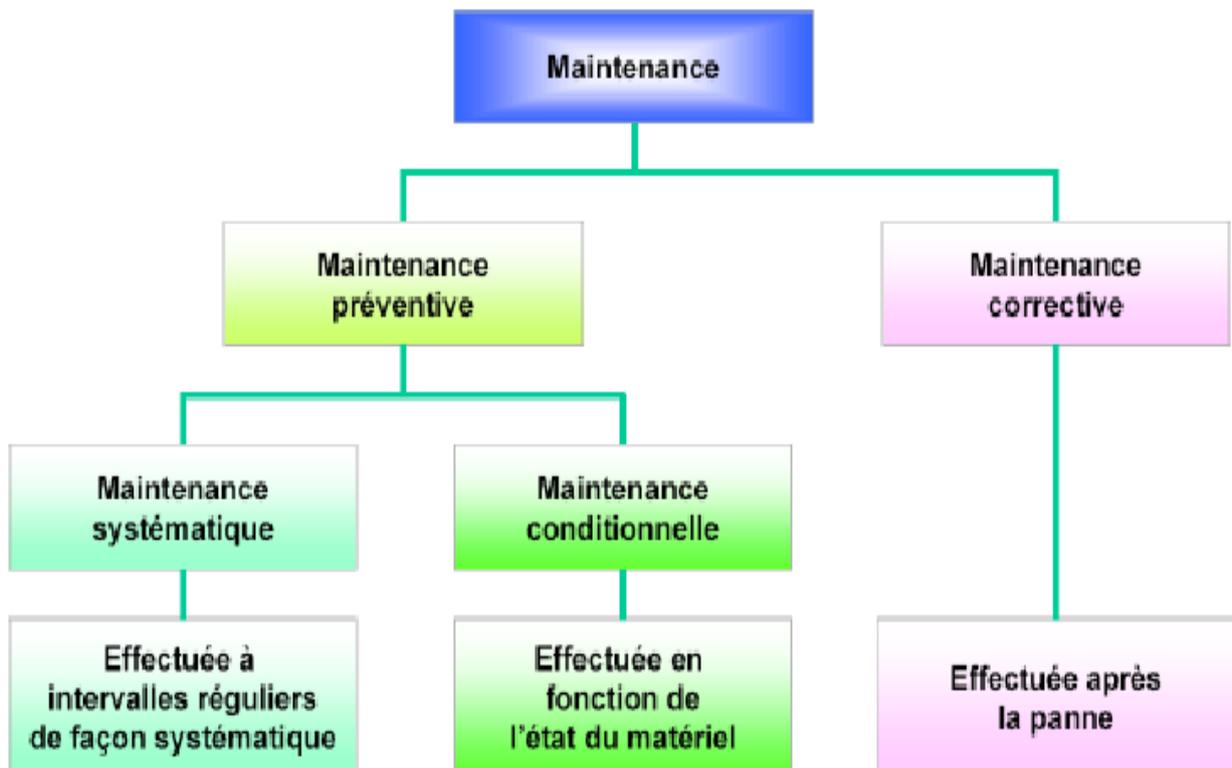


Figure II.2 : Types de maintenance

II-4 Les objectifs de la maintenance

Les principaux objectifs de la maintenance sont :

- Maintenir l'équipement dans un bon état de marche ;
- Remplacer l'équipement à des périodes prédéterminées ;
- Assurer à l'équipement des performances de haute qualité ;
- Améliorer la sécurité du travail ;
- Former le personnel dans les spécialités spécifiques à la maintenance ;
- Conseiller la direction d'usine et la fabrication. Maintenir l'installation dans un état de propreté absolue.

II-5 Méthodologie de la maintenance (quelques outils de base)

Nous allons aborder certains aspects méthodologiques propres à l'exercice des métiers de la maintenance, et qui méritent une réflexion « isolée », car leurs mises en œuvre se retrouvent parmi les chapitres suivants.

II-5.1 L'observation

Éliminons les sens « action de se conformer à ce qui est prescrit » pour ne retenir que le sens « étude attentive d'un phénomène ». En maintenance, l'observation est le point de départ. ^[6]

II-5.1.1 Méthode

L'observation se rapporte aux symptômes. Elle se fait évidemment in situ, compliquée parfois par les mesures prises en urgence pour préserver un équipement :

- N'observer qu'une seule chose à la fois : isoler successivement les paramètres d'influence pour étudier séparément leurs effets ;
- Observer sans juger : être objectif et impartial, éliminer les priori favorables à une thèse,
- Tout observer : ne rien éliminer a priori, même des faits qui semblent indépendants du phénomène recherché. Une anomalie sur une facture d'énergie peut permettre d'identifier un problème technique ;
- Tout noter (par croquis, schémas, notes, photos, image vidéo, etc.)

II-5.2 L'analyse

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

La méthode de cet ouvrage est de découvrir dans une première partie, des aspects de maintenance par analyses de situations. Nous découvrirons ainsi l'organigramme d'un service (analyse fiabiliste des comportements pathologiques).^[6]

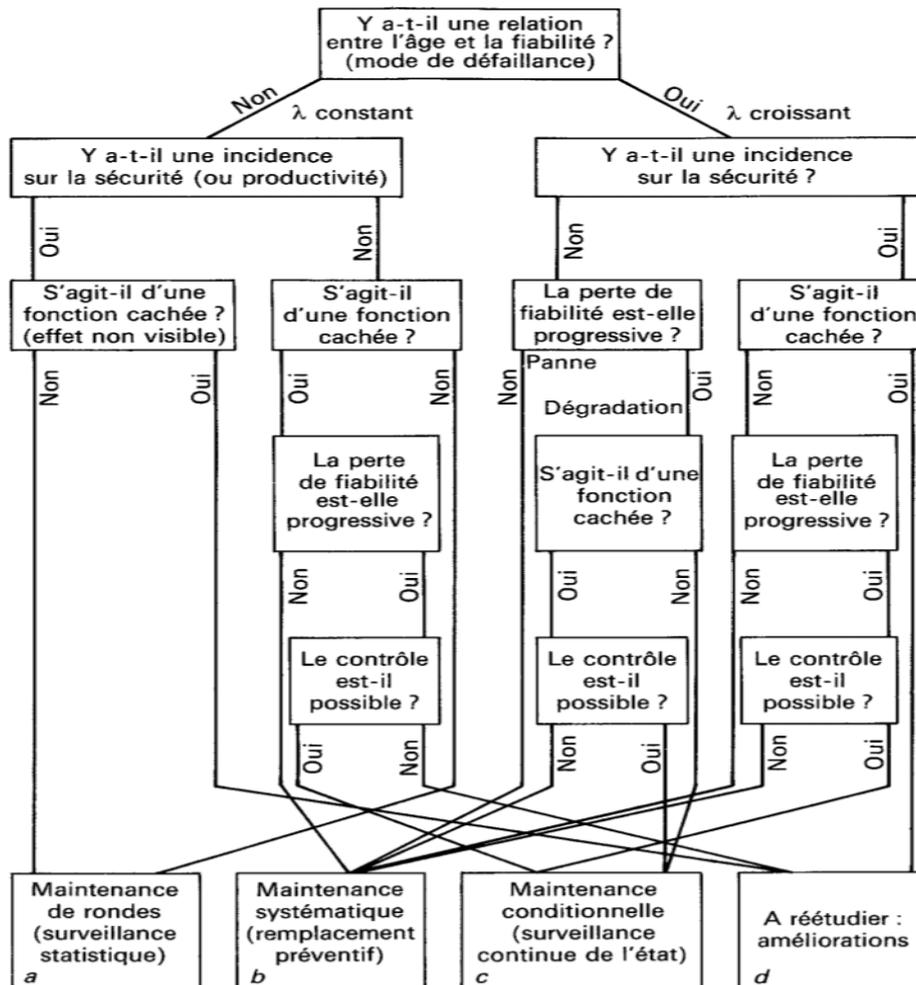


Figure II.3 : Exemple d'arbre de décision appliqué au choix des méthodes de maintenance

II-5.3 La communication

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

II-5.3.1 La communication au sein du service de maintenance :

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

- DT, demande de travail, ou DI, demande d'intervention, ouvrant un N° de référence, provenant du client interne ;
- OT, ordre de travail, géré par l'ordonnancement ;

- BT, bon de travail, accompagnant la préparation et retourné complété après intervention ;
- DA, demande d'intervention d'approvisionnement ;
- BSM, bon de sortie magasin

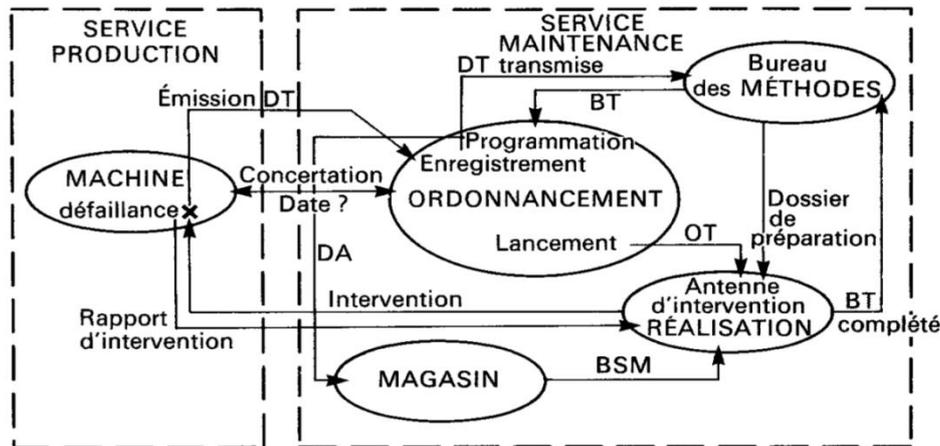


Figure II.4 : Quelques flux de communication interne en maintenance

II-5.4 La recherche permanente d'amélioration

La maintenance, par sa nature propre (volonté de maîtriser au lieu de subir) et en tant que facteur de qualité, doit s'inscrire dans une recherche permanente de progrès. Il est donc important d'intégrer toutes les activités de maintenance, qu'elles soient techniques ou gestionnaire, dans une logique d'amélioration continue. Pour ce faire, nous rappellerons le principe de la roue de Deming, l'un des maîtres à penser de la qualité.

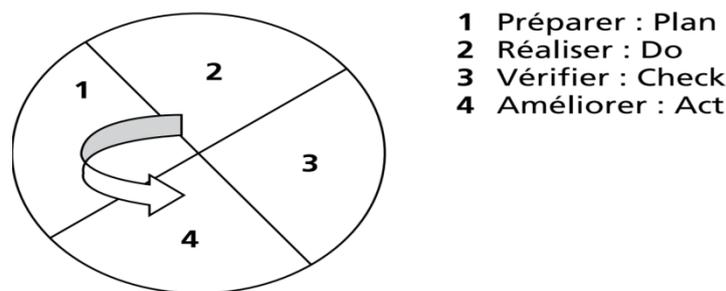


Figure II.5 : La roue de Deming

Sur le plan comportemental, on peut rapprocher ce cercle d'une autre itération indispensable à la recherche d'amélioration au niveau du technicien de maintenance.

1. Observer (les symptômes de défaillance) ;
2. Réfléchir (diagnostiquer : identifier les causes) ;
3. Agir (Par action de causes) ;
4. Mesurer (Par analyse des résultats de l'action)

II-6 Maintenance appliquée sur le treuil de forage NATIONAL OILWELL 840E

II-6.1 La maintenance préventive

Ce type de préventif à actions quotidiennes, doit être appliqué à tous les équipements de l'appareil sans exception, il doit être fait quotidiennement par les mécaniciens.

Le chef mécanicien et le chef de chantier doivent veiller strictement à sa réalisation, au contrôle et ils sont les seuls responsables.

- **La maintenance quotidienne du treuil de forage NATIONAL OILWELL 840E :**

- Contrôle visuel et auditif ;
- Contrôle de l'alignement des bandes ;
- Contrôle de l'état des patins ;
- Contrôle de tout le système de freinage ;
- Contrôle du niveau d'huile des chaînes ;
- Contrôle du serrage des vis des patins ;
- Graissage général de tout le treuil ;
- Contrôle du système de maintien circonférentiel des bandes de frein ;
- Contrôle des fuites d'huile et de l'étanchéité des carters ;
- Contrôle du refroidissement du treuil par vérification du retour d'eau ;
- Contrôle des valves de décharge des embrayages ;
- Contrôle d'état des cabestans, fuites d'air ou d'huile, l'enroulement du câble sur le tambour et l'état de freinage ;
- Contrôle d'état de la clé automatique, tous les éléments tournants, l'état des pignons et des mâchoires et graissage général.

- **La maintenance préventive systématique appliquée sur le treuil de forage NATIONAL OIWELL 840E**

La maintenance préventive systématique consiste à intervenir à des périodes fixes (selon un échéancier), ou sur une base d'unité d'usage du matériel pour détecter les anomalies, ou les usures prématurées et remédier avant qu'une panne se produise.

Périodicité des interventions	Opérations
Journalièrement	<ul style="list-style-type: none">- Contrôle niveau d'huile.- Graissage des roulements (Manifold).- Graissage (water stuffing).- Graissage des pignons baladeur.- Contrôle gicleurs d'huile.

	<ul style="list-style-type: none"> - Graissage roulements poupées. - Vérification du niveau d’huile. - Graissage roulements palier principale. - Graissage roulements palier latéral. - Vérification pression d’huile.
Hebdomadairement	<ul style="list-style-type: none"> - Graissage roulement contreshaft. -Graissage des rouleaux guide-câble. -Graissage des roulements treuil de curage. -Graissage embrayage contreshaft. -Graissage des roulements pignons High&Low. -Graissage de clabot de frein auxiliaire. -Vérification pression d’air. -Vérification rotor seal.
Mensuellement	<ul style="list-style-type: none"> -Vérification relais valves. -Vérification de la tension des chaines de transmission.
Trimestriellement	<ul style="list-style-type: none"> -Vérification de la tension chaine de graissage. -Contrôle de la tension des chaines.
Semestriellement	<ul style="list-style-type: none"> -Vérification de la tension chaine de graissage. -Nettoyage crépine d’aspiration. -Vidange et rinçage carter d’huile. -Alimentation des cylindres a air. -Vérification de la pompe de graissage.
Annuellement	<ul style="list-style-type: none"> -Démontage et nettoyage (air valve). -Contrôle l’usure des patins de frein. -Contrôle l’usure des patins d’embrayage. -Contrôle l’usure de tambour. -Contrôle des jeux de roulements. -Contrôle de l’usure des jantes. -Vérification l’état de la denture du pignon d’entraînement.

Tableau II.1 : Périodicités des interventions de maintenance préventive

- **Maintenance préventive conditionnelle**

La maintenance préventive conditionnelle se caractérise par la mise en évidence de la partie faible de l'équipement. Dans notre cas du treuil NATIONAL OILWELL 840E on doit vérifier les parties suivantes :

- Mesurer la gorge de la bande de jante de frein mécanique ;
- Mesurer le jeu entre rotor et stator du frein électromagnétique ;
- Vérification du bon fonctionnement du twin stop et crown-o-matic system.

II-6.2 Maintenance corrective

Cette maintenance s'applique une fois qu'une défaillance est survenue sur un équipement ou un organe.

La réalisation de cette maintenance corrective sur les appareils impose les conditions suivantes :

- Faire un travail méthodique ;
- Avoir une bonne préparation au travail ;
- Avoir une bonne gestion de toutes les informations.

- **Réparation et révision générale :**

Lorsqu'un équipement a été utilisé pendant une longue durée correspondant également à sa durée de vie, celui-ci atteint un certain degré d'usure qui compromet son état fonctionnel, à cet effet des dispositions doivent être prises pour qu'on puisse encore l'utiliser pour la production.

Au cours de ce travail de restauration, les parties critiques du treuil ayant besoin de réparation doivent être remises en état ou remplacées de façon à rendre le treuil plus sûr et minimiser ultérieurement le travail d'entretien. ^[12]

La révision d'un treuil peut être toujours considérée comme alternative par rapport à l'achat d'un nouveau.

La décision à prendre doit être soigneusement calculée et comparée à celle du remplacement. Le travail de révision comporte de nombreuses opérations du nettoyage du treuil jusqu'au contrôle de son fonctionnement. Avant d'entreprendre un travail de révision ou de réparation il faut vérifier :

- Si l'on détient toutes les informations et instruction ;
- Si l'on pouvait disposer de moyens de levage indispensable ;
- Si les pièces de rechange sont en magasin, ou si elles peuvent être obtenues à temps.

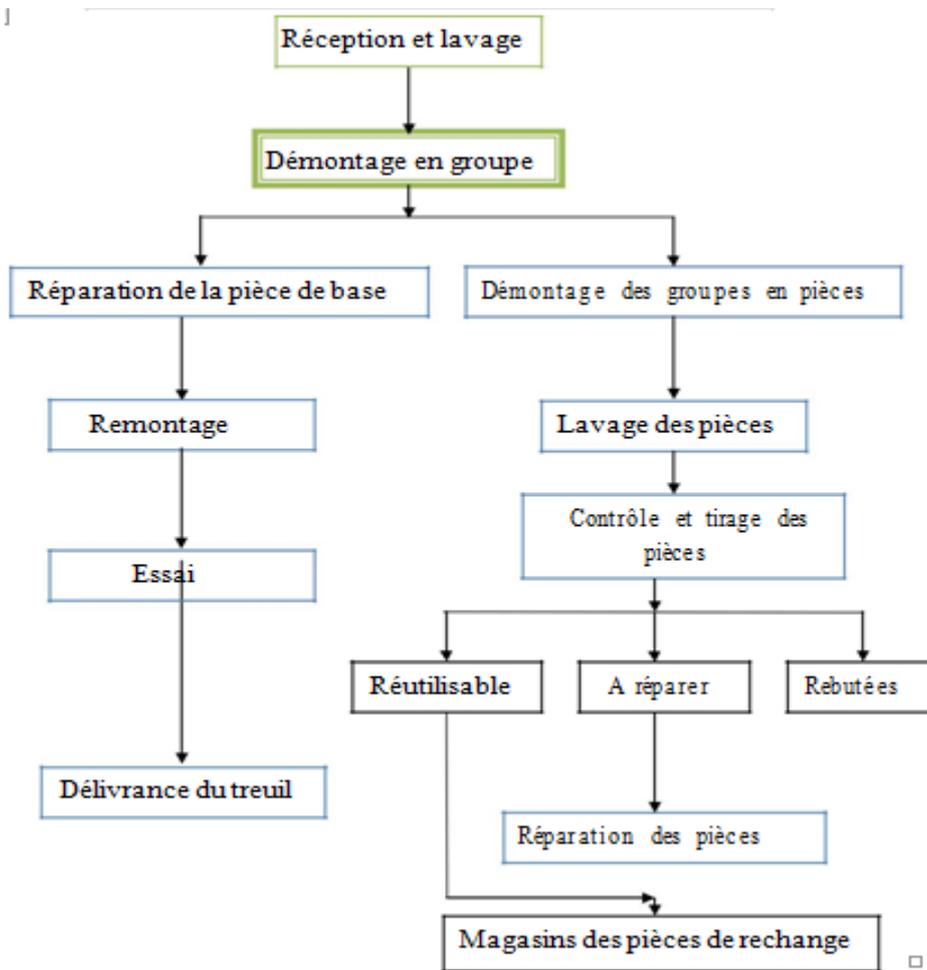


Figure II.6 : Schéma technologique de réparation d'un treuil

• Pannes et remèdes :

Pannes	Causes possibles	Remèdes
-Pression d'aire insuffisante	- Fuite d'air au niveau des conduites - Présence des impuretés - Le régulateur d'air n'est pas ajusté convenablement - Le régulateur d'air est inopérant - Le régulateur d'air est colmaté	-Détecter ces fuites et les éliminer -Nettoyer le filtre d'air -Régler le régulateur d'air -Réparer ou bien remplacer celui-ci -Nettoyer le filtre

Chapitre II Maintenance du treuil de forage NATIONAL OILWELL 840E

-Présence d'eau dans les conduites d'air	- Le filtre à air n'est pas entretenu	- Nettoyer la conduite
-basse pression d'huile	- Le niveau du fluide est au dessous du niveau prescrit	-Le chargement de l'appareil
-La transmission ne s'engage pas ou ne se débraye pas	-Fuite au niveau du cylindre de commande de transmission -Clapet de retenu ne fonctionne pas ; - Le régulateur d'air de transmission n'est pas réglé ; -Le régulateur de la transmission ne fonctionne pas ; -La commande d'air ne fonctionne pas.	-Réparation du cylindre ou le remplacer ; -Remplacement du Clapet ; -Réglage du régulateur d'air ; -Réparation ou remplacement du régulateur de transmission ; -changement de la conduite d'air.

Tableau II.2 : pannes et remèdes du treuil de forage NATIONAL OILWELL 840E

III-1. Concepts généraux de la fiabilité

III-1.1 définition de la fiabilité selon AFNOR

La fiabilité est la caractéristique d'un dispositif exprimé par la probabilité que ce dispositif accomplisse une fonction requise dans des conditions d'utilisation données et pour une période de temps déterminée. La fiabilité est l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant un intervalle de temps donné. ^[7]

III-1.2 Objective de la fiabilité en maintenance

L'analyse de la fiabilité constitue une phase indispensable dans toute étude de sûreté de fonctionnement. A l'origine, la fiabilité concernait les systèmes à haute technologie (centrales nucléaires, aérospatial). Aujourd'hui, la fiabilité est devenue un paramètre clé de la qualité et d'aide à la décision, dans l'étude de la plupart des composants, produits et processus "grand public": Transport, énergie, bâtiments, composants électroniques, composants mécaniques.... etc.

De nombreux industriels travaillent à l'évaluation et l'amélioration de la fiabilité de leurs produits au cours de leur cycle de développement, de la conception à la mise en service (conception, fabrication et exploitation) afin de développer leurs connaissances sur le rapport Coût/Fiabilité et maîtriser les sources de défaillance.

L'analyse de la fiabilité dans le domaine de la mécanique est un outil très important pour caractériser le comportement du produit dans les différentes phases de vie, mesurer l'impact des modifications de conception sur l'intégrité du produit, qualifier un nouveau produit et améliorer ses performances tout au long de sa mission. ^[13]

III-2 Expressions mathématiques de fiabilité

III-2.1 Fonction de fiabilité $R(t)$ et fonction de défaillance $F(t)$

Considérons un matériel dont on étudie la fiabilité. On appelle fonction de défaillance la fonction F ^[14] définie pour tout $t \geq 0$:

$$F(t) = P(T \leq t) \quad \text{III-1}$$

Le nombre $F(t)$ représente la probabilité qu'un dispositif choisi au hasard ait une défaillance avant l'instant t . La figure III.1 donne l'allure de cette fonction.

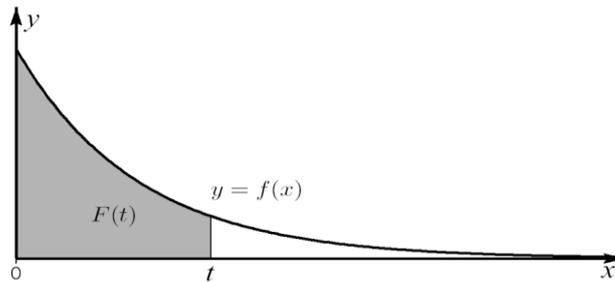


Figure III.1 : Fonction de défaillance

Cette fonction nous amène naturellement une fonction associée : la fonction de fiabilité R définie pour tout $t \geq 0$ par : $R(t) = 1 - F(t)$. Le nombre $R(t)$ représente la probabilité qu'un dispositif choisi au hasard dans la population n'ait pas de défaillance avant l'instant t . La figure III.2 montre les deux fonctions associées.

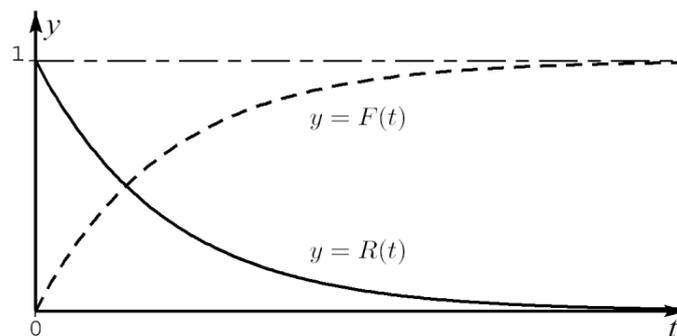


Figure III.2 : Fonction associée

Le taux d'avarie moyen dans l'intervalle de temps $[t, t + \Delta t]$ est alors :

$$\lambda = \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)} \times \frac{1}{\Delta t} \tag{III-2}$$

III-2.2 Taux de défaillance instantané

C'est la probabilité ($0 \leq R \leq 1$) ; un produit doit accomplir de manière satisfaisante une fonction requise, sous des conditions données et pendant une période de temps donné.

L'écriture mathématique du taux de défaillance à l'instant t , noté $\lambda(t)$, défini sur R est la suivante:

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \times \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)} \tag{III-3}$$

Physiquement le terme $\lambda(t) \cdot \Delta t$, mesure la probabilité qu'une défaillance d'un dispositif se produise dans l'intervalle de temps $[t, t + \Delta t]$ sachant que ce dispositif a bien fonctionné jusqu'à l'instant t

$$\lambda(t) = -\frac{dR(t)}{d(t)} \tag{III-4}$$

où R est la fonction de fiabilité de ce matériel. On est alors amené à résoudre une équation différentielle du 1er ordre. En effet si λ est connu, la résolution de l'équation différentielle linéaire du 1er ordre.

III-2.3 Indicateur de fiabilité (λ) et (MTBF)

Précédemment le taux de défaillance λ a été défini par des expressions mathématiques a travers un calcul de probabilité. On peut également l'exprimé par une expression physique . Il caractérise la vitesse de variation de la fiabilité au cours du temps. La durée de bon fonctionnement est égale à la durée totale en service moins la durée des défaillances.

$$\lambda = \frac{\text{nombre total de défaillances pendant le service}}{\text{durée total de bon fonctionnement}}$$

III-2.3.1 Temps moyen de bon fonctionnement

Le MTBF (Mean Time Between Failure) est souvent traduit comme étant la moyenne des temps de bon fonctionnement mais représente la moyenne des temps entre deux défaillances. En d'autres termes, Il correspond à l'espérance de la durée de vie t .^[13]

$$\text{MTBF} = \int_0^{\infty} R(t) \quad \text{III.-5}$$

Physiquement le MTBF peut être exprimé par le rapport des temps.

$$\text{MTBF} = \frac{\text{somme des temps en fonctionnement entre défaillances}}{\text{nombre de défaillance}}$$

Si λ est constant : $\text{MTBF} = 1/\lambda$

Par définition le MTBF est la durée de vie moyenne du système.

La courbe suivante montre l'évolution du taux des défaillances pour les différentes entités.

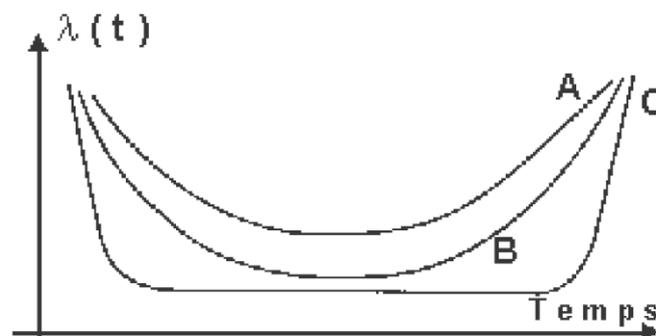


Figure III.3 : Courbes caractéristique du taux de défaillance

Les courbes du taux de défaillance, figure II.3 ont une même forme générale dite en baignoire, mais présentent néanmoins des différences suivant la technologie principale du système étudié:

- A. en mécanique.
- B. en électromécanique.
- C. en électronique.

III-3 Les différentes phases du cycle de vie d'un produit

L'évolution du taux de défaillance d'un produit pendant toute sa durée de vie est caractérisée par ce qu'on appelle en analyse de fiabilité la courbe en baignoire Figure III.4. Le taux de défaillance est élevé au début de la vie du dispositif. Ensuite, il diminue assez rapidement avec le temps (taux de défaillance décroissant), cette phase de vie est appelée période de jeunesse. Après, il se stabilise à une valeur qu'on souhaite aussi basse que possible pendant une période appelée période de vie utile (taux de défaillance constant). A la fin, il remonte lorsque l'usure et le vieillissement font sentir leurs effets, c'est la période de Vieillessement (taux de défaillance croissant) ^[13] :

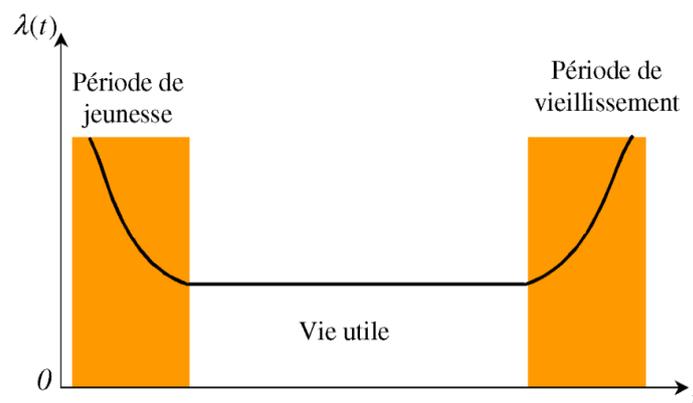


Figure III.4 : La courbe en baignoire.

De nombreux éléments, tels que les composants électroniques, ont un taux de défaillance qui évolue de cette manière là. Pour souligner la particularité des composants mécaniques dans l'analyse de la fiabilité par rapport aux composants mécaniques, nous allons comparer l'évolution du taux de défaillance dans les deux cas.

III-3.1 Taux de défaillance pour des composants électroniques

L'expérience a montré que pour des composants électroniques la courbe, représentant le taux de défaillance en fonction du temps t , a la même allure que la courbe en baignoire figure III.3. Elle est donc composée de trois phases^[7] :

- **Phase 1**

La première phase définit la période de jeunesse, caractérisée par une décroissance rapide du taux de défaillance. Pour un composant électronique cette décroissance s'explique par l'élimination progressive de défauts dus aux processus de conception ou de fabrication mal maîtrisés ou à un lot de composants mauvais. Cette période peut être minimisée pour les composants vendus aujourd'hui. En effet, les fabricants de composants électroniques se sont engagés à vérifier la qualité de leurs produits en sortie de fabrication.

- **Phase 2**

La deuxième phase définit la période de vie utile généralement très longue. Le taux de défaillance est approximativement constant. Le choix de la loi exponentielle, dont la propriété principale est d'être sans mémoire, est tout à fait satisfaisant. Les pannes sont dites aléatoires, leur apparition n'est pas liée à l'âge du composant mais à d'autres mécanismes d'endommagement. Les calculs prévisionnels de fiabilité se font presque souvent dans cette période de vie utile.

- **Phase 3**

La dernière phase est la période de vieillissement, elle est caractérisée par une augmentation progressive du taux de défaillance avec l'âge du dispositif. Ceci est expliqué par des phénomènes de vieillissement tels que l'usure, l'érosion, etc. Cette période est très nettement au-delà de la durée de vie réelle d'un composant électronique. Parfois, on réalise des tests de vieillissement accélérés pour révéler les différents modes de défaillance des composants.

III-3.2 Taux de défaillance pour des composants mécaniques

Les composants mécaniques sont soumis, dès le début de leur vie, au phénomène d'usure ou de vieillissement. Si on trace la courbe du taux de défaillance, en fonction du temps, on obtient une courbe qui ne présente pas le plateau de la figure III.4 la période de vie utile (taux de défaillance constant) n'existe pas ou elle est réduite. Le taux de défaillance du dispositif est une fonction non linéaire du temps et ceci dans chaque phase de sa vie (voir figure III.5):

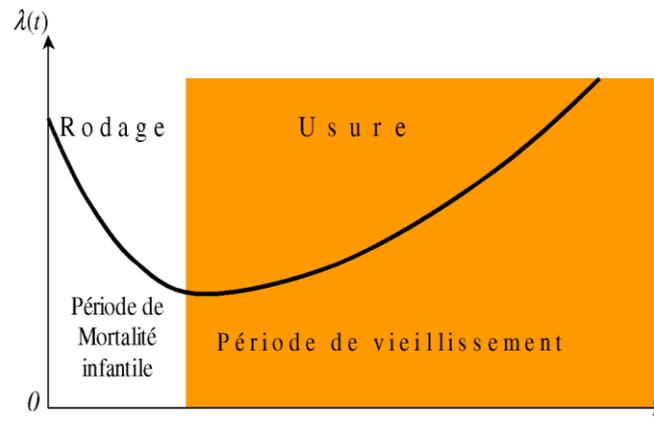


Figure III.5 Courbe du taux de défaillance en mécanique

- **phase 1 :**

La première phase définit la période de mortalité infantile. C'est une durée de vie en principe très courte Elle décrite par une décroissance progressive du taux de défaillance avec le temps dû à une amélioration des caractéristiques internes (caractéristiques de défauts) et des interfaces, par un rodage préalable des pièces. Par conséquent il n'est pas souhaitable de tester les composants mécaniques dans cette période de leur vie.

- **phase 2 :**

La dernière phase définit la période de vieillissement qui comporte la majorité de la vie du dispositif. Elle est caractérisée par une augmentation progressive du taux de défaillance. Les pièces mécaniques sont soumises à des phénomènes de vieillissement multiples qui peuvent agir en combinaison: corrosion, usure, déformation, fatigue, et finalement perte de résilience ou fragilisation. Contrairement aux composants électroniques les calculs de la fiabilité pour des composants mécaniques se font essentiellement dans la période de vieillissement, en utilisant des lois de Probabilité dont le taux de défaillance est fonction du temps telles que la loi Log-normale, Weibull,... etc.

III-4 Fiabilité d'un système

La détermination de la fiabilité d'un système électronique, mécanique ou autre nécessite tout d'abord de connaître la loi de la fiabilité (ou la loi de défaillance) de chacun des composants intervenant dans le système.

Ceci est simple pour certains types de systèmes tels que les systèmes électroniques, or ce n'est pas le cas pour des systèmes mécaniques à cause de la complexité de la structure du système étudié. Les systèmes mécaniques sont des ensembles d'éléments technologiques liés par des relations statiques et dynamiques assez complexes.

Pour un système électronique chaque composant à un poids important dans la fiabilité du système, la fiabilité du système est donc calculé en fonction de la fiabilité de tous ses composants. Les calculs sont effectués sous l’hypothèse que les taux de défaillance sont constants dans le temps, une hypothèse acceptable pour la plupart des composants, ce qui rend les calculs beaucoup plus simple. La détermination des taux de défaillance des composants est effectuée soit à partir des modèles développés dans des bases de données disponibles, soit à partir d’essais effectués sur les composants ou bien à partir des résultats d’exploitation des produits.

La fiabilité d’un système mécanique, contrairement à l’électronique, repose sur la fiabilité de quelques composants élémentaires responsables de son dysfonctionnement, dits composants “responsables” ou “critiques” (parfois un seul).^[13]

III-4.1 Fiabilité de système constitué de plusieurs composants

• **En série**

La fiabilité R_s d’un ensemble de n constituants connectés en série est égale au produit des fiabilités respectives R_A, R_B, R_C, R_n de chaque composant.

$$R_s = R_A * R_B * R_C * \dots * R_n$$

Si les “ n ” composants sont identiques avec une même fiabilité R la formule sera la suivante :

$$R(s) = R^n$$



Figure III.6 : Composants en série

Si les taux de défaillances sont constants au cours du temps la fiabilité sera calculée suivant la formule:

$$R(s) = (e^{-\lambda_A t}) * (e^{-\lambda_B t}) * (e^{-\lambda_C t}) * \dots * (e^{-\lambda_n t})$$

Avec :

$$MTBF = \frac{1}{(\lambda_A + \lambda_B + \lambda_C + \lambda_n)} \tag{III-6}$$

Si en plus, les composants sont identiques: $\lambda_A = \lambda_B = \lambda_C = \dots = \lambda_n$

$$MTBF = \frac{1}{(n\lambda)} \tag{III-7}$$

• **En parallèle :**

La fiabilité d’un système peut être augmentée en plaçant les composants en parallèle. Un dispositif constitué de n composants en parallèle ne peut tomber en panne que si les n composants tombent en panne au même moment.

Si F_i est la probabilité de panne d'un composant, la fiabilité associée R_i est son complémentaire:

$$F_i = 1 - R_i \quad \text{III-7}$$

F_i représentant la fiabilité associée.

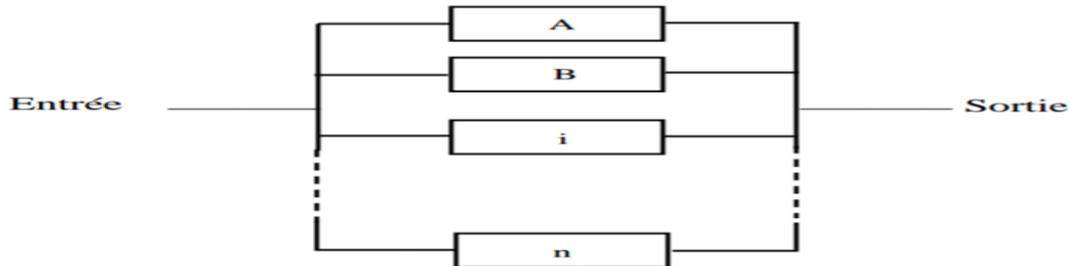


Figure III.7 Composant en parallèle

Soit les “n” composants de la figure ci-dessous montés en parallèle. Si la probabilité de panne pour chaque composant repéré (i) est notée F_i alors:

$$R(s) = 1 - (1 - R)^n \quad \text{III-8}$$

III-5 Lois de fiabilité

On distingue deux types de lois de fiabilité

- Lois discrètes ;
- Lois continues.

III-5.1 Lois discrètes

Une loi est dite discrète si elle prend ses valeurs dans \mathbb{N} c'est à dire des valeurs entières comme par exemple celle qui compte le nombre de pannes. Parmi les lois discrètes on peut citer :

1. Lois binomiale ;
2. Lois hypergéométrique ;
3. Lois de poisson.

- **Lois binomiale :**

Décrite pour la première fois par Isaac Newton en 1676 et démontrée pour la première fois par le mathématicien suisse Jacob Bernoulli en 1713, la loi binomiale est l'une des distributions de probabilité les plus fréquemment rencontrées en statistique appliquée. En mathématiques, une loi binomiale de paramètres n et p est une loi de probabilité qui correspond à une expérience aléatoire à deux issues possibles, généralement dénommées respectivement « succès » et « échec », la probabilité d'un succès étant p . ^[14]

- **Lois hypergéométrique :**

Une loi hypergéométrique de paramètres n , p et A correspond au modèle suivant:

On tire simultanément n boules dans une urne contenant pA boules gagnantes et qA boules perdantes (avec $q = 1 - p$). On compte alors le nombre de boules gagnantes extraites et on appelle X la variable aléatoire donnant le nombre de boules gagnantes. Sa fonction de probabilité :

L'univers $X(\Omega)$ est l'ensemble des entiers de 0 à n .^[14]

- **Lois de poisson :**

Une variable aléatoire x suit une loi de « Poisson » si elle peut prendre les valeurs entières 0, 1, 2, 3..n.^[14]

III-5.2 Lois continues

- **La loi exponentielle**

En raison des applications multiples de cette loi qui n'est autre qu'un cas particulier de la loi de Weibull, on présentera dans ce qui suit un large développement de cette loi avec plusieurs applications. Nous allons étudier des phénomènes physiques où la durée de vie est l'intervalle de temps écoulé entre l'instant de la mise en fonctionnement ou de la naissance, et l'instant de la première panne ou de la mort.

La plupart des phénomènes naturels sont soumis au processus de vieillissement. Il existe des phénomènes où il n'y a pas de vieillissement ou d'usure. Il s'agit en général de phénomènes accidentels. Pour ces phénomènes, la probabilité, pour un objet d'être encore en vie ou de ne pas tomber en panne avant un délai donné sachant que l'objet est en bon état à un instant t , ne dépend pas de t . Par exemple, pour un verre en cristal, la probabilité d'être cassé dans les cinq ans ne dépend pas de sa date de fabrication ou de son âge. Par définition, on dit qu'une durée de vie est sans usure si la probabilité de survie à l'instant t ne dépend pas de t .^[14]

- **Loi de Weibull :**

L'expression loi de Weibull recouvre en fait toute une famille de lois, certaines d'entre elles apparaissant en physique comme conséquence de certaines hypothèses. C'est en particulier, le cas de la loi exponentielle ($\beta = 1$) et de la loi normale ($\beta = 3$). Ces lois constituent 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 β et à partir de la moyenne et la variance observées.^[14]

➤ **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.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad \text{III-9}$$

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

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad \text{III-10}$$

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

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad \text{III-11}$$

Remarque si :

$$\left. \begin{array}{l} \gamma = 0 \\ \beta = 1 \end{array} \right\} \Rightarrow \lambda = \frac{1}{\eta} = \frac{1}{\text{MTBF}} \quad \text{III-12}$$

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

$$f(t) = \lambda(t) \times R(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad \text{III-13}$$

➤ **Domaine d'application :**

La distribution de Weibull est souvent utilisée dans le domaine de l'analyse de la durée de vie, grâce à sa flexibilité car elle permet de représenter au moins approximativement une infinité de lois de probabilité. Un taux de panne croissant suggère une "usure ou un problème de fiabilité" : les éléments ont de plus en plus de chances de tomber en panne quand le temps passe. [7]

➤ **Papier de Weibull :**

Ce papier de Weibull sert à lire graphiquement les paramètres d'une loi de Weibull dans le cas où le paramètre γ est nul. En effet, la fonction de répartition associée à une loi de Weibull de paramètres β , $\gamma = 0$, η est définie par :

$$\begin{aligned}
 F(t) &= 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \\
 \Rightarrow \ln(1 - F(t)) &= -\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta \\
 \Rightarrow -\ln(1 - F(t)) &= \left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta \\
 \Rightarrow \ln(-\ln(1 - F(t))) &= \beta \ln \frac{t}{\eta} \\
 \Rightarrow \ln(-\ln(1 - F(t))) &= \beta \ln t - \beta \ln \eta \\
 \Rightarrow Y &= \beta X - \beta \ln \eta
 \end{aligned}$$

III-14

La dernière équation obtenue est l'équation d'une droite dans le repère rouge (O ; X ; Y) où O est le point correspondant à X = 0 et Y = 0 soit à t = 1 et F(t) = 1 - 1/e.

Le paramètre se lit directement à l'intersection de la droite précédente avec l'axe des abscisses puisque celui-ci est gradué en échelle logarithmique,

Le paramètre est le coefficient directeur de la droite précédente, il suffit de tracer une droite parallèle à la précédente et de lire directement le coefficient directeur de cette droite sur l'axe d'équation. [7]

➤ **Echelles utilisées sur le papier de Weibull :**

- Abscisse haute : échelle naturelle en X ;
- Abscisse intermédiaire : échelle logarithmique (lecture du paramètre t) ;
- Abscisse basse : échelle logarithmique (on fait correspondre à chaque valeur de t son logarithme népérien ln(t) ;
- Ordonnée gauche : on place les valeurs de F(t) en pourcentage en échelle ln(-ln(1 - F(t))) ;
- Ordonnée sur l'axe X = -1 (lecture du paramètre) : ce sont les valeurs ln(-ln(1 - F(t))) .

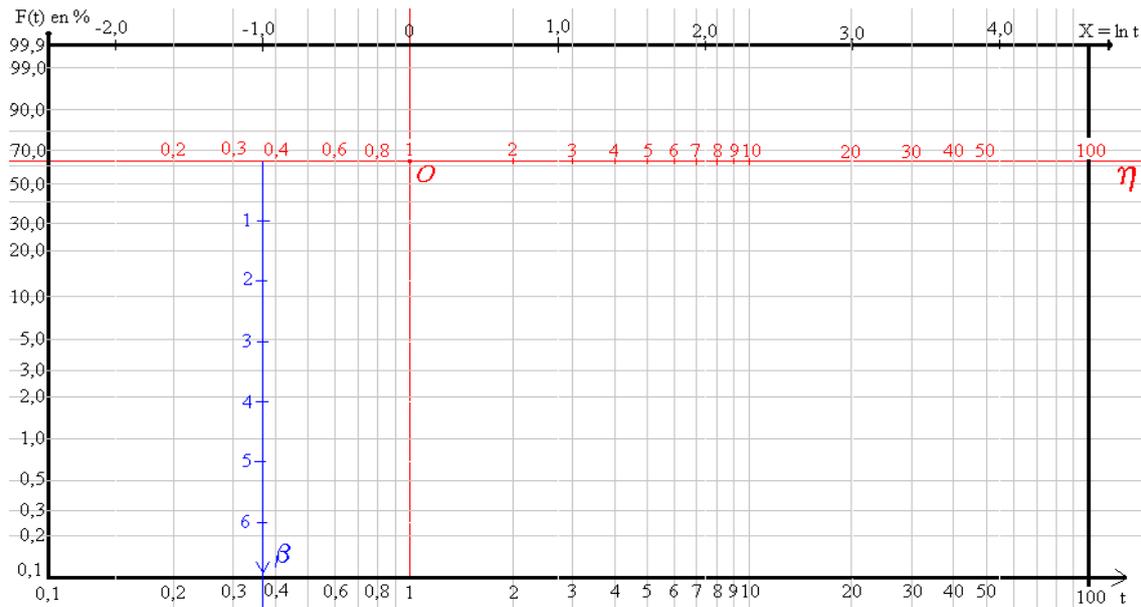


Figure III.8 : Papier de Weibull.

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

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

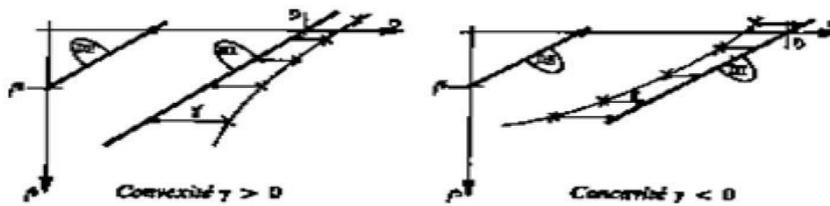


Figure III.9 : Redressement des nuage des points

Pour le calcul d'êta. La droite de régression linéaire coupe l'axe A à l'abscisse $t = \eta$.

Bêta est la pente de la droite de corrélation. On trace une droite parallèle à la droite de corrélation, et passant par $\eta=1$ On lit ensuite bêta sur l'axe bêta est sans dimension. La figure III.10, montre la démarche pour ce calcul.

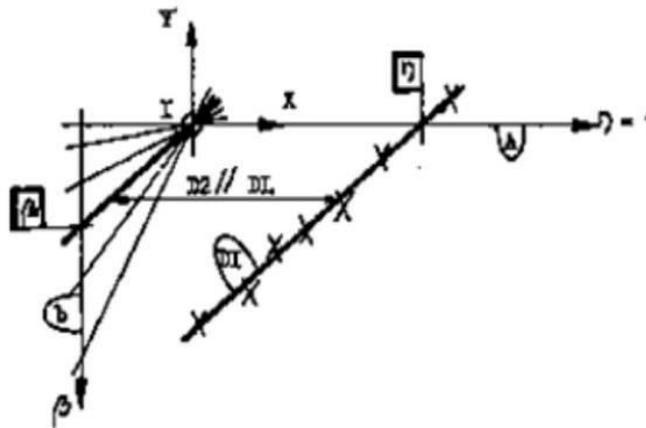


Figure III.10 : Recherche de Béta

Remarque :

Si le nuage de point met en évidence plusieurs droites, on déterminera plusieurs pentes b montrant des populations distinctes qui correspondent à des modes de défaillances successifs et différents (défaillances juvéniles suivit de défaillances par usure par exemple).

Donc on a choisi de travailler avec cette méthode grâce à sa flexibilité et elle nous permet aussi d'utiliser tous les paramètres récoltés de l'historique des treuils de forage.

Le paramètre de forme β est sans dimension, il détermine la forme de la distribution $f(t)$ des défaillances d'un système, et que sa valeur caractérise chacune des 3 phases de la vie d'un système.

- Si $\beta < 1$: phase de jeunesse avec des défaillances de défaut de fabricant ou de montage ;
- Si $\beta = 1$: phase de maturité avec des défaillances aléatoire ;
- Si $\beta > 1$: phase de vieillesse.

IV-1 Définition de l'optimisation de la maintenance préventive

C'est la détermination de la période optimale de la maintenance préventive, pour résoudre l'un des problèmes économiques par la connaissance de la fiabilité.

Il sera commode, de considérer ici qu'une machine(ou système) qui comporte un organe défaillant d'étudier quelles sont les conséquences des décisions que l'on peut prendre au sujet du remplacement de cette organe. [6]

IV-2 Le remplacement systématique au bout d'une périodicité prédéterminer

La maintenance préventive systématique consiste à faire des remplacements périodiques. Ces remplacements sont effectués à des intervalles de temps fixes et prédéterminer, si une défaillance se produit entre ces périodes, on procède alors à une maintenance corrective. Cette politique de maintenance a des avantages ainsi que des inconvénients. [6]

IV-3 Problème de fissuration des bandes de freins 840 E

Les bandes de frein sont des moyens de freinage très puissant par adhésion de patins fixés le long de la face interne de la bande. A partir l'historique des treuils, on a constaté qu'il y'a toujours des défaillances au niveau de ces bandes de freins.

IV-3.1 Les effets

En résumé, l'endommagement de la bande de frein du Treuil de Forage 840E ayant pour effet le cisaillement et la propagation de fissures en largeur, au niveau de la zone d'assemblage de la partie de fixation sur la bande principale.

Comme le montre la figure ci-dessous :



FigureIV.1 : Fixation des bandes de freins

IV-3.2 Historique de certains endommagements sur des bandes de freins du treuil 840 E



Figure IV.2 : Exemple des fissures sur les bandes de frein

IV-4 Modèle de Weibull pour l'optimisation d'une période d'intervention systématique

La question qui se pose toujours, faut-il choisir de mettre en œuvre une maintenance corrective ou une maintenance préventive systématique.

On pratique la loi de Weibull peut répondre au deux questions suivantes :

- existe-t-il une période d'intervention systématique T telle que la maintenance systématique soit plus économique que d'attendre la panne ?
- si oui, quelle est cette période optimisée θ ?

IV-4.1 Cas étudié et préparation des données :

L'historique du treuil de forage NATIONAL OILWELL 840 E nous a permis de collecter les données brutes relatives aux dates de services et remise en service ainsi que les temps de réparations correspondants. Pour pouvoir exploiter ces données brute on procède par :

- Le calcul des heures d'arrêt suite à des pannes (TA) correspondants au bande de frein ;
- Le calcul des heures de bon fonctionnement (TBF), qui résultant des différences entre deux pannes successives ;
- Le calcul des heures techniques de réparation (TTR).

N°	Date d'arrêt	Date de démmarrage	TBF (H)	TTR (H)
1	23/06/2008	25/06/2008	7046	21
2	21/01/2009	22/01/2009	4954	20
3	20/05/2009	22/05/2009	2880	17
4	24/10/2009	26/10/2009	3608	24
5	10/07/2010	12/07/2010	6160	18
6	13/01/2011	14/01/2011	4330	26
7	28/02/2011	29/02/2011	1032	15

Tableau IV.1 : L’historique des pannes des bandes de frein du treuil NATIONAL OILWELL 840E

IV-4.2 Calcul des paramètres de Weibull

Le tableau suivant comporte les TBF classés par ordre croissant, et les F(i) calculés par la méthode des rangs médians $F(i) = \frac{ni-0.3}{N+0.4}$ (dans ce cas N=7<20) et on trace la courbe sur le papier de Weibull , puis on déduit les paramètres γ, β et η .

N°	TBF(h)	F(i)	R(i)
1	1032	0.095	0.905
2	2880	0.23	0.77
3	3608	0.365	0.635
4	4330	0.5	0.5
5	4954	0.635	0.365
6	6160	0.77	0.23
7	7046	0.905	0.095

Tableau IV.2 : Tableau des valeurs TBF,R(i) et F(i)

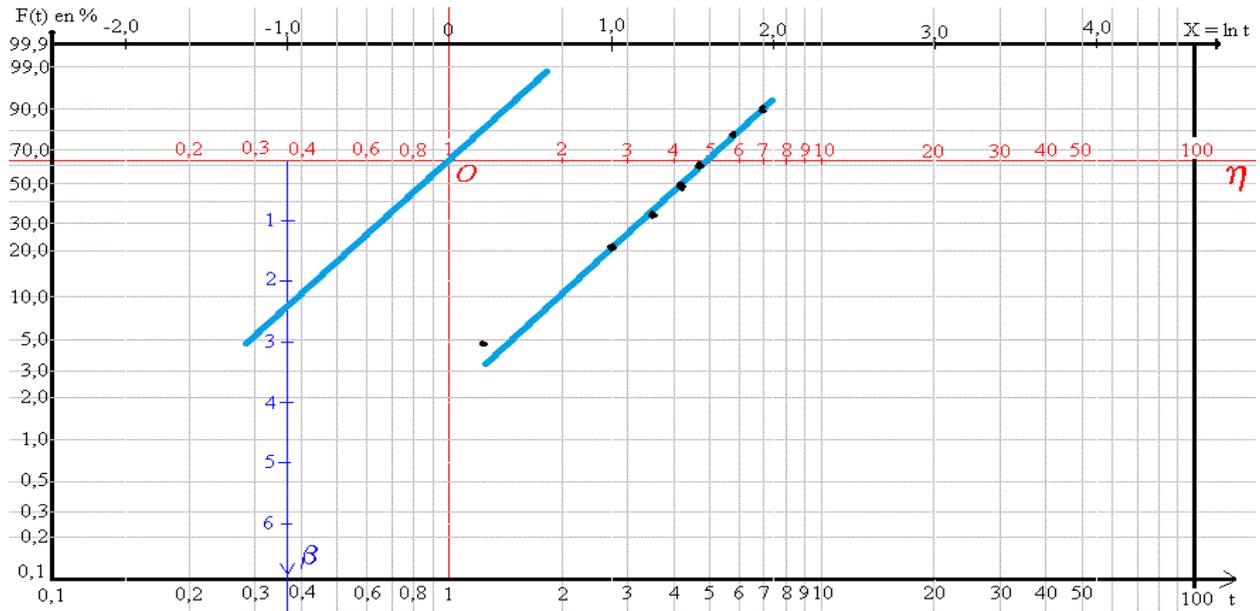


Figure IV.3 : Papier de Weibull

Avec :

$$\beta = 2.4$$

$$\gamma = 0$$

$$\eta = 5000h$$

β : Pente droite de corrélation ;

γ : Paramètre de position ;

η : Droite de régression linéaire coupe l'axe A à l'abscisse t .

IV-4.3 Exploitation de la loi de Weibull

Le tableau (Annexe) nous permet d'identifier les paramètres : $A=0.8865$, $B=0.393$

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

$$MTBF = 0.8865 * 5000 + 0$$

$$MTBF = 4400h$$

$f(t=MTBF)$	$F(t=MTBF)$	$R(t=MTBF)$	$\lambda(t=MTBF)$
$2.35 \cdot 10^{-4}$	0.443	0.557	4644.57

Tableau IV.3 : Valeurs correspondantes à MTBF

IV-4.4 Etude du modèle de Weibull :

Le tableau ci-dessous les différentes données concernant les bandes de frein à partir de l'historique du treuil de forage.

N°	TBF	TTR	F(i)	R(i)	F(t)	R(t)
1	1032	15	0.095	0.905	0.03	0.97
2	2880	24	0.23	0.77	0.23	0.77
3	3608	18	0.365	0.635	0.367	0.633
4	4330	17	0.5	0.5	0.508	0.492
5	4954	20	0.635	0.365	0.57	0.43
6	6160	26	0.77	0.23	0.80	0.20
7	7046	21	0.905	0.095	0.898	0.102

Tableau IV.4 : Représentation des différentes données de la loi de Weibull

IV-5 Choix d'une politique de maintenance**IV-5.1 Situation du problème et prérequis**

Soit un système réparable dont un constituant (fragile) est interchangeable. A quelle période θ doit-on effectuer son remplacement préventif sachant que l'on connaît :

- La loi comportementale $R(t)$ du constituant ;
- p , le cout direct de l'intervention corrective, qui est par hypothèse, égal au cout de l'intervention systématique liée au remplacement du constituant défectueux ;
- P , le cout indirect des conséquence de la défaillance ?

Nous nommerons $r=(P/p)$ le ratio de (criticité économique) de la défaillance. Le domaine de validité de cet outils est $2 < r < 100$.

IV-5.2 Evaluation de chacun des couts :

Cout C_1 d'une intervention corrective.

Le coup d'une intervention corrective est $p+P$.

Le cout moyen par unité d'usage (pour comparaison) devient :

$$C_1 = \frac{p+P}{m_\infty} \quad \text{IV-1}$$

m_∞ : MTBF du composant = $E(t)$ de la loi de Weibull connue.

m_∞ est la durée de vie moyenne des composants fonctionnant sans limite de temps.

Cout $C_2(\theta)$ d'une intervention préventive.

Si θ est la période de remplacement systématique du composant, le cout aura deux termes :

- Le cout de l'intervention p ;
- Le cout du correctif résiduel lié au risque de défaillance avant θ et évalué par sa probabilité $F(t)$ avec $t < \theta$, soit $PF(t)$ ou $P(1-R(t))$.

Le cout moyen par unité d'usage est donc :

$$C_2 = \frac{p + P(1-R(t))}{m(\theta)} \tag{IV-2}$$

$m(\theta)$ étant la durée de vie moyenne des composants ne dépassent pas θ , puisque changés a cette date :

$$m(\theta) = \int_0^\theta R(t) dt \tag{IV-3}$$

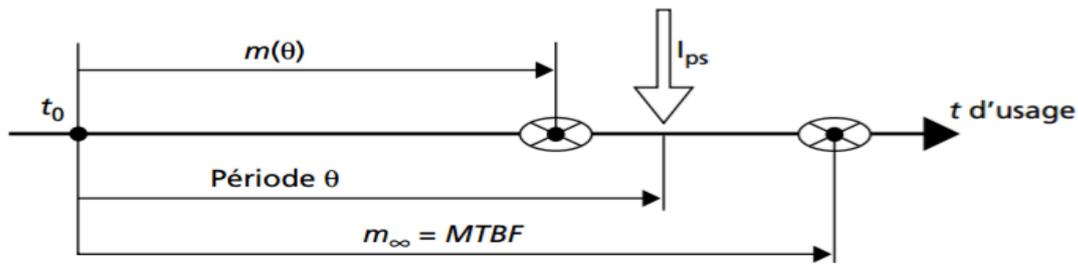


Figure IV.4 : Représentation des MTBF

IV-5.3 Application sur le cas étudié

	p(KDZ)	P(KDZ)
Prix d'acquisition de la bande de frein	209	209
Prix de transport du magasin vers le chantier	20	20
Prix d'attente prévu de la réparation	200	200
Prix d'attente imprévu de la défaillance	/	800
Total	429	1229

Tableau IV.5 : Détermination du coup direct et indirect

IV-5.3.1 Détermination des coûts C_1 et $C_2(\theta)$

$\Theta(h)$	C_1	C_2
500	0.37	0.85
1000	0.37	0.45
1500	0.37	0.35
2000	0.37	0.31
2500	0.37	0.30
3000	0.37	0.32
3500	0.37	0.36
4000	0.37	0.43

Tableau IV.6 : Coûts de C_1 et C_2 en fonction de θ

Cette courbe suivante représente la variation de $C_2(\theta)/C_1$:

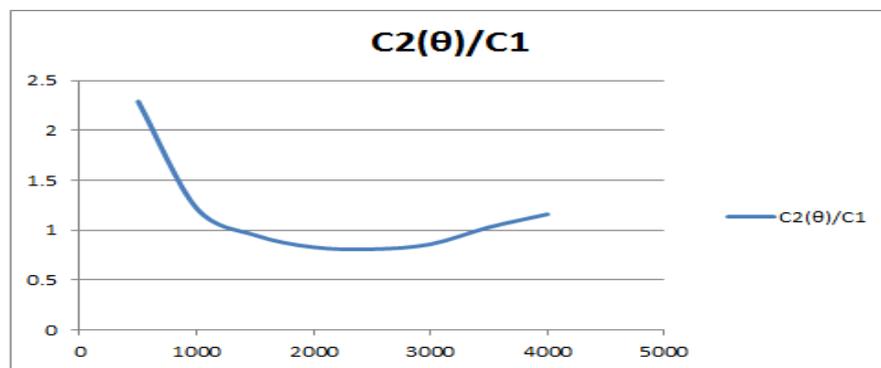


Figure IV.5 : Courbe de variation $C_2(\theta)/C_1$

IV-5.4. Abaques d’optimisation de la période d’intervention systématique :

IV-5.4.1 Principe de l’établissement de l’abaque :

La courbe précédente ne nous intéresse que par son minimum, repéré par ses coordonnées θ et $C_2(\theta)/C_1$ et paramétré par les deux valeurs de β et r . Nous allons donc tracer chaque point minimum obtenu pour des séries de valeurs de $\beta(1.2 \text{ à } 4)$ et de $r(2 \text{ à } 100)$. Il restera à interpoler ces courbes en fonction des deux paramètres de l’étude à mener.^[6]

IV-5.4.2 Utilisation de l’abaque :

L’intérêt de cet outil réside dans sa grande rapidité d’utilisation . A partir de r et de β , par interpolation des courbes du réseau, nous déterminons graphiquement les coordonnées du point (mini) à l’intersection des deux courbes interpolées :

- L’ordonnée C_2/C_1 donne la valeur du gain par rapport à une politique corrective ;
- L’abscisse x se corrige par la formule de changement de variable :

$$\theta = \eta x$$

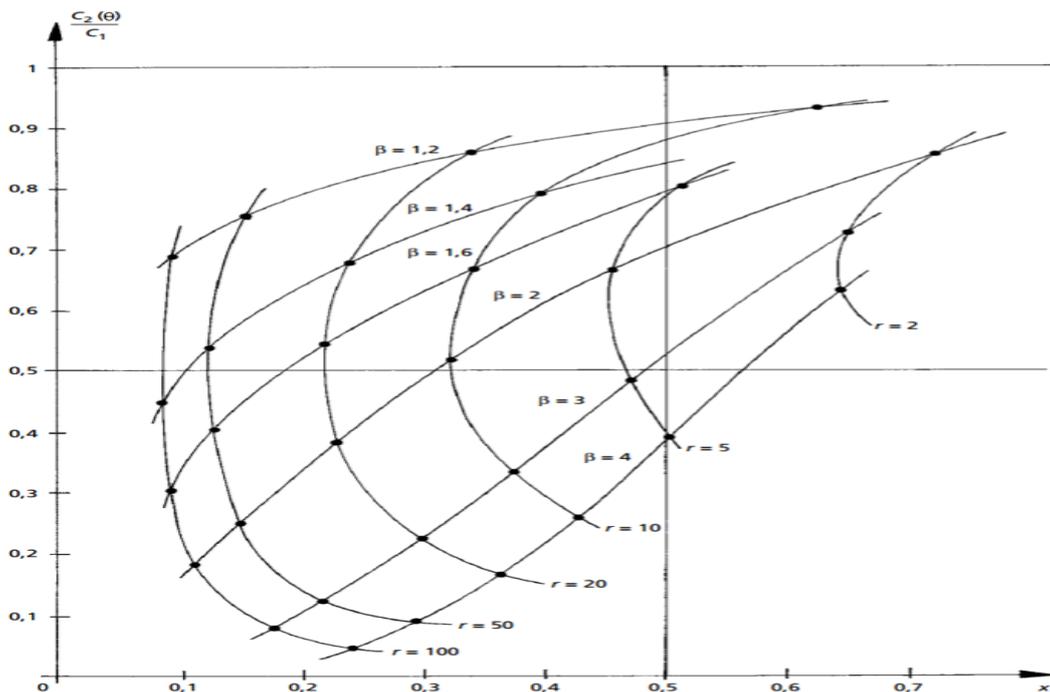


Figure IV.6 : Abaque d’optimisation de la maintenance systématique

D’après les paramètres disponibles avec projection sur l’abaque d’optimisation, nous constatons que le résultat obtenu correspond au résultat enregistré sur la courbe de variation $C_2(\theta)/C_1$ **Figure IV.5** que est 2250h.

IV-6 Analyse et discussion des résultats :

Suite à l’utilisation de l’optimisation par le modèle de Weibull sur notre cas, nous avons constaté ce qui suit :

- Les paramètres de Weibull montrent que l’équipement est en période de vieillesse, Voir (**Chapitre III-5.2**) ;
- Le ratio de défaillance (La criticité économique) est valide $r=2.86$;

- La représentation de la courbe de variation de $C_2(\theta)/C_1$ montre que son seuil minimal représente 2500H ; par conséquent nous pouvons l'utiliser comme périodicité d'une intervention systématique ;
- L'utilisation de la projection sur les abaques d'optimisation donne un résultat très proche de celui obtenu en utilisant le modèle de Weibull.

D'après l'étude effectuée, on a pu trouver une périodicité optimale de la maintenance préventive systématique. Donc on peut passer de la maintenance corrective à la maintenance préventive systématique. Ce type de maintenance représente plusieurs avantages tels que :

- La continuité du fonctionnement de l'équipement (éviter l'arrêt non attendu de l'équipement) ;
- Gain de production constant (Tarif journalier de l'appareil garanti) ;
- Temps d'arrêt et de réparation réduit (satisfaction du client) ;
- Commande et préparation de la pièce de rechange avant la défaillance.

Bien que la maintenance systématique permet d'éviter les temps de panne, on peut constater que la périodicité obtenue par notre étude est réduite par rapport à la MTBF. Ce résultat nous pousse à conclure que nous allons procéder au changement de la pièce à sa moitié de sa vie moyenne.

CONCLUSION

Au terme de notre étude, nous pouvons conclure qu'une analyse de fiabilité des systèmes de production relève d'une importance majeure pour le maintien et la disponibilité des équipements qui les constituent. La connaissance des indicateurs de fiabilité en l'occurrence de la MTBF et la disponibilité de l'équipement nous permet d'acquérir des éléments de réponse par rapport à la stratégie de maintenance à déployer.

Par ailleurs l'étude des coûts de maintenance qu'elle soit de type préventif ou correctif nous a permis de calculer la périodicité optimale de la maintenance préventive et de pouvoir opter pour une politique de maintenance différente à celle utilisée au paravent. Les résultats obtenus dans le cas étudié montrent que le remplacement à une période prédéterminée revient moins cher que le remplacement après une défaillance. Ce qui donne la possibilité de réduire les temps d'arrêts et l'indisponibilité à un coût minimal.

Annexes :

Annexe 1:

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

β	A	B	β	A	B	β	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

Annexe 2 : Extrait de l'historique du treuil de forage NATIONAL OILWELL 840^E ENF*21

Ordre	Désignation	Début ordonnancé	Date de démarrage	Equipement	Poste responsable
10032272	Détachement d'un soudeur catshop.	15-04-2008	15-04-2008	2000005155	31SDR001
10036545	CHANGEMENT D'UNE BANDE DE FREINS	23-06-2008	25-062008	2000005155	2118MEC1
3097073	DRAWWORKS_202020020	28-12-2008	30-12-2008	2000005155	2118MEC1
10044369	Changement d'une bande de frein _ENF#18	21-01-2009	22-01-2009	2000005155	2118MEC1
3104635	DRAWWORKS_202020020	25-03-2009	23-03-2009	2000005155	2118MEC1
10049188	CHANGEMENT BANDE DE FREIN	20-05-2009	22-05-2009	2000005155	2118MEC1
10061594	Confection sprocket	21-08-2009	23-08-2009	2000005155	2118MEC1
3121178	DRAWWORKS_202020020	22-09-2009	25-09-2009	2000005155	2118MEC1
3131361	CHANGEMENT BANDE DE FREIN	24/10/2009	26/10/2009	2000005155	2118MEC1
3131363	CHANGEMENT CABLE DEBLOQUAGE	21-05-2010	23-05-2010	2000005155	2118MEC1
3158919	CHANGEMENT BANDE DE FREIN	10/07/2010	12/07/2010	2000005155	2118MEC1
3156168	Chgt 03 Packing Water P/Treuil de forage	12-09-2010	12-09-2010	2000005155	2118MEC1
31659168	RENOVATION TREUIL DE FORAGE_OILWELL_840E	23-10-2010	10-11-2010	2000005155	2118MEC1
31659168	CHANGEMENT D'UNE BANDE DE FREINS	13/01/2011	14/01/2011	2000005155	2118MEC1

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Articles de Oil & Gas Journal – Octobre 1958.
- [2] A. LEBLOND, Cours de forage, Institut Français du Pétrole, Paris-1963.
- [3] BRANTLY, Rotary Drilling Handbook, 5^{ème} édition, Derricks & mast-1952.
- [4] Document AIRFLEX.
- [5] ENAFOR, Historique des treuils de forage (2008 – 2017).
- [6] F. MONCHY, Maintenance Méthode et organisation-2003.
- [7] Jean Louis Bon, Fiabilité des systèmes : Méthodes mathématiques-1995.
- [8] Jean Paul NGUYEN, Techniques d'exploitation pétrolière, Institut Français du Pétrole, Paris-1993.
- [9] Mac CRAY, Oil Well Drilling Technology, Hoisting operations-1958.
- [10] Mattias REICH, Hunting Undergrounds-2012.
- [11] National Oilwell, 840 & 860 Drawworks manual, USA.
- [12] National Oilwell, 840 & 860 maintenance Manual, USA.
- [13] Patrick LYONNET, Ingénierie de la fiabilité-2006.
- [14] Patrick LYONNET, Fiabilité des systèmes : méthodes mathématiques-2016.