

CHAPITRE III: Etude et maintenance d'un moteur diesel

III.1 INTRODUCTION

Les entreprises d'aujourd'hui doivent répondre aux demandes de plus en plus exigeantes en termes de qualité et quantité de produits et de services, de réactivité, de réduction des coûts. Afin de satisfaire ces demandes, l'entreprise doit disposer d'un système de production fiable, donc bien entretenu par un système de maintenance efficace et peu coûteux. Un service de maintenance performant et bien organisé contribue au bon état du système de production, il permet de prolonger la vie des équipements industriels et participe ainsi à la meilleure performance globale de toute l'entreprise. Ce besoin de maintenance concerne tout type d'entreprise d'industrie ou de prestataire de services.

L'entreprise s'intéresse aux coûts induits par les défaillances des équipements. La maintenance est récemment considérée comme un centre de coûts. La production intensive, la complexité des systèmes et surtout la rentabilité, ont poussé les industriels à créer un service de maintenance.

III.2 LA MAINTENANCE CORRECTIVE

maintenances exécutées après la détection d'une panne et destinées à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise. Ce Tableau III-1 représente des exemples réels de ce type :

N	CAUSE	ACTION
01	Avarie du turbocompresseur par un morceau de siège d'une soupape	Localiser et réparer la culasse objet du déboîtement du siège de la soupape qui a induit l'avarie du turbocompresseur
02	Présence de particules métalliques sur les éléments filtrants du filtre d'huile automatique	Localisation des 2 coussinets le problème Palissage du mouton du vilebrequin Changement des deux coussinets usés par d'autres neufs.

03	Déréglage du bras de commande des pompes injection	Réglage et réparation de l'actionnement et bras de commande des pompes injection
04	Infiltration d'eau dans le carter d'huile de graissage moteur à travers les cylindres A4 ; A5 et A6	Changement des 03 cylindres A4 ; A5 et A6 et Changement de coussinets
05	Fissuration corps turbo cote turbine	Changement totale du turbo compresseur
06	Tube injecteur éclaté	Changement du tub injecteur
07	L'arrêt pompe préchauffage d'eau défectueuse	Changement de la pompe préchauffage d'eau
08	Refut de démarrage	Entretien de l'électrovanne d'aire de démarrage Entretien de la vanne d'aire de démarrage

Tableau III.1 : maintenance corrective

III.3 MAINTENANCE PREVENTIVE

III.3.1 Révision General

Ce Tableau III-2 représente des exemples de ce type :

<ul style="list-style-type: none"> • Nettoyer 	<ul style="list-style-type: none"> - Tamis d'aspiration.
<ul style="list-style-type: none"> • Contrôler 	<ul style="list-style-type: none"> - Arbres à cames. - Bloc-cylindres. - Amortisseur de vibration du vilebrequin. - Volant moteur. - Pignons avant. - Pignons arrière.
<ul style="list-style-type: none"> • Contrôler • Rénover 	<ul style="list-style-type: none"> - Culbuteurs.
<ul style="list-style-type: none"> • Contrôler • Rénover • Remplacer 	<ul style="list-style-type: none"> - Bielles. - Ensembles de culasses. - Pompe d'amorçage de carburant. - Faisceau de refroidisseur d'huile. - Axes de piston.
<ul style="list-style-type: none"> • Contrôler 	<ul style="list-style-type: none"> - Poussoirs d'arbre à cames. - Rondelles de butée d'arbre à cames.

<ul style="list-style-type: none"> • Remplacer 	<ul style="list-style-type: none"> - Vilebrequin. - Chemises de cylindre. - Supports du moteur. - Faisceau de câblage du moteur. - Piston. - Poussoirs. - Paliers d'arbre à cames. - Coussinets se bielle. - Bagues d'étanchéité de vilebrequin. - Injecteurs pompe. - Segments de piston. - Joints et soufflets de collecteur d'échappement. - Joint et garnitures de collecteur d'admission.
---	---

Tableau III.2: Révision General

III.3.2 Maintenance préventive (systématique)

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

On fixe des règles strictes pour déterminer les dates de maintenance selon l'importance d'un équipement dans un système :

- *Un âge fixé de l'équipement* ; il faut alors disposer d'un moyen pour connaître l'âge de l'équipement durant la vie du système ;
- *Un âge fixé du système* ; c'est le cas des révisions des automobiles préconisées par les constructeurs ;
- *Des dates fixes* : elle est plus coûteuse en temps et en pièces de rechange.

Ce Tableau III-3 représenté les normes qui adapte le travail par ce type de maintenance:

	PERIODICITE	TRAVEAUX A EFFECTUER
	150h	➤ Vidange de la partie dérivation du filtre d'huile automatique.
	750h	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Renouvellement d'huile de graissage moteur : retirer l'huile résiduelle aux points bas, vidange du carter. ➤ Changement d'huile du turbocompresseur. Nettoyage des filtres

C M I		<p>glaciers.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Lubrification des ressorts de l'arbre des bras de commande des pompes d'injection. ➤ Graissage des paliers de l'arbre des bras de commande des pompes d'injection. ➤ Inspection interne du moteur (position des clavettes, bouchons, butée.(... ➤ Contrôle de l'écoulement d'huile de graissage. ➤ Contrôle du serrage des boulons des colliers de serrage...
	1000h	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mesure et correction des jeux aux soupapes (adm : 25mm - échappe : 45mm) ➤ Nettoyage du filtre d'air à bain d'huile, entretien des cassettes filtrantes. ➤ Renouvellement d'huile du filtre après nettoyage du carter. ➤ Nettoyage et graissage des ventilateurs de pulsion.
	1500	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Contrôle des portes-injecteurs, tarage des injecteurs (250 bar.(➤ Soufflage de la boîte à bornes alternateur, contrôle des connexions et des borniers. ➤ Soufflage de l'excitatrice.
	3000h	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Contrôle de fonctionnement des alarmes de sécurité et de la survitesse. ➤ Nettoyage du système de dégazage
	5000h	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Contrôle des rotateurs des soupapes d'admission. ➤ Contrôle de la flexion première manivelle. ➤ Contrôle de jeu aux coussinets de bielle. ➤ Contrôle de l'actionneur.
		200h
	500h	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Vérification des clapets d'aspiration et de refoulement. Nettoyage et rodage.

2000h	➤ Changement des clapets d'aspiration et de refoulement. rodage culasse s'il y a lieu.
40000h	➤ Vérification « embiellages – pistons – segments – cylindres »

Tableau III.3 : suivi des entretiens systématique**III.4 EXPLOITATION DE L'HISTORIQUE**

L'historique de panne (le Moteur diesel C.M.I);

Le traitement des données brutes de l'historique (tableau III. 4), passe par :

- Le calcul des heures d'arrêt suite à des pannes (TA) qui résultent des différences entre les dates d'arrêt et de démarrage.
- Le calcul des heures de bon fonctionnement (TBF), qui résultent des différences entre deux pannes successives. Le calcul des heures techniques de réparation (TTR).

N°	Date de démarrage	Date d'arrêt	TTR (h)	TBF (h)	TA (h)	Cause	Action
1	31/12/2010	16/06/2011	30	4008	231	Avarie du turbocompresseur par un morceau de siège d'une soupape	Localiser et répare la culasse objet du déboitement du siège de la soupape qui a induit l'avarie du turbocompresseur
2	26/06/2011	10/10/2011	120	2544	115	Présence des particules métallique sur les éléments filtrants du filtre d'huile automatique	Localisation des 2 coussinets le problème Palissage du mouton du vilebrequin Changement des deux coussinets usés par d'autres neufs.
3	16/10/2011	30/04/2012	3	4728	24	Déréglage du bras de commande des pompes injection	Réglage et réparation de l'actionnement et bras de commande des pompes

							injection
4	30/04/2012	10/08/2012	8	2448	253	Infiltration d'eau dans le carter d'huile de graissage moteur a' travers les cylindres A4 ; A5 et A6	Changement des 03 cylindres A4 ; A5 et A6 et Changement de coussinets
5	21/08/2012	20/12/2012	96	2880	45	Fissuration corps turbo cote turbine	Changement totale du turbo compresseur
6	22/12/2012	17/02/2013	1	1344	21	Tube injecteur éclaté	Changement du tub injecteur
7	17/02/2013	25/08/2013	3	4584	18	L'arrêt pompe préchauffage d'eau défectueuse	Changement de la pompe préchauffage d'eau
8	26/08/2013	15/10/2013	2	1224	20	Refutde démarrage	Entretien de l'électrovanne d'aire de démarrage Entretien de la vanne d'airede démarrage

Tableau III.4 : Dossier historique du moteur diesel

III.5 L'APPLICATION PRATIQUE DES METHODES D'ANALYSE

III.5.1. Méthodes d'analyse prévisionnelle « ABC (Pareto)»

Pour l'application de la méthode ABC, il faut en premier lieu faire un classement des pannes par ordre décroissant des heures des pannes puis procéder à l'établissement d'un graphe de Pareto.

N°	TA (h)	Cumul TA	% TA	Nombre de panne	Cumulées des pannes	%de pannes Cumulées
1	253	253	34.8	1	1	12.50
2	231	484	66.57	1	2	25.00
3	115	599	82.39	1	3	37.00
4	45	644	88.58	1	4	50.00
5	24	668	91.88	1	5	62.00
6	21	689	94.77	1	6	75.00
7	20	709	97.52	1	7	87.50
8	18	727	100	1	8	100.00

Tableau III.5: L'analyse ABC (Pareto)

III.5.2. La courbe d'analyse ABC

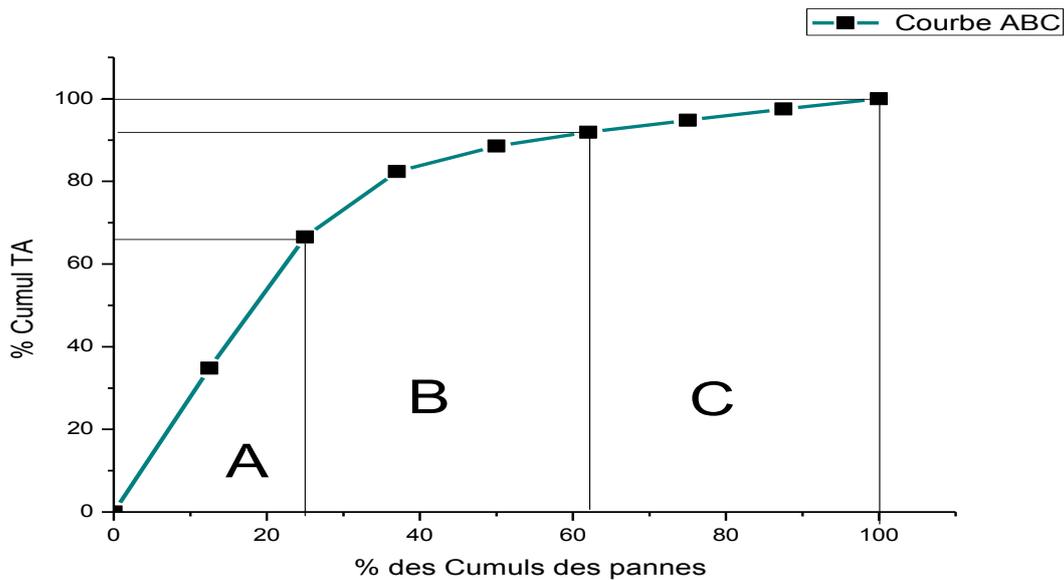


Figure III.1: La Courbe d'ABC

Interprétation des résultats

Zone "A": Dans la majorité des cas, on constat que environ 25 % des pannes représente 66 % des heures d'arrêts, ceci constitue la zone A, zone des priorités (cylindres A4 ; A5 et A6 et les coussinets, siège d'une soupape).

Zone "B": Dans cette tranche, les 38 % des pannes représentent 25 % supplémentaire (filtre d'huile, turbo compresseur, pompe injection).

Zone "C": Dans cette zone les 37% des pannes restantes ne représentent qu'ont 9 % des heures d'arrêts (Tube injecteur, pompe préchauffage d'eau, l'électrovanne d'aire).

III.6 CALCUL LES PARAMETRES DE WEI BULL

Le tableau suivant comporte les TBF classés par ordre croissant, et les F(i) calculés par la méthode des rangs médians $F(i) = \frac{\sum n_i - 0.3}{n + 0.4}$ (dans notre cas N = 9 ≤ 20) et on trace la courbede

Wei Bull :

N°	TBF(h)	N	$\sum n_i$	F(i)	F(i) %
1	1224	01	01	0,0744	7,44
2	1344	01	02	0,1808	18,08
3	2448	01	03	0,2872	28,72
4	2544	01	04	0,3936	39,36
5	2880	01	05	0,5000	50
6	3384	01	06	0,6063	60,63
7	4008	01	07	0,7127	71,27
8	4584	01	08	0,8191	81,91

Tableau III.6 : Fonction de réparation réelle

A partir de papier de Wei bull (Fig.2) : On déduire les paramètres: β, η et γ .

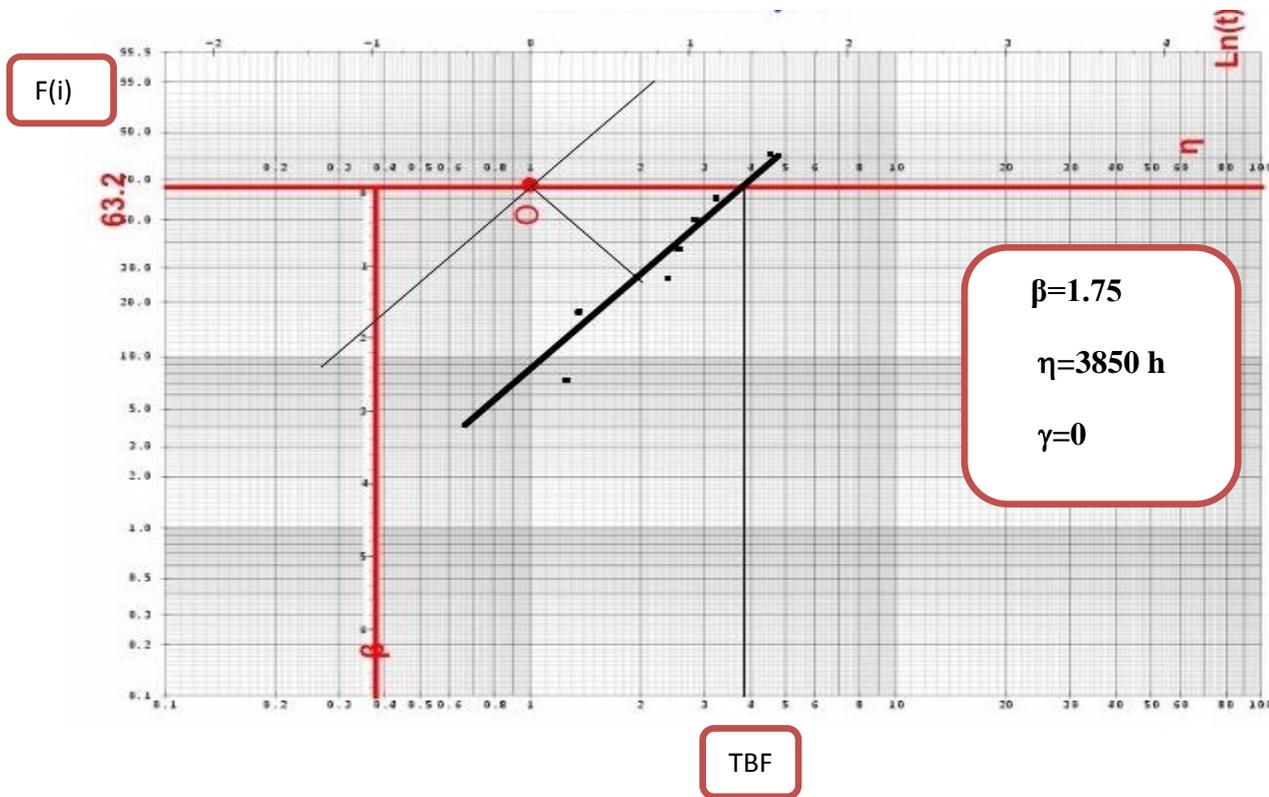


Figure III.2: papier deWei Bull.

$\gamma = 0$ par Ce que les pannes passent à l'origine du temps.

III.6.1. 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 K-S avec un seuil de confiance de $\alpha = 20\%$. Ce test consiste à calculer l'écart entre la fonction théorique $F_e(t_i)$ et la fonction réelle $F(t)$ et prendre le maximum en valeur absolue $D_{n.max}$.

Cette valeur est comparée avec $D_{n,\alpha}$ Qui est donnée par la table de KolmogorovSmirnov (voir annexe1). Si $D_{n,max} > D_{n,\alpha}$ On refuse l'hypothèse.

N°	TBF	F (i)	F (t)	$D_{Nmax} = F(i) - F(t) $
01	1224	0,0744	0.1260	0.0516
02	1344	0,1808	0.1466	0.0342
03	2448	0,2872	0.3641	0.0769
04	2544	0,3936	0.3839	0.0098
05	2880	0,5000	0.4521	0.0479
06	3384	0,6063	0.5497	0.0566
07	4008	0,7127	0.6579	0.0530
08	4584	0,8191	0.7426	0.0765

Tableau III.7: Test de Kolmogorov-smirnov.

D'après la table de K-S:

$D_{Nmax} < D_{N\alpha}$ Ce qui veut dire que le modèle de Wei bull est accepté.

Nous avons pris la valeur maximale $D_{Nmax} = |F(i) - F(t)|$.

$D_{Nmax} = 0.0769$ Tandis que $D_{N,\alpha} = D_{8,20} = 0.358$

$0.0769 < 0,358$ donc l'hypothèse du modèle de Wei bull est acceptable.

III.6.2. Exploitation les paramètres de Wei bull

1- Le MTBF

Le tableau de MTBF donne $A = 0.8906$, $B = 0.0.525$ (voir annexe 02).

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

$$MTBF = 0.8906 \times 3850 + 0$$

$$MTBF = 3428.81$$

2- La densité de probabilité en fonction de MTBF

$$f(t = MTBF) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \times e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta} = 0.0004167 \times 0.441985 = 0.0002 = 0,02 \%$$

3- La fonction de réparation en fonction de MTBF

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

$$F(t=MTBF) = 1 - e^{-\left(\frac{3428.81}{3850} \right)^{1.75}} = 0.558 = 55.8\%$$

4- La fiabilité en fonction de MTBF

$$R(t=MTBF) = 1 - F(t= MTBF) = 1 - 0.558 = 0.442.$$

$$R(MTBF) = 44.2 \%$$

On remarque que la fiabilité dumoteur diesel est faible.

5- Le taux de défaillance en fonction de MTBF

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

$$\lambda(t = MTBF) = \frac{1.75}{3850} \left(\frac{3428.81}{3850} \right)^{1.75-1} = 0.000416715 \text{ panne/heures.}$$

III.7.ÉTUDE DE MODELE DE WEI BULL

a) La fonction de la densité de probabilité

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

$$F(t) = \lambda(t) R(t)$$

TBF(h)	1224	1344	2448	2544	2880	3384	4008	4584
f (t)×10 ⁻³	0.1682	0.1761	0.2058	0.2052	0.2490	0.1875	0.1602	0.1333

Tableau III.8:Calcul la fonction de la densité de probabilité

a.1.Courbe de la densité de la probabilité f(t)

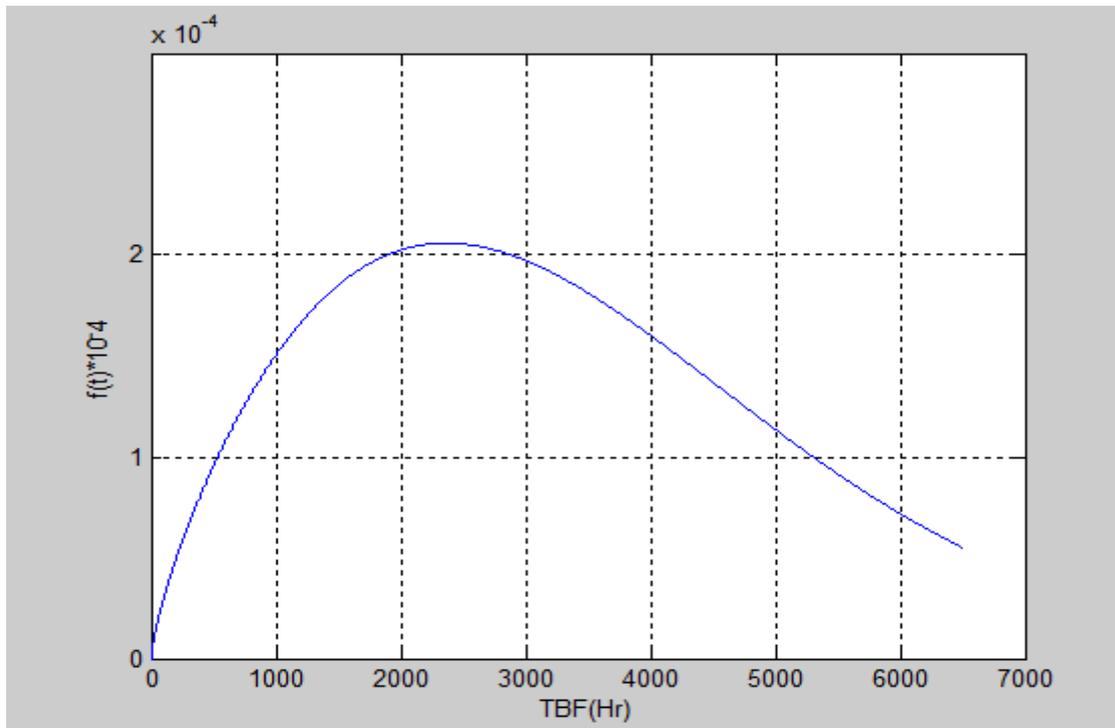


Figure III.3: La Courbe Densité De Probabilité

a.2. Analyse de la courbe

D'après cette courbe on remarque que la fonction f(t) (densité de probabilité) augmente avec La progression du temps jusqu'à le temps (t= 2495h) et après cette valeur la fonction f(t) diminue Avec le temps.

b) Fonction de répartition F(t)

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

TBF(h)	1224	1344	2448	2544	2880	3384	4008	4584
F(t)	0.1259	0.1466	0.3641	0.3838	0.4521	0.5959	0.7043	0.07858

Tableau III.9:Fonction de répartition F(t)

b.1. Courbe fonction de répartition F(t) :

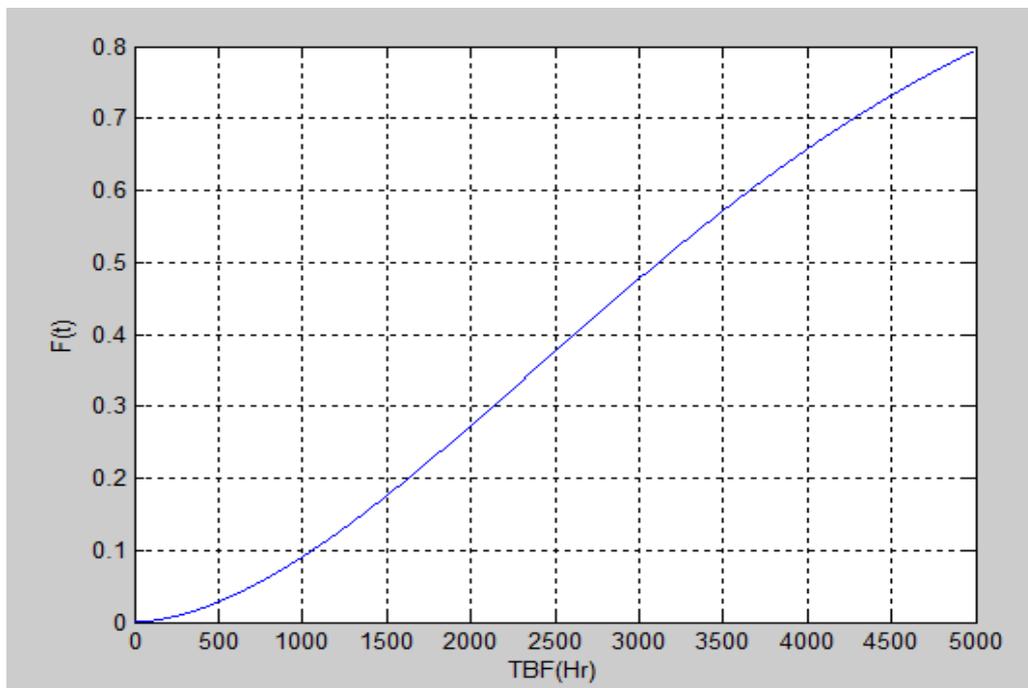


Figure III.4: La Courbe De Fonction Répartition

b.2. Analyse de la courbe

La fonction de défaillance croissant en fonction de temps, et pour t=MTBF, F(MTBF)= 0.558= 55.8%

c) La fiabilité

La fonction fiabilité de celle de répartition: R (t) = 1-F (t), après calcul de la fiabilité dumoteur diesel aux temps t=MTBF, on début que la valeur n'est pas satisfaisante donc on peut direque le moteur diesel n'est pas fiable à t=MTBF

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

$$R(t=MTBF) = 0.39$$

TBF(h)	1224	1344	2448	2544	2880	3384	4008	4584
R(t)	0.8740	0.8533	0.6358	0.6113	0.5049	0.4040	0.2956	0.2141

Tableau III.10: Calcul de la fiabilité

c.1. Courbe de la fiabilité

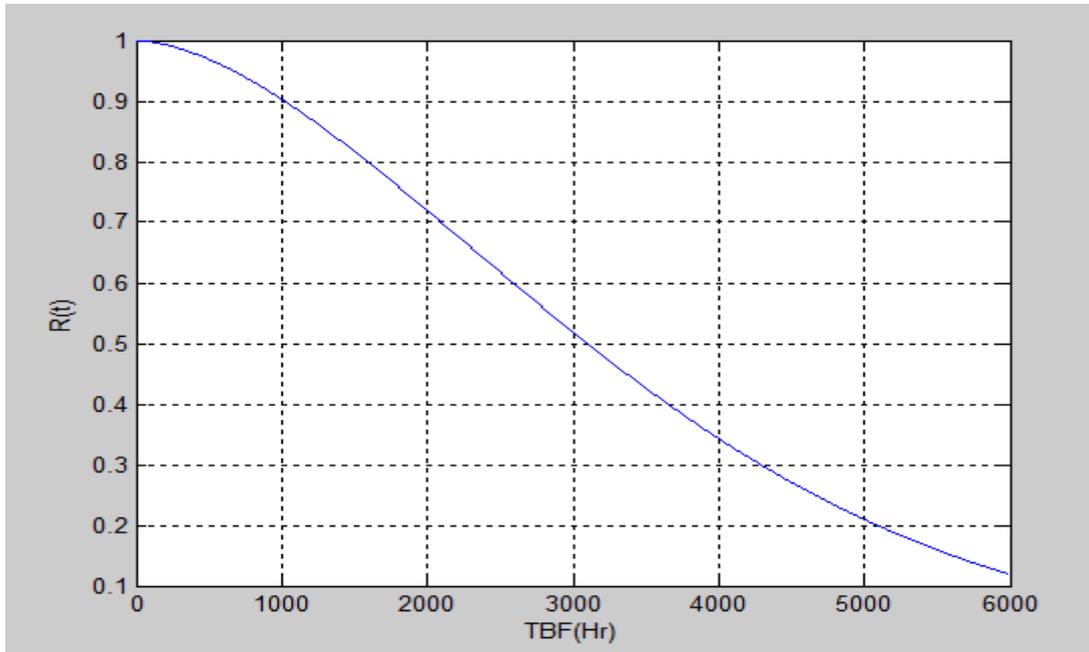


Figure III.5: La Courbe De la Fonction Fiabilité

c.2. Analyse de la courbe

Le graphe décroissant en fonction de temps ce qui fait expliquer par le phénomène de Dégradation comme par exemple l'usure.

L'amélioration de la fiabilité dumoteur diesel passe obligatoirement par une analyse des Défaillances avec une étude détaillée de leurs causes de leurs modes et de leurs conséquences,

d) Le taux de défaillance

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

TBF(h)	1224	1344	2448	2544	2880	3384	4008	4584
$\lambda(t) \times 10^{-3}$	0.1924	0.2064	0.3236	0.3331	0.3656	0.4126	0.4684	0.5181

Tableau III.11: Calcul le taux de défaillance

d. 1 .Courbe du taux de défaillance

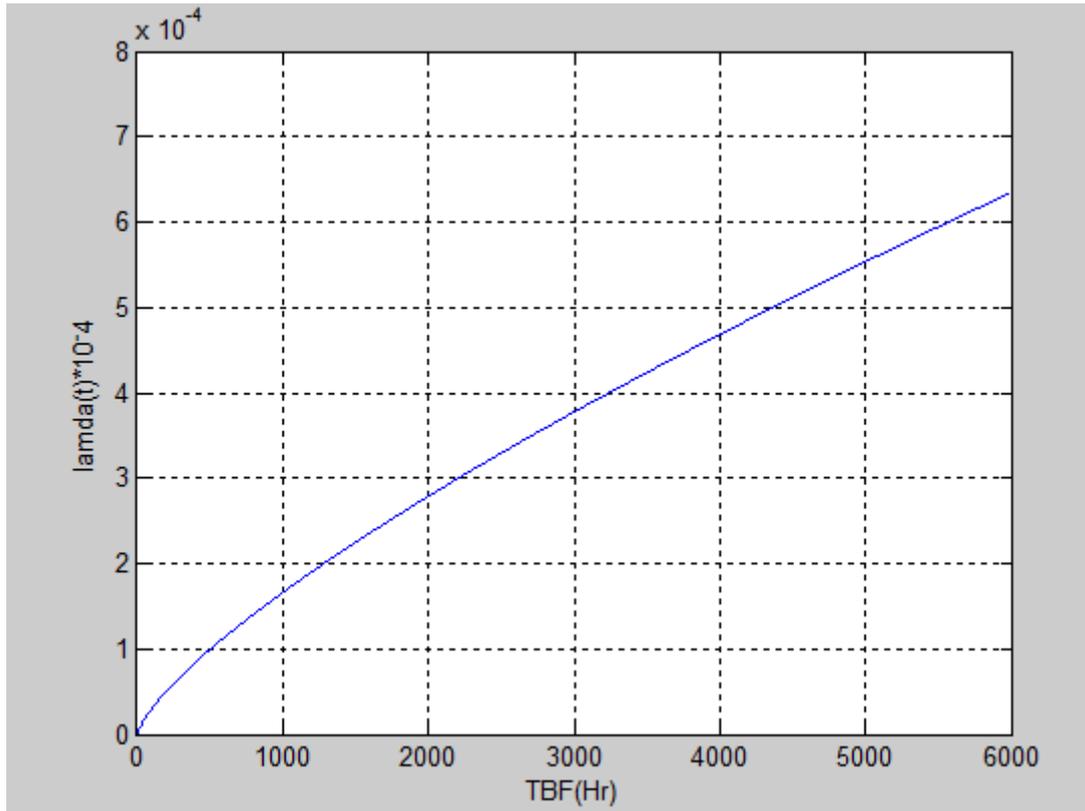


Figure III.6: Le courbe taux de défaillance

d.2.Analyse de la courbe

Le taux de défaillance est croissant en fonction de temps. Cette augmentation est considérée normale c.-à-d. né pas rapide.

III.8. CALCUL LA MAINTENABILITE DU MOTEUR DIESEL

D'après l'historique des pannes dumoteur diesel:

$$MTTR = \sum TR/N.$$

TR : temps de réparation.

N : nombre de panne.

$$MTTR = 263/8 = 32.87h.$$

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

Avec $\mu = 1/MTTR = 1/32.87 = 0,03042$ intervention / heure.

T(h)	30	60	90	120	150	180	210	240	270	330	360
M(t)	0.5985	0.8388	0.9352	0.9740	0.9895	0.9958	0.9983	0.9997	0.9997	0.9999	0.9999

Tableau III.12:La maintenabilité du moteur diesel

III.8.1.courbe de la fonction de Maintenabilité :

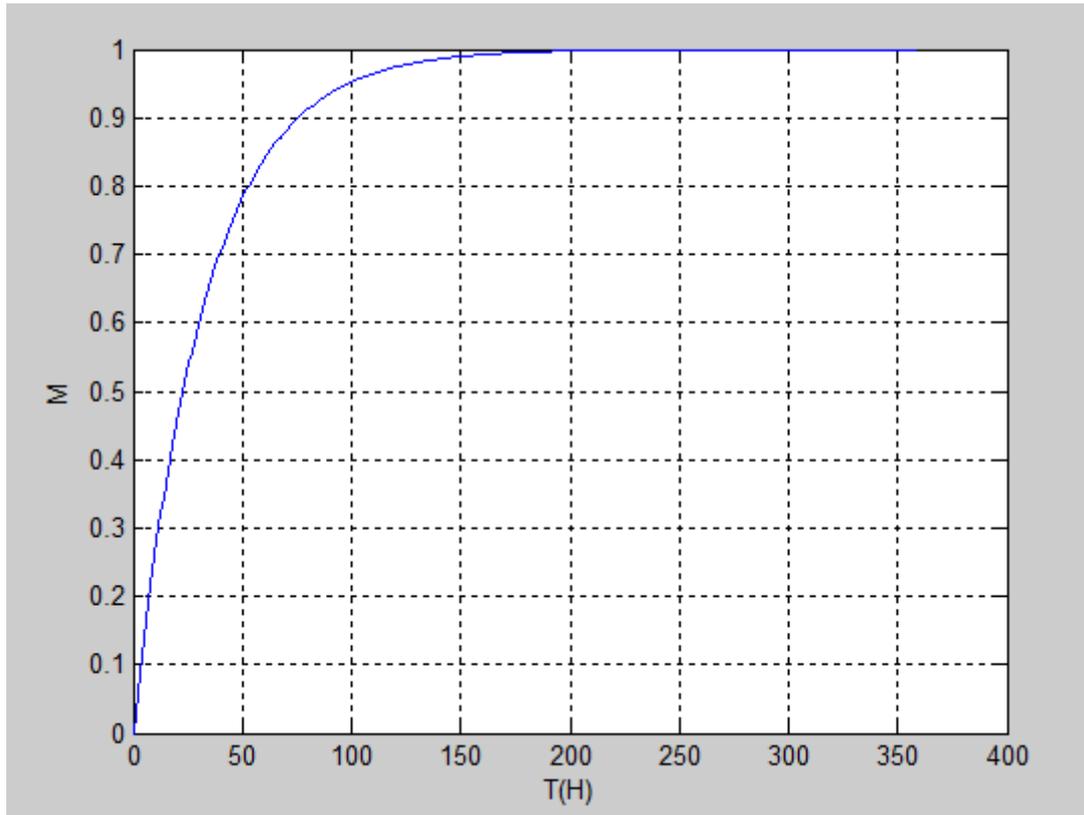


Figure III.7: La Courbe de Maintenabilité.

III.8.2.Analyse de la courbe

La Maintenabilité est croissant en fonction de temps à l’instant T=330heures, lamaintenable99,99%.

III.9.CALCUL LA DISPONIBILITE DU MOTEUR DIESEL

III.9.1.Disponibilité intrinsèque au asymptotique

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{3428.81}{3428.81 + 32.87} = 0.9905$$

III.9.2.Disponibilité instantanée

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

$$MTBR = \frac{1}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{3428.81} = 0.0002916$$

$$MTTR = \frac{1}{\mu} \rightarrow \mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{32.87} = 0.03042$$

$$\mu + \lambda = 0.03042 + 0.0002916 = 0.030711$$

$$D(t) = \frac{0.03042}{0.030711} + \frac{0.0002916}{0.030711} e^{-(0.030711)t}$$

T(h)	20	40	60	80	100	120	140	160	180
D(t)	0.9956	0.9933	0.9920	0.9913	0.9909	0.9907	0.9906	0.9905	0.9905

Tableau III.13 Tableau de disponibilité instantané

III.9.2.1. Courbe de la disponibilité

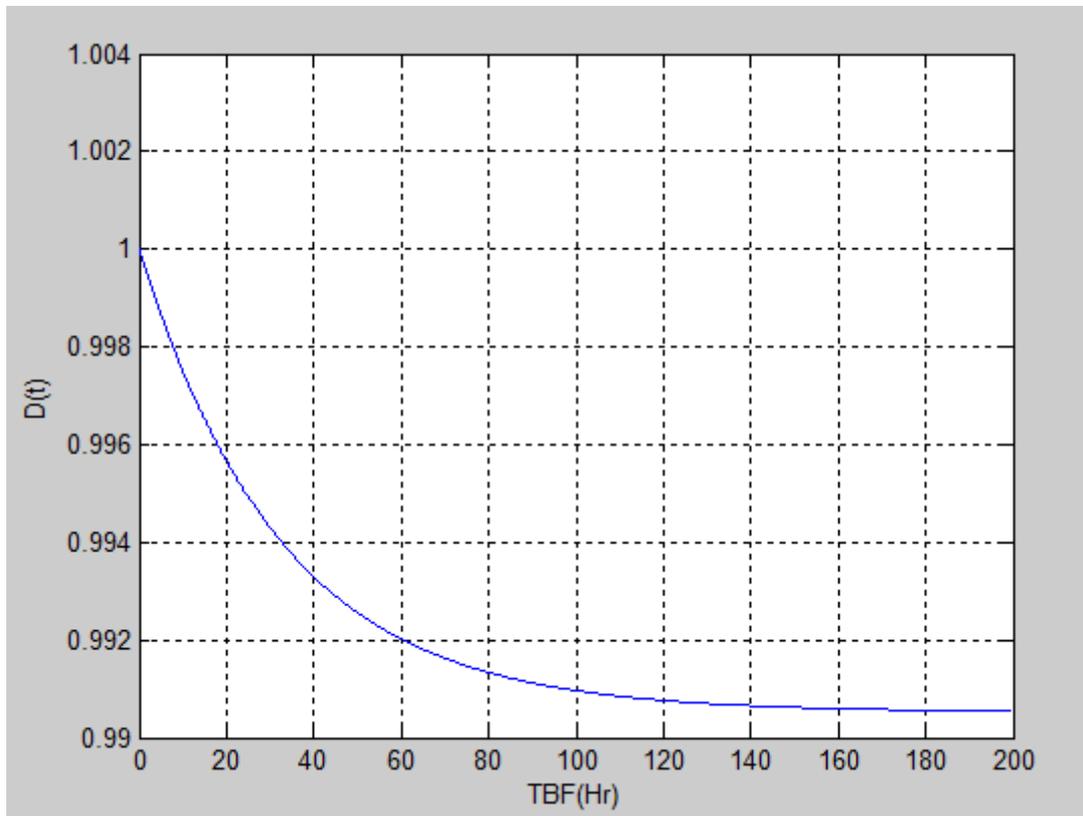


Figure III.8: La Courbe de disponibilité instantanée

III.9.2.2. Analyse de la courbe

La disponibilité est décroissante en fonction de temps, pour augmenter la disponibilité d'un moteur diesel consiste à diminuer le nombre de ses arrêts (augmenté sa fiabilité) et réduire le temps nécessaire pour résoudre les causes de ceux-ci (augmenté sa maintenabilité).

III.10 CONCLUSION

L'application de la maintenance sur le moteur assure un bon fonctionnement du moteur et une diminution des pannes, ce qui est toujours souhaité. Et pour assurer la bonne condition du travail de l'être humain et le fonctionnement du moteur,

Ainsi de connaître les comportements avec une étude détaillée de la FMD qui permet de choisir une meilleure politique de maintenance, ce qui donne la possibilité de réduire les temps d'arrêts et l'indisponibilité.