

## I. INTRODUCTION

L'exécution de la maintenance dans une entreprise industrielle est d'une importance capitale pour maintenir les équipements en état de bon fonctionnement. La maintenance, dans sa plus large définition, est l'ensemble de toutes les opérations de gestion, de programmation et d'exécution. Le calcul de la fiabilité d'un équipement constitue un outil incontournable pour évaluer l'efficacité de n'importe quelle entité. Les concepteurs et les utilisateurs sont souvent confrontés à des contraintes par pauvreté ou par manque de modèles permettant de faire des études prévisionnelles correctes. Le taux de défaillance est souvent considéré comme constant ce qui est manifestement faux en mécanique d'où l'intérêt d'outils, de modèles ou de méthodes plus adaptées. Le calcul de la fiabilité des systèmes mécaniques est influencé par les caractéristiques suivantes :

1. La notion du taux de défaillance n'existe pas.
2. Le recueil des informations sur la fiabilité est plus difficile.
3. Les défaillances ont des origines variées (la durée de vie des composants est principalement conditionnée par les problèmes de fatigue avec une forte influence des différentes contraintes.
4. Le système mécanique est de plus en plus performant et compliqué.

### I.1.DEFINITION DE FIABILITE : (EN 13306) année 2001

Aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, durant un intervalle de temps donné. Cette définition peut être formulée différemment : la fiabilité d'une entité est la probabilité moyenne de non défaillance de cette entité sur un intervalle de temps donné. Les paramètres importants de la fiabilité sont donc les conditions d'utilisation du système, le temps ou le nombre de cycles. La fiabilité d'un dispositif dépend aussi de la fonction remplie par ce dispositif [1].

#### 1°.Fiabilité intrinsèque :

Elle est propre à un matériel et à un environnement donné et ne dépend que de ce matériel.

#### 2°. Fiabilité extrinsèque :

Elle résulte des conditions d'exploitation, de la qualité de la maintenance, d'une manière générale d'événement relatif à l'intervention humaine.

#### 3°. Fiabilité implicite :

Basée sur l'expérience et dont le but est de réduire la fréquence et la durée des arrêts.

#### 4°.Fiabilité explicite :

Dont le concept est formé mathématiquement, elle permet de déterminer rigoureusement le degré de confiance dans le matériel.

## I.2.OBJECTIFS DE LA FIABILITE :

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

## I.3.PARAMETRES NECESSAIRES A LA MESURE DE FIABILITE :

### 1°. Densité de probabilité

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

$$f(t) = \frac{dF(t)}{d(t)} = -\frac{dR(t)}{d(t)} \quad [I.1]$$

### 2°. Fonction de répartitions :

C'est la probabilité pour que le dispositif soit en panne à l'instant  $t_i$  :

$$F(t_i) = P(T < t_i) \quad [I.2]$$

Notons que ces deux fonctions sont complémentaires :

$$F(t) + R(t) = 1 \quad [I.3]$$

### 3°. La fonction de fiabilité

Nous appelons  $R(t)$  la fonction de fiabilité, qui représente la probabilité de fonctionnement sans défaillances pendant un temps  $(t)$ , ou la probabilité de survie jusqu'à un temps  $(t)$ . La probabilité d'avoir au moins une défaillance avant le temps  $(t)$ , qui représente la probabilité cumulative des défaillances, est appelé : « probabilité de défaillance ».

### 4°. Taux de défaillance [2]

Prenons maintenant une pièce ayant servi pendant une durée  $t$  et encore survivante.

La probabilité qu'elle tombe en panne entre l'âge  $t$  qu'elle a déjà et l'âge  $t + \Delta t$  est représentée par la probabilité conditionnelle qu'elle tombe en panne entre  $T$  et  $t + \Delta t$  sachant qu'elle a survécu jusqu'à  $T$ . D'après le théorème des probabilités conditionnelles cette probabilité est égale à :

$$\lambda(t) = -\frac{dR(t)}{dt} \cdot \frac{1}{R(t)} \quad [I.4]$$

$$= \frac{dF(t)}{dt} \cdot \frac{1}{R(t)} \quad [I.5]$$

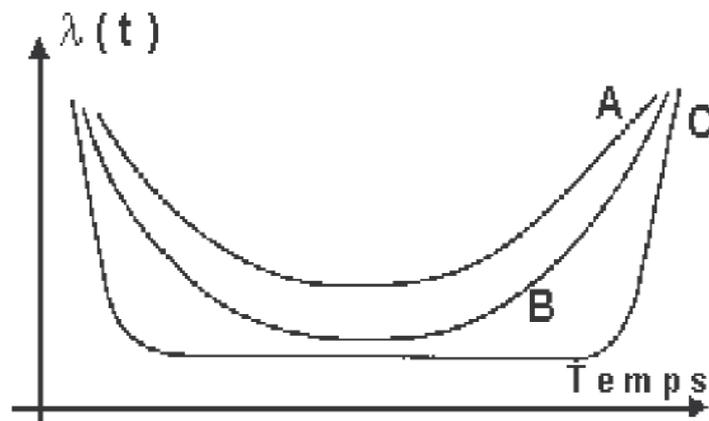
$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad [I.6]$$

On a donc :

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

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

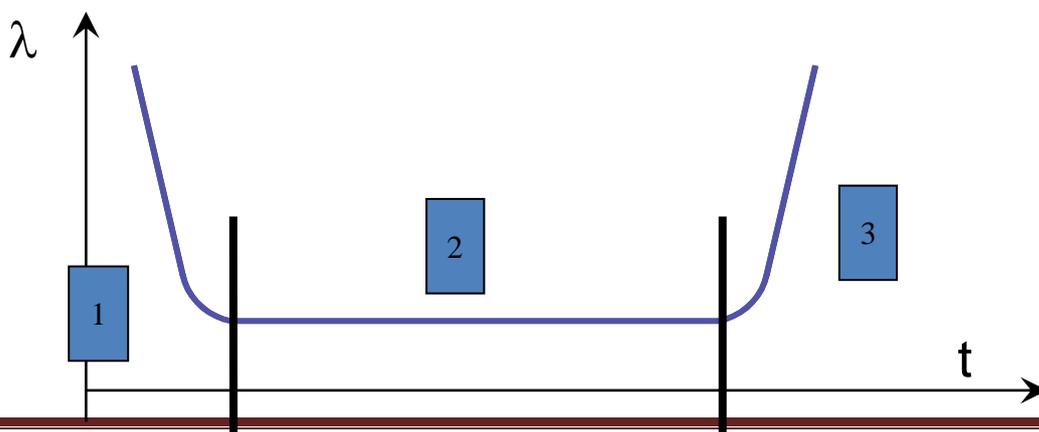
L'expérience montre que pour la plupart des composants, le taux de défaillance suit une courbe en baignoire représentée sur la figure suivante :



*Figure I-1 : Courbes caractéristiques du taux de défaillance*

Les courbes du taux de défaillance, figure (I-1) 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.



*Figure I.2: Courbe en baignoire*

## **Zone -1- Jeunesse (mortalité infantile, défaillance précoce) :**

Cette période correspond à l'apparition de défaillance due à des défauts de fabrication ou à des contrôles insuffisants.

Les essais de rodage des dispositifs ont pour but d'éliminer cette période.

Les défaillances qui surviennent en ce début de vie sont par dégradation. On les qualifie comme des défaillances précoces.

## **Zone -2- Maturité (période vie utile, de défaillances aléatoires) :**

En générale, la seconde période correspond à l'apparition des défaillances catalectique, qui surviennent sans cause systématique, d'une façon aléatoire avec un taux d'apparition sensiblement constant. Plusieurs interprétations sont actuellement données pour expliquer ce taux constant qui est fréquemment constaté, soit pour un équipement complexe ou même pour des composants électroniques. Pour Simplifier, on peut dire qu'il s'agit des défaillances dues à un grand.

Nombre de causes, qui sont liées à la fabrication des dispositifs. Les défaillances qui surviennent dans cette période sont des défaillances aléatoires.

## **Zone -3- Vieillesse (usure, Obsolescence) :**

La dernière période correspond à l'usure du dispositif. Usure au sens strict pour les pièces mécanique et évaluation physico-chimique pour les dispositifs électronique.

Elle est relative à une dégradation irréversible des caractéristiques qui sont le plus souvent liées beaucoup plus à la conception du produit qu'à sa fabrication.

Les défaillances qui apparaissent dans cette période de vie sont des défaillances par dégradation, elles sont désignées comme défaillances d'usure.

## **5°. Temps moyen de bon fonctionnement**

Le MTBF (Mean Time Between Failure, on anglais) 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  $t$ .

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t) \quad [I.7]$$

$$MTBF = \frac{\Sigma \text{ temps de bon fonctionnement}}{\text{nombre d'intervalles de temps de bon fonctionnement}} \quad [I.8]$$

Si  $\lambda$  est constant :

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad [I.9]$$

## I.4.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) à presque toujours la même allure croît jusqu'à un maximum et décroît plus lentement. Il est alors possible de trouver dans la famille de Weibull une loi qui ne s'éloigne pas trop des données disponibles en calculant  $\beta$  et à partir de la moyenne et la variance observées.

- **Densité de probabilité :**

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \text{ avec } t \geq \gamma \quad [\text{I.10}]$$

- **Fonction de répartition :**

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad [\text{I.11}]$$

- **Loi de fiabilité :**

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad [\text{I.12}]$$

- **Taux de défaillance :**

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - F(t)} = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \cdot \frac{1}{e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}} \quad [\text{I.13}]$$

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad [\text{I.14}]$$

Remarque : si

( $\gamma = 0$ ,  $\beta = 1$ ) :

$$\Rightarrow \lambda(t) = \frac{1}{\eta} = \frac{1}{MTBF} \quad [\text{I.15}]$$

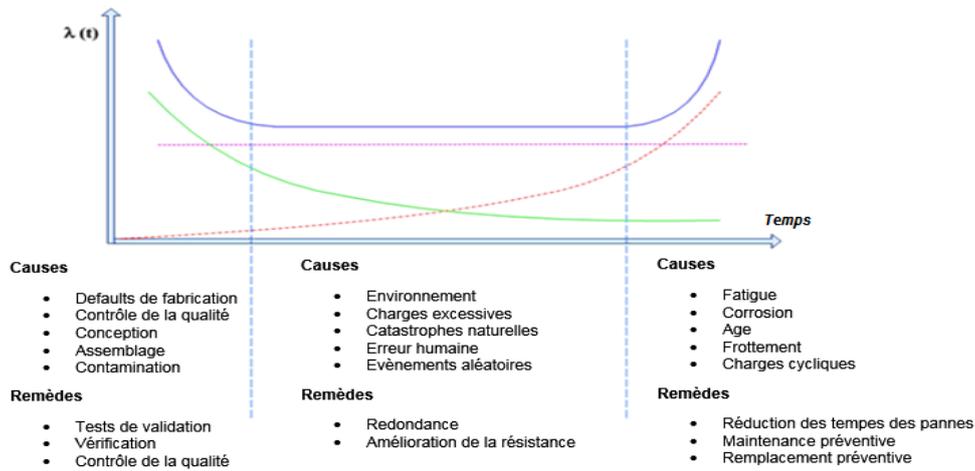


Figure I-3 : Evolution du taux de défaillance.

La courbe théorique de distribution est montrée à la figure (II-4) On peut remarquer l'influence du paramètre  $\beta$  (coefficient de forme).

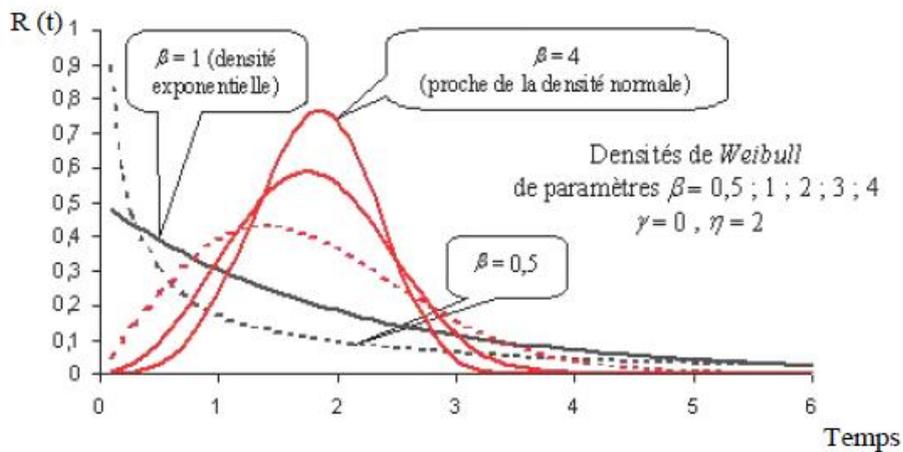


Figure I-4 : La courbe théorique de distribution de fiabilité

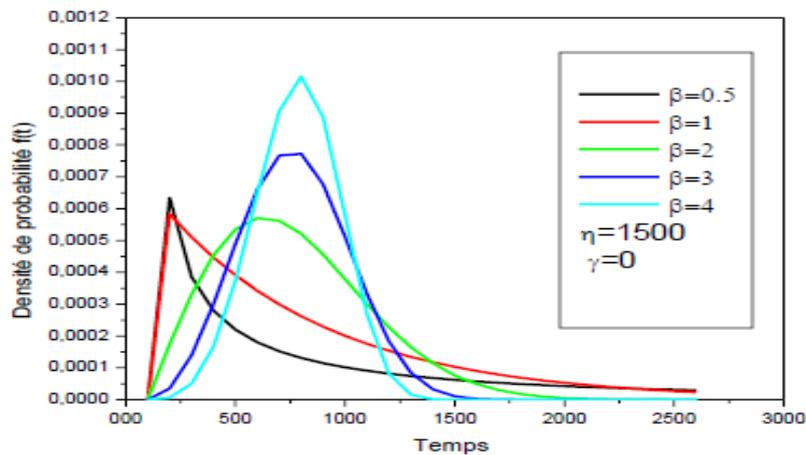


Figure I-5 : Courbes théoriques de Weibull

## Chapitre I : Fiabilité, Maintenabilité et la Disponibilité

---

Si l'on désigne par  $t$  la variable aléatoire qui, à tout matériel choisi au hasard, associe son temps de bon fonctionnement avant défaillance, lorsque  $\beta$  est constant, on montre que  $t$  suit une loi exponentielle. Pour couvrir tous les cas, Weibull a choisi pour  $\lambda$  une fonction dépendant de trois paramètres :  $\gamma, \beta$  et  $\eta$ . L'expression de  $\lambda(t)$  est donnée par l'expression (I-14).

Avec  $t > \gamma, \beta > 0, \eta > 0$  (le paramètre important étant  $\beta$  paramètre "de forme", les autres terminent l'ajustement). Ainsi, lorsque la variable aléatoire  $t$ , correspondant au temps de bon fonctionnement, suit la loi de Weibull de paramètres  $\gamma, \beta$  et  $\eta$ . On montre que sa densité est donnée par l'expression (I-10).

### 1°.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.

### 2°.Papier de Weibull :

Ce papier de Weibull sert à lire graphiquement les paramètres d'une loi de Weibull dans le cas où le paramètre  $\gamma$  est nul.

En effet, la fonction de répartition associée à une loi de Weibull de paramètres  $\beta, \gamma = 0, \eta$  est définie par :

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad [I.16]$$

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

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

$$\Rightarrow \ln\left(-\ln(1 - F(t))\right) = \beta \ln\left(\frac{t}{\eta}\right)$$

$$\Rightarrow \ln\left(-\ln(1 - F(t))\right) = \beta \ln t - \beta \ln \eta$$

$$\Rightarrow Y = \beta X - \beta \ln \eta \quad [I.17]$$

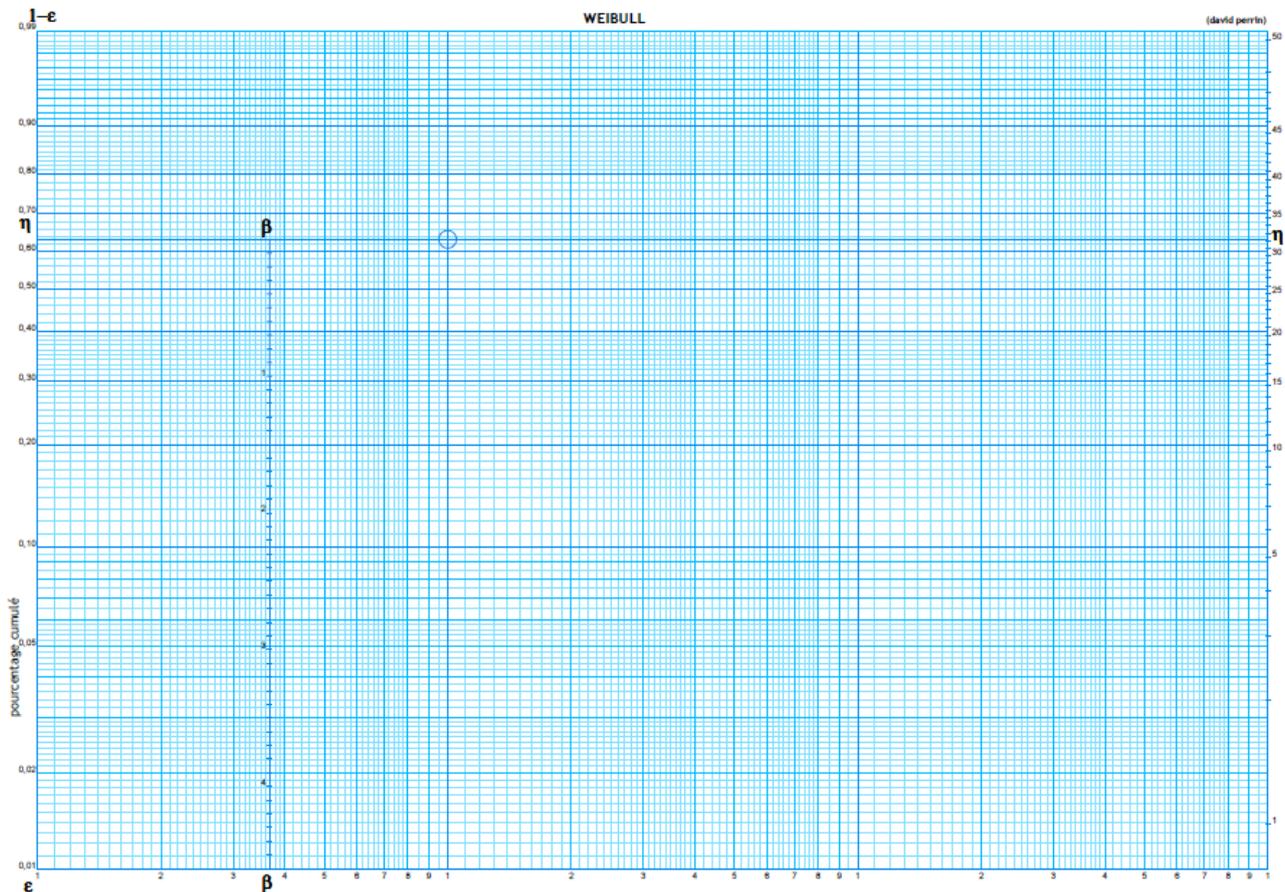
La dernière équation obtenue est l'équation d'une droite dans le repère rouge (O ; X ; Y) où O est le point correspondant à  $X = 0$  et  $Y = 0$  soit à  $t = 1$  et  $F(t) = 1 - 1/e$ .

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, ce qui est montré sur les figures (I-6).

# Chapitre I : Fiabilité, Maintenabilité et la Disponibilité

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

$$X = -1$$



*Figure I-6 : Papier de Weibull*

### 3°.Echelles utilisées sur le papier de Weibull [3]

- 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  $\ln [- \ln (1 - F (t))]$

### 4°.Signification des paramètres

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

- **Paramètre de forme bêta ( $\beta$ )** : Ce paramètre donne des indications sur le mode des défaillances et sur l'évolution du taux de défaillances dans le temps. Les courbes des figures (I-7), (I-8) et (I-9) illustrent respectivement l'évolution de la fiabilité, de la fonction de répartition et du taux de défaillance en fonction du paramètre de forme ( $\beta$ ).

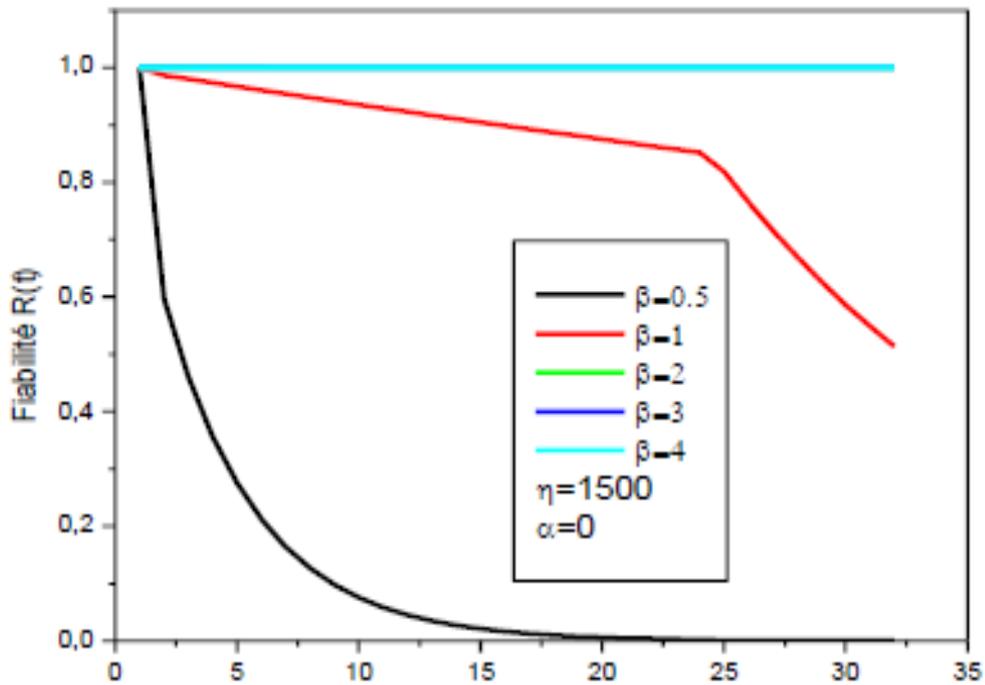


Figure I-7 : Fiabilité

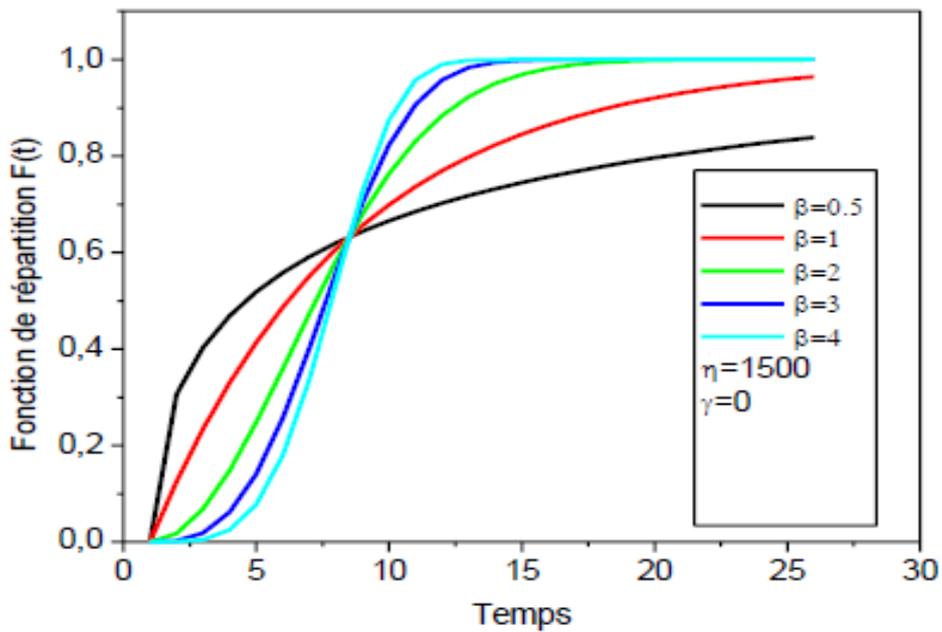
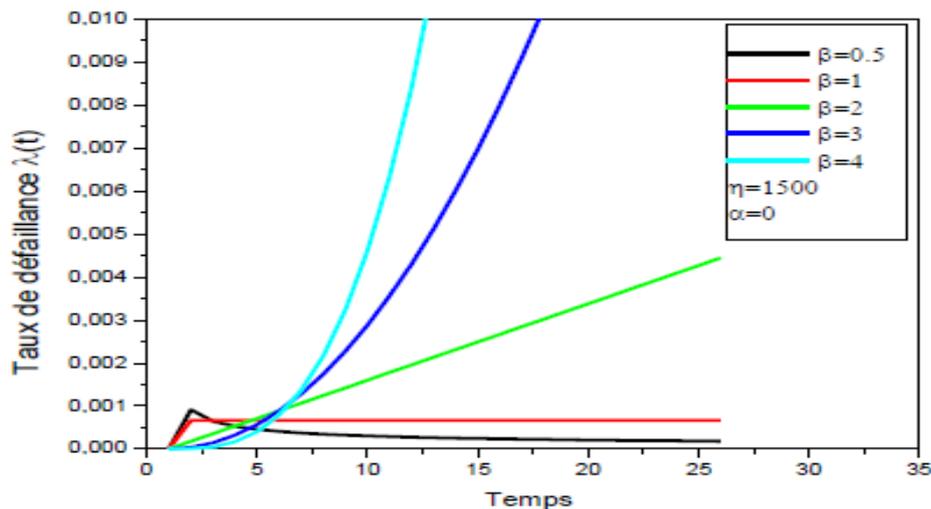


Figure I-8 : Fonction de répartition



**Figure I-9 : Taux de défaillance**

On peut donc remarquer que si :

$\beta < 1 \Rightarrow \lambda(t)$  décroît  $\rightarrow$  période de jeunesse.

$\beta = 1 \Rightarrow \lambda(t) = \text{cte}$   $\rightarrow$  indépendance du temps.

$\beta > 1 \Rightarrow \lambda(t)$  croît  $\rightarrow$  période d'obsolescence.

$1.5 < \beta < 2.5$   $\rightarrow$  exprime un phénomène de fatigue.

$3 < \beta < 4$   $\rightarrow$  expriment un phénomène d'usure.

**Remarque :**

Si  $\beta = 3.5 \Rightarrow f(t)$  symétrique  $\Rightarrow$  **distribution normale**.

Le paramètre de position gamma donne des indications sur le retard de la fonction  $f(t)$ .

La figure (I-8) montre cette variation.

Avec  $\gamma < 0$  ceci explique qu'une probabilité de défaillance est déjà présente au moment de l'installation du système.

Avec  $\gamma = 0$  une probabilité de défaillance sera présente dès la mise en service du système.

Avec  $\gamma > 0$  une probabilité de défaillance dans les premières utilisations du système est nulle.

## II.5.FIABILITE DE SYSTEME CONSTITUE DE PLUSIEURS COMPOSANTS :

### 1°. 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 :

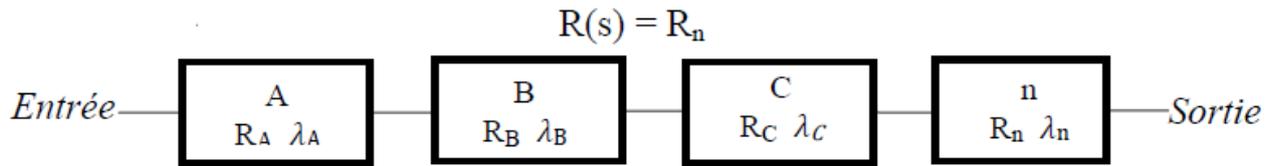


Figure I-10 : Composants en série.

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

$$R(t) = (e^{-\lambda_A t}) \times (e^{-\lambda_B t}) \times (e^{-\lambda_C t}) \times \dots (e^{-\lambda_n t}) \quad [I.18]$$

Avec :

$$MTBF = \frac{1}{\lambda_A + \lambda_B + \lambda_C + \dots \lambda_n} \quad [I.19]$$

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

Alors :

$$R(s) = (e^{-\lambda_n t}) \quad [I.20]$$

$$MTBF = \frac{1}{n \times \lambda} \quad [I.21]$$

**2°.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<sub>i</sub>** est la probabilité de panne d'un composant, la fiabilité associée **R<sub>i</sub>** est son complémentaire :

$$F_i = 1 - R_i \quad [I.22]$$

**F<sub>i</sub>** représentant la fiabilité associée.

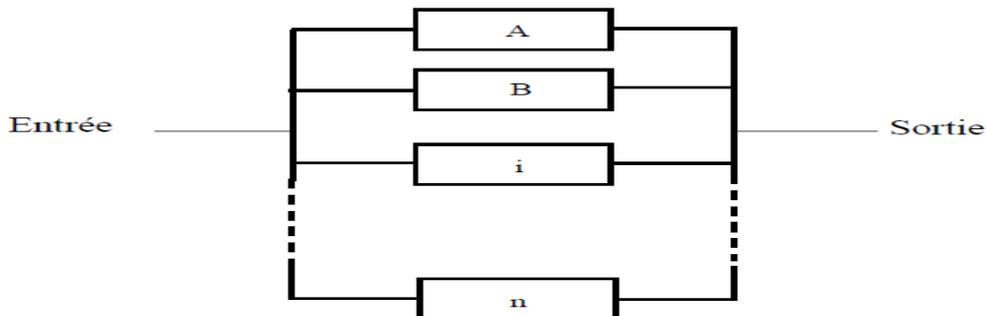


Figure I-11 : Composants en parallèle.

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 :

$$R(s) = 1 - (1 - R)^n \quad [I.23]$$

Le cas particulier de deux dispositifs en parallèle si  $\lambda$  est constant  $R_S$  est obtenu par :

$$R_S = 1 - (1 - R_A) \cdot (1 - R_B) = R_A + R_B - R_A \cdot R_B = e^{-\lambda_A t} + e^{-\lambda_B t} - e^{-(\lambda_A + \lambda_B)t} \quad [I.24]$$

### I.6.LA MAINTENABILITE

#### 1°.Définition :

#### Maintenabilité (Norme américaine MIL-STD-721C)

Mesure de l'aptitude d'un dispositif (*item*) à être maintenu ou remis dans des conditions spécifiées lorsque la maintenance de celui-ci est réalisée par des agents ayant les niveaux spécifiés de compétences, utilisant les procédures prescrites, à tous les niveaux prescrits de maintenance et de réparation.

#### Maintenabilité (NF X60.100)

Dans des conditions données, la maintenabilité est l'aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état où il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits.

**Maintenabilité = être rapidement dépanné**

**Fonction de maintenabilité :  $M(t) = 1 - e^{-\mu t}$**

C'est aussi la probabilité de rétablir un système dans des conditions de fonctionnement spécifiées, en des limites de temps désirées, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits.

A partir de ces définitions, on distingue :

- **La maintenabilité intrinsèque** : elle est « construite » dès la phase de conception à partir d'un cahier des charges prenant en compte les critères de maintenabilité (modularité, accessibilité, etc.).
- **La maintenabilité prévisionnelle** : elle est également « construite », mais à partir de l'objectif de disponibilité.
- **La maintenabilité opérationnelle** : elle sera mesurée à partir des historiques d'interventions.

# Chapitre I : Fiabilité, Maintenabilité et la Disponibilité

---

L'analyse de maintenabilité permettra d'estimer la MTTR ainsi que les lois probabilistes de maintenabilité (sur les mêmes modèles que la fiabilité).

## ❖ Commentaires :

La maintenabilité caractérise la facilité à remettre ou de maintenir un bien en bon état de fonctionnement. Cette notion ne peut s'appliquer qu'à du matériel maintenable, donc réparable.

« Les moyens prescrits » englobent des notions très diverses : moyens en personnel, appareillages, outillages, etc. [2]

La maintenabilité d'un équipement dépend de nombreux facteurs :

*Tab I-1 : les facteurs de la maintenabilité d'un équipement*

<b>Facteurs liés à l' EQUIPEMENT</b>	<b>Facteurs liés au CONSTRUCTEUR</b>	<b>Facteurs liés à la MAINTENANCE</b>
- documentation - aptitude au démontage - facilité d'utilisation	- conception - qualité du service après-vente - facilité d'obtention des pièces de rechange - coût des pièces de rechange	- préparation et formation des personnels - moyens adéquats - études d'améliorations (maintenance améliorative)

## ❖ Remarque :

On peut améliorer la maintenabilité en :

- Développant les documents d'aide à l'intervention.
- Améliorant l'aptitude de la machine au démontage (modifications risquant de coûter cher) .
- Améliorant l'interchangeabilité des pièces et sous ensemble.

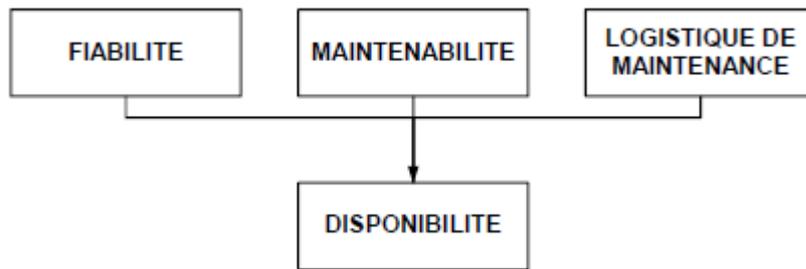
## 2°. Maintenabilité et maintenance

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

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

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

## 3°.Maintenabilité et disponibilité



*Figure I-12 : schéma des composants de la disponibilité*

Le schéma ci-dessus rappelle les composantes de la disponibilité d'un équipement. Il met en évidence :

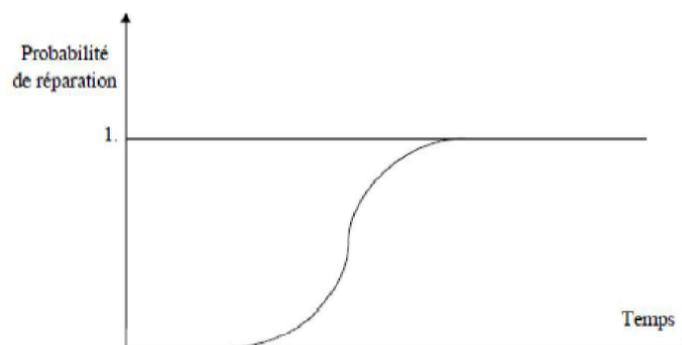
- Que la maintenabilité est un des leviers d'action pour améliorer la disponibilité et donc la productivité d'un équipement ;
- Que la fiabilité et la maintenabilité sont 2 notions parallèles de même importance (et dont les démarches d'analyse sont semblables).

## 4°.Taux de réparation $\mu$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \quad [I.25]$$

La probabilité de réparation d'un composant est principalement fonction du temps écoulé depuis l'instant de défaillance. Il existe un certain délai  $t$  avant que le composant puisse être réparé. Ce délai  $t$  comprend le temps de détection et le temps d'attente de l'équipe de réparation .

Il s'y ajoute le temps de réparation proprement dit (Figure (I-13) donne l'allure de la probabilité de réparation d'un composant tombé en panne en  $t= 0$ ).



*Figure I-13 : probabilité de réparation au cours de temps.*

## 5°.Amélioration de la maintenabilité

L'amélioration de la maintenabilité passe par :

- le développant des documents d'aide à l'intervention.
- l'aptitude de la machine au démontage (modification, risquant de coûter chère).
- l'accessibilité.
- l'interchangeabilité et la standardisation.
- la facilité de remplacement.
- l'aide au diagnostic.

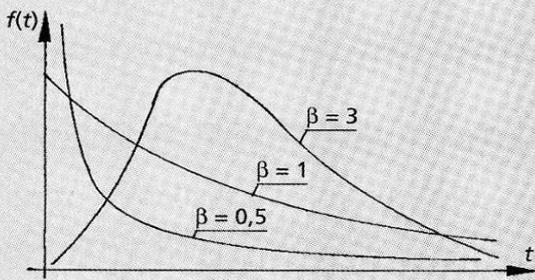
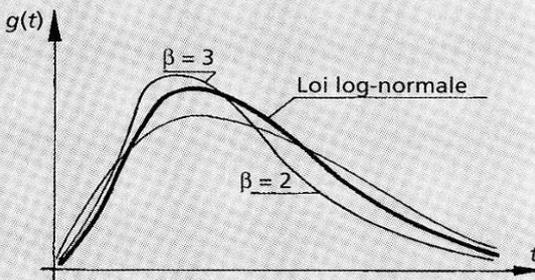
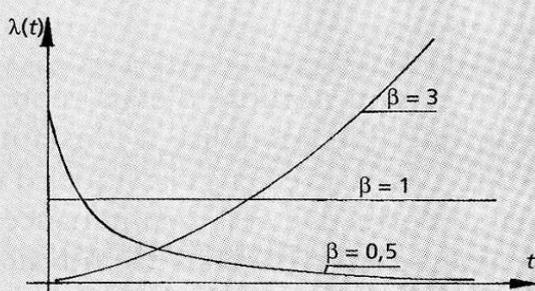
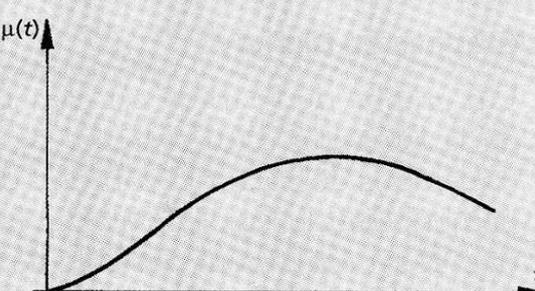
Il assurera de ce fait la réduction des durées de détection des pannes d'état, diminuant, ainsi les TTR l'amélioration de la maintenabilité d'une manière considérable.

La maintenance doit améliorer la maintenabilité par les actions suivantes.

- ❖ disponibilité de la documentation tenue à jour du matériel.
- ❖ utilisation des systèmes d'aide au diagnostic.
- ❖ utilisation des capteurs intégrés pour la localisation de la panne.
- ❖ disponibilité des accessoires outillages.

# Chapitre I : Fiabilité, Maintenabilité et la Disponibilité

Tab I-2 : Analogie des analyses de fiabilité et de maintenabilité

Fiabilité	Maintenabilité
Probabilité de « durée de bon fonctionnement »	Probabilité de « durée de réparation »
$R(t) = P(T_p > t)$	$M(t) = P(T_R < t)$
Variable aléatoire : temps de fonctionnement	Variable aléatoire : temps de réparation
Densité de probabilité du temps avant défaillance : $f(t)$	Densité de probabilité du temps de réparation : $g(t)$
Fiabilité : $R(t) = \int_t^{+\infty} f(t)dt = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt}$	Maintenabilité : $M(t) = \int_0^t g(t)dt = 1 - e^{-\int_0^t \mu(t)dt}$
Taux de défaillance : $\lambda(t)$ : $\lambda(t)dt = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - F(t)}$	Taux de réparation $\mu(t)$ : $\mu(t)dt = \frac{g(t)}{1 - M(t)}$
MTBF = mean time between failures : $MTBF = \int_0^{+\infty} t \cdot f(t)dt = \int_0^{+\infty} R(t)dt$	MTTR = mean time to repair : $MTTR = \int_0^{+\infty} t \cdot g(t)dt$
Relation fondamentale : $f(t) = \lambda(t) \cdot e^{-\int_0^t \lambda(t)dt}$	Relation fondamentale : $g(t) = \mu(t) \cdot e^{-\int_0^t \mu(t)dt}$
Lois usuelles : si $\lambda = \text{constant}$ , loi exponentielle : $R(t) = e^{-\lambda t}$ si $\lambda(t)$ est variable, loi de Weibull (loi à 3 paramètres)	Lois usuelles : si $\mu = \text{constant}$ , loi exponentielle : $M(t) = 1 - e^{-\mu t}$ si $\mu(t)$ est variable, loi log-normale (distribution fréquente des durées d'interventions de maintenance), paramètres $m$ et $\sigma$
	
	
Application : systèmes réparables ou non	Application : systèmes réparables

# Chapitre I : Fiabilité, Maintenabilité et la Disponibilité

## I.7.LA DISPONIBILITE (NF-X60.100)

« L'aptitude d'un bien, sous les aspects combinés de sa fiabilité, maintenabilité et de l'organisation de la maintenance, à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions de temps déterminées ». [1]

Pour qu'un équipement présente une bonne disponibilité, il doit :

- avoir le moins possible d'arrêts de production.
- être rapidement remis en état s'il est défaillant.

La disponibilité relie donc les notions de fiabilité et de maintenabilité. [3]

### 1°.Les types de disponibilité

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

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad [I.26]$$

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

$$D_{(t)} = \frac{\mu}{\mu + \lambda} + \frac{\lambda}{\mu + \lambda} e^{-t(\lambda + \mu)} \quad [I.27]$$

### 2°.Amélioration de la disponibilité

- l'allongement de la *MTBF* (action sur la fiabilité) ;
- la réduction de la *MTTR* (action sur la maintenabilité) ;
- Fiabilité ;
- Maintenabilité ;
- Logistique.

### 3°.La relation entre les notions FMD [4]

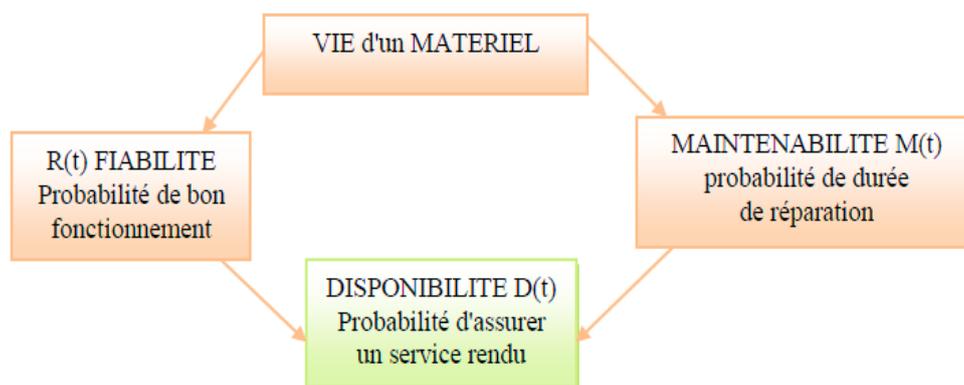


Figure I-14 : La relation entre les notions FMD. [2]

# Chapitre I : Fiabilité, Maintenabilité et la Disponibilité

---

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

## **I.8.LOI DE PARETO ET LA COURBE ABC**

### **1°.Définition de la méthode ABC**

La méthode ABC est un moyen objectif d'analyse, elle permet de classer les éléments qui représentent la fraction la plus importante du caractère étudié, en indiquant les pourcentages pour un caractère déterminé.

### **2°.Diagramme de Pareto**

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

### **3°.But de la méthode ABC**

L'exploitation de cette loi permet de déterminer les éléments les plus pénalisants afin d'en diminuer leurs effets : [3]

- Diminuer les couts de maintenance.
- Améliorer la fiabilité des systèmes. Justifier la mise en place d'une politique de maintenance.

## I.9. CONCLUSION

La sûreté de fonctionnement d'une machine en tenant compte de l'aspect sécurité et les critères visant à éviter un entretien fréquent, difficile et coûteux se résument en trois points connus sous la notion F.M.D. (Fiabilité\_ Maintenabilité\_ Disponibilité) que le concepteur d'équipement devrait tenir compte lors des études d'engineering.

## CHAPITRE I : LA FIABILITE, MAINTENABILITE ET LA DISPONIBILITE

I. INTRODUCTION.....	2
I.1.DEFINITION DE FIABILITE .....	2
I.2.OBJECTIFS DE LA FIABILITE :.....	3
I.3.PARAMETRES NECESSAIRES A LA MESURE DE FIABILITE :.....	3
1°. Densité de probabilité.....	3
2°.Fonction de répartitions :.....	3
3°.La fonction de fiabilité.....	3
4°.Taux de défaillance.....	3
5°.Temps moyen de bon fonctionnement.....	5
I.4.LOI DE WEIBULL .....	6
II.5.FIABILITE DE SYSTEME CONSTITUE DE PLUSIEURS COMPOSANTS :.....	11
I.6.LA MAINTENABILITE .....	13
I.7.LA DISPONIBILITE .....	18
1°.Les types de disponibilité .....	18
I.8.LOI DE PARETO ET LA COURBE ABC .....	19
I.9. CONCLUSION .....	20

## CHAPITRE II : GENERALITE ET DESCRIPTION D'UNE MOTO-POMPE CENTRIFUGE

II.1. INTRODUCTION.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
-------------------------	------------------------------------

## Chapitre I : Fiabilité, Maintenabilité et la Disponibilité

---

II.2.L’HISTORIQUE DES POMPES .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
II.3. GENERALITES SUR LES POMPES .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1°. Définition : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
2°. Les différents types de pompes.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
II.4.CLASSIFICATION DES POMPES CENTRIFUGES.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
II.5. DESCRIPTION D’UNE POMPE CENTRIFUGE .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
II.6. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D’UNE POMPE CENTRIFUGE.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
II.7. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES POMPES CENTRIFUGES .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
II.8. DESCRIPTION DE GROUPE MOTOPOMPE VERTICAL .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
II.9. ETUDE TECHNIQUE DE LA POMPE .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
II.10. CONCLUSION .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

### CHAPITRE III : ANALYSE F.M.D.DE LA POMPE GRUNDFOS-CRN-45

III.1.Exploitation de l'historique: .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
III.2.L'application Pratique des méthodes d'analyse: .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
III.3. Exploitation les paramètres de WEIBULL : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
III.4.Étude de modèle de weibull: .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
III.5. Calcul la Maintenabilité de la pompe: .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
III.6.Calcul la disponibilité de la pompe:.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
III.7. Conclusion : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>



