

Chapitre 04 : Concept FMD

1. LE CONCEPT DE FIABILITE :

1.1. Définition :

Caractéristique d'un bien exprimée par la probabilité qu'il accomplisse une fonction requise dans des conditions données pendant un temps donné. (NF X 60–500).

La notion de temps peut prendre la forme :

- De nombre de cycles effectués \Rightarrow **machine automatique**
- De distance parcourue \Rightarrow **matériel roulant**
- De tonnage produit \Rightarrow **équipement de production**

En terme de statistique, la fiabilité est une fonction du temps $R(t)$ qui représente la probabilité de bon fonctionnement d'un matériel.

En terme de qualité, on définit la fiabilité d'un matériel comme l'aptitude à maintenir la conformité à sa spécification d'origine.

1.2. Commentaires :

Un équipement est fiable s'il subit peu d'arrêts pour pannes. La notion de fiabilité s'applique :

- Aux systèmes réparables \Rightarrow équipement industriel ou domestique.
- Aux systèmes non réparables \Rightarrow lampes, composants donc jetables

La fiabilité se caractérise par sa courbe $R(t)$ appelée également « loi de survie » (R : reliability) et son taux de défaillance $\lambda(t)$.

1.3. Le taux de défaillance :

Le taux de défaillance, noté $\lambda(t)$, est un indicateur de la fiabilité. Il représente une proportion de dispositifs survivants à un instant t .

Sa forme générale est :

$$\lambda = \frac{\text{nombre de défaillance}}{\text{durée d'usage}}$$

Le plus fréquemment, il s'exprime en « pannes / heure ».

Pour un système réparable, le taux de défaillance se traduit souvent par une courbe mettant en évidence 3 phases :

- **Phase de Jeunesse** (mortalité infantile, défaillance précoce) : en état de fonctionnement à l'origine (mise en service), période de rodage (pré usure), présélection des composants électroniques (déverminage).
- **Phase de Maturité** (période vie utile, de défaillances aléatoires) : période de rendement optimal du matériel, taux de défaillance constant. Les défaillances apparaissent sans dégradations préalables visibles, par des causes diverses.
- **Phase de vieillesse** : Un mode défaillance prédominant, généralement visible, entraîne une dégradation accélérée, à taux de défaillance croissant (pour un mécanisme). Souvent on trouve une usure mécanique, de la fatigue, une érosion ou une corrosion. A un certain seuil de $\lambda(t)$, le matériel est « mort ». Il est alors déclassé, puis rebuté ou parfois reconstruit. La détermination de T (seuil de réforme), est obtenue à partir de critères technico-économiques.

L'évolution de la durée de vie d'un équipement peut être tracée selon une courbe appelée courbe en baignoire. Selon que l'équipement, soit de type électronique ou mécanique, les allures du taux de défaillance sont différentes.

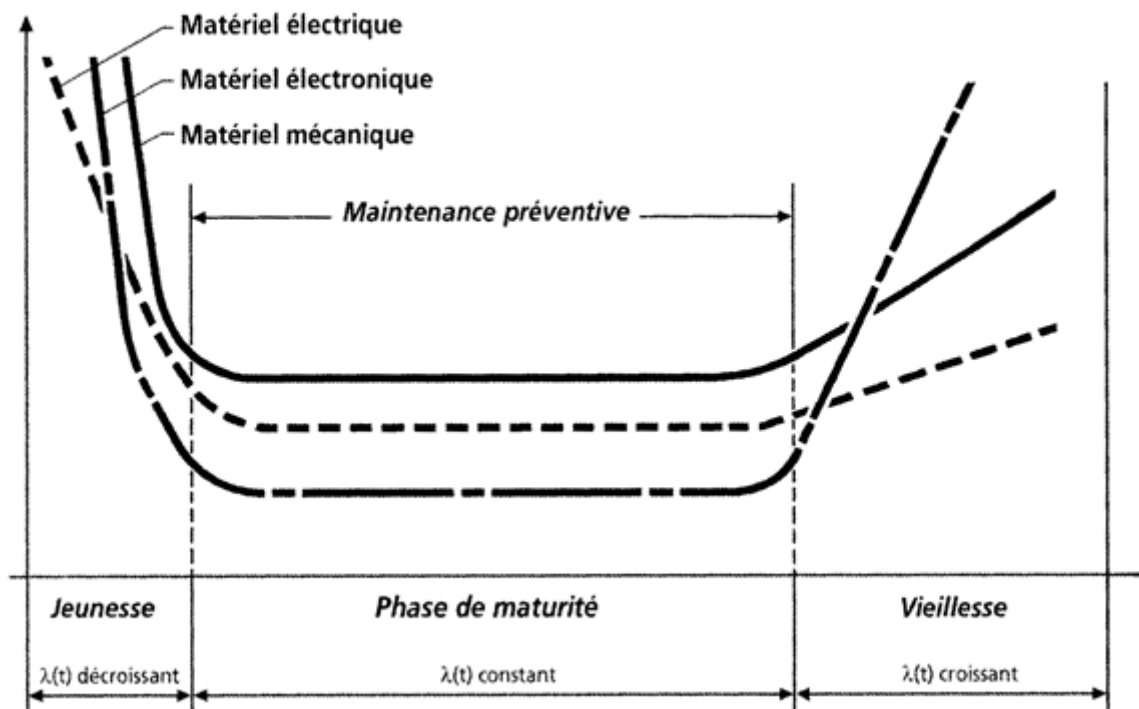


Figure 3.1 - Courbe en baignoire : taux de défaillance $\lambda(t)$.

1.4. MTBF :

La MTBF, ou moyenne des temps de bon fonctionnement, est la valeur moyenne des temps entre deux défaillances consécutives. Pour une période donnée de la vie d'un matériel :

$$MTBF = \frac{\sum_0^n TBF_i}{n}$$

n : nombre de périodes de bon fonctionnement

MTBF : Mean Time Between Failure

Ces valeurs sont calculées à partir des observations, d'une exploitation statistique de l'historique, des essais de durée de vie .

1.5. Exemples de lois de fiabilité

1.5.1. Distribution exponentielle

Cette loi est applicable pour la période où le taux de défaillance est constant. Tous les matériels sont concernés durant leur vie utile.

La fiabilité ou la possibilité de survivre entre l'instant 0 et t est:

$$R(t) = e^{-\int \lambda(t).dt} = e^{-\lambda(t)}$$

On démontre que l'espérance mathématique, qui représente le temps moyen entre deux défaillances, est égale à :

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

1.5.2. Loi de Weibull

Contrairement au modèle exponentiel, la loi de Weibull couvre le cas où le taux de défaillance est variable et permet de s'ajuster aux périodes de jeunesse et de vieillesse.

L'expression de la fiabilité devient :

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

avec ses trois paramètres β , paramètre de forme ($\beta > 0$), η , paramètre d'échelle ($\eta > 0$) et γ , paramètre de position ($-\alpha < \gamma < +\alpha$).

L'espérance mathématique est:

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

1.6. Périodicité de la maintenance préventive

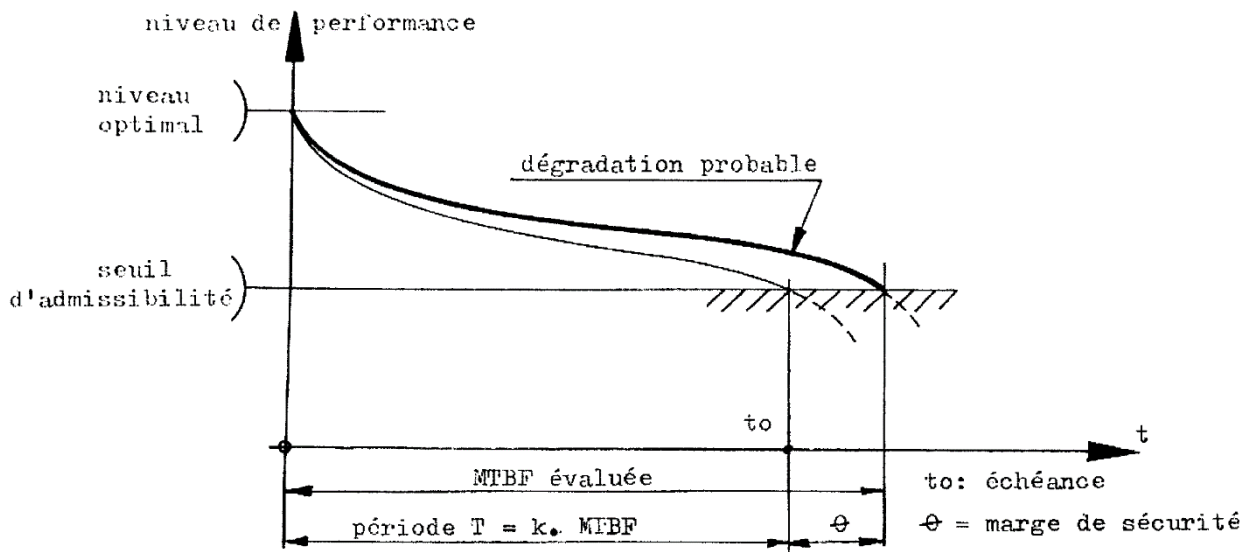
Par principe, la visite systématique est déclenchée juste avant l'apparition de la défaillance. La périodicité de visite est alors:

$$T = k \cdot \text{MTBF}$$

avec k le coefficient d'optimisation ou paramètre économique.

Plus on choisit k petit, moins il y a de maintenance corrective résiduelle. Mais si on intervient plus souvent, on augmente les coûts directs et le gaspillage.

Exemple: détermination de T quand on connaît la loi de dégradation d'un équipement et le seuil admissible, limite du bon fonctionnement:



Cas d'une loi de dégradation

2. LA MAINTENABILITE :

2.1. Définition :

« Dans les conditions d'utilisation données pour lesquelles il a été conçu, la maintenabilité est l'aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits. » (NF EN 13306).

2.2. 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.

Nous noterons $M(t)$ la fonction maintenabilité et TTR, MTTR les durées d'intervention.

La maintenabilité d'un équipement dépend de nombreux facteurs :

a. Facteurs liés à l'équipement :

- documentation
- aptitude au démontage
- facilité d'utilisation

b. Facteurs liés au constructeur :

- conception
- qualité du service après-vente
- facilité d'obtention des pièces de rechange
- coût des pièces de rechange

c. Facteurs liés à la maintenance :

- préparation et formation des personnels
- moyens adéquats
- études d'améliorations (maintenance améliorative)

Remarques : 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.

2.3. Calcul de la maintenabilité :

La maintenabilité peut se caractériser par sa MTTR (Mean Time To Repair) ou encore Moyenne des Temps Techniques de Réparation.

$$MTTR = \frac{\sum \text{Temps d'intervention pour } n \text{ pannes}}{\text{Nombre de pannes}}$$

2.4. Taux de réparation μ :

$$\mu = \frac{1}{MTTR}$$

3. LE CONCEPT DE DISPONIBILITE :

3.1. Définition :

Aptitude d'un bien à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires est assurée.

Cette aptitude dépend de la combinaison de la fiabilité, de la maintenabilité et de la logistique de maintenance.

Les moyens extérieurs nécessaires autres que la logistique de maintenance n'affectent pas la disponibilité du bien (NF EN 13306).

3.2. Commentaires :

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

- Avoir le moins possible d'arrêts de production
- Etre rapidement remis en bon état s'il tombe en panne

La disponibilité d'un équipement dépend de nombreux facteurs :

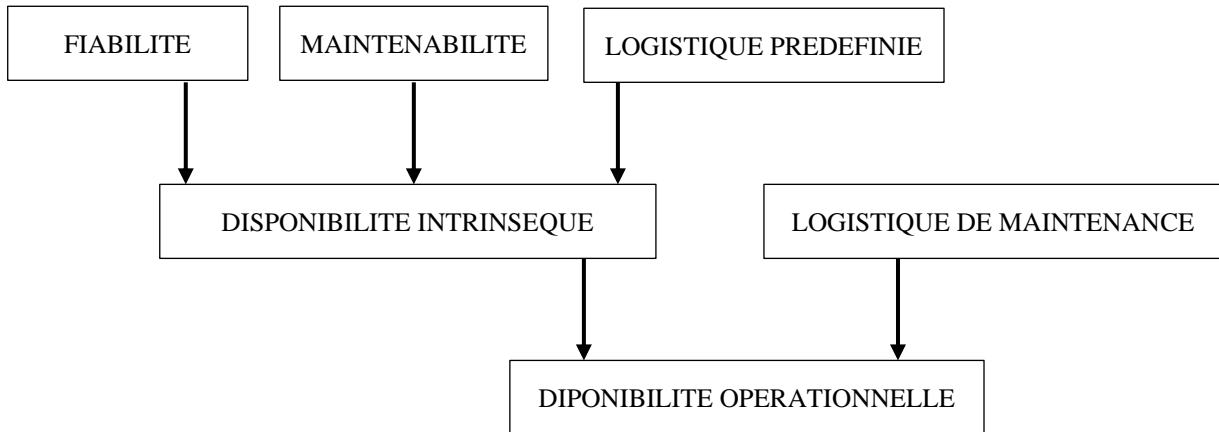


Figure 3.3. Disponibilité intrinsèque et opérationnelle

La disponibilité allie donc les notions de fiabilité et de maintenabilité

Augmenter la disponibilité passe par :

- L'allongement de la MTBF (action sur la fiabilité)
- La réduction de la MTTR (action sur la maintenance)

3.3. Quantification de la disponibilité :

La disponibilité moyenne sur un intervalle de temps donné peut être évaluée par le rapport :

$$\frac{\text{Temps de disponibilité}}{\text{Temps de disponibilité} + \text{temps d'indisponibilité}}$$

En l'exprimant par rapport à des temps moyens, la disponibilité moyenne s'écrit :

$$\frac{\text{Temps moyen de disponibilité}}{\text{Temps moyen de disponibilité} + \text{temps moyen d'indisponibilité}} = \frac{TMD}{TMD + TMI}$$

En anglais : TMD = MUT (Mean Up Time) et TMI = MDT (Mean Down Time).

3.4. Disponibilité intrinsèque D_i :

Elle exprime le point de vue du concepteur. Ce dernier a conçu et fabriqué le produit en lui donnant un certain nombre de caractéristiques intrinsèques, c'est à dire des caractéristiques qui prennent en compte les conditions d'installation, d'utilisation, de maintenance et d'environnement, supposées idéales.

Le calcul de la disponibilité intrinsèque D_i fait appel à 3 paramètres :

- TBF : temps de bon fonctionnement
- TTR : temps techniques de réparation
- TTE : temps techniques d'exploitation

$$D_i = \frac{TBF}{TBF + TTR + TTE}$$

Ex : Un constructeur d'onduleurs précise que la moyenne des TBF est de 50000 heures et que la moyenne des TTR est de 10 heures :

$$D_i = 50000 / (50000 + 10) = 0,998$$

Ex : un fabricant de machines-outils prévoit en accord avec son client la disponibilité intrinsèque d'une machine en prenant compte des conditions idéales d'exploitation et de maintenance :

- Temps d'ouverture mensuel = 400 heures
- 1 changement de fabrication par mois = 6 heures
- Maintenance corrective mensuelle : taux de défaillance = 1 pannes / mois ; TTR estimé = 4 heures
- Maintenance préventive mensuelle = 3 heures

$$TBF = 400 - 6 - 4 - 3 = 387 \text{ heures}$$

$$TTR = 4 + 3 = 7 \text{ heures}$$

$$TTE = 6 \text{ heures}$$

$$D_i = 387 / (387 + 7 + 6) = 0,9675$$

3.5. Disponibilité opérationnelle D_o :

Il s'agit de prendre en compte les conditions réelles d'exploitation et de maintenance. C'est la disponibilité du point de vue de l'utilisateur.

Le calcul de D_o fait appel aux mêmes paramètres TBF, TTR et TTE sauf que ces 3 paramètres ne sont plus basés sur les conditions idéales de fonctionnement mais sur les conditions réelles (historiques d'exploitation).

Ex : sur la machine outil précédente, une étude d'exploitation sur un mois a conduit aux résultats réels suivants :

- Temps d'ouverture mensuel = 400 heures
- Changement de production = 6 heures
- Manque approvisionnement matière = 3 heures

- Maintenance préventive = 3 heures
- Maintenance corrective = 8 heures (3 heures d'attente maintenance + 5 heures d'intervention)

$$TBF = 400 - 6 - 3 - 3 - 8 = 380 \text{ heures}$$

$$TTR = 3 + 8 = 11 \text{ heures}$$

$$TTE = 6 + 3 = 9 \text{ heures}$$

$$Di = 380 / (380 + 9 + 11) = 0,95$$

4. Temps de fiabilité, maintenabilité et disponibilité

La figure ci-dessous schématise les états successifs que peut prendre un système réparable :

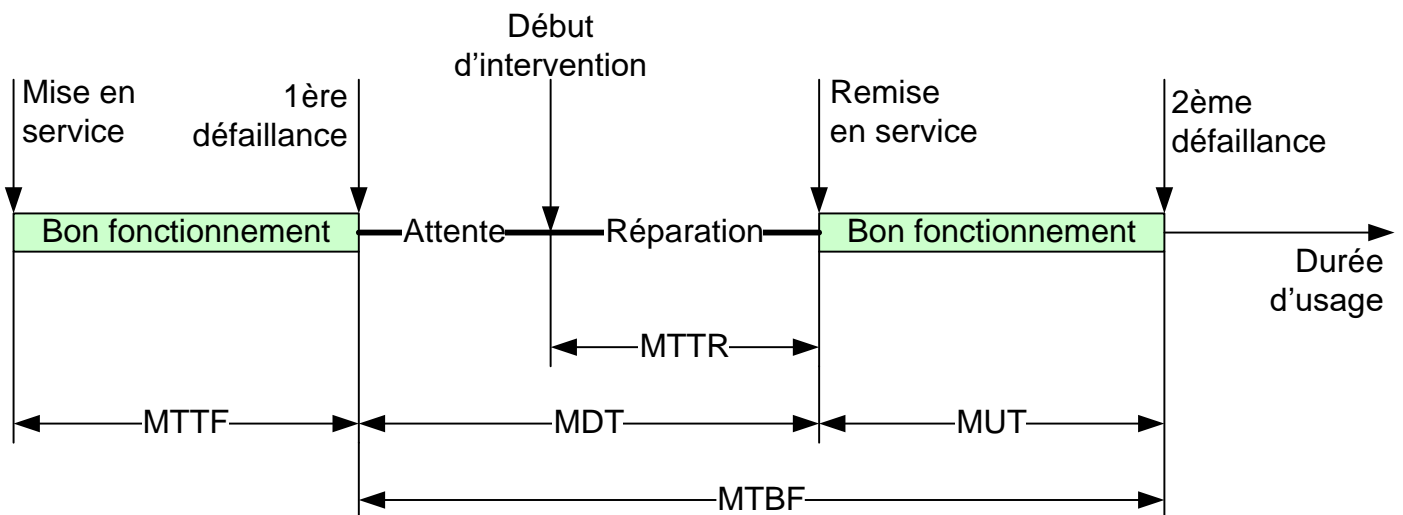


Figure 3.4. Les durées caractéristiques de FMD

En fait, les grandeurs portées par le graphe sont des durées (comme les TBF) auxquelles on associe des moyennes (comme la MTBF) obtenues par exploitations statistiques ou probabilistes des durées constatées et enregistrées. Les sigles utilisés, d'origine anglo-saxonne, correspondent aux notions suivantes :

- **MTTF** (*mean time to [first] failure*) : moyenne des temps avant la 1^{ère} défaillance
- **MTBF** (*mean time between failures*) : moyenne des temps entre 2 défaillances consécutives
- **MDT** (*mean down time*) : appelé encore MTI, c'est le temps moyen d'indisponibilité ou temps moyen d'arrêt propre
- **MUT** (*mean up time*) : temps moyen de disponibilité
- **MTTR** (*mean time to repair*) : temps moyen de réparation

6. AMELIORATION DE LA DISPONIBILITE :

Une entité présente des caractéristiques intrinsèques (d'utilisation, de maintenance, de fiabilité, de maintenabilité). Ex : pour un centre d'usinage, 15s pour un changement d'outil, un graissage par mois pour la maintenance, une panne par mois pour sa fiabilité et un MTTR de 2 heures pour sa maintenabilité.

Toutes ces caractéristiques confèrent à l'entité une certaine disponibilité intrinsèque à partir de laquelle le service production peut prévoir des conditions d'utilisation, et le service maintenance peut établir le planning des interventions.

Dans la réalité de l'exploitation de l'entité certains aléas peuvent se produire :

- Aléas de production : manque pièces, pièces non conformes, casse d'outillage, etc.
- Aléas de maintenance : indisponibilité du personnel de maintenance, manque de pièces de rechange, outillage de diagnostic défectueux, etc.
- Aléas d'environnement : absence de personnel pour cause de grève, manque d'énergie, rupture d'approvisionnement liée à des conditions climatiques exceptionnelles, etc.

Ces différents aléas confèrent à l'entité une disponibilité opérationnelle que le service maintenance doit améliorer au moindre coût.