## **Ministère de l’enseignement supérieur et de la recherche scientifique Université Mohamed Khider de Biskra**



Faculté des sciences et de la Technologie

Département De Génie Electrique

Filière : Automatique

Matière : Maintenance et fiabilité

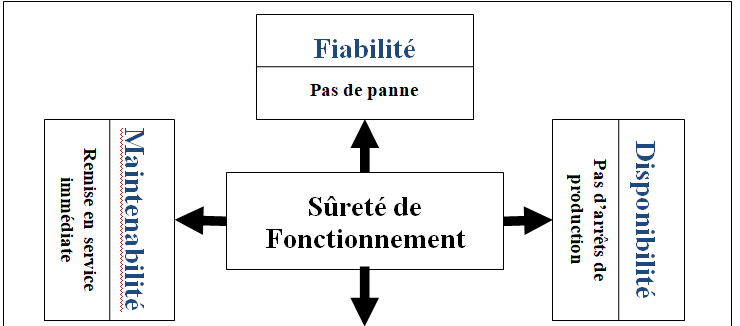
***CHAPITRE 3***

**Application des méthodologies de sûreté de fonctionnement**

3er Année Licence

Automatique

*2022\_2023*

****

## Définition

La sûreté de fonctionnement est souvent appelée la science des défaillances ; elle inclut leur connaissance, leur évaluation, leur prévision, leur mesure et leur maitrise. Il s’agit d’un domaine transverse qui nécessite une connaissance globale du système comme les conditions d’utilisation, les risques extérieurs, les architectures fonctionnelle et matérielle, la structure et fatigue des matériaux. Beaucoup d’avancées sont le fruit du retour d’expérience et des rapports d’analyse d’accidents.

## La fiabilité

##### Définition

La fiabilité caractérise l’aptitude d’un système ou d’un matériel à accomplir une

fonction requise dans des conditions données pendant un intervalle de temps donné.

La fiabilité est la science des défaillances basée sur l’expérience. Elle est indissociable

de la qualité.

Plus une machine est constituée d’un nombre important de composants plus la fiabilité de cette dernière à tendance à diminuer. Lorsque les composants sont trop nombreux ou trop complexes, il arrive fréquemment un moment où la maîtrise de la fiabilité n’est plus possible et l’hypothèse d’une défaillance très probable.

Exemple

Ma voiture me permettra d'accomplir le trajet prévu dans les conditions prévues, compte tenu des conditions de circulation (elle n'aura pas de panne durant le trajet).

##### Indicateurs de fiabilité  et MTBF

 et la MTBF sont les deux principaux indicateurs de la fiabilité utilisés industriellement.

* + - 1. Taux de défaillance 

 représente le **taux de défaillance**

Il caractérise la vitesse de variation de la fiabilité au cours du temps. Pour une période de travail donnée, durée totale en service actif :

𝜆 =

𝑁𝑜𝑚𝑏𝑟𝑒 𝑡𝑜𝑡𝑎𝑙 𝑑𝑒 𝑑é𝑓𝑎𝑖𝑙𝑙𝑎𝑛𝑐𝑒𝑠 𝑝𝑒𝑛𝑑𝑎𝑛𝑡 𝑙𝑒 𝑠𝑒𝑟𝑣𝑖𝑐𝑒

𝐷𝑢𝑟é𝑒 𝑡𝑜𝑡𝑎𝑙 𝑑𝑒 𝑏𝑜𝑛 𝑓𝑜𝑛𝑐𝑡𝑖𝑜𝑛𝑛𝑒𝑚𝑒𝑛𝑡

* + - 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.

T

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| TBF | Défaillance | TBF | Défaillance | TBF |
| emps de bon |  | |  | |

fonctionnement

Temps entre défaillances

**Figure**: Fonctionnement d'un équipement

Physiquement le MTBF peut etre exprimé par le rapport des temps :

𝑀𝑇𝐵𝐹 =

𝑆𝑜𝑚𝑚𝑒 𝑑𝑒𝑠 𝑡𝑒𝑚𝑝𝑠 𝑑𝑒 𝑓𝑜𝑛𝑐𝑡𝑖𝑜𝑛𝑛𝑒𝑚𝑒𝑛𝑡 𝑒𝑛𝑡𝑟𝑒 𝑙𝑒 𝑛 𝑑é𝑓𝑎𝑖𝑙𝑙𝑎𝑛𝑐𝑒𝑠

𝑛𝑜𝑚𝑏𝑟𝑒 𝑑′𝑖𝑛𝑡𝑒𝑟𝑣𝑒𝑛𝑡𝑖𝑜𝑛𝑑𝑒 𝑚𝑎𝑖𝑛𝑡𝑒𝑛𝑎𝑛𝑐𝑒 𝑎𝑣𝑒𝑐 𝑖𝑚𝑚𝑜𝑏𝑖𝑙𝑖𝑠𝑎𝑡𝑖𝑜𝑛

Si λ est constant : 𝑀𝑇𝐵𝐹 = 1

𝜆

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

**Exemple:** Un compresseur industriel a fonctionné pendant 8000 heures en service continu avec 5 pannes dont les durées respectives sont : 7 ; 22 ; 8,5 ; 3,5 et 9 heures. Déterminer son MTBF.

𝐷𝑢𝑟é𝑒 𝑡𝑜𝑡𝑎𝑙 𝑑𝑒 𝑏𝑜𝑛 𝑓𝑜𝑛𝑐𝑡𝑖𝑜𝑛𝑛𝑒𝑚𝑒𝑛𝑡

𝑀𝑇𝐵𝐹 = 𝑁𝑜𝑚𝑏𝑟𝑒 𝑡𝑜𝑡𝑎𝑙 𝑑𝑒 𝑑é𝑓𝑎𝑖𝑙𝑙𝑎𝑛𝑐𝑒𝑠 𝑝𝑒𝑛𝑑𝑎𝑛𝑡 𝑙𝑒 𝑠𝑒𝑟𝑣𝑖𝑐𝑒 =

7950

8000 − (7 + 22 + 8.5 + 3.5 + 9)

5

= 5 = 1590

𝑀𝑇𝐵𝐹 = 1590 heures

* + - 1. 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

λ



Jeunesse

Maturité

Vieillesse

*Temps*

**Figure**: La courbe en baignoire.

## Fiabilité de système constitué de plusieurs composants

##### Système en série

R(s) représente la fiabilité d’un ensemble de "n" composants montés en série.

La fiabilité R(s) d’un ensemble de "n" composants A, B, C , …, n montés ou connectés en série est égale au produit des fiabilités respectives RA, RB, RC, …, Rn de chacun des composants.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| A (𝑅𝐴) |  | B (𝑅𝐵) |  | C (𝑅𝐶) |  | n (𝑅𝑛) |
|  |  |  |

Entrée

**Figure**: Composants en série

Sortie

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

𝑅𝑠 = 𝑅𝐴 × 𝑅𝐵 × 𝑅𝐶 × … … . .× 𝑅𝑛 ⟹ 𝑅𝑠 = 𝑅𝑠 = 𝑒−𝜆𝐴𝑡 × 𝑒−𝜆𝐵𝑡 × 𝑒−𝜆𝐶𝑡 × …..𝑒−𝜆𝑛𝑡

Avec : 𝑀𝑇𝐵𝐹 = 1

𝜆𝐴+𝜆𝐵+𝜆𝐶+⋯+𝜆𝑛

Si en plus, les composants sont identiques : 𝜆𝐴 = 𝜆𝐵 = 𝜆𝐶 = ⋯ = 𝜆𝑛 Alors :

𝑅𝑠

= 𝑒−𝑛𝜆𝑡 et 𝑀𝑇𝐵𝐹 = 1

𝑛𝜆

Exemple

Soit un poste de radio constitué de quatre composants connectés en série, une alimentation RA=0.95, une partie récepteur RB=0.92 ; un amplificateur RC=0.97 et haut parleur RD= 0.89 ; déterminer la fiabilité RS de l’appareil.

RS= RA. RB .RC. RD=0.95x 0.92x0.97x0.89=0.7545 (soit une fiabilité de 75% environ)

Exemple

Une machine de production dont la durée totale de fonctionnement est de 15000heures, se compose de quatre sous-systèmes A, B, C et D montés en série et ayant les MTBF respectifs suivants : MTBFA = 4500 heures MTBFB= 3200 heures MTBFC= 6000 heures MTBFD= 10500 heures. Déterminons les taux de pannes et le MTBF global (MTBFS)

1. Taux de pannes de l’ensemble
2. Quelle est la probabilité que le système parvienne sans pannes jusqu'à 5000 heures

Solution

𝑀𝑇𝐵𝐹𝐴 = 1

𝜆𝐴

𝑀𝑇𝐵𝐹𝐵 = 1

𝜆𝐵

𝑀𝑇𝐵𝐹𝐶 = 1

𝜆𝐶

𝑀𝑇𝐵𝐹𝐷 = 1

⟹ 𝜆𝐴

⟹ 𝜆𝐵

⟹ 𝜆𝐶

⟹ 𝜆

= 1

𝑀𝑇𝐵𝐹𝐴

= 1

𝑀𝑇𝐵𝐹𝐵

= 1

𝑀𝑇𝐵𝐹𝐶

= 1

= 1

4500

= 1

3200

= 1

6000

= 1

= 2.22 × 10−4 défaillance par heure

= 3.12 × 10−4 défaillance par heure

= 1.66 × 10−4 défaillance par heure

= 9.52 × 10−5 défaillance par heure

𝜆𝐷

𝐷 𝑀𝑇𝐵𝐹𝐷

10500

Le taux de défaillance global est :

défaillance par heure

𝜆𝑆 = 𝜆𝐴 + 𝜆𝐵 + 𝜆𝐶 + 𝜆𝐷 = 7.95 × 10−4

La fiabilité (5000 heurs)= 𝑅 (5000 heurs) = 𝑒 −7.95×10−4×5000 = 0.0187 (environ 2 %)

𝑠

##### Système en parallèle

La fiabilité d’un système peut être augmentée en plaçant des composants (identiques ou non) en parallèle. Un dispositif, constitué de "n" composants en parallèle, ne peut tomber en panne que si les "n" composants tombent tous en panne au même moment.

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 :

*S*

*n*

*C*

*B*

*A*

*E*

**Figure 5.4**: Composants en parallèle La fiabilité Rp de l’ensemble est donnée par la relation :

𝑅p = 1 − (1 − 𝑅𝐴) × (1 − 𝑅𝐵) × (1 − 𝑅𝐶) × … .× (1 − 𝑅n)

Exemple

Trois dispositifs A, B et C de même fiabilité RA= RB= RC=0.75 sont connectés en parallèle

1. Déterminons la fiabilité de l’ensemble.
2. Quel nombre de diapositif en parallèle faudrait-il mettre pour avoir une fiabilité globale.
3. Si on souhaite avoir une fiabilité globale de 99% avec trois dispositifs seulement en parallèle, quelle devrait être la fiabilité R de chacun de ces dispositifs.

Solution

Déterminons la fiabilité de l’ensemble

RC

RB

RA

𝑅p = 1 − (1 − 𝑅𝐴) × (1 − 𝑅𝐵) × (1 − 𝑅𝐶) ⟹ 𝑅p = 1 − (1 − 0.75)3 = 0.984 = 98.4%

1. Nombre de diapositif en parallèle faudrait-il mettre pour avoir une fiabilité globale de 0,999 (99,9%)

𝑅p = 1 − (1 − 0.75)n = 0.999 ⟹ (0.25)n = 0.001

⟹ 𝑙𝑛(0.25)n = 𝑙𝑛(0.001)

𝑙𝑛(0.001)

⟹ n =

⟹

n = 4.983

𝑙𝑛(0.25)

Ce qui implique d’avoir au moins cinq dispositifs en parallèle

1. la fiabilité R de chacun de ces dispositifs

1 − (1 − 𝑅)3 = 0.99 ⟹ (1 − 𝑅)3 = 0.01

⟹ (1 − 𝑅) = 3√0.01

⟹ 𝑅 = 1 − 3√0.01

⟹ 𝑅 = 1 − 0.2154=0.7846

𝑅 = 78.46%

##### Combinaison de composants en série et en parallèle

C’est la combinaison des deux sous-paragraphes précédents

**Exercice**

Un processus est représenté par le processus suivant :

M1 0,85

M2 0,99

M3 0,99

M4 0,99

M5 0,99

T1 0,8

T2 0,99

T3 0,99

1. Calculer la fiabilité de ce système.

La fiabilité du système entier est le produit de toutes les fiabilités élémentaires : Rs = 0,64

Pour améliorer cette fiabilité, on peut appliquer des redondances sur les systèmes les moins fiables : M1 et T1.

Une des solutions peut consister à utiliser 3 T1 et 2 M1.

T1

T2 0,99

T1

T1

T3 0,99

M5 0,99

M4 0,99

M1

M2 0,99

M1

M3 0,99

1. Calculer la nouvelle fiabilité de ce système, Conclure.

Solution

Rs= 0.85× (0.99)6×0.8=0.64

R Améliorer = 0.9775× (0.99)6×0.992=0.9129

Exercice

En considère un système S composé de 2 composants identiques redondants. Supposons que les composants ne sont pas réparables et que 𝜆 = 10−3.

B

A

Système S

* Déterminer la fiabilité du système par :
  1. Le diagramme de fiabilité
  2. L’arbre de cause
* Quelle est la fiabilité du système au bout de 100 heurs ?

Solution

1. La fiabilité du système par le diagramme de fiabilité

Le système et en parallèle⟹ (𝑡) = 1 − (1 − 𝑒−𝜆𝑡) × (1 − 𝑒−𝜆𝑡)

2

( ) ( −𝜆𝑡

⟹ 𝑅 𝑡 = 1 − 1 − 𝑒 )

⟹ (𝑡) = 1 − (1 − 2𝑒−𝜆𝑡 + 𝑒−2𝜆𝑡)

(𝑡) = 2𝑒−𝜆𝑡 − 𝑒−2𝜆𝑡

1. La fiabilité du système par l’arbre de cause

B

A

F

𝑅(𝑡) = 𝑃(𝐹) = 𝑃(𝐴 + 𝐵) = 𝑃(𝐴) + 𝑃(𝐵) − 𝑃(𝐴) × 𝑃(𝐵)

𝑅(𝑡) = 𝑒−𝜆𝑡 + 𝑒−𝜆𝑡 − 𝑒−𝜆𝑡 × 𝑒−𝜆𝑡

(𝑡) = 2𝑒−𝜆𝑡 − 𝑒−2𝜆𝑡

La fiabilité du système au bout de 100 heurs est : (𝑡) = 2𝑒−10−3×100 − 𝑒−2×10−3×100

𝑅(100 ) = 2𝑒−0.1 − 𝑒−0.2 = 0.99

𝑅(100 ) = 99%

## La maintenabilité

##### Définition

Pour une entité donnée, utilisée dans des conditions données d'utilisation, la maintenabilité est la probabilité pour qu'une opération donnée de maintenance active puisse être effectuée pendant un intervalle de temps donné, lorsque la maintenance est assurée dans des conditions données et avec l'utilisation de procédures et de moyens prescrits.

Par la maintenabilité, on recherche l’optimisation du temps d’intervention afin d’augmenter le temps de production en diminuant les délais dûs au :

* Temps pour l’attente de pièce de remplacement ;
* Temps pour compléter les documents ;
* Temps de préparation de l’action.

Son indice est le MTTR et se calcule de manière suivante :

𝑀𝑇𝑇𝑅 =

Temps total d’arrêts Nombre d’arrêts

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

##### [Taux de réparation μ](http://jackadit.com/index.php?page=indus3&tdmchap2b)

Il est égal à l’unité de temps sur la MTTR :

Exemple 5.8

1

µ = MTTR

La figure ci-dessous illustre le fonctionnement d’un équipement sur 24 heures

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 1h |  | ½ |  | 1h |  |
| h |

Bon fonctionnement

Panne (d’arrêt)

1- Calculer la MTTR et le taux de réparation

2- **Solution :**

𝑀𝑇𝑇𝑅 = 2.5 = 0.83h, µ=1.2h-1

3

Le taux de réparation indique l’aptitude d’un bien à être dépanné et/ou réparé. Dans le cas ou il

est constant la fonction de maintenabilité est :

(𝑡) = 1 − 𝑒−µ𝑡

## La disponibilité

##### 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.

**Exemple:** Ma voiture est "prête" lorsque je veux l'utiliser (elle n'est pas chez le garagiste, elle est en état de marche).

Si les durées de vie et les durées de réparation suivent une distribution exponentielle avec, respectivement, un taux de panne λ et un taux de réparation µ, tous constants, la disponibilité instantanée est donnée par l'expression :

µ

𝐴(𝑡) =

λ + µ

λ

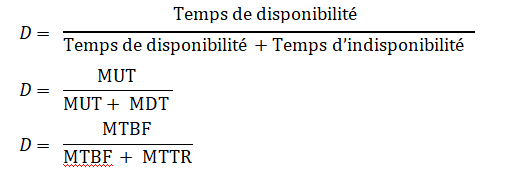
+

λ + µ

𝑒−(λ+µ)𝑡

##### Indicateurs de disponibilité

La disponibilité (D) sur un intervalle de temps donné put être évaluée par le rapport :

D’où : 

**MUT** : Mean Up Time (Temps Moyen de Disponibilité)

**MDT**: Mean Down Time (Temps Moyen d’indisponibilité)

Exemple

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

* 1 changement de fabrication par mois, temps moyen du changement : 6 heures.
* maintenance corrective :
  + taux de défaillance : 1 panne/mois
  + temps moyen de réparation : 4 heures
* 3 heures de maintenance préventive par mois.
  + - * Calcul la disponibilité intrinsèque (les temps sont exprimés en heures) : temps

d’ouverture : 1 mois = 400 heures

Temps d´ouverture : 1 mois = 400h

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Tps fct | réparation | Tps fct | Chgt fab | Tps fct | préventif | Tps fct |

160 4 127 6 50 3 50

Solution

𝐷 =

Temps de disponibilité

Temps de disponibilité + Temps d’indisponibilité

160 + 127 + 50 + 50 387

𝐷 =

400 = 400 = 0.967(97%)