

1. Chapitre V : Fiabilité de la maintenance (3 semaines)

- ✚ Maintenance-fiabilité
- ✚ Paramètres indicateurs de la fiabilité
- ✚ Calcul de la fiabilité
- ✚ Analyse des modes de défaillance et leurs causes AMDEC

1. 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.

Elle a pour fondements mathématiques la statistique et le calcul des probabilités qui sont nécessaires à la compréhension et à l'analyse des données de fiabilité.

La défaillance (la non fiabilité) augmente les coûts d'après-vente.

2. Fonction fiabilité $R(t)$ et fonction défaillance

Considérons un matériel dont on étudie la fiabilité. Soit Z la variable aléatoire qui à chaque matériel associe son temps de bon fonctionnement. On choisit un de ces matériels au hasard. Soit l'évènement A : « Le matériel est en état de bon fonctionnement à l'instant t »

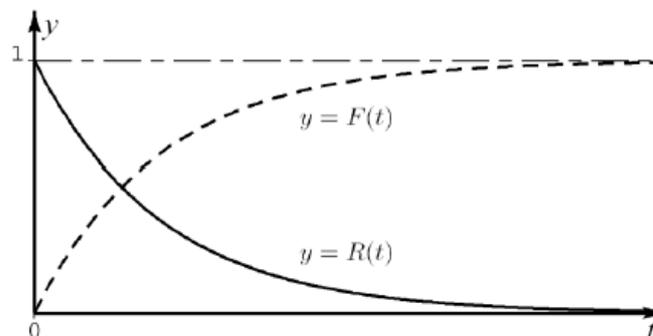
L'évènement B : « Le matériel est défaillant à l'instant $t + \Delta t$ »

Le nombre $F(t)$ représente la probabilité qu'un dispositif choisi au hasard ait une défaillance avant l'instant t .

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 montre les deux fonctions associées.



3. Fiabilité - Maintenabilité – Disponibilité

3.1. Définitions

- **MTTF** : Mean Time To Failure.

Durée moyenne de fonctionnement d'une entité avant la première défaillance MTTF

- **MTTR - Mean Time To Repair**

Durée moyenne de réparation

$$\text{MTTR} = \frac{\sum \text{Temps d'arrêt}}{\text{nombre d'arrêt}}$$

- **MUT - Mean Up Time**

Durée moyenne de fonctionnement après réparation.

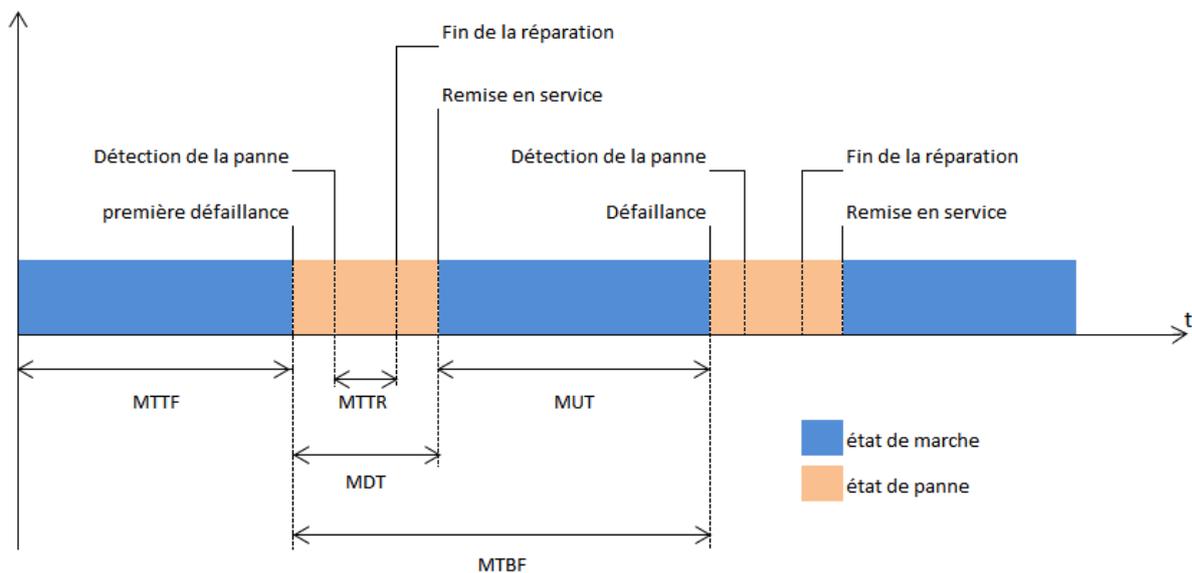
- **MDT - Mean Down Time**

Durée moyenne d'indisponibilité (temps de détection de la panne + temps de réparation + temps de remise en service).

- **MTBF - Mean Time Between Failure**

Durée moyenne des temps de bon fonctionnement entre deux défaillances consécutives

$$\text{MTBF} = \frac{\sum \text{Temps de bon fonctionnement}}{\text{nombre de défaillance ou nombre de période de bon fonctionnement}}$$



3.2. Fiabilité

La fiabilité est la probabilité qu'un produit fonctionne correctement sans panne dans des conditions d'utilisation données pendant une durée spécifique. $R(t)$

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(x).dx}$$

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

3.2.1. Défaillance

A l'inverse de la fiabilité, la défaillance est la probabilité que l'entité ait connu une défaillance pendant une durée donnée.

Elle est notée $F(t)$.

$$F(t) = 1 - e^{-\int_0^t \lambda(x).dx}$$

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda.t}$$

- **Calcul de MTBF**

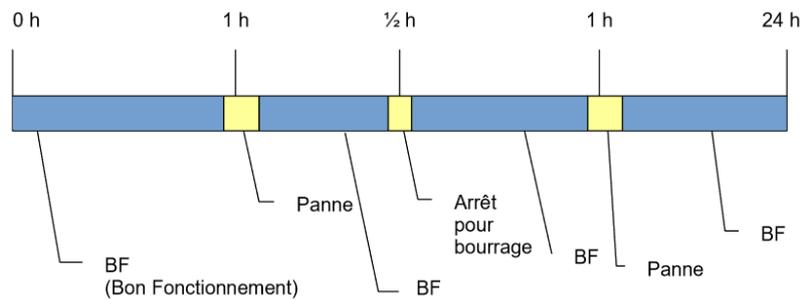
si le MTBF est calculé suite à un TBF

$$\text{MTBF} = \text{Temps total d'opération} / \text{Nombre d'arrêts} + 1$$

si le MTBF est calculé suite à un TA

$$\text{MTBF} = \text{Temps total d'opération} / \text{Nombre d'arrêts}.$$

Exemple1



$$\text{MTBF} = 21,50 / 4 = 5,375 \text{ heures.}$$

Exercice 1

A chaque panne on associe le nombre de jours de bon fonctionnement ayant précédé cette panne.

Pannes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TBF	55	26	13	80	14	21	124	35	18	26

Solution

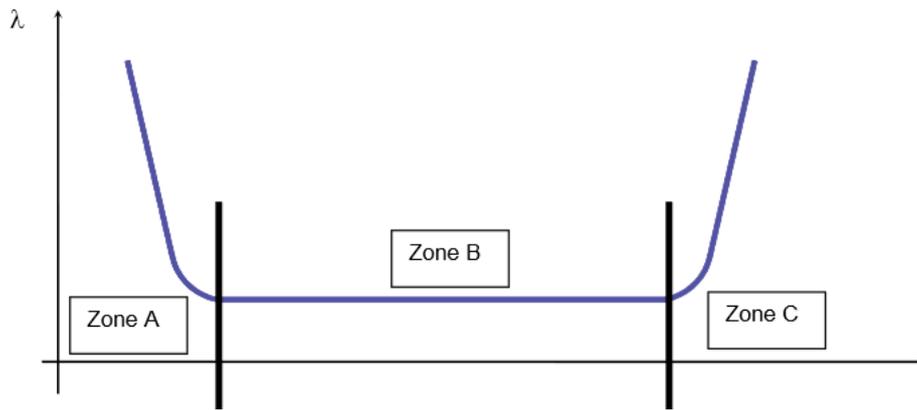
$$\text{MTBF} = (55+26+13+80+14+21+124+35+18+26)/10 = 41 \text{ jours}$$

3.2.2. Taux de défaillance λ

Le taux de défaillance instantané est le taux de défaillance d'un système ayant fonctionné pendant une durée t. Appelé également taux de panne

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

Pour l'exemple précédent : $\lambda = 1 / 5,37 = 0,19 \text{ panne / heure}$



- Zone A => époque de jeunesse
- Zone B => époque de maturité, fonctionnement normal, défaillance aléatoire indépendante du temps
- Zone C => époque d'obsolescence, défaillances d'usure ou pannes de vieillesse

La probabilité (P) que le produit fonctionnera pendant un temps T avant de tomber en panne est égale à :

$$P(T) = e^{(-T/MTBF)}$$

Exercice 2

Exemple 1 : Centrale avec un
MTBF = 174805 heures.

La probabilité que la centrale fonctionne 5 ans avant de tomber en panne est de P = %
(la fiabilité de cette machine).

Solution

$$P(5ans) = e^{-(5/19.65)} = 0.79$$

Exercice 3

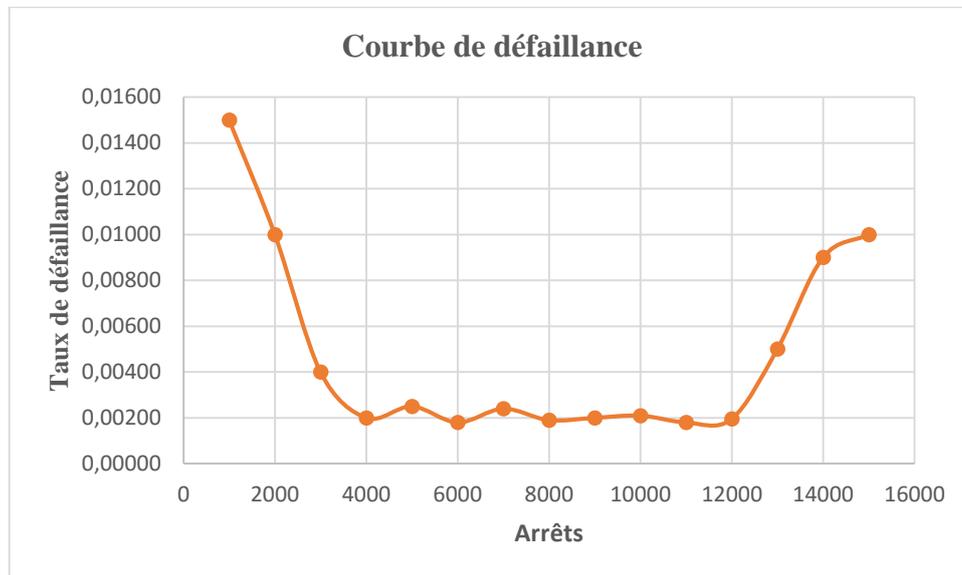
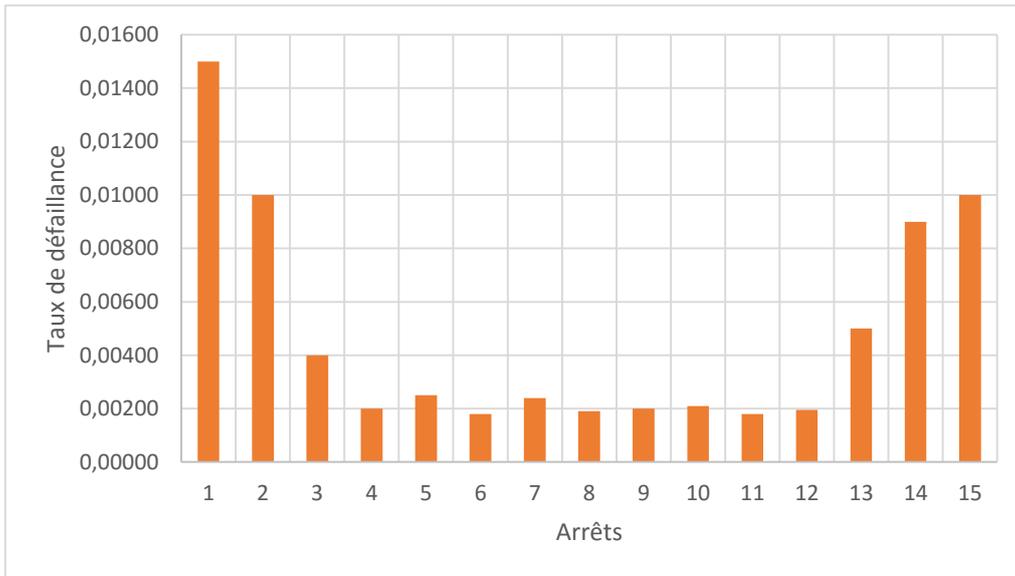
On étudie une machine suite à son déclassement après 16500 heures. Pendant cette période, la machine a cumulé 218 arrêts.

Heures	MTBF
1000	66,7
2000	100
3000	250
4000	500
5000	400
6000	555,6
7000	416,6
8000	526,32
9000	500
10000	476,2
11000	555,6
12000	512
13000	200
14000	111,1
15000	100

- Quelle est l'évolution de la fiabilité de la génératrice et sa phase d'usure en fonction des intervalles d'arrêts.

Solution

Heures	MTBF	λ
1000	66,7	0,01499
2000	100	0,01000
3000	250	0,00400
4000	500	0,00200
5000	400	0,00250
6000	555,6	0,00180
7000	416,6	0,00240
8000	526,32	0,00190
9000	500	0,00200
10000	476,2	0,00210
11000	555,6	0,00180
12000	512	0,00195
13000	200	0,00500
14000	111,1	0,00900
15000	100	0,01000



On constate que la génératrice commence à se dégrader à partir de 12000 heures de fonctionnement. Le comportement en baignoire du taux de défaillance est signe d'un fonctionnement plus au moins normal.

3.2.3. Fiabilité globale R_s

$$R_s = e^{-\lambda_s.t}$$

λ_s : taux de défaillance globale.

a- Fiabilité de système constitué de plusieurs composants

En série

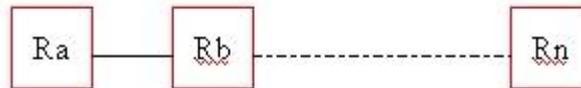
La fiabilité R_s d'un ensemble de n constituants connectés en série est égale au produit des fiabilités respectives R_A, R_B, R_C, R_n de chaque composant.

$$R_s = e^{-\lambda_s \cdot t}$$

$$\lambda_s = \lambda_A + \lambda_B + \lambda_C$$

$$R_s = R_A \cdot R_B \cdot R_C$$

$$R_s = e^{-\lambda_A \cdot t} \cdot e^{-\lambda_B \cdot t} \cdot e^{-\lambda_C \cdot t}$$



Exercice 4

Soit une installation de quatre machines en série.

Le relevé de pannes sur une période de référence 15000 heures.

	Pannes en heures							
Machine 1	3	2.5	5	1				
Machine 2	4	4	2	3	1.5	1.5		
Machine 3	0.5	0.5	2	1.5	4	6	8.5	8
Machine 4	3	1.5	2					

- Calculer les MTBF pour les quatre éléments.
- Calculer le taux de défaillance pour chaque élément.
- Calculer la fiabilité R pour 1 heure de fonctionnement.
- Calculer la fiabilité R pour une semaine de fonctionnement.
- Calculer la fiabilité R pour 4 semaines de fonctionnement.

Solution

1- Calculer le MTBF de chaque élément :

$$\text{MTBF machine 1} = (15000 - (3 + 2,5 + 5 + 1)) / 4 = \mathbf{3747}$$

$$\text{MTBF machine 2} = (15000 - (4 + 4 + 2 + 3 + 1,5 + 0,5)) / 6 = \mathbf{2497}$$

$$\text{MTBF machine 3} = (15000 - (0,5 + 0,5 + 2 + 1,5 + 4 + 6 + 8,5 + 8)) / 8 = \mathbf{1871}$$

$$\text{MTBF machine 4} = (15000 - (3 + 1,5 + 2)) / 3 = \mathbf{4998}$$

2- Calculer le Taux de défaillance λ de chaque élément

$$\lambda \text{ machine 1} : \lambda_1 = 1/3747 = 0.000267.$$

$$\lambda \text{ machine 2} : \lambda_2 = 1/2497 = 0.0004.$$

$$\lambda \text{ machine 3} : \lambda_3 = 1/1871 = 0.000534.$$

$$\lambda \text{ machine 4} : \lambda_4 = 1/4998 = 0.0002.$$

$$\lambda_s = 0.000267 + 0.0004 + 0.000534 + 0.0002 = 0.0014$$

3- Déterminer la fiabilité R de la station - par heure de fonctionnement

$$R_s = e^{-\lambda \cdot t}$$

$$R_s = e^{-0.0014 \cdot 1} = 0.9985 = 99.85\%$$

4- Déterminer la fiabilité R de la station pour une semaine

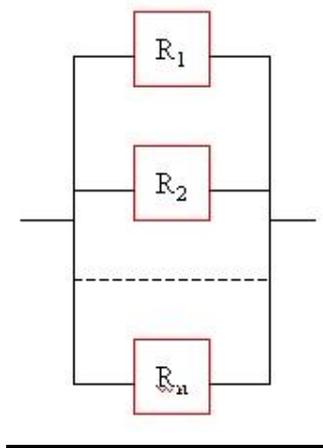
Une semaine = 7*24=168.

$$R_s = e^{-0.0014 \cdot 168} = 79.03\%$$

5- Déterminer la fiabilité R de la station pour 04 semaines

$$R_s = e^{-0.0014 \cdot 168 \cdot 4} = 39\%$$

En parallèle



La probabilité de panne pour chaque composant i est alors notée:

$$\text{Défaillance } F_i = 1 - R_i \quad \text{avec } R_i \text{ la fiabilité associée}$$

La probabilité de panne de l'ensemble: $F_s = (F_1) \times (F_2) \times \dots \times (F_n) = (1-R_1) \times (1-R_2) \times \dots \times (1-R_n)$

La fiabilité R_s de l'ensemble : $R_s = 1 - [(1-R_1) \cdot (1-R_2) \cdot \dots \cdot (1-R_n)]$

Exercice 5

Soient deux machines M1 et M2 montées en parallèle, avec un relevé de panne effectué sur une durée de 1000 heures.

	Durée de pannes en heures				
Machine 1	2	3	5	1	1
Machine 2	1	8	5		

- Calculer les MTBF des deux machines.
- Déterminer la fiabilité des deux machines pour une durée de 24 heures.
- Déterminer la fiabilité de l'installation pour une durée de 24 heures.

Solution

Machine M1

$$MTBF1 = 1000 - (2+3+5+1+1)/5 = 197.6 \text{ heures.}$$

$$\lambda_1 = 1/MTBF = 1/197.6 = 0.0050601$$

$$R1 = e^{-0.0050601 \cdot 24} = 88.56\%$$

Machine M2

$$MTBF2 = 1000 - (1+8+5)/3 = 328.7 \text{ heures.}$$

$$\lambda_2 = 1/MTBF = 1/328.7 = 0.003043$$

$$R2 = e^{-0.003043 \cdot 24} = 92.96\%$$

Fiabilité globale R_s

$$R_s = 1 - [(1-R1) \cdot (1-R2)]$$

$$R_s = 1 - [(1-0.9296) \cdot (1-0.8856)] = 99\%.$$

Exercice 4

Exercice 1 : un dispositif se compose de cinq composants montés en série dont les MTBF respectifs sont de 9540, 15220, 85000, 11200 et 2600 heures. Calculer la probabilité de survie de l'ensemble pour une durée de 1000 heures.

3.3. Maintenabilité

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.

La maintenabilité concerne l'action de maintenance comme telle. Par la maintenabilité, on recherche l'optimisation du temps d'intervention afin d'augmenter le temps de production en diminuant les délais.

- **MTTR**

L'indice de maintenabilité est le MTTR et se calcule de manière suivante :

$$MTTR = \frac{\sum \text{Temps d'arrêt}}{\text{nombre d'arrêts}}$$

- **Le taux de réparation μ**

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

2. Référence bibliographique

[1] : Christian Hohmann .Techniques de productivité: Comment gagner des points de performance. Pour les managers et les encadrants. Broché – 2 avril 2009.
<http://christian.hohmann.free.fr/index.php/portail-maintenance-productive/les-basiques-de-la-maintenance-productive/503-adapter-les-types-de-maintenance>

[2] : A. BELHOMME : Cours de STRATEGIE DE MAINTENANCE, BTS Maintenance Industrielle. <http://btsmiforges.free.fr/>.

[3] B.S. Dhillon, Ph.D. « Engineering Maintainability: How to Design for Reliability and Easy Maintenance » 257 pages Publisher: Elsevier Science & Technology Books I SBN: 088415257X
Pub. Date: Jeune 1999

[4] Jan Claude Ligeron « cours de Fiabilité en Mécanique » M20S/IMdR2009 779 page

[5] Pierre DAVID « Management des Risques Industriels Déploiement de la Sûreté de Fonctionnement: Notions, Méthodes, Cycle de Vie » 209 pages, année 2010-2011

[5]. Procaccia H., Aufort P., Arsenis S., *The European Industry Reliability Data Bank (EIReDA), Third Edition*, 1998.

[6] Exida L.L.C., *Electrical & Mechanical Component Reliability Handbook*, 2005.

[7] . ISET Nabeul : *Introduction à la maintenance*.2013.