L'Institut des Sciences et Techniques Appliquées « ISTA » de l'université des Frères Mentouri Constantine 1

Département de Génie Industriel et Maintenance

FIABILITÉ

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION À LA FIABILITÉ

Cours et TD

Présenté par l'enseignant : Debbah Younes

Séances du Jeudi 03 Décembre 2020 –

(10h :00 à 11 :00h) et de (11h :00 à 12h :00)

(13h :00 à 14 :00h) et de (14h :00 à 15h :00)

1. INTRODUCTION À LA FIABILITÉ

1.1 GÉNÉRALITÉS

1.1.1 Définition de la fiabilité

La définition adoptée par la plupart des spécialistes s'énonce en ces termes : « la fiabilité est la caractéristique d'un dispositif exprimée par la probabilité que ce dispositif accomplisse une fonction requise dans des conditions d'utilisation prévues et pour une période de temps déterminée ». Aussi, la notion de fiabilité correspond à la confiance de l'usager dans l'appareil qu'il utilise ou qui lui est proposé.

1.1.2 Conséquence d'une mauvaise fiabilité

D'une manière générale une fiabilité insuffisante peut avoir des conséquences :

- sur les coûts :
  - le coût de la pièce hors d'usage,
  - le coût des dégradations secondaires : un exemple limite peut être le coût occasionné par la destruction d'une fusée par une simple panne d'un transistor ou par la défaillance d'un joint d'étanchéité (comme c'était le cas en 1987 de la navette spatiale américaine Challenger).
  - Les frais occasionnés par la nécessité d'avoir un stock de pièces détachées important : coût de stockage, coût des dégradations des pièces en stock.
- sur la sécurité du personnel et des utilisateurs.

1.1.3 Quelques termes utilisés en fiabilité

- **Fiabilité estimée :** c'est la fiabilité d'un produit déterminé au cours d'une séquence d'essai précise.

L'Institut des Sciences et Techniques Appliquées « ISTA » de l'université des Frères Mentouri Constantine 1

Département de Génie Industriel et Maintenance

FIABILITÉ

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION À LA FIABILITÉ

Cours et TD

- **Fiabilité prédite :** c'est la fiabilité déterminée { partir d'un modèle mathématique reposant lui-même sur des données réelles ou estimées.
- **Fiabilité opérationnelle :** c'est la fiabilité d'un produit en période d'utilisation normale.
- **Fiabilité intrinsèque :** elle est fonction de la fiabilité des éléments, du projet ou de la conception, et enfin de la réalisation technique du système.
- **Probabilité de survie :** c'est la probabilité de ne pas avoir de défaillance jusqu'{ un temps fixé.
- **Défaillance soudaine :** défaillance d'un équipement qui n'était pas prévisible par examen de l'équipement.
- **Défaillance progressive :** défaillance d'un équipement qui était prévisible.
- **Défaillance partielle :** c'est une défaillance d'une ou plusieurs parties d'un système n'entraînant pas l'arrêt du système.

1ère

- **Défaillance complète :** défaillance d'une ou plusieurs parties d'un système entraînant l'arrêt du système.
- **Défaillance catalectique :** c'est une défaillance soudaine et complète.
- **Défaillance par dégradation :** c'est une défaillance progressive et partielle.
- **Sûreté :** un système est sûr s'il est apte { satisfaire une mission donnée dans un contexte donné.
- **Sécurité :** un système est en sécurité s'il est dans un état dans lequel il ne peut pas porter atteindre { l'homme, aux biens ou { l'environnement.
- **Composant :** il est composé d'un élément géométrique (composant physique) et de son comportement mécanique ou autre.
- **Système :** c'est un ensemble d'éléments reliés entre eux d'une manière bien déterminée. Il a pour objectif d'assurer une fonction très précise.
- **MTBF :** moyenne des temps de bon fonctionnement, c'est encore l'espérance de vie ou l'espérance de la durée de vie.
- **Défaillance**, avarie, panne et défaut sont des termes synonymes.

1.2 MODÈLE MATHÉMATIQUE POUR LA FIABILITÉ

1.2.1 Variable aléatoire

On appelle variable aléatoire T une variable telle que {chaque valeur t de T on puisse associer une probabilité. La correspondance entre une variable aléatoire et la probabilité qui lui est associée établit une loi de probabilité.

On distingue deux types de variables aléatoires : continues et discrètes.

- Exemple de variable aléatoire continue : intervalle de temps entre défaillances consécutives.
- Exemple de variable aléatoire discrète : nombre de défaillances d'un matériel sur une période donnée ou pour une quantité fabriquée

1.2.2 Fiabilité $\boldsymbol{R(t)}$

La durée de vie d'un système est une variable aléatoire notée T. La fiabilité du système (ou probabilité de bon fonctionnement) au temps t est donnée par :

$$R(t) = Prob(T > t) \qquad (1.1)$$

Où T est l'instant d'apparition de la première défaillance et ,$0, t$- est la durée de fonctionnement de l'équipement.

1.2.3 Probabilité de défaillances (défiabilité) $\boldsymbol{F(t)}$

C'est la probabilité de défaillance dans l'intervalle de temps ,$0, t]$.

Elle est définie par la relation :

$$F(t) = 1 - R(t) = Prob(T \leq t) \qquad (1.2)$$

Qu'on peut aussi écrire sous la forme suivante :

$$\mathrm{F}(t) + R(t) = 1 \qquad (1.3)$$

1ère

1.2.4 Densité de probabilité de défaillance $\boldsymbol{f(t)}$

La densité de probabilité de défaillance $f(t)$ est la probabilité de voir le système cesser de fonctionner entre t et $t + dt$. Elle est définie par :

$$f(t) = \lim_{dt\to\infty} \frac{Prob(t<T<t+dt)}{dt} \qquad (1.4a)$$

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{-dR(t)}{dt} \qquad (1.4b)$$

1.2.5 Taux de défaillance instantané $\lambda(t)$

Il représente la probabilité de défaillance d'un système entre deux instants t et $t + dt$, sachant que le système considéré est en fonctionnement { l'instant t. Il s'agit donc d'une densité de probabilité conditionnelle de défaillance.

Les éléments d'un système ne sont pas en général spécifiée par leur fiabilité, mais par leur taux de défaillance instantané ou risque de panne, qui est la probabilité ramenée { l'unité de temps, pour que l'élément tombe en panne entre les instants t et $t + dt$, sachant qu'il a fonctionné jusqu'{ l'instant t. Autrement dit, comme le système est composé d'éléments, son taux de défaillance sera la probabilité de tomber en panne au cours de l'unité de temps qui suit la durée de bon fonctionnement. Ceci est défini en procédant comme suit :

Soient : N_0 le nombre de dispositifs (systèmes) fonctionnant { l'instant $t_0 = 0$, $N(t)$ le nombre de dispositifs fonctionnant { l'instant t, $N(t + \Delta t)$ le nombre de dispositifs fonctionnant { l'instant $t + \Delta t$.

$\frac{N(t)}{N_0}$: est un estimateur de la fiabilité.

$$N(t) - N(t + \Delta t) = \Delta N > 0 \qquad (1.5a)$$

Le signe moins ; car $N(t)$ décroit. À l'instant $t + \Delta t$ il reste :

$$N(t + \Delta t) - N(t) = -\Delta N \qquad (1.5b)$$

Si Δt tend vers 0, l'estimateur tend vers une limite qui est le taux de défaillance instantanée. En effet, en divisant la relation (1.5b) par $N(t).dt$, on obtient :

$$\frac{dN}{N(t)dt} = -\frac{\Delta N}{N(t)dt} \qquad (1.5c)$$

Le terme $\frac{\Delta N}{N(t)dt}$ n'est autre que le taux de défaillance instantané. On obtient donc :

$$\lambda(t)dt = -\frac{dN}{N(t)} \qquad (1.5d)$$

$\lambda(t)dt$ est une probabilité conditionnelle de défaillances sur ,t, $t + \Delta t$-, car elle ne s'applique qu'aux survivants { l'instant t.

On applique le théorème des probabilités conditionnelles :

$Prob$ (d'avoir une panne entre t et dt) = $Prob$ (de survivre à t).$\lambda(t).dt$

$$f(t).dt = R(t).\lambda(t).dt \rightarrow \lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \qquad (1.6a)$$

Ou encore : $\lambda(t) = \frac{-dR(t)}{R(t)dt}$ (1.6b)

L'analyse des valeurs numériques du taux de défaillance des différents éléments donnera à la maintenance une idée sur les éléments qui sont susceptibles de tomber en panne en premier, ce qui leur fera gagner du temps pour la recherche de pannes. L'évolution de $\lambda(t)$ en fonction du temps conduit à la courbe en baignoire (fig. 1.1).

1.2.6 Expression générale de la fiabilité

On intègre l'expression $\lambda(t)dt = -\frac{dN}{N(t)}$(éq. 1.5d) entre 0 et t :

$$-\int_0^t \lambda(t)dt = lnN(t) + k_1 \quad (1.7a)$$

$$N(t) = k_2 . e^{-\int_0^t \lambda(t)dt} \quad (1.7b)$$

Pour $t = 0$, $N(t) = N_0$ d'où $k_2 = N_0 \rightarrow N(t) = N_0 . e^{-\int_0^t \lambda(t)dt}$ (1.7c)

$$\frac{N(t)}{N_0} = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt} \quad (1.7d)$$

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt} \quad (1.7e)$$

C'est la relation fondamentale de la fiabilité que nous retrouverons adaptée aux lois exponentielle de paramètre λ et de Weibull avec trois paramètres (γ, β, η).

En combinant les relations (1.4), (1.6b) et (1.7e) on obtient l'expression :

$$f(t)dt = \lambda(t)R(t) = \lambda(t)e^{-\left(\int_0^t \lambda(t)dt\right)} \quad (1.8a)$$

Le terme entre parenthèses est défini comme étant le taux de défaillance cumulé :

$$(t) = \int_0^t \lambda(t)dt \quad (1.8b)$$

On aura donc : $R(t) = e^{-\ (t)}$ (1.9)

1.2.7 MTBF

La MTBF (Mean Time Between Failure) est défini comme étant le temps moyen entre deux défaillances. C'est l'espérance mathématique de la variable aléatoire T, qui a pour expression :

$$MTBF = E(T) = \int_0^{+\infty} t\, f(t)dt \quad (1.10a)$$

Sachant que : $\int_0^{+\infty} f(t)dt = 1$ (1.10b)

On rappelle que l'espérance de T est la moyenne pondérée des valeurs que T peut prendre, donc :

- Dans le cas d'une variable discrète : $MTBF = \sum_{i=1}^{n} x_i \ P(x_i)$ (1.11)
- Dans le cas d'une variable continue : $MTBF = \int_0^{+\infty} R(t)dt$ (1.12)

Si le taux de défaillance instantané est constant et égal à λ_0 alors :

$$MTBF = \frac{1}{\lambda_0} \tag{1.13}$$

1ère

 Exemple

La densité de probabilité de défaillance d'un composant suit une loi exponentielle : $\lambda_0 e^{-\lambda_0 t}$; $\lambda_0 \geq 0$, $t \geq 0$.

1- Calculer la probabilité de survie au temps t.

2- Calculer la valeur de la fiabilité au temps *t* égale à la $MTBF$ du composant.

 Réponse

1- $f(t)dt = -dR(t)$; $R(t) = P(t < T) = P(T > t)$

$\int_t^{+\infty} -dR(\tau)d\tau = \int_t^{+\infty} \lambda_0 e^{-\lambda_0 \tau} d\tau$,

$-R(\tau)]_t^{+\infty} = \left[-e^{-\lambda_0 \tau}\right]_t^{+\infty} = e^{-\lambda_0 t}$. Donc : $R(t) = e^{-\lambda_0 t}$

2- $E(t) = \int_0^{+\infty} R(t)dt = \int_0^{+\infty} e^{-\lambda_0 t}dt = \left[-\frac{1}{\lambda_0} e^{-\lambda_0 t}\right]_0^{+\infty} = \frac{1}{\lambda_0}$

$$R[E(t)] = R\left(\frac{1}{\lambda_0}\right) = e^{-\frac{\lambda_0}{\lambda_0}} = e^{-1} = 0,37$$

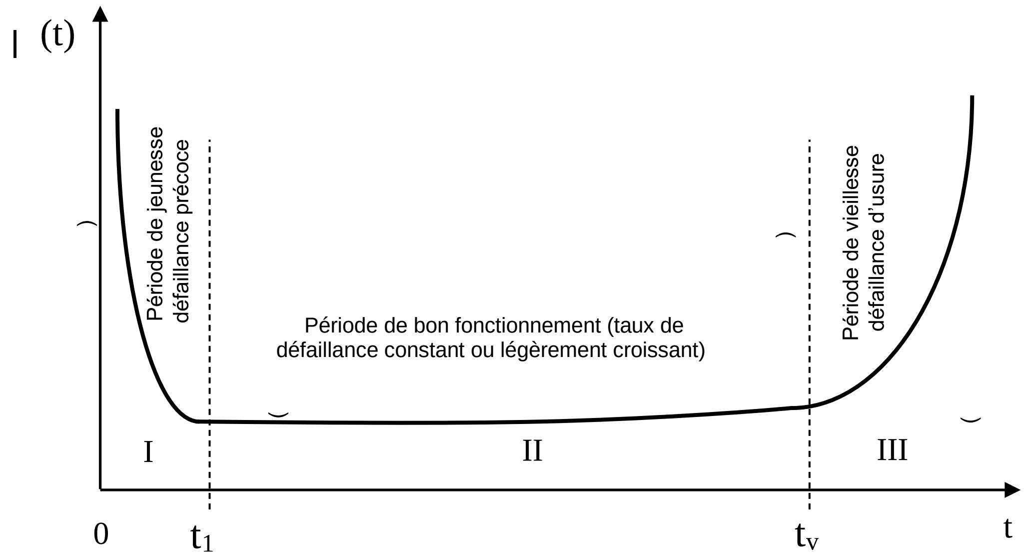
1.3 CLASSEMENT DES MATÉRIELS SELON LE TAUX DE DÉFAILLANCES

D'une manière générale, le taux de défaillance $\lambda(t)$ d'une variable aléatoire T représentant la durée de vie d'un matériel a la forme suivante (dite en baignoire) (fig1.1).

FIABILITÉ

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION À LA FIABILITÉ

Cours et TD



- *Zone de défaillances de jeunesse I : défaillances de réglages et de mise au point.*
- *Zone de défaillances aléatoires II : défaillances accidentelles ne dépendant pas de l'âge du système.*
- *Zone de défaillances d'usure III : les défaillances dépendent du temps, le processus de détérioration pour cause d'usure est commencé.*

Figure 1.1. Allure du taux de défaillance en fonction du temps (courbe en baignoire).

La première période correspond à la période des « maladies infantiles ». On a un taux de défaillance décroissant. Dans la pratique et afin que cette période se produise avant la vente du matériel, le fabricant procèdera à un rodage de son matériel.

La deuxième période est la période de bon fonctionnement. Les défaillances surviennent de manière aléatoire et ne peuvent être prévues par un examen technologique du matériel.

La troisième période est la période d'usure du matériel. Elle est constaté par un examen technologique simple.

- **Remarque :** Si on excepte la période de jeunesse, les matériels se répartissent en deux classes :

- Les matériels à taux de défaillance constant : c'est un matériel de fatigue. Dans ce cas la durée de vie suit une loi exponentielle $R(t) = e^{-\lambda_0 t}$. C'est le cas de beaucoup d'élément simple en électronique et électricité (fig1.2).

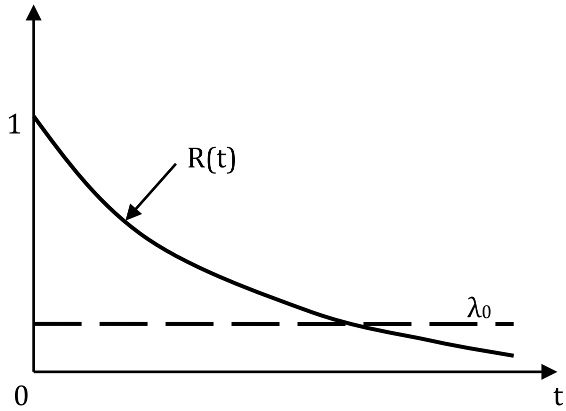


Figure 1.2 : Loi exponentielle

- Les matériels à taux de défaillance croissant. La durée de vie suit en général une loi

  de Weibull $R(t) = e^{-\frac{(t-\gamma)\beta}{\eta}}$; $t \geq \gamma$; $\beta > 1$; $\eta > 0$. C'est le cas de nombreux composants simples (ou pris comme tels) en mécanique : engrenages, roulements à billes, etc. (fig. 1.3).

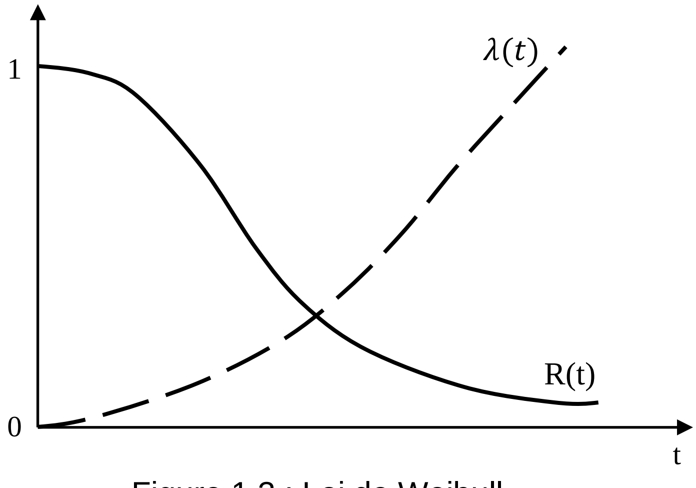


Figure 1.3 : Loi de Weibull

1ère

1.4 NOTIONS DE PROBABILITÉ DE SURVIE AVEC CONDITIONS

1.4.1 Loi de probabilité de survie d'un matériel non neuf (fig. 1.4)

Soit $R(t)$ la probabilité de survie d'un matériel de durée de vie T. La probabilité de survie de ce même matériel lorsqu'il a déj{ survit pendant une durée a est donnée par :

$$R_a(t) = \frac{R(a+t)}{R(a)} \tag{1.14}$$

C'est la probabilité que la durée de vie soit supérieure à $(a+t)$ sachant qu'elle est supérieure à (a).

Graphiquement, le graphe de $R_a(t)$, s'obtient d'après la relation (1.14), en décalant la courbe de $R(t)$ d'une valeur a et en le multipliant par $\frac{1}{R(a)}$ (fig. 1.4).

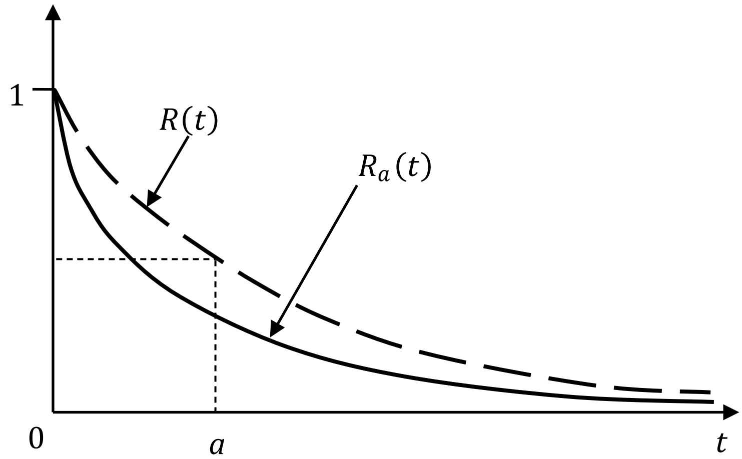


Figure 1.4 : Allure de la probabilité de survie d'un matériel non neuf.

Exemple

La durée de vie d'un composant suit une loi exponentielle : $f(t) = \lambda_0 e^{\lambda_0 t}$.

Déterminer la probabilité de survie lorsque ce composant a déjà fonctionné jusqu'au temps a.

Réponse

$$R_a(t) = \frac{R(a+t)}{R(a)}\ ; R(a+t) = \int_{t+a}^{+\infty} f(u)du = [-R(u)]_{t+a}^{+\infty} = \left[e^{-\lambda_0 u}\right]_{t+a}^{+\infty} = e^{-\lambda_0(a+t)}$$

$$R(a) = \int_a^{+\infty} f(u)du = e^{-\lambda_0 a}\ ; \frac{R(a+t)}{R(a)} = \frac{e^{-\lambda_0(a+t)}}{e^{-\lambda_0 a}} = e^{-\lambda_0(a+t)+\lambda_0 a} = e^{-\lambda_0 t} = R(t)$$

Donc : $R(t) = R_a(t)$

En conséquence, un matériel qui suit une loi exponentielle ne vieillit pas, mais il se fatigue.

1.4.2 Loi de probabilité de survie avec limite de fonctionnement (fig. 1.5)

On se donne une limite de fonctionnement □ et on remplace le matériel systématiquement { l'âge □ s'il a atteint cet âge.

La durée de vie T a une probabilité de survie définie par :

$$\left.\begin{array}{l} R(\theta,t) = R(t) : si\ 0 \leq t < \theta \\ R(\theta,t) = 0 : si\ t \geq \theta \end{array}\right\} \qquad (1.15)$$

1ère

La densité de probabilité de défaillance :

$$\left.\begin{array}{l} f(\theta,t) = f(t) : si\ 0 \leq t < \theta \\ f(\theta,t) = \delta(t-\theta).R(\theta) : si\ t \geq \theta \end{array}\right\} \qquad (1.16)$$

$\delta(t)$ est la fonction de Dirac.

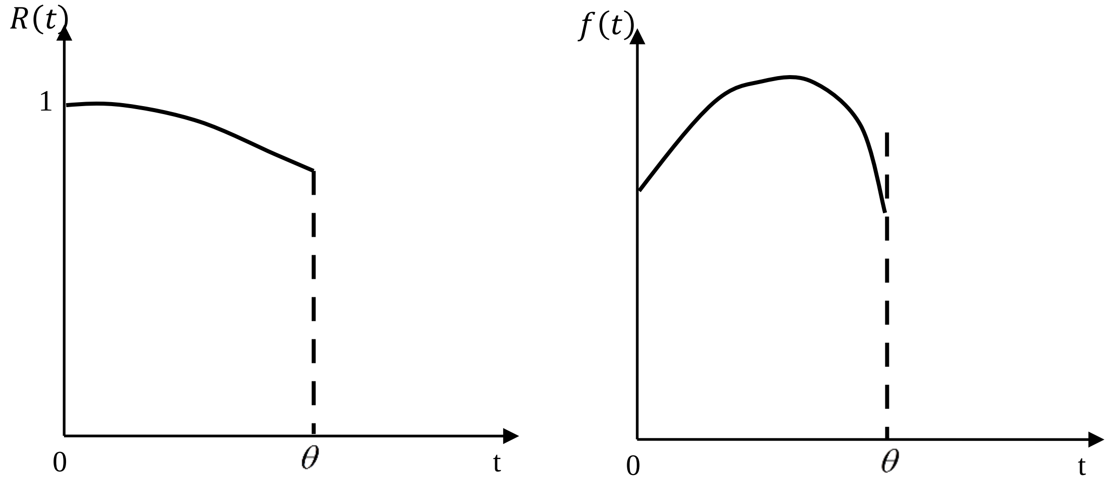


Figure 1.5 : Probabilité de survie et densité de probabilité de défaillance avec limite de fonctionnement.

1.5 LES MODÈLES DE FIABILITÉ

1.5.1 Fiabilité des composants et des systèmes mécaniques et électroniques

La durée de vie des composants se traduit par des lois de probabilité, on distingue, les modèles de lois continues pour les variables continues tels que le temps, les durées de fonctionnement, les distances parcourues ; les modèles de lois discrètes pour des variables discrètes tels que le nombre de pièces fabriquées, le nombre de défaillance, le nombre d'intervention. Les modèles ci-après correspondent à la majorité des cas rencontrés dans les domaines industriels.

- **Pour les variables aléatoires continues :**

- La loi Exponentielle (à taux de défaillance constant).
- La loi de Weibull (à taux de défaillance décroissant, constant et croissant).
- La loi Log-normale (à taux de défaillance croissant).
- La loi Gamma (à taux de défaillance décroissant, constant et croissant).

Pour les variables aléatoires discrètes :

- La loi géométrique.
- La loi de Weibull discrète de type I.
- La loi de Poisson.
- La loi Binomiale.
- La loi d'Erlang

1ère

Les deux premières lois continues résolvent la plupart des problèmes industriels. Elles sont d'un maniement aisé et universellement utilisées.

1.5.2 Expressions générales des lois de fiabilité

Les expressions générales des lois de fiabilité à retenir sont donc :

- La fiabilité : $R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt}$ (1.17)
- La probabilité de défaillance : $F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\int_0^t \lambda(t)dt}$ (1.18)
- La densité de probabilité de défaillance : $f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{-dR(t)}{dt}$ (1.19)
- Le taux de défaillance : $\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{-dR(t)}{R(t)dt}$ (1.20)
- La MTBF : $MTBF = E(T) = \int_0^{+\infty} t\, f(t)dt = \int_0^{+\infty} R(t)dt$ (1.21)

Démonstration de la relation (1.21) : $\int_0^{+\infty} t\, f(t)dt = \int_0^{+\infty} R(t)dt$

$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{-dR(t)}{dt} \rightarrow R(t) = 1 - F(t) = \int_t^{+\infty} f(u)du$; par conséquent :

$\int_0^{+\infty} R(t)dt = \int_0^{+\infty}\left(\int_t^{+\infty} f(u)du\right) dt$; en changeant l'ordre d'intégration :

$\int_0^{+\infty} R(t)dt = \int_0^{+\infty}\left(\int_0^{u} dt\right) f(u)du = \int_0^{+\infty} u\, f(u)du$; en utilisant la variable "t" :

$\int_0^{+\infty} R(t)dt = \int_0^{+\infty} u\, f(u)du = E(T) = MTBF$

Empiriquement, on peut estimer la fiabilité, la probabilité de défaillance, la densité de probabilité de défaillance et le taux de défaillance de la manière suivante :

- $$\mathrm{R(t)} = \frac{\text{Nombre de matériels en service au début de } \Delta t}{\text{Nombre initial de matériels}} \qquad (1.22a)$$
- $$\mathrm{F(t)} = \frac{\text{Nombre de matériels défaillants au début de } \Delta t}{\text{Nombre initial de matériels}} \qquad (1.22b)$$
- $$\mathrm{f(t)} = \frac{\text{Nombre de matériels défaillants durant } \Delta t}{\text{Nombre initial de matériels} \times \Delta t} \qquad (1.22c)$$
- $$\lambda(t) = \frac{\text{Nombre de matériels défaillants durant } \Delta t}{\text{Nombre de matériels en service au début de } \Delta t \times \Delta t} \qquad (1.22d)$$

Où Δt est un intervalle de temps donné.

1.6 EXERCICES D'APPLICATIONS

- **Exercice 1**

  Le taux de défaillance d'un récepteur TV est de 0.002 défaillances par heure. Quelles sont son MTBF et sa probabilité de défaillance en 04 heures de fonctionnement en supposant que sa durée de vie suit une loi exponentielle ?

- **Exercice 2**

  Une pièce électrique a une durée de vie utile de 1000 heures. Son taux de défaillance est de 0.0001 défaillances par heure. On suppose qu'elle suit un modèle exponentiel. Quelles sont sa fiabilité pour un fonctionnement de 10 heures et sa probabilité de ne pas tomber en panne durant sa vie utile ?

- **Exercice 3**

  Sur une machine de production on a enregistré en moyenne 10 défaillances par semaine. Quelles sont les probabilités pour que cette machine ne tombe pas en panne lors d'une journée de travail et d'une heure de travail en supposant que sa durée de vie suit une loi exponentielle ?

- **Exercice 4**

  Un matériel présente un taux de défaillance de 01 défaillance pour 1000 heures de fonctionnement. Quelle est sa fiabilité pour 200 heures de fonctionnement ainsi que sa fiabilité pour une durée égale à son MTBF en supposant que sa durée de vie suit une loi exponentielle ?

- **Exercice 5**

  Sur un système on a observé 05 pannes pour une durée d'observation de 900 heures. Quel est la MTBF de ce système en supposant que le taux de défaillance suit le modèle exponentiel ?

- **Exercice 6**

  Un matériel électronique a une durée de vie moyenne de 3200 heures. On a tout lieu de penser que sa fiabilité suit une loi exponentielle.

  - Déterminer sa fonction de fiabilité.
  - Quelle est la probabilité pour qu'il fonctionne encore au bout de 2000 heures ?

    au bout de 4000 heures ?

1ère

1.7 SOLUTIONS

- **Exercice 1**

  $M.T.B.F = 1/0.002 = 500\ heures$.

  $R(04\ heures) = e^{-0.002\times 4} = 0{,}992$ Soit 99,20%.

  $F(04\ heures) = 1 - R(04\ heures) = 0{,}008$ Soit 0,8%.

- **Exercice 2**

  $R(10\ heures) = e^{-0.0001\times 10} = 0{,}9990$ Soit 99,90%.

  $R(1000\ heures) = e^{-0.0001\times 1000} = 0{,}9048$ Soit 90,48%.

- **Exercice 3** $Taux\ de\ défaillance = 10/05 = 02$ défaillances par jour. $= 10/40 = 0{,}25$ défaillances/heure.

  $R(01\ jour) = e^{-2\times 1} = 0{,}135$ Soit 13,5%.

  $R(01\ heure) = e^{-0{,}25\times 1} = 0{,}778$ Soit 77,8%.

FIABILITÉ

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION À LA FIABILITÉ

Cours et TD

- **Exercice 4**

$Taux\ de\ défaillance = 1/1000 = 0.001$ de faillances/heure

$R(200\ heures) = e^{-0.001\times200} = 0.818$ Soit 81.8%.

$M.T.B.F = 1/0.001 = 1000$ heures

$R(1000\ heures) = e^{-0.001\times1000} = 0.367$ Soit 36.7%.

- **Exercice 5**

$M.T.B.F = 900/5 = 180$ heures

- **Exercice 6**

$Taux\ de\ défaillance = 1/3200 = 3{,}125.10^{-4}$ de faillances/heure

$R(t) = e^{-3{,}125.10^{-4}t}$

$R(2000) = e^{-3{,}125.10^{-4}\times2000} = 0{,}535$ Soit 53,5%.

$R(4000) = e^{-3{,}125.10^{-4}\times4000} = 0{,}286$ Soit 28,6%.

BIBLIOGRAPHIE :

Ce chapitre est tiré du livre : fiabilité des systèmes - cours et TD du prof. Smail Benissaad ; professeur à l'université frères Mentouri – Constantine 1 faculté des sciences de la technologie département de génie mécanique.