

La fiabilité

I - Introduction :

La fiabilité est l'une des composantes essentielles de la qualité d'un produit et elle est retenue en tant que critère fondamental pour leur élaboration. Elle est prise en considération dès le stade de la conception.

La fiabilité est la caractéristique d'un dispositif exprimée par la probabilité que ce dispositif accomplisse une fonction requise dans des conditions d'utilisation et pour une période de temps déterminées.

II - Généralités :

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 a 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.

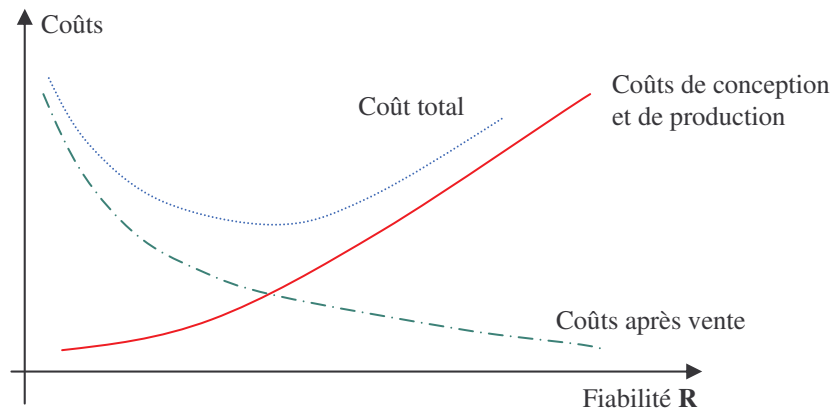
Un ensemble composé de pièces de très haute qualité ne garantit pas nécessairement une grande fiabilité après assemblage (les interactions qui se produisent entre les composants diminuent la capacité de l'ensemble).

De même, une grande fiabilité sous certaines conditions ne garantit pas forcément une grande fiabilité sous d'autres conditions.

La meilleure connaissance de la fiabilité provient de l'analyse des défaillances lorsque les produits sont en service. C'est le service de maintenance qui est chargé de collecter les données qui permettront d'établir des lois statistiques sur une population importante et sur un temps long.

Remarques : La non-fiabilité d'un produit ou d'un bien augmente les coûts de l'après vente (application des garanties, frais judiciaires, etc...). Construire plus fiable augmente les coûts de conception et de production. Le coût total du produit prendra en compte ces deux tendances.

La courbe ci-dessous illustre ces remarques.



III - Définition de la fiabilité R :

Comme nous l'avons vu précédemment, la fiabilité " **R** " est la **probabilité** qu'a un bien (produit ou système) à accomplir, de **manière satisfaisante**, une **fonction requise**, sous des **conditions données** et pendant une période de **temps donné**.

Exemple : La fiabilité d'un roulement de broche pendant 20 000 heures de fonctionnement est égale à 0.9 signifie :

- Qu'il y a 90 chance sur 100 ————> PROBABILITE
- pour que le roulement fonctionne sans signe d'usure ————> FONCTION REQUISE
- pendant 20000 heures ————> TEMPS DONNE
- à une fréquence de rotation moyenne de 1500 tr/min ————> CONDITIONS DONNEES

Rappel :

Probabilité : C'est une quantité indiquant, sous forme de fraction ou de pourcentage, le nombre de fois ou de chances qu'un événement à a ce produire sur un nombre total d'essais ou de tentative.

Remarque 1 : R est toujours compris entre 0 et 1.

Par exemple, une fiabilité $R = 0.92$ après 1000 heures signifie que le produit a 92 chances sur 100 (92 % de chances) de fonctionner correctement pendant les 1000 premières heures.

Remarque 2 : Pour des produits identiques, fonctionnant dans les mêmes conditions, les défaillances peuvent se produire à des moments différents. La répartition des défaillances au cours du temps est le plus souvent décrite à partir de lois statistiques (loi normale, loi log normale, loi de Poisson, loi exponentielle, loi de Weibull).

De manière satisfaisante : Cette propriété suppose que des critères précis (fonctions de service, etc ...) et spécifiques soient établis pour définir et décrire ce qui peut être considéré comme satisfaisant.

En un temps donné : Dans les études de fiabilité, le temps est la mesure ou la variable de référence permettant d'évaluer les performances et d'estimer les probabilités : probabilités ou chance de survie sans défaillance pendant une période de temps donnée.

Sous des conditions données : Regroupe l'ensemble des paramètres décrivant l'environnement du produit et ses conditions d'utilisation : mode opératoire, procédures de stockage et de transport, lieux géographiques, cycles des températures, humidité, vibrations, chocs, etc...

IV - Indicateurs de fiabilité λ et MTBF :

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

A) Taux de défaillance λ :

Définition : λ représente le **taux de défaillance** ou le **taux d'avarie**.

Il caractérise la vitesse de variation de la fiabilité au cours du temps.

Pour une période de travail donnée, durée totale en service actif :

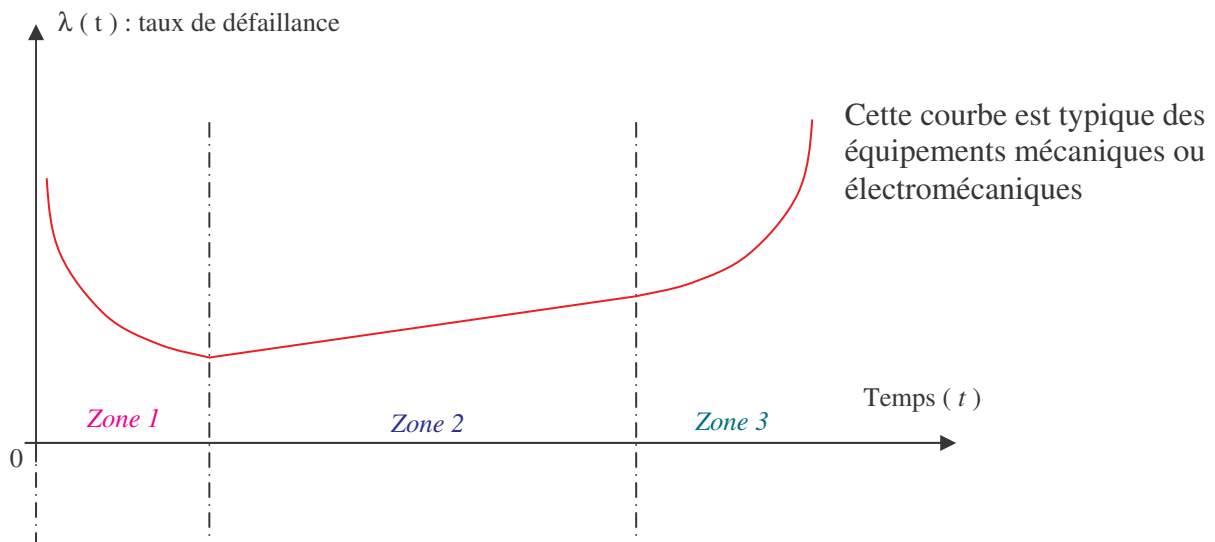
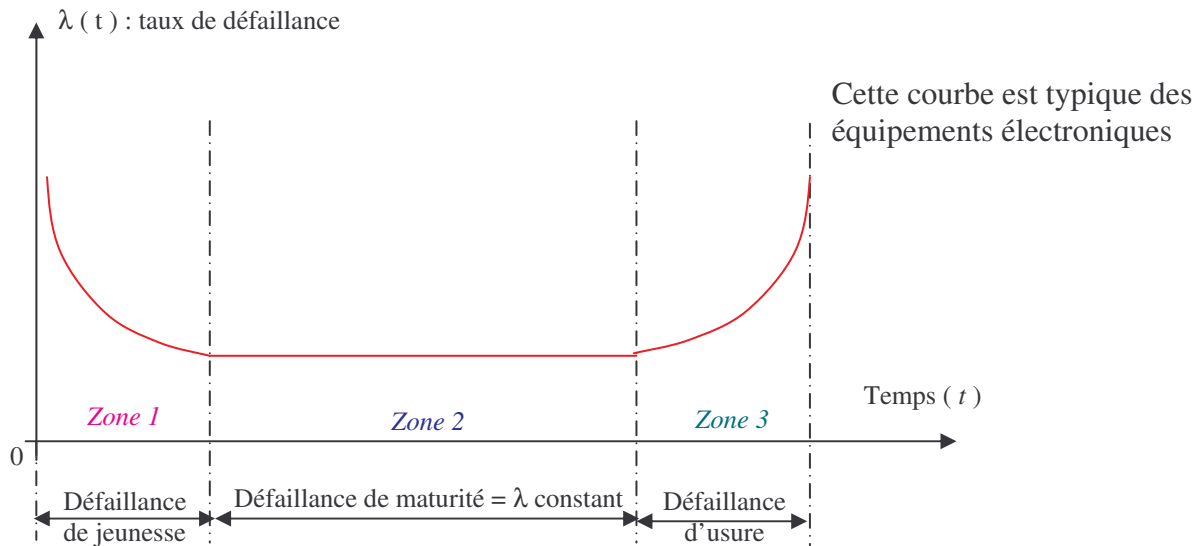


$$\lambda = \frac{\text{Nombre total de défaillances pendant le service}}{\text{Durée total de bon fonctionnement}}$$

Allures typiques du graphe $\lambda(t)$ en fonction du temps t

En pratique, le taux de pannes λ peut être constant, mais aussi croissant ou décroissant au cours du temps, avec changement graduel, sans discontinuités.

Pour la majorité des produits industriels, les variations de $\lambda(t)$ au cours du temps (courbes dites en baignoire (figures ci-dessous) présentent trois zones typiques.



Zone 1 : *Période de défaillance précoce (ou période de jeunesse)* : c'est le début de la vie du produit et les défaillances sont dites " de jeunesse " (composant neufs présentant des défauts de fabrication ...). Le taux de défaillance λ décroît rapidement au cours du temps. Prévention possible : déverminage, rodage, contrôles et tests renforcés avant livraison, etc. Ce type de défaillance peut être décrite par la loi de Weibull.

Zone 2 : *Période de défaillance à taux constant (ou sensiblement constant)* : c'est la zone de maturité ou de pleine activité du produit pour laquelle le taux de défaillance λ est sensiblement constant. C'est également le domaine des défaillances imprévisibles se produisant de façon aléatoire. En étude de probabilité, la loi de fiabilité adaptée à cette zone est la distribution exponentielle, forme $R = e^{-\lambda.t}$. Le phénomène d'arrivée des pannes dans le temps est dit " poissonnien " ou encore appelé " processus de Poisson ".

Zone 3 : *Période de défaillance par vieillissement* : C'est la période de fin de vie du produit caractérisée par des défaillances dues à l'âge ou à l'usure des composants.

Le taux de défaillance λ croît rapidement avec le temps, du fait de la dégradation du matériel (usures mécaniques, phénomènes de fatigue, dérive des composants électroniques, ...)

Les lois de fiabilité adaptées à cette zone sont : loi normale, gamma, log normal, Weibull.

B) La MTBF ou moyenne des temps de bon fonctionnement :

Définition : La **MTBF** (qui vient de l'anglais **Mean Time Before Failure**) représente la moyenne des temps de bon fonctionnement entre deux défaillances d'un système réparable ou le temps moyen entre défaillances.



$$\text{MTBF} = \frac{\text{Somme des temps de bon fonctionnement entre les } n \text{ défaillances}}{\text{Nombre des temps de bon fonctionnement}}$$

Remarques :

Si λ est constant la $MTBF = 1 / \lambda$ (λ taux de défaillance ramené à l'unité de temps)

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 sa MTBF.

$$MTBF = \frac{8000}{5} = 1600 \text{ heures}$$

Si λ est supposé constant :

$$\lambda = \frac{5}{8000} = 0.000625 \text{ par heure}$$

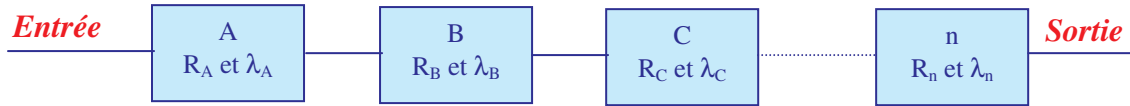
Conclusion :

.....

V - La fiabilité d'un système constitué de plusieurs composants montés 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 $R_A, R_B, R_C, \dots, R_n$ de chacun des composants.



On a donc :



$$R(s) = R_A \times R_B \times R_C \times \dots \times R_n$$

Nota 1 : Si les "n" composants sont identiques avec une même fiabilité R la formule sera la suivante :



$$R(s) = R^n$$

Nota 2 : Si les taux de défaillances sont constants au cours du temps la fiabilité sera calculée suivant la formule :



$$R(s) = (e^{-\lambda_A \cdot t}) \times (e^{-\lambda_B \cdot t}) \times (e^{-\lambda_C \cdot t}) \times \dots \times (e^{-\lambda_n \cdot t})$$

Avec :



$$MTBF_s = \frac{1}{\lambda_A + \lambda_B + \lambda_C + \dots + \lambda_n}$$

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

Alors :



$$R(s) = e^{-n\lambda \times t}$$

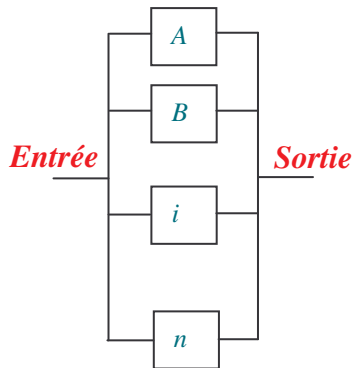


$$MTBF_s = \frac{1}{n \cdot \lambda}$$

VII - La fiabilité d'un système constitué de composants montés 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 :



$$F_i = 1 - R_i$$

F_i représentant la fiabilité associée.

La **probabilité de pannes** $F(s)$ de l'ensemble des "n" composants en parallèle est égal au produit des F_i entre eux :



$$F(s) = F_1 \times F_2 \times F_n = (1 - R_1) \times (1 - R_2) \times \dots \times (1 - R_n)$$

La **fiabilité** $R(s)$ de l'ensemble est donnée par la relation :



$$R(s) = 1 - (1 - R_1) \times (1 - R_2) \times \dots \times (1 - R_n)$$

Nota : Si les "n" composants sont identiques ($R = R_1 = R_2 = \dots = R_n$) et ont tous la même fiabilité R , l'expression devient :



$$R(s) = 1 - (1 - R)^n$$