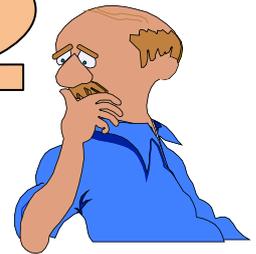


Support de cours : Sécurité industrielle

- SECURITE, ANALYSE DES RISQUES Et PLANS DE PREVENTION...

NB : *Leçon déjà faite avec les étudiants qui étaient présents (es).*

OUI, j'ai déjà vue
cette partie du cours !!!
avec Mr Belarbi



AMDEC = *Analyse des Modes de Défaillances,
de leurs Effets et de leur Criticité*

1. La Sûreté de Fonctionnement (S.D.F)

2. Présentation de la méthode générale AMDEC

- Une démarche à la fois qualitative et quantitative

..... *Suite....*

L'AMDEC :

C'est une méthode d'amélioration, avec un certain niveau de fiabilité, lors de la conception d'un processus existant, pour diminuer son taux de défaillances et d'améliorer ses performances par une diminution du nombre de pannes.

Objectifs de l'AMDEC moyen de production c'est :

Nous savons tous que, les pertes de temps dans les entreprises sont liées à des défaillances qui ne sont pas anticipées. Cette méthode donc, permet d'analyser un processus étape par étape de sa réalisation et permet de hiérarchiser les défaillances potentielles sur lesquelles nous agissons.

2.1. D'Evaluer et de Garantir:

2.1.1. La Fiabilité :

La fiabilité définit l'arrangement d'un système ou d'un matériel à réaliser une activité essentielle dans des exigences demandées pour un temps limité donné. La fiabilité a sans doute pris son développement depuis la dernière guerre mondiale. Elle est devenue vite une science à part entière dans les applications appartenant à de nombreux domaines. 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 (application des garanties, frais judiciaires,...etc.). Construire plus fiable augmente les coûts de conception et de production, en pratique, le coût total d'un produit prend en compte ces deux tendances.

2.1. 1.a. Fonction de fiabilité $R(t)$ – Fonction de défaillance $F(t)$

Considérons un matériel dont on étudie la fiabilité. Soit Z la variable aléatoire qui, à chaque matériel associe son temps de bon fonctionnement. Nous avons choisi parmi ces matériels, un, au hasard avec les événements suivants :

A « Le matériel est en état de bon fonctionnement à l'instant t » et

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

Nous avons alors :

$$\text{et } \begin{cases} p(A) = P(T > t) \\ p(B) = P(T \leq t + \Delta t) \end{cases} \quad (I.1)$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow P(A \cap B) &= P(t < T < t + \Delta t) \\ \Rightarrow &= F(t + \Delta t) - F(t) \\ \Rightarrow &= (1 - R(t + \Delta t)) - (1 - R(t)) \\ \Rightarrow &= R(t) - R(t + \Delta t) \end{aligned}$$

Nous en déduisons que : $P(B/A) = P(A \cap B) / p(A) = R(t) - R(t + \Delta t) / R(t)$ (I.2)

Nous appelons fonction de défaillance la fonction F définie pour tout $t \geq 0$.

$$\underline{F(t) = P(T \leq t)}$$

Le nombre $F(t)$ représente la probabilité qu'un dispositif choisi au hasard ait une défaillance avant l'instant t . La figure I.1, ci-dessous, nous donne l'allure de cette fonction.

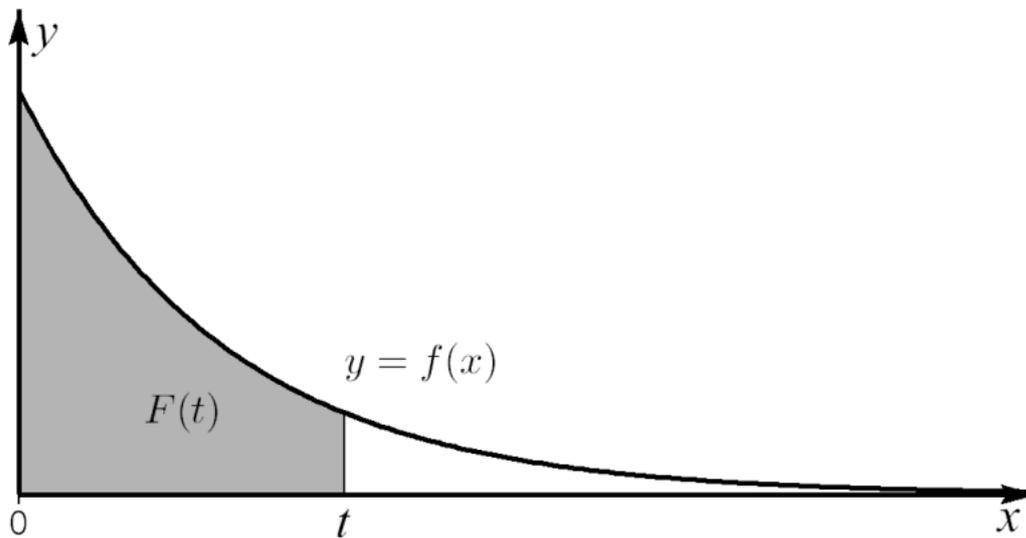


Figure I.1. Fonction de défaillance

Cette fonction nous amène, naturellement à une fonction associée, de fiabilité R qui est définie pour tout $t \geq 0$ par : $R(t) = 1 - F(t)$. Ce dernier représente la probabilité qu'un dispositif choisi au hasard dans la population n'ait pas de défaillance avant l'instant t . La figure I.2, nous montre les deux fonctions associées.

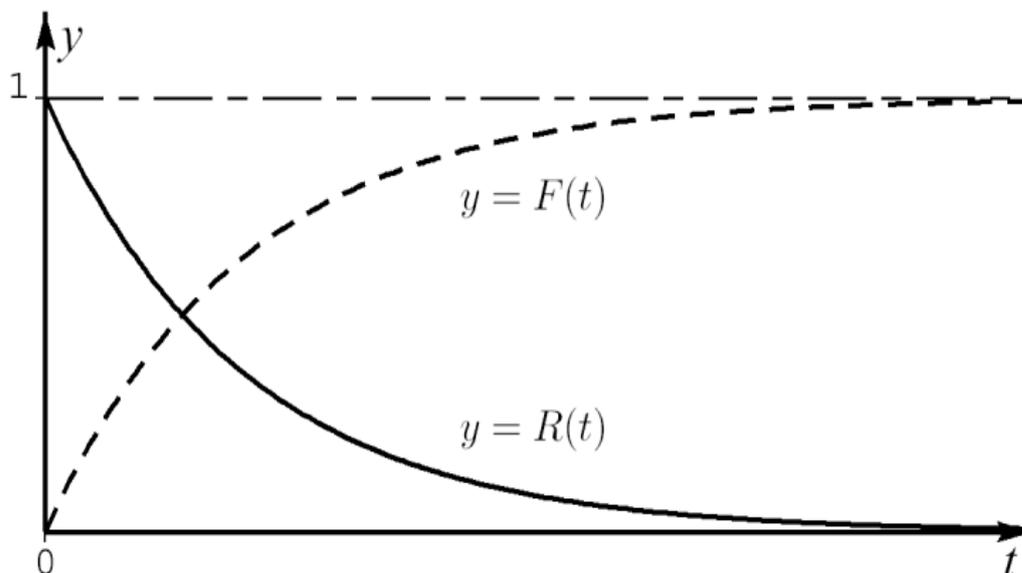


Figure I.2. Fonction associée

Le taux d'avarie moyen dans l'intervalle de temps $[t, t+\Delta t]$ est alors :

$$\frac{R(t) - R(t+\Delta t)}{R(t)} \cdot \frac{1}{\Delta t} \quad (I.3)$$

2.1.1. b. Taux de défaillance instantané

C'est la probabilité ($0 \leq R \leq 1$) ; un produit doit accomplir de manière satisfaisante une fonction requise, sous des conditions données et pendant une période de temps donné. L'écriture mathématique du taux de défaillance à l'instant t , noté $\lambda(t)$, défini sur est la suivante :

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{1}{\Delta t} \cdot \frac{R(t) - R(t+\Delta t)}{R(t)} \right) \quad (I.4)$$

Physiquement le terme $\lambda(t) \cdot \Delta t$, mesure la probabilité qu'une défaillance d'un dispositif se produise dans l'intervalle de temps $[t, t+\Delta t]$, sachant que ce dispositif a bien fonctionné jusqu'à l'instant t .

$$\begin{aligned} \lambda(t) &= -\frac{dR(t)}{dt} \cdot \frac{1}{R(t)} && (I.5) \\ \Rightarrow &= \frac{dF(t)}{dt} \cdot \frac{1}{R(t)} \\ \Rightarrow &= \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1-R(t)} \end{aligned}$$

Où R est la fonction de fiabilité de ce matériel.

Nous sommes alors amenés à résoudre une équation différentielle du 1er ordre. En effet si λ est connu, la résolution de l'équation différentielle linéaire du 1er ordre :

$$R(t) + \lambda(t) R(t) = 0 \quad (I.6)$$

Nous- en déduisons la fonction de défaillance F , qui est la fonction de répartition de la variable Z puis la densité de probabilité f de Z qui est la dérivée de F .

$$\text{et } \begin{cases} R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(x) dx} \\ F(t) = 1 - e^{-\int_0^t \lambda(x) dx} \end{cases} \quad (I.7)$$

2.1.1. c. Indicateurs de fiabilité (λ) et (MTBF) :

Précédemment le taux de défaillance λ a été défini par des expressions mathématiques a travers un calcul de probabilité. On peut également l'exprimé par une expression physique. Il caractérise la vitesse de variation de la fiabilité au cours du temps. La durée de bon fonctionnement est égale à la durée totale en service moins la durée des défaillances.

$$\lambda = \frac{\text{Nombre total de défaillances pendant le service}}{\text{Durée total de bon fonctionnement}} \quad (I.8)$$

2.1.1. d. I.2.1 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. En d'autres termes, il correspond à l'espérance de la durée de vie t .

$$\text{MTBF} = \int_0^{\infty} R(t) \quad (I.9)$$

Nous pouvons exprimer le MTBF par le rapport des temps, mais physiquement.

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Somme des temps de fonctionnement entre les (n) défaillance}}{\text{Nombre d'intervention de maintenance avec immobilisation}} \quad (I.10)$$

NB : Le MTBF, par définition c'est la durée de vie moyenne du système considéré.

+ Exemple d'application:

- 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.

1) Déterminer son MTBF ?

2) a. Et si λ est supposé constant, cherchez sa valeur ?

b. La courbe qui représente l'

évolution du taux des défaillances pour les différentes entités ?

+ Solution :

1. Nous savons que dans le cas posé, nous avons 5 pannes ce qui veut dire 5 défaillances et le temps totale de fonctionnement est de 8000 heures.

Nous devons donc, retrancher la somme des pannes que ce compresseur à subit du temps totale.

Soit, de la formule (I.10) nous tirons :

$$\text{MTBF} = \frac{8000 - (7 + 22 + 8,5 + 3,5 + 9)}{5}$$

→ MTBF = 1590 heures

3) a. Et si λ est supposé constant, sa valeur est :

$$\text{MTBF} = \frac{1}{\lambda} \quad (\text{I.11})$$

→ $\lambda = \frac{1}{\text{MTBF}}$

→ $\lambda = 6.289 \cdot 10^{-4} \text{ d/h}$

b. la courbe représentative de l'évolution du taux des défaillances pour les différentes entités est :

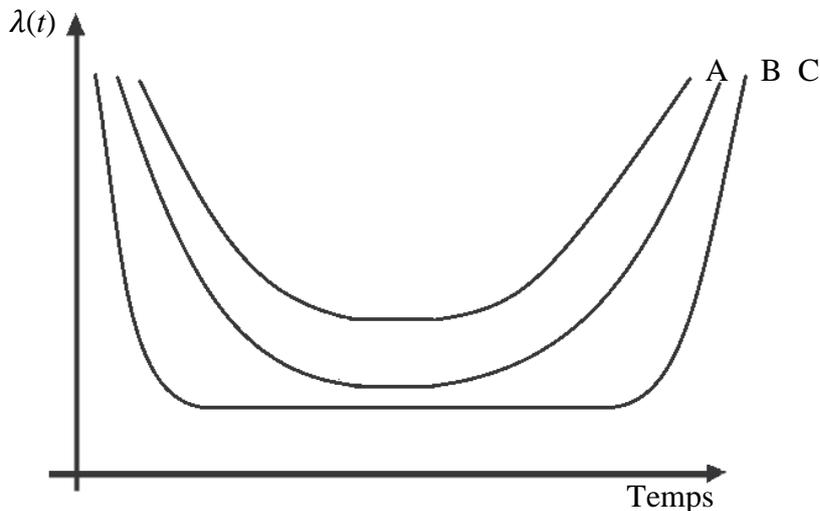


Figure I.3. L'allure des Courbes caractéristiques du taux de défaillance

Les courbes du taux de défaillance, figure I.3, ont une même forme générale dite en baignoire, mais présentent néanmoins des différences suivant la technologie principale du système étudié:

A. en mécanique.

B. en électromécanique.

C. en électronique.

2.1.1. e. Le Cycle de vie d'un produit et le taux de défaillance

- ❖ 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 (Figure I.4).

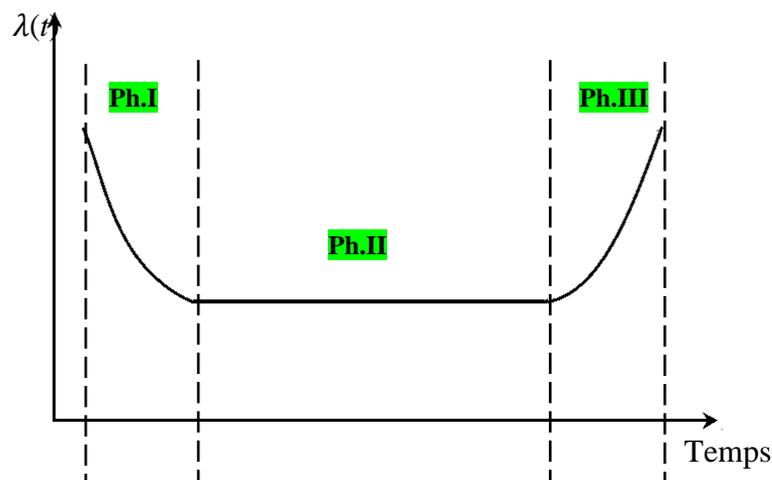


Figure 1.4. La courbe en baignoire

Le taux de défaillance est élevé au début de la vie du dispositif (système). Ensuite, il diminue assez rapidement, avec le temps (**taux de défaillance décroissant**), c'est la phase de vie appelée '**période de jeunesse**'. Après, il se stabilise à une valeur aussi basse pendant une '**période de vie utile ou active**' (**taux de défaillance constant**). A la fin, il remonte lorsqu'il y a usure, c'est la '**période de Vieillessement et de Déclin**' (**taux de défaillance croissant**).

❖ Nous avons un autre cycle de vie (**figure 1.5**), conçu pour de nouveaux produits, sa comparaison avec la courbe en baignoire est presque similaire. La première période, c'est '**le lancement**', appelé aussi phase d'introduction de l'innovation sur le marché. Son objectif est de planifier la mise en marché de l'offre (produit, procédé, service) et d'effectuer une prévision affinée des ventes et de rentabilité. C'est la réalisation de tests avec essais mécaniques, électriques, etc...et cela, pour le contrôle de la qualité avec le délai ainsi que la fiabilité des sources d'approvisionnement. La seconde période, c'est la réputation du produit acquise avec une demande en plein élan qui est '**la croissance**', en même temps il y a la phase de '**maturité ou croissance**', c'est la période de rentabilité optimale de nouveaux projets innovants devront émerger pour un relais, qui retardera le déclin et assurera le retour sur l'investissement d'améliorations et de reformulations. Enfin, la dernière période qui est la phase de '**déclin**', c'est la régression de demande à étudier en fonction du cartable d'activités de l'entreprise (figure 1.5).

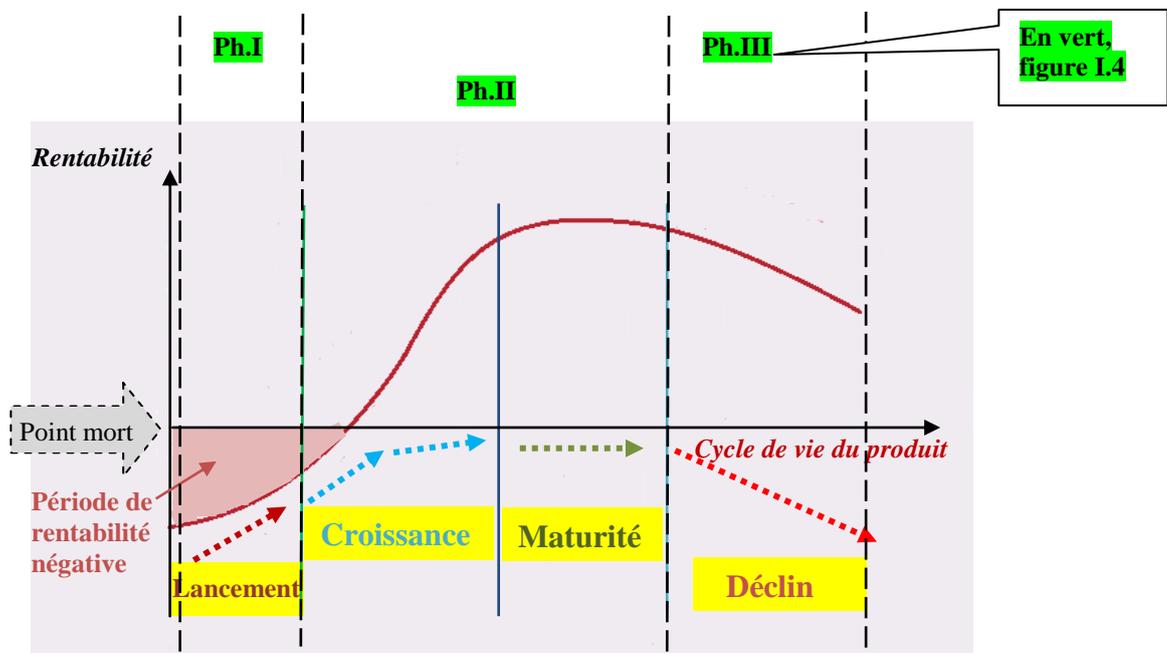


Figure 1. 5. Cycle de vie d'une nouvelle offre d'un produit

2.1.1. f. Taux de défaillance pour des composants électroniques

L'expérience à montrer que pour des composants électroniques la courbe, représentant le taux de défaillance en fonction du temps t , a la même allure que la courbe en baignoire **figure I.4** ci-dessus.

- **Phase 1** : Les composants électroniques peuvent avoir des défauts dus soit aux processus de conception ou de fabrication, mal maîtrisé ou à un mauvais lot de composants acheté. Ce qui peut nous introduire dans une décroissance rapide du taux de défaillance, définissant cette période, pouvant être minimisée aujourd'hui, si les fabricants de composants électroniques se sont engagés à vérifier la qualité de leurs produits en sortie de fabrication.

- **Phase 2** : Généralement, cette période est très longue, le taux de défaillance est approximativement constant. Les pannes sont dites aléatoires, leur apparition n'est pas liée à l'âge du composant mais à d'autres mécanismes d'endommagement. Les calculs prévisionnels de fiabilité se font souvent dans cette phase.

- **Phase 3** : Cette dernière phase est caractérisée par une augmentation progressive du taux de défaillance avec l'âge du dispositif. Cette période est nettement au-delà de la durée de vie réelle d'un composant électronique. Parfois, nous réalisons des tests de vieillissement accélérés pour révéler les différents modes de défaillance des composants.

2.1.1. g. Taux de défaillance pour des composants mécaniques

Les composants mécaniques sont soumis, dès le début de leur vie, au phénomène d'usure ou de vieillissement. Si nous traçons la courbe du taux de défaillance, en fonction du temps, nous n'aurons pas la présentation du plateau de la **figure I.4**. La période de taux de défaillance constant, n'existe pas ou elle est réduite. Le taux de défaillance du dispositif est une fonction non linéaire du temps et ceci dans chaque phase de sa vie. Les pièces mécaniques sont soumises à des phénomènes de vieillissement multiples: corrosion, usure, déformation, fatigue..... **Figure I.5**.

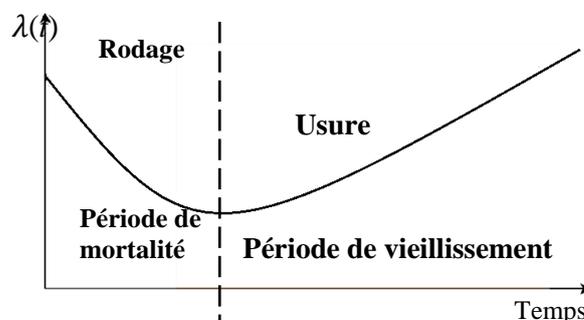


Figure I.5. Courbe du taux de défaillance en mécanique.

Contrairement aux composants électroniques, les calculs de la fiabilité se font pendant la période de vieillissement, en utilisant des lois de probabilité dont le taux de défaillance est fonction du temps telles que la loi Log-normale, Weibull, ... etc.

Application :

On étudie une génératrice, suite à son déclassement après 16500 heures. Pendant cette période, la génératrice a cumulée 218 arrêts. Les données sont résumées dans le tableau ci-dessous. On veut savoir quelle est l'évolution de la fiabilité de la génératrice et sa phase d'usure en fonction des intervalles d'arrêts ?

N°	heures	MTBF	Taux de défaillance
1	1000	66.7	0.015
2	2000	100	0.01
3	3000	250	0.004
4	4000	500	0.002
5	5000	400	0.0025
6	6000	555.6	0.0018
7	7000	416.7	0.0024
8	8000	526.32	0.0019
9	9000	500	0.002
10	10000	476.2	0.0021
11	11000	555.6	0.0018
12	12000	512	0,001953125
13	13000	200	0.005
14	14000	111.1	0.009
15	15000	100	0.01

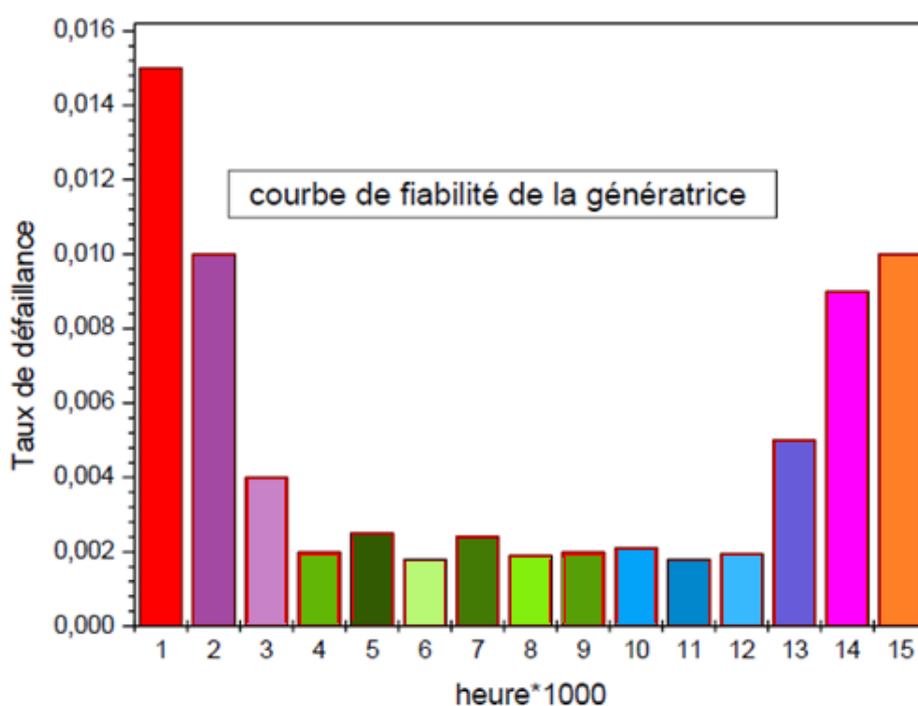


Figure 1.6 : Fiabilité de la génératrice et courbe en baignoire

Remarque : Nous constatons 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.

2.1.1. h. Objectifs et intérêts de la fiabilité en mécanique

L'analyse de la fiabilité constitue une phase indispensable dans toute étude de sûreté de fonctionnement. La fiabilité, auparavant, concernait les systèmes à haute technologie (centrales nucléaires, aérospatial). Mais de nos jours, c'est la clé de la qualité et d'aide à la décision, dans l'étude de la plupart des composants, produits et processus "grand public":

- Transport, énergie, bâtiments, composants mécaniques, électroniques, etc....

Les industriels travaillent à l'évaluation et l'amélioration de la fiabilité de leurs produits au cours de leur cycle de développement, de la conception à la mise en service de leurs connaissances sur le rapport Coût/Fiabilité et maîtriser les sources de défaillance.

2.1.1. i. Evolution des coûts en fonction de la fiabilité

Le non fiabilité augmente les coûts, d'après vente, de conception et de production.

NB : Le coût total prend en compte ces deux contraintes.

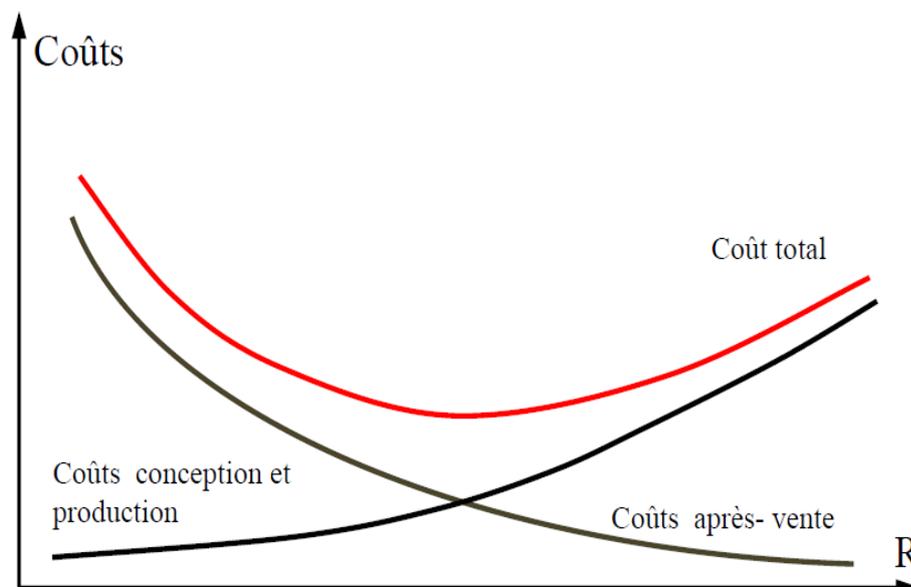


Figure I.5. Courbes d'évolution des coûts en fonction de la fiabilité

- La fiabilité d'une machine a tendance à diminuer avec le nombre de ses composants ou de leurs complexités et sa maîtrise devient plus délicate. Une très haute qualité pour chaque composant, n'entraîne pas une grande fiabilité.
- La détermination de la fiabilité d'un système électronique, mécanique ou autre nécessite la connaissance de sa loi ou de la loi de taux de défaillance de chacun des composants qui est effectuée soit à partir des modèles développés dans des bases de données disponibles, soit à partir d'essais effectués sur les composants ou bien à partir des résultats d'exploitation des produits.

2.1.1. j. 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.

$$R_s = R_A * R_B * R_C * \dots * R_n$$

Si les “ n ” composants sont identiques avec une même fiabilité R la formule sera la suivante :

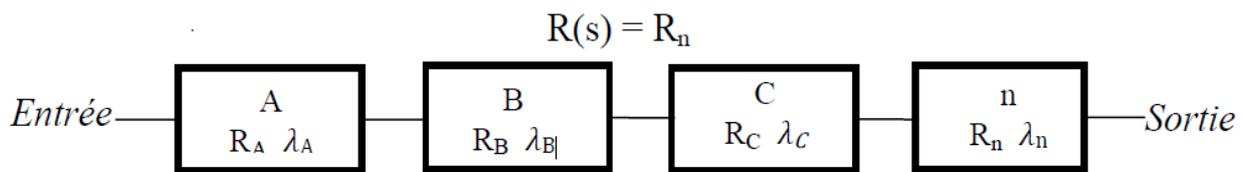


Figure I.6. Composants en série.

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

$$R(s) = (e^{-\lambda_A t}) * (e^{-\lambda_B t}) * (e^{-\lambda_C t}) * \dots * (e^{-\lambda_n t}) \quad (I.12)$$

Avec :

$$MTBF(s) = \frac{1}{\lambda_A + \lambda_B + \lambda_C + \dots + \lambda_n} \quad (I.13)$$

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

Avec :

$$R(s) = (e^{-\lambda_n t})$$

et

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

(I.14)

▪ **Exemple d'application :**

Soit un poste de radio constitué de quatre composants connectés en série, une alimentation avec $R_a=0.95$, une partie récepteur $R_r=0.92$; un amplificateur $R_a=0.97$ et un haut parleur $R_h= 0.89$;

On nous demande de déterminer la fiabilité R_s de l'appareil ?

▪ **Solution :**

Nous avons :

- $R_a=0.95$
- $R_r=0.92$
- $R_a=0.97$
- $R_h= 0.89$

et nous savons que : $R_s = R_1 * R_2 * R_3 * \dots * R_n$

Dans notre cas, nous avons : $R_s = R_a * R_r * R_a * R_h$

Ce qui nous donne : $R_s = 0.95 \times 0.92 \times 0.97 \times 0.89$

$$\Rightarrow R_s = 0.7545$$

\Rightarrow Soit une fiabilité de 75% environ

➤ **En parallèle**

La fiabilité d'un système peut être augmentée en plaçant les composants en parallèle. Un dispositif constitué de n composants en parallèle ne peut tomber en panne que si les n composants tombent en panne au même moment.

Si F_i est la probabilité de panne d'un composant, la fiabilité associée R_i est son complémentaire:

$$F_i = 1 - R_i \quad (I.15)$$

F_i représentant la fiabilité associée.

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:

$$R(s) = 1 - (1 - R)^n \quad (I.16)$$

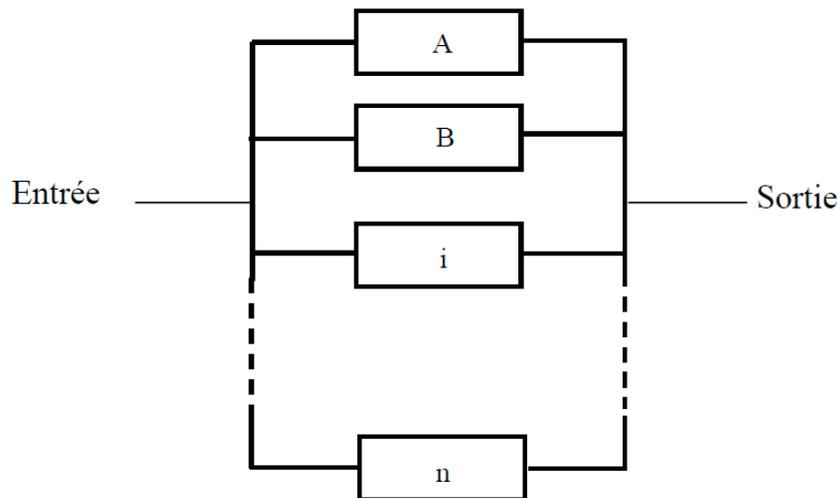


Figure I.7. Composants en parallèle.

Le cas particulier de deux dispositifs en parallèle si λ est constant R_S est obtenu par :

$$R_S = 1 - (1 - R_A) \cdot (1 - R_B)$$

$$\Rightarrow R_S = R_A + R_B - R_A \cdot R_B$$

$$\Rightarrow R_S = e^{-\lambda_A t} + e^{-\lambda_B t} - e^{-(\lambda_A + \lambda_B)t}$$

▪ **Exemple :**

Trois dispositifs A, B et C de même fiabilité $R_A = R_B = R_C = 0.75$ sont connectés en parallèle :

a) Déterminons la fiabilité de l'ensemble

$$R_S = 1 - (1 - 0,75)^3 = 0,984$$

Si on réduit le nombre des composants à deux

$$R_S = 1 - (1 - 0,75)^2 = 0,9375$$

Si on met quatre dispositifs en parallèle

$$R_S = 1 - (1 - 0,75)^4 = 0,9961$$

b) Quel nombre de diapositif en parallèle faudrait-il mettre pour avoir une fiabilité globale de 0,999 (99,9%)

$$R_S = 0,999 = 1 - (1 - 0,75)^n = 1 - (0,25)^n$$

$$D'où (0,25)^n = 1 - 0,999 = 0,001$$

En utilisant les logarithmes népériens

$$nLn(0,25) = Ln(0.001)$$

$$n(-1,386) = (-6,908)$$

$$n = 4,983$$

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

c) 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:

$$R_S = 0,999 = 1 - (1 - R)^3$$

D'où :

$$(1 - R)^3 = 1 - 0,999 = 0,010$$

En utilisant les logarithmes népériens

$$d) \quad 3Ln(1 - R) = Ln(0.010)$$

$$3Ln(1 - R) = (-4,605)$$

$$Ln(1 - R) = (-1,535)$$

$$Soit (1 - R) = 0.2154$$

→ Ce qui nous donne une fiabilité minimale de 78,46%.

2.1.1. k. Combinaison de composants en série et en parallèle

C'est la combinaison des deux sous-paragraphes précédents

▪ Exemple :

La fiabilité des trois composants identiques A, B et C est de 0.65, celle de D = 0,96 ; celle de E = 0, 92 celle de G= 0, 87 celle de F = 0,89 et celle de H = 1 (100%)

La fiabilité globale R est exprimée ici par :

$$R_s = [1 - (1 - 0,65)^3] \cdot [0,96] \cdot [1 - (1 - 0,92 \cdot 0,87)(1 - 0,89 \cdot 1)]$$

$$\rightarrow R_s = 0,957 \cdot 0,96 \cdot 0,978$$

$$\rightarrow R_s = 0,8986$$

$$\rightarrow \text{Environ } \underline{90\%}$$

2.1.1. 1. La loi de survie

Soit un groupe de 300 matériels identiques, utilisés de la même manière et mis en service à la même date.

Notons :

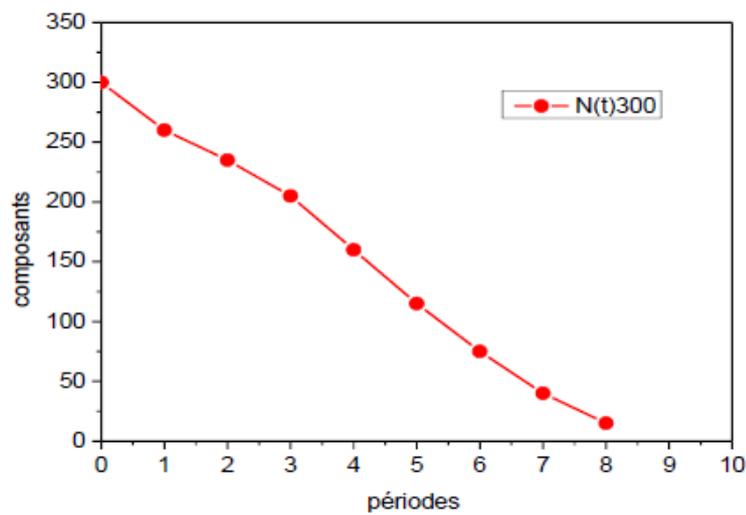
N(t) : nombre de survivants à la date t (on fait le compte des éléments encore en service)	
ΔN(t) : mortalité absolue à la fin de la période t (nombre d'élément défectueux après le dernier inventaire)	
N(0) : nombre de matériel mis en service à la date t₀ (il s'agit ici de 300)	
R(t) : Fréquence relative de survivants probabilité de survie (c'est la proportion des éléments encore en service / au nombre initial, peut s'exprimer en %)	$R(t) = \frac{N(t)}{N(0)}$
F(t) : Probabilité d'observer une défaillance avant t (c'est le complément de R(t))	$F(t) = 1 - R(t)$
f(t) : Proportion des défectueux dans l'intervalle [(t-1) ; t] (c'est la proportion d'éléments défectueux depuis le dernier inventaire par rapport au total initial)	$f(t) = \frac{\Delta N(t)}{N(0)} = \frac{N(t-1) - N(t)}{N(0)}$
Z(t) : Taux de défaillance(ou taux d'avarie) ; c'est la proportion d'éléments défectueux depuis le dernier inventaire par rapport au total précédent	$Z(t) = \frac{N(t-1) - N(t)}{N(t-1)}$

Calcul des paramètres de fiabilité :

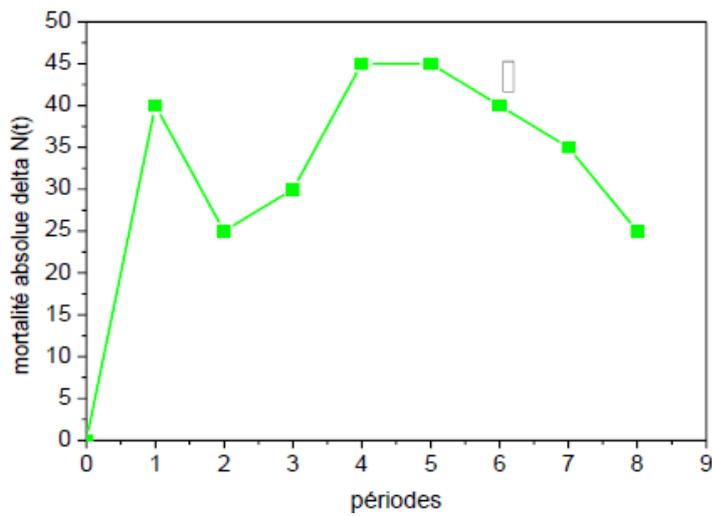
Période t k	Survivants N(t)	Mortalité absolue ΔN(t)	Mortalité relative f(t)	Probabilité de survie R(t)	T. de défaillances ou d'avarie Z(t)
0	300	0	0,000	1,00	0,000
1	260	40	0,133	0,867	0,133
2	235	25	0,083	0,783	0,096
3	205	30	0,100	0,683	0,128
4	160	45	0,150	0,533	0,220
5	115	45	0,150	0,383	0,281
6	75	40	0,133	0,250	0,348
7	40	35	0,117	0,133	0,467
8	15	25	0,083	0,050	0,625
9	0	15	0,050	0,000	1,000

Représentation graphique:

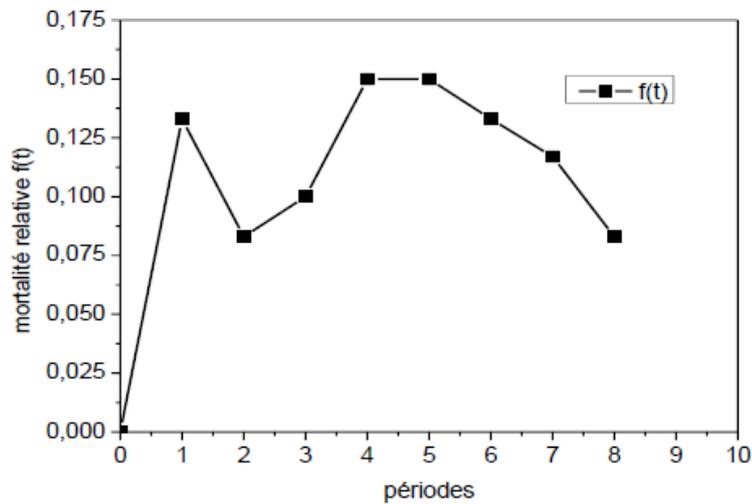
1) Survivants :



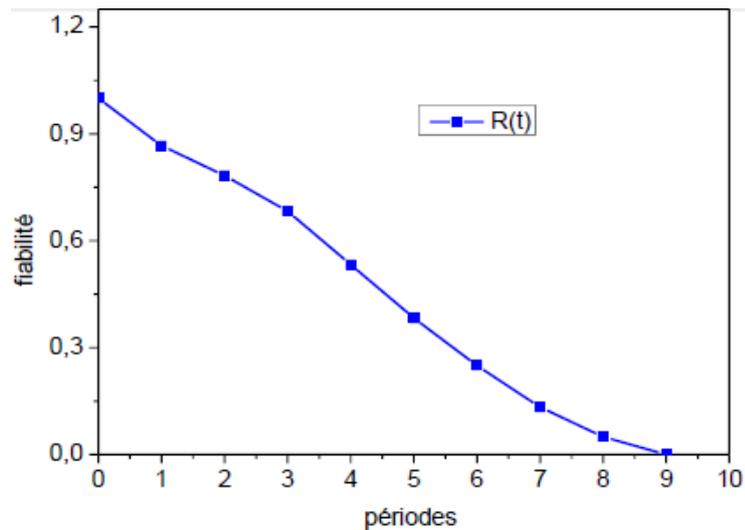
2) Mortalité absolue $\Delta N(t)$:



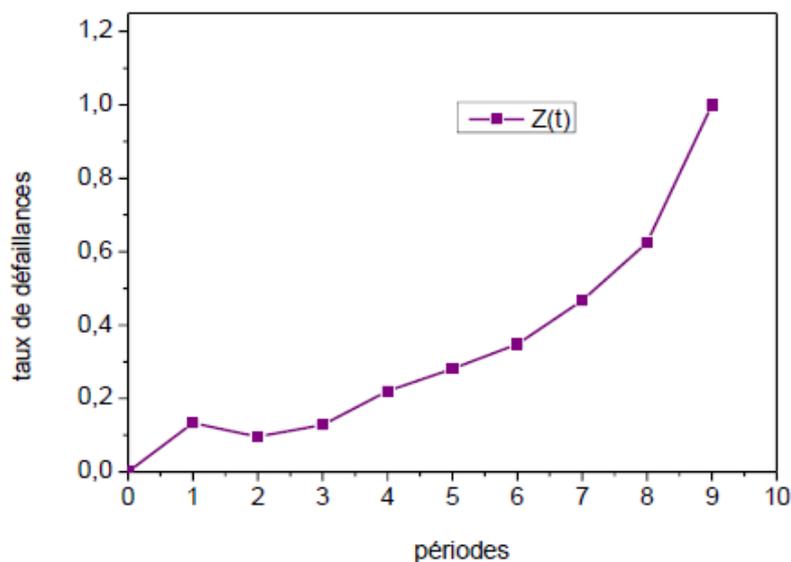
3) Mortalité relative $f(t)$:



4) Probabilité de survie $R(t)$:



5) Taux de défaillances ou d'avarie $Z(t)$:



Dans la troisième colonne du tableau précédent, nous avons remarqué que 40 matériels au terme d'une période, 25 au terme de 2ème période puis... La MTBF peut donc s'écrire :

$$MTBF = \frac{[(40.1) + 25.2] + (30.3) + (45.4) + (45.5) + (40.6) + (35.7) + (25.8) + (15.9)]}{300}$$



$$MTBF = 4,68 \text{ périodes}$$

Nota : Merci de préparer vos leçons.

La suite vous sera transmise ultérieurement.

Bonne santé à tous