

Chapitre I
**Généralités et types de
maintenance**

ACRONYMES ET ABREVIATIONS

AFNOR : Association Française de Normalisation

CEN : Comité Européen de Normalisation

ISO : International Standardization Organization

FDMS : Fiabilité, Disponibilité, Maintenabilité, Sûreté de fonctionnement

MTTR : Temps moyen de réparation

NFX60-01 : extraits de la norme AFNOR : Association Française de Normalisation

API : automate programmable industriel

MTTF : (Mean Time To [first] Failure) : temps moyen avant-première défaillance

MTBF : temps moyen entre deux défaillances successives

MDT ou MTI (Mean Down Time) : temps moyen d'indisponibilité ou temps moyen d'arrêt propre.

MUT : (Mean Up Time) : temps moyen de disponibilité

MAO : Une maintenance assistée par ordinateur

Moteur CC : Un moteur a courant continue

DTE : Dossier technique équipement

TRS : Taux de rendement synthétique

TPM : La maintenance productive totale

MTTR : Moyenne des durées d'intervention

BPT : Bon pour petits travaux

DT : Demande de travail

OT : Ordre de travail

TTR : Durées d'intervention

AMDEC : Est une méthode qualitative et inductive visant à identifier les risques de pannes

GAP : Groupe d'analyse de pannes

I.1. Définitions

I.1.1. Définitions AFNOR et CEN de la maintenance

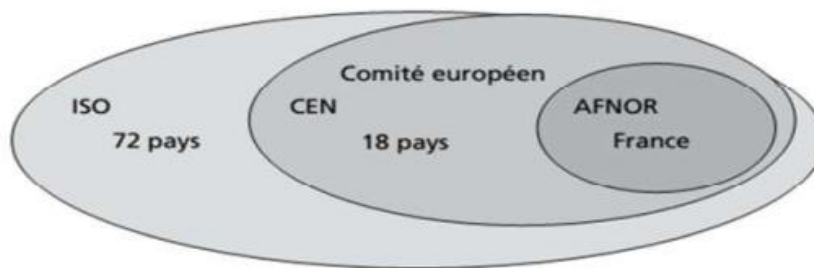


Figure I.1 – Les organismes de normalisation [1]

I.1.2. Définitions de la maintenance selon l'AFNOR par la norme X 60-000

La maintenance est l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise.

I.1.3. Définition de la maintenance selon l'AFNOR par la norme NF X 60-010

Ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé. Bien maintenir, c'est assurer l'ensemble de ces opérations au coût optima.

La définition de la maintenance fait donc apparaître 4 notions :

- ✓ Maintenir qui suppose un suivi et une surveillance.
- ✓ Rétablir qui sous-entend l'idée d'une correction de défaut.
- ✓ Etat spécifié et service déterminé qui précise le niveau de compétences et les objectifs attendus de la maintenance.
- ✓ Coût optimal qui conditionne l'ensemble des opérations dans un souci d'efficacité économique.

I.2 Types de maintenance

I.2.1 Introduction

Dans la définition de la maintenance, nous trouvons deux mots-clés : maintenir et rétablir. La norme européenne EN 13306 « Terminologie de la maintenance » définit les différentes classes en maintenance. Ce paragraphe fera l'objet d'une large présentation concernant ces différentes classes. Le premier fait référence à une action préventive, le

deuxième fait référence à l'aspect correctif. On peut résumer les différentes politiques de maintenance selon la Figure I.2

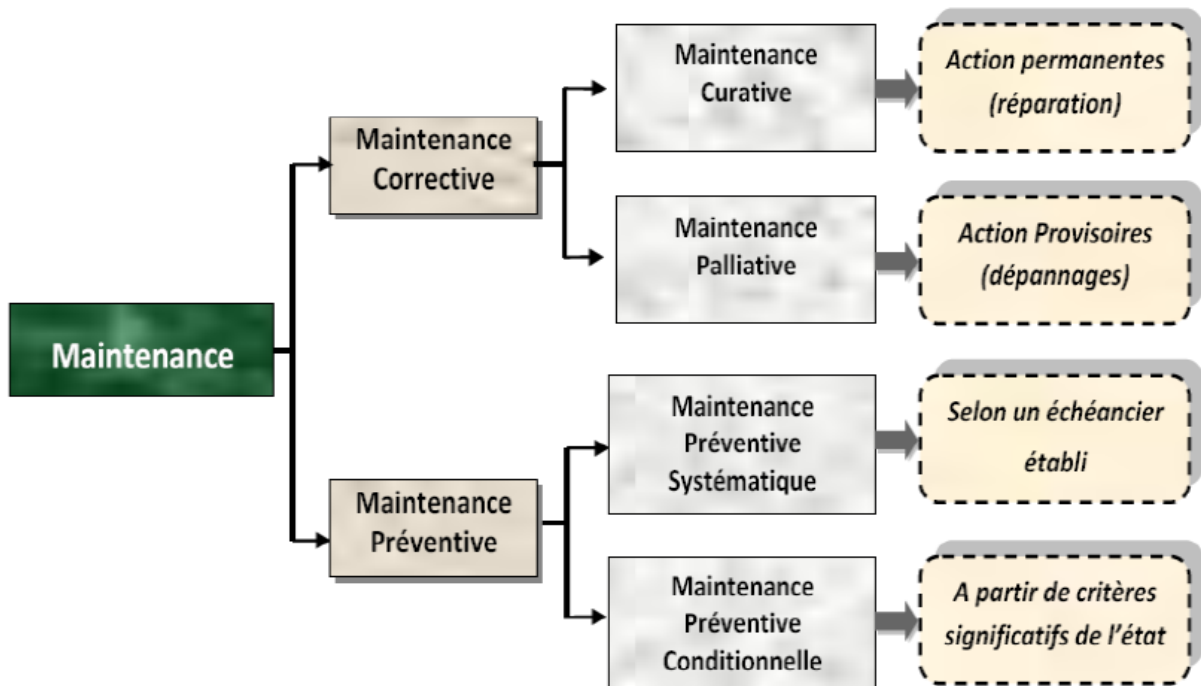


Figure I. 2 : Organigramme de politique de maintenance

I.2.2 La maintenance corrective C'est la maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise . La maintenance corrective comprend en particulier :

- La localisation de la défaillance et son diagnostic ;
- La remise en état avec ou sans modification ;
- Le contrôle du bon fonctionnement.

I.2.2.1 Maintenance palliative Action de maintenance corrective destinée à permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou partie d'une fonction requise. Appelée couramment «dépannage», la maintenance palliative est principalement constituée d'actions à caractère provisoire qui doivent être suivies d'actions curatives.

I.2.2.2 Maintenance curative Activités de maintenance corrective ayant pour objet de rétablir un bien dans un état spécifié ou de lui permettre d'accomplir une fonction requise. Le résultat des activités réalisées doit présenter un caractère permanent. Ces activités peuvent être :

- Des réparations ;
- Des modifications ou améliorations ayant pour objet de supprimer les défaillances.

❖ **Notion de défaillance**

Selon la (norme NF60-011) : *altération ou cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise*. Il existe deux formes de défaillance :

- ❖ **Défaillance partielle** : altération (modification ou dégradation) de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise.
- ❖ **Défaillance complète** : cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise.

I.2.3 La maintenance préventive : C'est la maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien.

I.2.3.1 La maintenance préventive systématique C'est la maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien.

I.2.3.2 La maintenance préventive conditionnelle : C'est la maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent.

❖ La maintenance prédictive

La maintenance prédictive (ou prévisionnelle) est une maintenance préventive subordonnée à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs de la dégradation du bien, permettant de retarder et de planifier les interventions. Il existe aussi un troisième concept qui consiste à se débarrasser définitivement des défaillances : c'est la maintenance méliorative.

Elle nécessite une réflexion pour :

- Déterminer les causes réelles du problème ;
- Envisager les remèdes adaptés à leur suppression.

❖ Niveaux de maintenance

Les cinq niveaux de maintenance définis par l'Afnor peuvent être réduits au nombre de trois, dans le cadre de la logique TPM :

Niveau	Activité	Personnel d'intervention	Moyens
1	Réglages simple prévus par le constructeur au niveau d'organes accessibles, sans aucun démontage d'équipement ou échange d'éléments accessibles en toute sécurité	Exploitant sur place	Outillage léger défini dans les instructions d'utilisation.
2	Dépannage par échange standard d'éléments prévus à cet effet, ou d'opérations mineures de maintenance préventive	Technicien habilité sur place	Outillage léger défini dans les instructions d'utilisation, plus pièces de rechange trouvées à proximité, sans délai.
3	Identification et diagnostic de pannes, réparation par échange de composants fonctionnels, réparations mécaniques mineures	Technicien spécialisé, sur place ou en local de maintenance	Outillage prévu plus appareils de mesure, banc d'essai, contrôle
4	Travaux importants de maintenance corrective ou préventive	Equipe encadrée par un technicien spécialisé, en atelier central	Outillage général, plus spécialisé, matériel d'essai, de contrôle
5	Travaux de rénovation, de reconstruction, ou réparations importantes confiés à un atelier central	Equipe complète, polyvalente en atelier central	Moyens proches de la fabrication par le constructeur.

I.4 Le diagnostic de défaillances

Selon la définition retenue par l'AFNOR (*Association Française de Normalisation*) , le Diagnostic de défaillances est : «...l'identification de la cause probable de la (ou les) défaillance(s) à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations

provenant d'une inspection, d'un contrôle, ou d'un test » [NF X60-010]. La description d'un processus bouclé de diagnostic, illustré sur la Figure I. 2

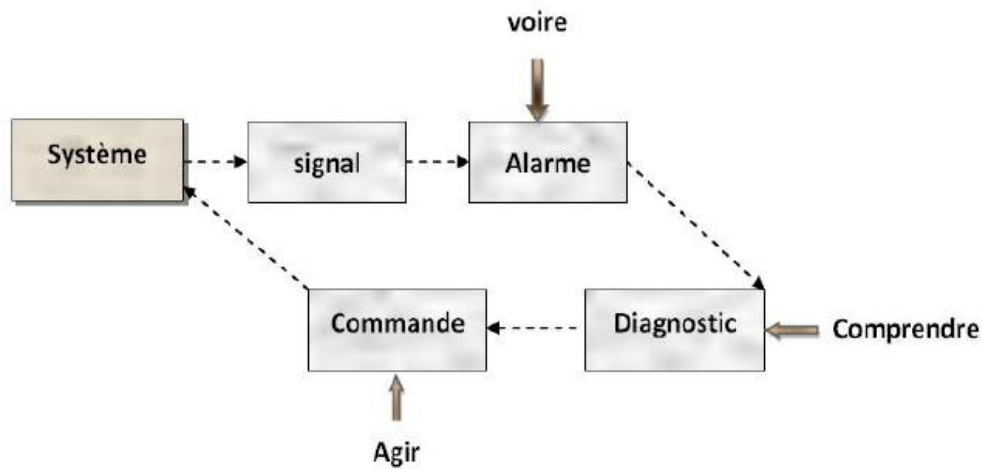


Figure I. 4 : Les trois étapes du diagnostic.

- ✓ La première étape, « Voir », correspond à la génération d'alarmes, (où la détection d'états perturbés du système).
- ✓ La suivante, « Comprendre », correspond au filtrage et à l'interprétation des alarmes (le traitement des alarmes pour mieux comprendre le phénomène qui a eu lieu).
- ✓ La dernière étape, « Agir », correspond à la commande du système (comment remettre le système dans son état nominal).

• I.3.1. Qu'est-ce qu'un système ?

Ensemble complexe de matériels, logiciels, personnels et processus d'utilisation, organisés de manière à satisfaire les besoins et à remplir les services attendus, dans un environnement donné.



Figure I.2 – Composants du système

II. De la maintenance préventive au diagnostic

L'objectif de la maintenance préventive est de déterminer l'ensemble des actions à exercer sur le procédé afin de ne pas subir l'effet d'une défaillance. On peut à cet effet distinguer deux approches possibles : la maintenance préventive systématique et la maintenance préventive conditionnelle.

1. Maintenance préventive systématique

Ce type de maintenance est effectué dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu. C'est une intervention de maintenance prévue, préparée et programmée avant la date probable d'apparition d'une défaillance. Elle est effectuée selon un échéancier établi suivant le temps ou le nombre d'unités d'usage. Ci-après nous présentons une figure qui illustre ce principe.

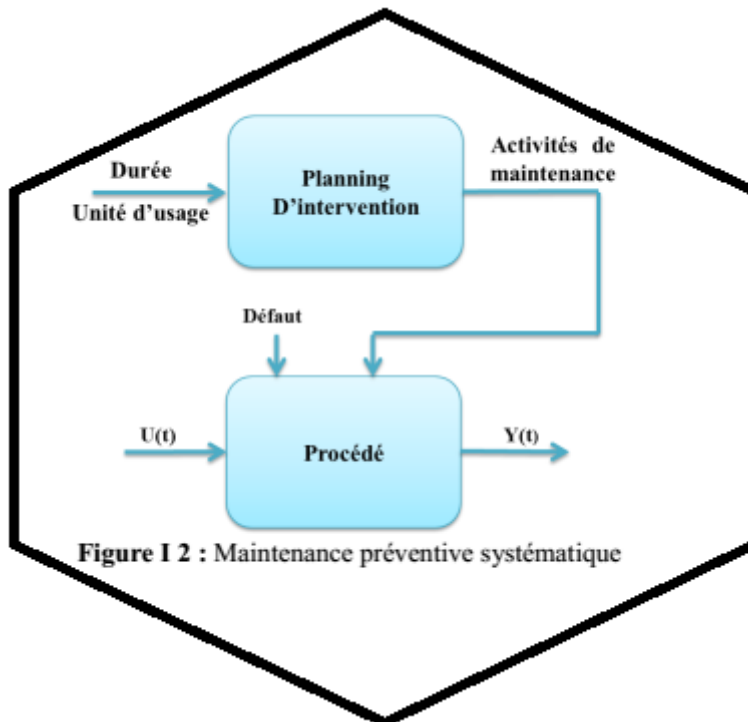


Figure I 2 : Maintenance préventive systématique

2. Maintenance préventive conditionnelle

Ce type de maintenance est basé sur la surveillance en continu de l'évolution du

système, afin de prévenir un dysfonctionnement avant qu'il n'arrive.

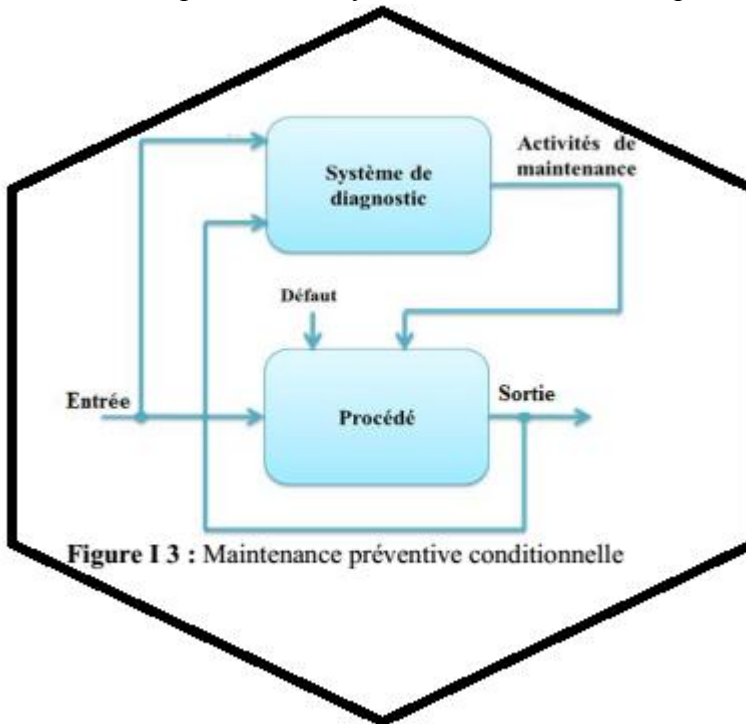


Figure I 3 : Maintenance préventive conditionnelle

III. Outils de la maintenance conditionnelle

La maintenance conditionnelle se base sur l'analyse des grandeurs mesurées afin de détecter ou signaler une anomalie au niveau d'un système. Ces grandeurs peuvent être :

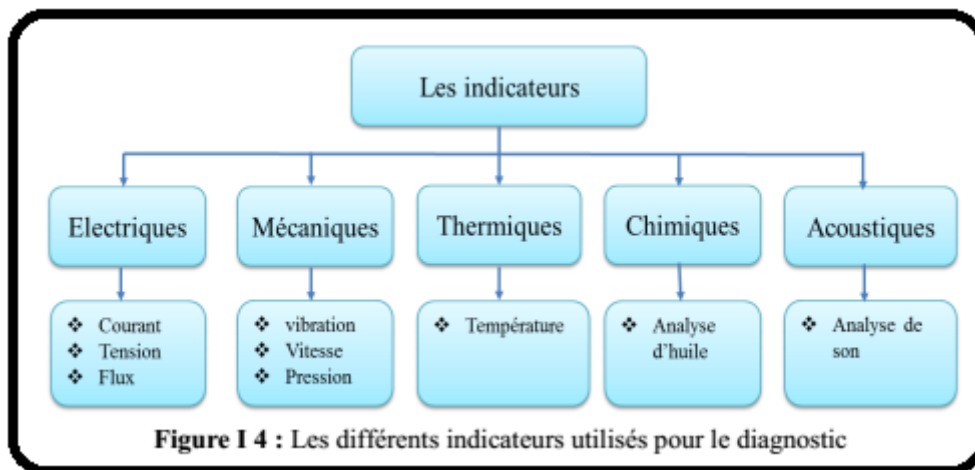


Figure I 4 : Les différents indicateurs utilisés pour le diagnostic

I.6. Taux de défaillance et lois de fiabilité

I.6.1. Définition de défaillance

À l'origine de l'action de maintenance se trouve la défaillance d'un bien. La défaillance et la panne sont définies ainsi : « cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise » alors que « la panne est l'état du bien après défaillance ».

Synonymes usuels non normalisés : dysfonctionnement, dommages, dégâts, anomalies, avaries, incidents, défauts, pannes, détériorations.

I.6.2. Fonction de fiabilité R(t) – Fonction de défaillance F(t)

Le nombre $F(t)$ représente la probabilité qu'un dispositif choisi au hasard ait une défaillance avant l'instant t . La Figure I.9 donne l'allure de cette fonction.

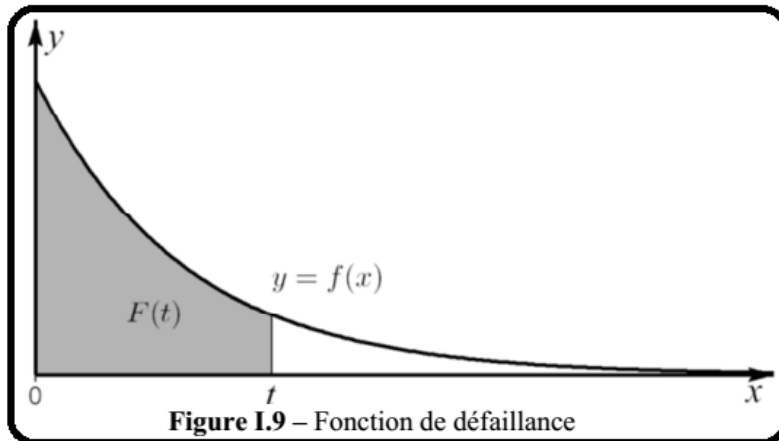


Figure I.9 – Fonction de défaillance

Cette fonction nous amène naturellement une fonction associée : la fonction de fiabilité R définie pour tout $t > 0$ 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 I.10 montre les deux fonctions associées.

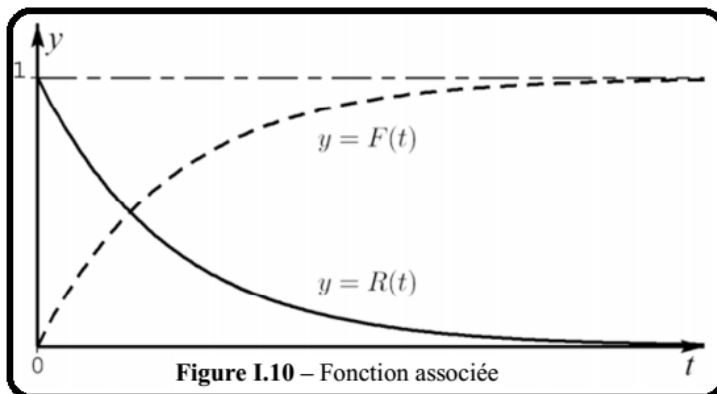


Figure I.10 – Fonction associée

I.6.3. Taux de défaillance instantané

C'est la probabilité ($0 < R < 1$) ; 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 R par :

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} * \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)}$$

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 .

$$\lambda(t) = - \frac{dR(t)}{dt} * \frac{1}{R(t)} = \frac{dF(t)}{dt} * \frac{1}{R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - F(t)}$$

Où R est la fonction de fiabilité de ce matériel. On est alors amené à résoudre une équation différentielle du 1^{er} ordre. En effet si λ est connue, la résolution de l'équation différentielle linéaire du 1^{er} ordre

$$R(t)' + \lambda(t)R(t) = 0$$

La résolution de cette équation différentielle donne la fonction R et la fonction F .

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(x)dx} \quad \text{et} \quad F(t) = 1 - e^{-\int_0^t \lambda(x)dx}$$

I.6.4. Indicateurs de fiabilité (λ) et (MTBF)

Précédemment le taux de défaillance λ a été défini par des expressions mathématiques à travers un calcul de probabilité. On peut également l'exprimer 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

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

I.6.5. Temps moyen de bon fonctionnement

Le MTBF est souvent traduit comme étant la moyenne des temps de bon fonctionnement

$$MTBF = \frac{\text{somme des temps de fonctionnement entre les 'n' défaillances}}{\text{nombre d'intervention de maintenance avec immobilisation}}$$

Si λ est constant :

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

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

Remarque : La durée de bon fonctionnement = la durée totale en service - la durée des défaillances. Les unités utilisées sont : le nombre de défaillances par heures, le pourcentage de défaillances pour 1000 heures, etc.

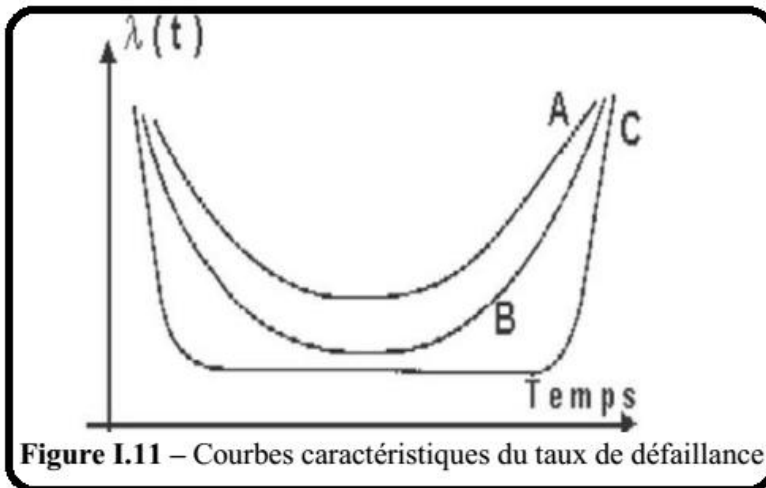
Par exemple, un produit ayant $10^{-7} < \lambda < 10^{-5}$ pour 1000 heures (ou $10^{-4} < \lambda < 10^{-2}$ par heure) présente un bon niveau commercial de fiabilité. La durée de bon fonctionnement, c'est la période de temps pendant laquelle le dispositif, en activité ou en service, est exposé à des défaillances.

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.

$$MTBF = \frac{8000 - (7 + 22 + 8.5 + 3.5 + 9)}{5} = 1590 \text{ heures}$$

Et si λ est supposé constant $\lambda = \frac{1}{MTBF} = 6.289 \cdot 10^{-4}$ défaillances par heure.

La courbe ci-dessous montre l'évolution du taux des défaillances pour les différentes entités.

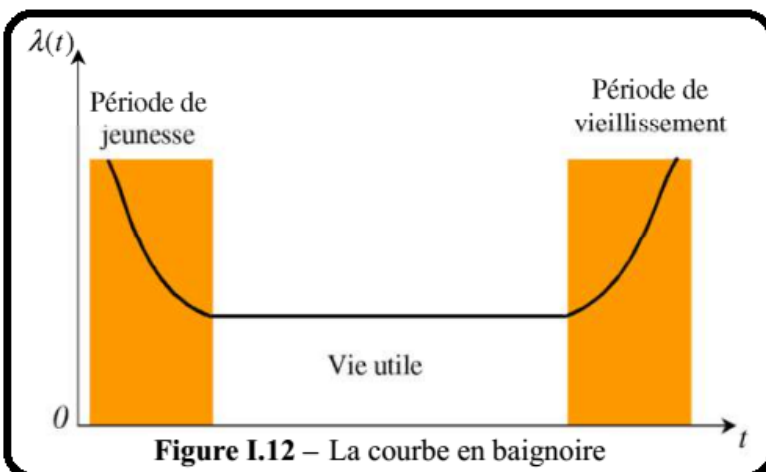


Les courbes du taux de défaillance (Figure I.11) ont une même forme générale dite en baignoire, mais présentent néanmoins des différences suivant la technologie principale du système étudié :

- A. en mécanique.
- B. en électromécanique.
- C. en électronique.

I.6.6. 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 (Figure I.12). Le taux de défaillance est élevé au début de la vie du dispositif. Ensuite, il diminue assez rapidement avec le temps (taux de défaillance décroissant), cette phase de vie est appelée période de jeunesse. Après, il se stabilise à une valeur qu'on souhaite aussi basse que possible pendant une période appelée période de vie utile (taux de défaillance constant). A la fin, il remonte lorsque l'usure et le vieillissement font sentir leurs effets, c'est la période de Vieillessement (taux de défaillance croissant):



De nombreux éléments, tels que les composants électroniques, ont un taux de défaillance qui évolue de cette manière-là. Pour souligner la particularité des composants mécaniques dans l'analyse de la fiabilité par rapport aux composants mécaniques, nous allons comparer l'évolution du taux de défaillance dans les deux cas.

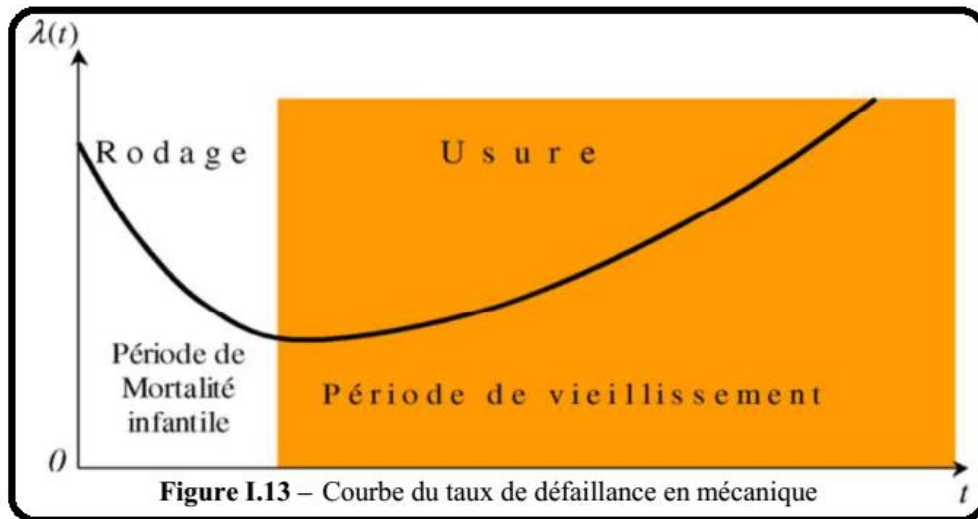
I.6.6.1. Taux de défaillance pour des composants électroniques

L'expérience a montré 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.12). Elle est donc composée de trois phases :

- ✓ **Phase 1** : La première phase définit la période de jeunesse, caractérisée par une décroissance rapide du taux de défaillance. Pour un composant électronique cette décroissance s'explique par l'élimination progressive de défauts dus aux processus de conception ou de fabrication mal maîtrisé ou à un lot de composants mauvais. Cette période peut être minimisée pour les composants vendus aujourd'hui. En effet, les fabricants de composants électroniques se sont engagés à vérifier la qualité de leurs produits en sortie de fabrication.
- ✓ **Phase 2** : La deuxième phase définit la période de vie utile généralement très longue. Le taux de défaillance est approximativement constant. Le choix de la loi exponentielle, dont la propriété principale est d'être sans mémoire, est tout à fait satisfaisant. 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 presque souvent dans cette période de vie utile.
- ✓ **Phase 3** : La dernière phase est la période de vieillissement, elle est caractérisée par une augmentation progressive du taux de défaillance avec l'âge du dispositif. Ceci est expliqué par des phénomènes de vieillissement tels que l'usure, l'érosion, etc. Cette période est très nettement au-delà de la durée de vie réelle d'un composant électronique. Parfois, on réalise des tests de vieillissement accélérés pour révéler les différents modes de défaillance des composants.

I.6.6.2. 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 on trace la courbe du taux de défaillance, en fonction du temps, on obtient une courbe qui ne présente pas le plateau de la Figure I.12 la période de vie utile (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 (voir Figure I.13)



- **Phase 1 :** La première phase définit la période de mortalité infantile. C'est une durée de vie en principe très courte Elle décrite par une décroissance progressive du taux de défaillance avec le temps dû à une amélioration des caractéristiques internes (caractéristiques de défauts) et des interfaces, par un rodage préalable des pièces. Par conséquent il n'est pas souhaitable de tester les composants mécaniques dans cette période de leur vie.
- **Phase 2 :** La dernière phase définit la période de vieillissement qui comporte la majorité de la vie du dispositif. Elle est caractérisée par une augmentation progressive du taux de défaillance. Les pièces mécaniques sont soumises à des phénomènes de vieillissement multiples qui peuvent agir en combinaison: corrosion, usure, déformation, fatigue, et finalement perte de résilience ou fragilisation. Contrairement aux composants électroniques les calculs de la fiabilité pour des composants mécaniques se font essentiellement dans 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.

I.6.7. Fiabilité d'un système

La détermination de la fiabilité d'un système électronique, mécanique ou autre nécessite tout d'abord de connaître la loi de la fiabilité (ou la loi de défaillance) de chacun des composants intervenant dans le système.

Ceci est simple pour certains types de systèmes tels que les systèmes électroniques, or ce n'est pas le cas pour des systèmes mécaniques à cause de la complexité de la structure du système étudié. Les systèmes mécaniques sont des ensembles d'éléments technologiques liés par des relations statiques et dynamiques assez complexes.

Pour un système électronique chaque composant a un poids important dans la fiabilité du système, la fiabilité du système est donc calculé en fonction de la fiabilité de tous ses composants. Les calculs sont effectués sous l'hypothèse que les taux de défaillance sont constants dans le temps, une hypothèse acceptable pour la plupart des composants, ce qui rend les calculs beaucoup plus simple. La détermination des taux de défaillance des composants 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.

La fiabilité d'un système mécanique, contrairement à l'électronique, repose sur la fiabilité de quelques composants élémentaires responsables de son dysfonctionnement, dits composants "responsables" ou "critiques" (parfois un seul).

I.6.7.1. Fiabilité de système constitué de plusieurs composants

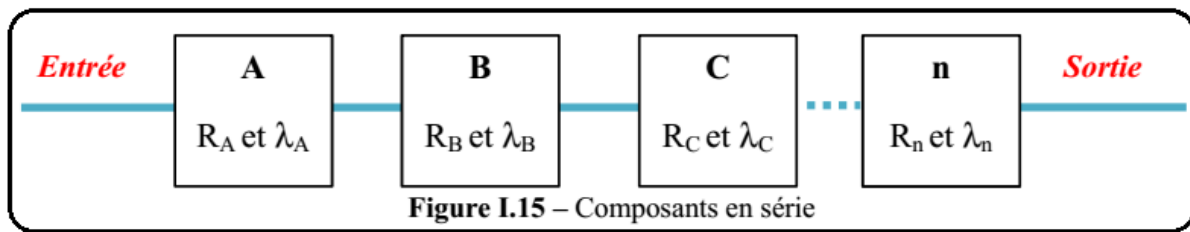
a. En série

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 :

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



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

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

Avec

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

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

Alors

$$R(s) = (e^{-\lambda_n t}) \text{ et } MTBF (s) = \frac{1}{n * \lambda}$$

- **Exemple 1 :** Soit un poste de radio constitué de quatre composants connectés en série, une alimentation $R_A = 0.95$, une partie récepteur $R_B = 0.92$; un amplificateur $R_C = 0.97$ et haut-parleur $R_D = 0.89$; déterminer la fiabilité R_S de l'appareil.

$$R_S = R_A * R_B * R_C * R_D = 0.95 * 0.92 * 0.97 * 0.89 = 0.7545 \text{ (soit une fiabilité de 75\% environ)}$$

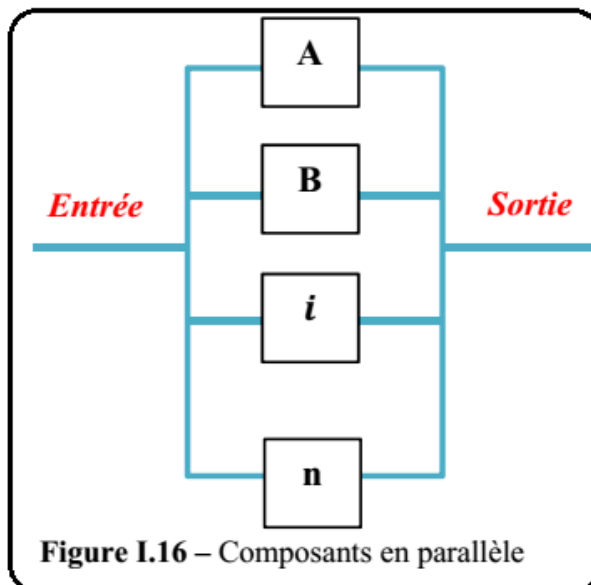
- **Exemple 2 :** Soit une imprimante constituée de 2000 composants montés en série supposés tous de même fiabilité, très élevée $R = 0.9999$, Déterminer la fiabilité de l'appareil.

b. 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

$$R_i = 1 - F_i$$

R_i ,, représentant la fiabilité associée.



Soit les “n” composants de la figure ci-dessous (Figure I.16) montés en parallèle. Si la probabilité de panne pour chaque composant repéré (i) est notée F_i alors:

$$R(s) = 1 - (1 - R)^n \quad (19)$$

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

$$R_s = 1 - (1 - R_A) * (1 - R_B) = R_A + R_B - R_A * R_B = e^{-\lambda_A t} + e^{-\lambda_B t} - e^{-(\lambda_A + \lambda_B)t} \quad (20)$$