



MAINTENANCE DES SYSTEMES ELECTROMECHANIQUES



Pr. Bouras Slimane

MAINTENANCE DES SYSTEMES ELECTROMECHANIQUES

1. Introduction :

L'objectif de la fonction maintenance, c'est de maintenir un bien dans un état lui permettant de répondre de façon optimale à sa fonction.

Une entreprise est tenue toujours d'assurer des produits de meilleures qualités et au coût le plus réduit possible afin de rester compétitive. Pour minimiser ce coût, on doit fabriquer plus vite, et sans perturbation de la chaîne suite à des défauts afin de réaliser une production maximale par unité de temps. Ceci est l'objectif principal de la fonction maintenance pour une entreprise.

L'accent est mis sur l'intégration d'éléments mathématiques dans la maintenance pour évaluer le comportement du matériel en service. L'automatisation et l'informatique ont permis d'accroître considérablement cette rapidité de production. Exceptés certains arrêts forcés dus à la production elle-même (changement de production, montées en température, entretien programmé, etc.), les machines ne doivent jamais (ou presque) tomber en panne à cause des défaillances et doivent fonctionner à un régime nominal permettant un rendement avoisinant le maximal.

2. Définition et Rôle de la maintenance et du dépannage des équipements dans l'industrie.

La maintenance est définie d'après le Dictionnaires Français Larousse comme l'ensemble de tout ce qui permet de maintenir ou de rétablir un système en état de fonctionnement.

L'Association française de normalisation (**AFNOR**) est l'organisation française qui représente la France auprès de l'Organisation internationale de normalisation (**ISO**) et du Comité européen de normalisation (**CEN**).

L'**AFNOR**, par la norme **NFX60-010**, définit la maintenance comme :

« l'ensembles des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé ».

La définition de la maintenance fait donc apparaître **3 notions** :

-  Maintenir qui suppose un suivi et une surveillance ;
-  Rétablir qui sous-entend l'idée d'une correction de défaut ;
-  Etat qui précise le niveau de compétences et les objectifs attendus de la maintenance.

Dans une entreprise, quelque soit son type et son secteur d'activité, le rôle de la fonction maintenance est donc de garantir la plus grande disponibilité des équipements au rendement meilleur tout en respectant le budget alloué.

Le service maintenance doit mettre en œuvre la politique de maintenance définie par la

direction de l'entreprise ; cette politique devant permettre d'atteindre le rendement maximal des systèmes de production

Pour atteindre ces objectifs, la politique de maintenance et du dépannage des équipements dans l'industrie oblige de suivre les points suivants [1] :

a. Le service maintenance (ou « dépannage ») intervient principalement en cas de problème :

- Il dépanne en urgence.
- Il répare en atelier.
- Il effectue l'entretien quotidien des matériels.

b. Le service maintenance (ou « dépannage ») est là pour éviter les pannes et les ralentissements de production :

Les interventions en urgence engendrant de coûteux arrêts de production, on met en place des procédures de prévention (d'évité) systématiques des pannes majeures.

c. Le service maintenance (ou « dépannage ») doit générer des profits :

Le service maintenance évite des pannes : il fait donc gagner de l'argent. Mais il coûte aussi : salaires, matériels de maintenance, stock de pièces de rechange, arrêt de production pour la maintenance préventive.

d. Le service maintenance (ou « dépannage ») est en concurrence avec les sous-traitant mainteniciens.

Le service s'occupant de la maintenance dans une entreprise ou dans une chaîne de production doit faire preuve de plus de rentabilité. Il doit mettre en œuvre la politique de maintenance définie par la hiérarchie suprême de l'entreprise; cette politique devant permettre d'atteindre le rendement maximal des systèmes de production.

Seulement, toutes les installations et les organes qui les équipements n'ont pas le même degré d'importance du point de vue maintenance. Dans le cadre de la politique globale, le service de maintenance devra donc définir les stratégies les mieux adaptées aux diverses situations

La Fonction Maintenance est appelée à établir des prévisions ciblées :

- Prévisions à long terme : elles concernent les investissements lourds ou les travaux durables. Ce sont des prévisions qui sont le plus souvent dictées par la politique globale de l'entreprise.

- Prévisions à moyen terme : la maintenance doit se faire la plus discrète possible dans le planning de charge de la production. Il lui est donc nécessaire d'anticiper, autant que faire se peut, ses interventions en fonction des programmes de production. La production doit elle aussi prendre en compte les impératifs de suivi des matériels.

- Prévisions à courts termes : elles peuvent être de l'ordre de la semaine, de la journée, voire de quelques heures.

Même dans ce cas, avec le souci de perturber le moins possible la production, les interventions devront elles aussi avoir subi un minimum de préparation

3. Eléments de mathématiques appliquées à la maintenance

En maintenance industrielle, on peut introduire certains éléments mathématiques à savoir des fonctions et des graphiques, le dimensionnement et le calibrage recherchés de l'objet, l'utilisation de la description mathématique appropriée à une situation et l'analyse des situations à l'aide du calcul vectoriel

- **Fonctions et variations** : Initier à l'analyse de l'influence de la variation d'une quantité en fonction d'une autre

- **Statique et résistance des matériaux** : l'étude des forces dans un contexte d'équilibre statique (diagnostique), ainsi qu'aux notions de contraintes et de déformations (maintenance préventive)

- **Statistique en maintenance industrielle** :

Intégration de notions statistiques appliquées au contexte de maintenance industrielle. La démarche sera axée sur l'utilisation d'outils statistiques pour permettre une interprétation juste des résultats, et la production de travaux à l'aide d'un logiciel approprié au traitement statistique des données.

- **Analyse de mécanismes** : Etablir des diagnostics sur les mécanismes défectueux, les démonter, faire des analyses, changer ou réparer les pièces défectueuses, remise en état des mécanismes défectueux.

4. Comportement du matériel en service.

Le choix d'une loi de comportement du matériel (calcul de la fiabilité) est une tâche très compliquée. La sûreté de fonctionnement d'une machine en tenant compte de l'aspect sécurité et les critères dans le but d'éviter un entretien fréquent, compliqué et cher peut se résumer par la notion **F.M.D.**

- Sûreté de fonctionnement
- Maintenabilité
- Disponibilité
- Fiabilité

4. 1. Qu'est-ce qu'un système ?

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

4.2. Sûreté de fonctionnement

La sûreté de fonctionnement d'un système peut être définie comme étant la propriété qui permet aux exploitants de placer une confiance justifiée dans le service qu'il leur offre. La sûreté de fonctionnement regroupe les activités d'évaluation de la **Fiabilité**, de la **Disponibilité**, de la **Maintenabilité** et de la Sécurité (**FDMS**) d'une organisation, d'un système, d'un produit ou d'un moyen. Ces propriétés sont différentes mais complémentaires.

4.3. Maintenabilité (*Maintainability*)

Maintenabilité = être rapidement dépanné

C'est aussi la probabilité de rétablir un système dans des conditions de fonctionnement spécifiées, en des limites de temps désirées, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits.

On distingue :

- **La maintenabilité intrinsèque** : elle est « construite » dès la phase de conception à partir d'un cahier des charges prenant en compte les critères de maintenabilité (modularité, accessibilité, etc).
- **La maintenabilité prévisionnelle** : elle est également « construite », mais à partir de l'objectif de disponibilité
- **La maintenabilité opérationnelle** : elle sera mesurée à partir des historiques d'interventions. L'analyse de maintenabilité permettra d'estimer la **MTTR** ainsi que les lois probabilistes de maintenabilité (sur les mêmes modèles que la fiabilité).
Ainsi, La maintenabilité caractérise la facilité à remettre ou de maintenir un bien en bon état de fonctionnement. La maintenabilité d'un équipement dépend de nombreux facteurs.

Facteurs liés à L'EQUIPEMENT	Facteurs liés au CONSTRUCTEUR	Facteurs liés à la MAINTENANCE
• Documentation • Aptitude au démontage • Facilité d'utilisation	• Conception • Qualité du service après-vente • Facilité d'obtention des pièces de rechange • Coût des pièces de rechange	• Préparation et formation des personnels • Moyens adéquats • Etudes d'améliorations (maintenance améliorative)

Tableau I.1 – Les facteurs de maintenabilité [1]

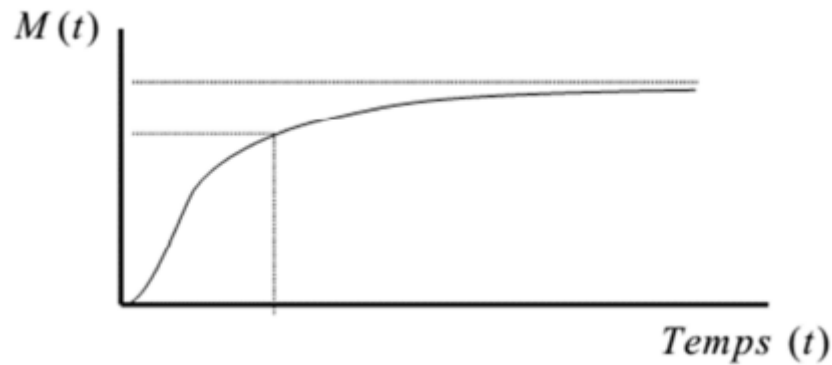


Figure I.1 – Évolution de maintenabilité d'un système en fonction de temps [2]

Concernant la maintenabilité, le temps de réparation est une variable aléatoire qui résulte de différents facteurs tels que l'habileté des agents de maintenance et la disponibilité des pièces de rechange.

On peut améliorer la maintenabilité en :

- Développant les documents d'aide à l'intervention.
- Améliorant l'aptitude de la machine au démontage (modifications risquant de coûter cher).
- Améliorant l'interchangeabilité des pièces et sous ensemble.

4..4. Disponibilité (*Availability*).

L'étude de la fiabilité nous amène à s'intéresser non seulement à la probabilité de panne, mais aussi au nombre de pannes et, en particulier, au temps requis pour faire les réparations. Ainsi, deux nouveaux paramètres de la fiabilité vont apparaître [1].

- La **disponibilité** est la probabilité qu'un système soit disponible pour être utilisé à un moment donné du temps.
- La **disponibilité** est l'aptitude d'une entité à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs est assurée.
- La **disponibilité** c'est aussi la probabilité qu'un système soit disponible pour être utilisé à un moment donné du temps. Cette définition est proche de celle de la fiabilité, sauf que le système demandé doit fonctionner à l'instant (**t**) et non sur une période de temps (**0 à t**).

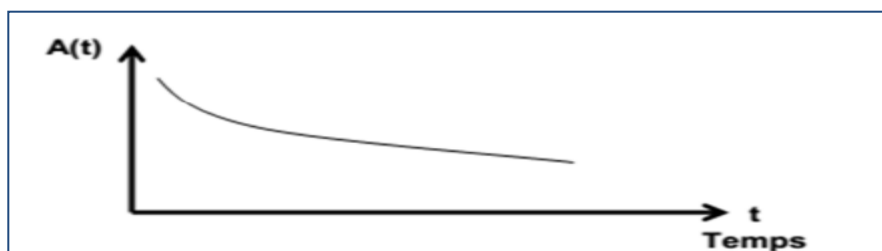


Figure I.2 - Évolution de disponibilité d'un équipement en fonction de temps [5]

Lorsqu'un système est réparé de manière continue, soit par un programme d'entretien ou de maintenance, la disponibilité de l'équipement tend à devenir constante.

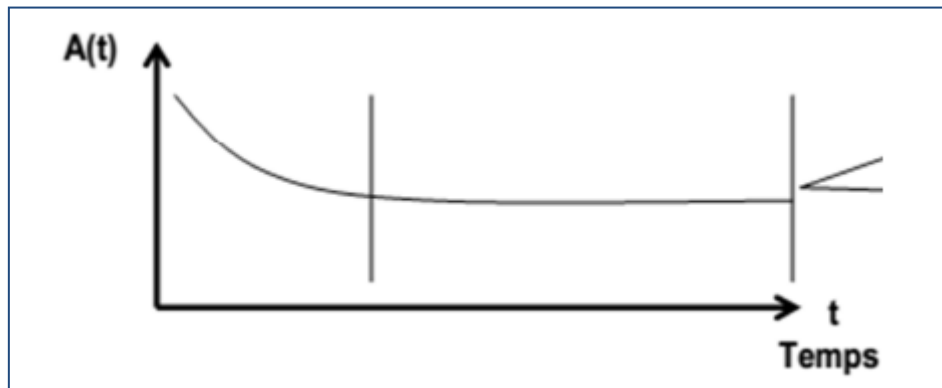


Figure I.3 - Évolution de disponibilité d'un équipement réparé de manière continue en fonction de temps [3]

Pour des systèmes réparables, une quantité fondamentale est la disponibilité. Elle est définie comme suit :

$A(t)$ = probabilité qu'un système fonctionne de façon satisfaisante au moment t .

4.5. Fiabilité (*Reliability*)

- **Définition 1** : C'est l'aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, durant un intervalle de temps donné.

- **Définition 2** : 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.

Remarque : Le terme « fiabilité » est également utilisé pour désigner la valeur de la fiabilité et peut être défini comme une probabilité.

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 chances sur 100

Pour que le roulement fonctionne sans signe d'usure

Pendant 20 000 heures

À une fréquence de rotation moyenne de 1500 tr/min

**PROBABILITE
FONCTION REQUISE
TEMPS DONNE
CONDITIONS DONNEES**

Remarque : 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.

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 se produire sur un nombre total d'essais ou de tentative.

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.

Remarque : 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

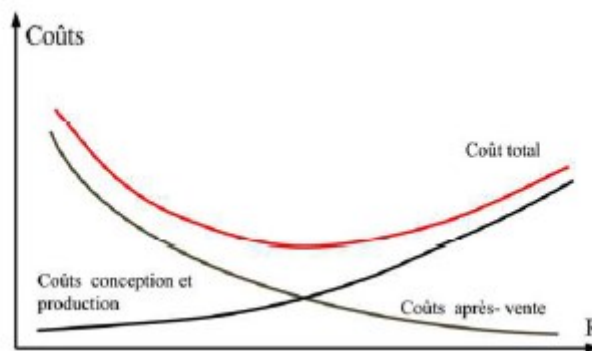


Figure I.4 – Courbes d'évolution des coûts en fonction de la fiabilité [3]

4.6. Analyses FMD : indicateurs opérationnels

Définitions

Temps de fiabilité, maintenabilité et disponibilité

La Figure I.5 schématise les états successifs que peut prendre un système réparable.

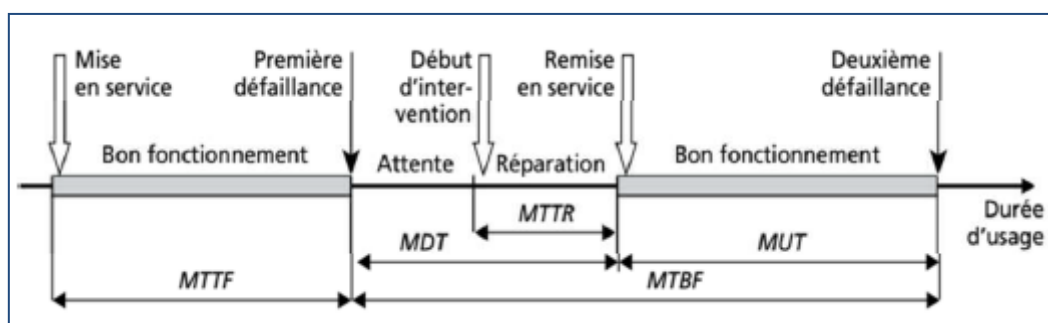


Figure I.5 - Les durées caractéristiques de FMD [1]

En fait, les grandeurs portées par le graphe sont des durées (TBF) auxquelles on fait correspondre des moyennes (MTBF) obtenues par exploitation statistique $m(t)$ ou probabiliste $E(t)$ des n durées constatées et enregistrées. Les sigles utilisés sont d'origine anglo-saxonne et correspondent aux notions suivantes :

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

- **MTBF** (Mean Time Between Failure) : 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 ;
- **MTTR** (Mean Time To Repair) : temps moyen de réparation.

5. 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.

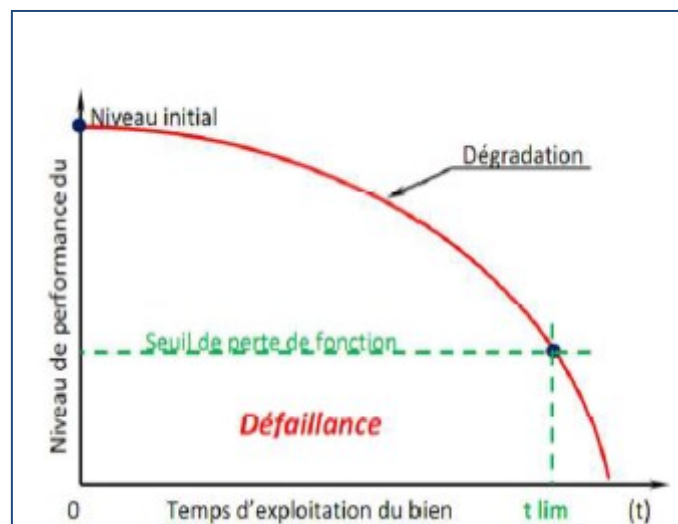


Figure I.8 – Dégradation du bien et durée de vie [5]

t lim : indique le moment d'apparition de la défaillance

6. Indicateurs de fiabilité λ et (MTBF)

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 [4].

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

Temps moyen de bon fonctionnement :

Le MTBF 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 .

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

Physiquement le MTBF peut être exprimé par le rapport des temps

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

Si λ est constant : $MTBF = 1/\lambda$

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 ($10^{-5} < \lambda < 10^{-2}$ 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 $\lambda = 1/MTBF = 6.289 \cdot 10^{-5}$ défaillances par heure.

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

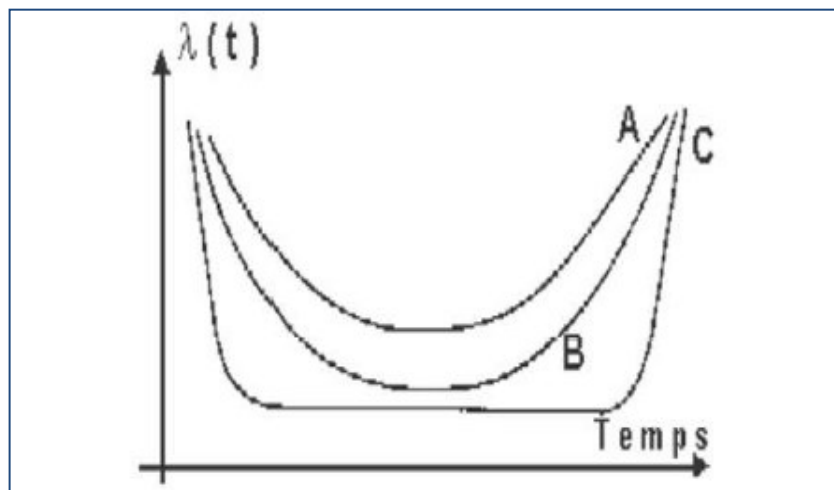


Figure I.9 – Courbes caractéristiques du taux de défaillance [5]

Les courbes du taux de défaillance (Figure I.9) ont une même forme générale dite enbaignoire, mais présentent néanmoins des différences suivant la technologie principale du système étudié :

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

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.10). 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 Vieillescence (taux de défaillance croissant):

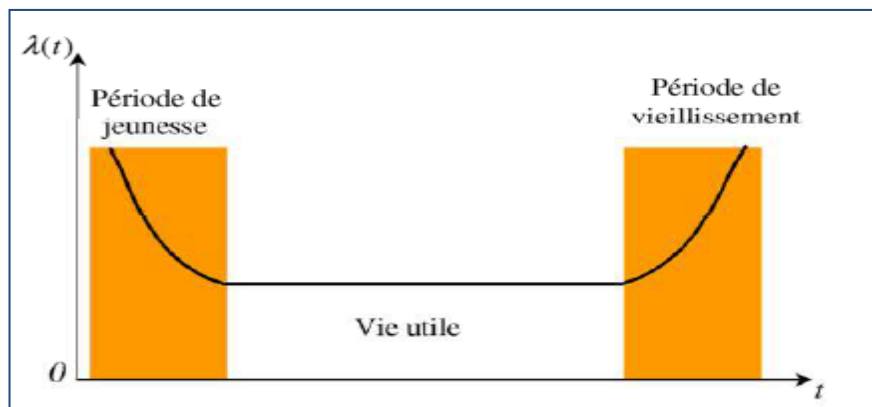


Figure I.10 – La courbe en baignoire [5]

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.

REFERENCES :

- [1]. Vernier, François Monchy Jean-Pierre. "MAINTENANCE Méthodes et organisations, 3ème édition, l'USINE NOUVELLE DUNOD."
- [2]. Technologie de maintenance industrielle - Cégep de Sherbrooke
- [3]. BENSADA, S., MT BOUZIANE, and D. FELLIACHI. "LA MAINTENANCE MAINTENANT."
- [5]. G. Zwingelstein, Diagnostic de défaillance, Hermès Paris 1997