II.1 Introduction

Dans un contexte économique fortement concurrentiel, la maintenance industrielle constitue un enjeu économique décisif dans le secteur industriel, tant au plan strictement économique qu'au plan humain. Nombreuses sont les techniques qui peuvent être, et doit être, utilisées dans un programme de maintenance. Les systèmes mécaniques et les machines constituant la majorité des équipements industriels, le contrôle de vibration constitue généralement l'élément clé des programmes de maintenance conditionnelle. Le plus souvent, la maintenance préventive repose uniquement sur des analyses de fiabilité qui ne tiennent pas compte des sollicitations influençant réellement les équipements du système tout au long de son fonctionnement.

II.2 Application de l'AMDEC

L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effet et de leur Criticité) , est une méthode inductive permettant, pour chaque composant d'un système , de recenser son mode de défaillance et son effet sur le fonctionnement ou a sécurité du système .

L'indice de criticité « C » est la résultante des facteurs de risques . Il est déterminé par le produit des trois indices (équation II.1)

- « G » , Indice de Gravité.
- « O » , Indice de fréquence d'Occurrence .
- « D » , Indice de non Détection.

$$C = D * O * G \qquad \text{(II.1)}$$

Si chaque indice est noté de 1 à 4, la criticité peut évoluer de 1 à 64. Plus l'indice est grand, plus le risque lié aux défaillances potentielles est élevé. Une stratégie d'amélioration des produits consiste à traiter les criticités supérieures à un seuil donné.**(Tableau II.1)** illustre exemple d'application de L'AMDEC.

L'AMDEC consiste à analyser :

- les défaillances,
- leurs causes,
- leurs effets.

L'AMDEC est réalisée grâce à des contrôles :

- de différents points de la chaîne de production,
- du produit ou du service fini.

Gravité G : impact des défaillances sur le produit ou l'outil de production			
1	**Sans dommage :** défaillance mineure ne provoquant pas d'arrêt de production et aucune dégradation notable des matériel.	**3**	**Important** : défaillance provoquant un arrêt significatif, et nécessitant une intervention importante.
2	**Moyenne** : défaillance provoquant un arrêt de production et nécessitent une petite intervention.	**4**	**Catastrophique** défaillance provoquant un arrêt impliquant des problèmes graves.
Fréquence d'occurrence O : probabilité d'apparition d'une couse ou d'une défaillance			
1	**Exceptionnelle** : la possibilité d'une défaillance est pratiquement inexistante.	**3**	**Certains** : il ya eu traditionnellement des défaillances dans le passé.
2	**Rare** : une défaillance occasionnels s'est déjà produite ou pourrait se produire.	**4**	**Très fréquente**: il est presque certain que la défaillance se produira souvent.
Non- détection D : probabilité de non- perception de l'existence d'une couse ou d'une défaillance			
1	**Signes avant-coureurs** : l'opérateur pourra détecter facilement la défaillance	**3**	**Aucun signe** : la recherche de la défaillance n'est pas facile.
2	**Peu de signes** : la défaillance est décelable avec une certaine recherche.	**4**	**Expertise nécessaire**: la défaillance n'est pas décelable ou encore sa localisation nécessite une expertise approfondie

Tableau II.1 : Facteurs d'évaluation de la criticité

L'indice de criticité, qui vise à évaluer le niveau de risque associé à la fonctionnalité d'un équipement permet de décider l'action à entreprendre **(tableau II.2).**

C < 16	Ne pas tenir compte
16≤ C <32	Mise sous préventif à fréquence faible
32≤ C <36	Mise sous préventif à fréquence élevée
36≤ C <48	Recherche d'amélioration
48≤ C <64	Reprendre la conception

Tableau II.2 : Échelle de criticité (C=G*O*D).

II.2.1 <u>Application de l'AMDEC</u>

Ces outils peuvent procurer un encadrement très utile car les analyses qualitative et quantitative de l'AMDEC s'insèrent dans une méthodologie globale (également applicable pour un produit déjà conçu) :

- définition de l'étude ;
- préparation de l'étude ;
- analyse et évaluation des défaillances potentielles ;

- actions correctives ou préventives ;
- réévaluation après actions correctives ;
- criticité résiduelle et liste des points critiques ;
- planification et mise en place des actions correctives.

Remarque : Ces notions et explications de fiabilité existent au chapitre I, elles sont répétées ici pour une meilleure comprehension.

II.3 La fiabilité R(t)

« Caractéristique d'un bien exprimée par la **probabilité** qu'il accomplisse une **fonction requise** dans des **conditions données** pendant un **temps donné** » (NF X 60–500)

Exemple1 : 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 ⟶ PROBABILITÉ
- 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

II.3.1 Les indicateurs liés à la fiabilité son :

- **R(t)** - fonction fiabilité (R vient de l'anglais reliability).
- **N** - nombre de pannes ;
- **λ(t)-** Le taux de défaillance ,Il représente une proportion de dispositifs survivants à un instant t(exprimé en pannes/unité d'usage);
- **MTTF** - moyenne des temps de bon fonctionnement jusqu'à la première défaillance, pour un système non réparable on à (MTTF=MTBF).
- **MTBF-** (qui vient de l'anglais *Mean Time Betwen Failure*) représente la moyenne des temps de bon fonctionnement entre deux défaillances d'un **système réparable** ou le temps moyen entre défaillances ;

II.3.2 Calcul de la MTBF :

$$\text{MTBF} = \frac{\sum \text{Temps de Bon Fonctionnement (TBF)}}{\text{Nombre de pannes}} \qquad \text{(II.2)}$$

II.3.3 Calcul du taux de défaillance λ :

$$MTBF = \int_0^\infty R(t)dt \quad \text{Si} \quad R(t) = e^{-\lambda t} \quad \text{alors} \quad MTBF = \int_0^\infty e^{-\lambda t}dt = -1/\lambda\left[e^{-\lambda t}\right]_0^\infty = 1/\lambda$$

$$\lambda = \frac{1}{\text{MTBF}} \qquad \text{(II.3)}$$

Exemple2 : 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 ; 9 heures .Déterminons son MTBF.

$$\text{MTBF}=\frac{8000-(7+22+8{,}5+3{,}5+9)}{5}=\frac{8000-50}{5}=1590\ \text{heures}\ldots\ldots \qquad \text{(II.4)}$$

si λ est suppose constant :

$$\lambda=\frac{1}{\text{MTBF}}=\frac{1}{1590}=0{,}0006289=6{,}289\times10^{-4}\quad \text{Défaillance/heures}\ldots \qquad \text{(II.5)}$$

Soit environ 0,0007 défaillance par heures ou 0,7 défaillance 1 000 heures

II.3.4 Loi exponentielle

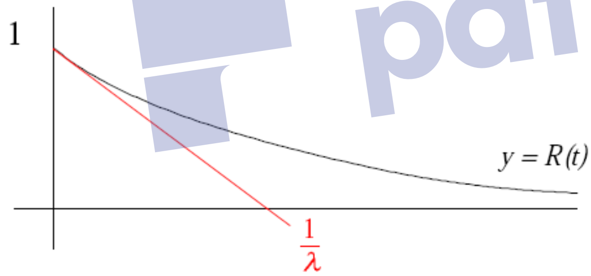
La loi exponentielle est la loi suivie par la variable aléatoire *T* lorsque le taux d'avarie est constant. Pour tout t ≥ 0 on a λ(t) = λ constante strictement positive.

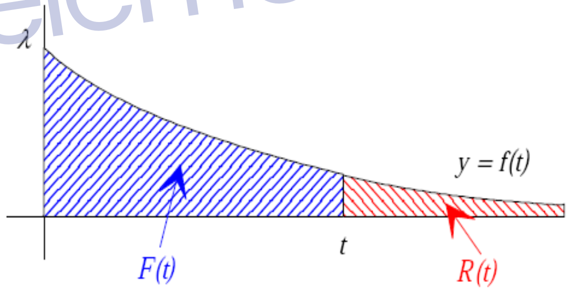
Pour tout t ≥ 0 :

Fonction de fiabilité: $\boxed{R(t)=e^{-\lambda t}}$

Fonction de défaillance: $\boxed{F(t)=1-e^{-\lambda t}}$

Densité de probabilité: $\boxed{f(t)=\lambda e^{-\lambda t}}$





$$\boxed{MTBF : E(T)=1/\lambda \qquad Ecart\ type : \sigma(T)=1/\lambda}$$

L' égalité $R(t)=e^{-\lambda t}$ est équivalente à $\ln R(t)=\ln(e^{-\lambda t}),\ \ln R(t)=-\lambda t$

Posons Y = ln R(t), on obtient $Y=-\lambda t.$ Donc les points de coordonnées (t ; Y) tracés dans le même repère orthogonal sont alignés sur une droite passant par O(0 ;0).

On estime que T suit une lois exponentielle si, pour un grand échantillon, les points connus de coordonnées (ti ; ln Ri) construit dans un repère orthogonal sont approximativement alignés avec l'origine.

II.3.5 LE MODELE DE WEIBULL

La loi de Weibull est un modèle couramment employé pour modéliser la durée vie d'un matériel.

Cela permet de déterminer par exemple les périodicités dans le cas d'une maintenance préventive systématique. La loi de Weibull est très souple d'utilisation, ce qui lui permet de s'ajuster à un grand nombre d'échantillons prélevés au long de la vie d'un équipement. Elle couvre les cas de taux de défaillance variables, décroissants (périodes de jeunesse), ou croissant (période de vieillesse). Elle permet d'ailleurs, à partir des résultats obtenus de déterminer dans quelle période de sa vie se trouve le système étudié.

- **Définitions des paramètres utilisés**

Paramètres de Weibull : β est le paramètre de forme.

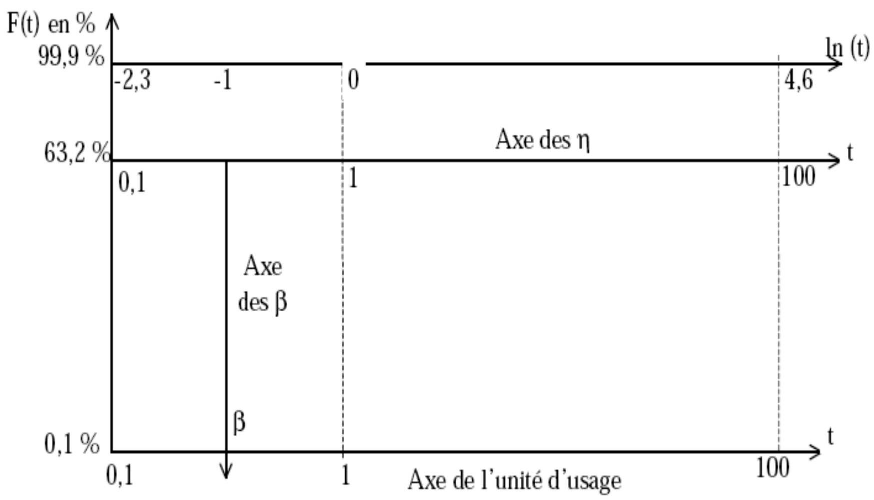
η est le paramètre d'échelle.

γ est le paramètre de position.

Fiabilité R(t) :	**Taux de défaillance λ (t)**	**MTBF**
$\boxed{R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}\right]}$ exp = 2,71828 base du logarithme népérien	$\boxed{\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \times \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}}$	$\boxed{MTBF = \eta \times A + \gamma}$ Le paramètre A est déterminé par la lecture des tables de Weibull en fonction du paramètre β.

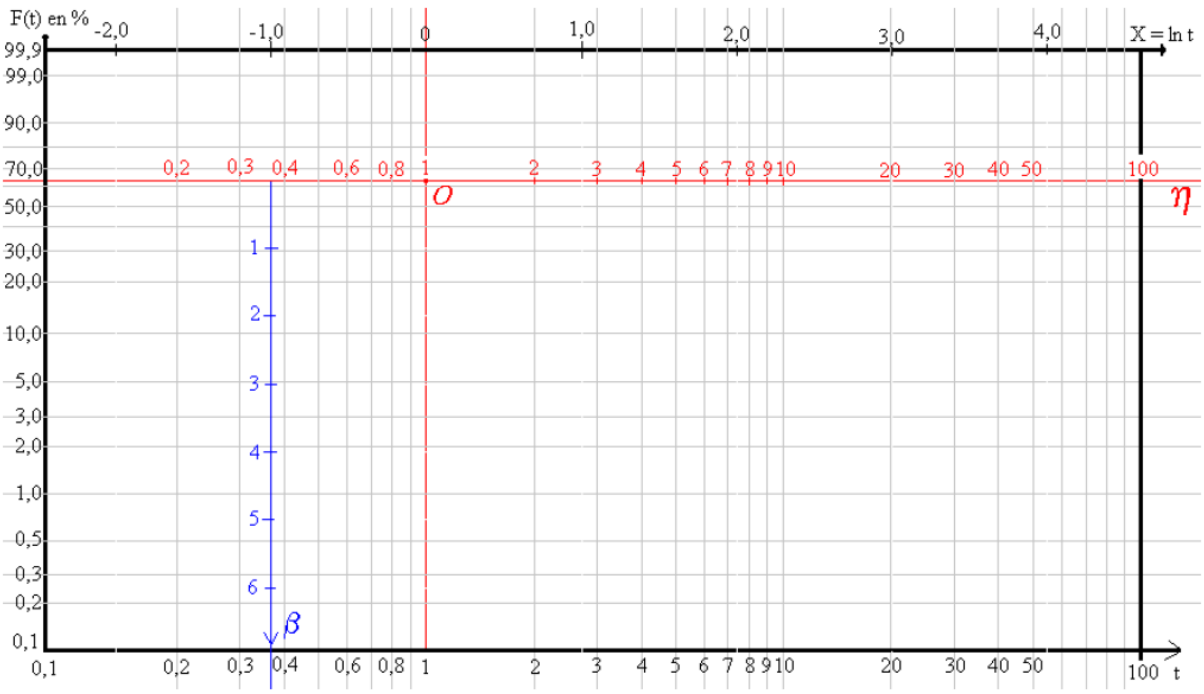
La courbe est tracée sur un papier spécial appelé papier de Weibull ou d'Allen Plait, ce qui permet de tracer une droite et de simplifier les calculs.

a) Schématisation des axes



L'axe des abscisses est gradué en logarithme décimal (log t) et l'axe des ordonnées est gradué en logarithme népérien de logarithme népérien (ln (ln (1 / 1 - F(t))).

b) Aspect du papier de Weibull



➢ **Méthodologie de Weibull**

1. Consulter les historiques de pannes et dresser la liste des temps de bon fonctionnement entre deux défaillances.
2. Classer ces temps par ordre croissant.
3. Cumuler le nombre de défaillances (rang). Au premier temps il y a 1 avarie, au deuxième temps, il y en a 2, etc.
4. Calculer les fréquences des avaries F(i), en fonction de la taille N de l'échantillon :

$N \leq 20$ méthode des rangs médians	$N > 20$ et $N < 50$ formule des rangs moyens	$N \geq 50$ groupement par classes
$\boxed{F(i) = \dfrac{i - 0{,}3}{N + 0{,}4}}$	$\boxed{F(i) = \dfrac{i}{N+1}}$	nombre de classes : $K \approx \sqrt{N}$ avec X_M = TBFmaxi, X_m = TBFmini F(i) est alors calculé pour la limite supérieure de chacune des classes, en utilisant les rangs moyens.

5. Reporter les points ainsi trouvés sur le papier de Weibull en plaçant les TBF en abscisse et les F(i) en ordonnée.
6. Tracer la droite passant au mieux par les points obtenus.

   Si les points sont alignés sur une droite, on a $\gamma = 0$.
7. Détermination des paramètres η et β :

- Le paramètre η est obtenu par l'intersection de la droite tracée avec l'axe des h lue sur ce dernier axe. L'échelle utilisée pour la lecture devra être la même que celle choisie pour l'axe de t.

- Le paramètre β est obtenu en traçant une parallèle à la droite précédente et passant par la valeur 1 de l'axe des η. La valeur de β se lit sur l'axe des β, à l'intersection avec la droite parallèle tracée ci-dessus.

8. Interpréter les résultats

L'objectif de la maintenance peut consister, entre autres, à diminuer le nombre de défaillances touchant une machine. On s'intéresse donc plus particulièrement à la probabilité d'apparition de ces défaillances sur la durée de vie de la machine. Cette probabilité, ou taux de défaillance, évolue souvent suivant une courbe en « baignoire » (figure I.1) principalement pour les équipements électromécaniques.

Le taux de défaillance λ(t) indicateur de la fiabilité (exprimé en pannes par heure), peut être obtenu à partir des retours d'expériences, la vie des équipements se divise en trois phases:

- ❖ phase de jeunesse : λ(t) décroît rapidement.
- ❖ Phase de maturité : λ(t) est pratiquement constant.
- ❖ Phase de vieillesse : λ(t) croît rapidement.

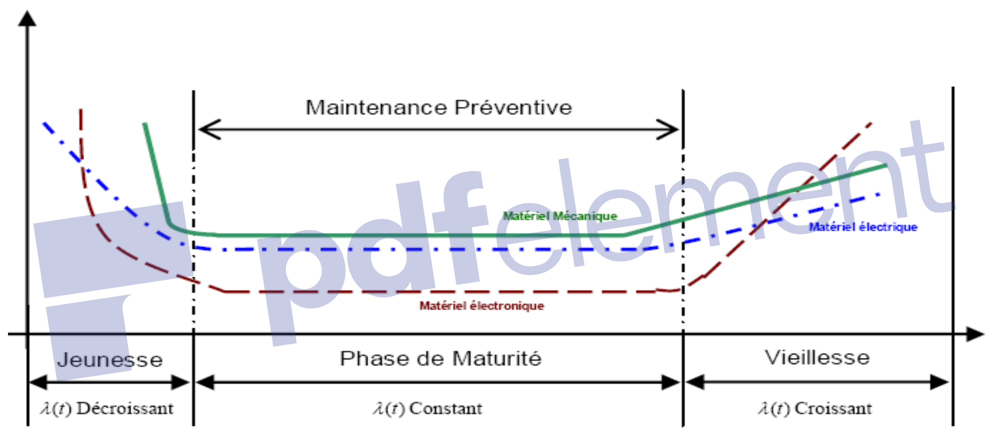
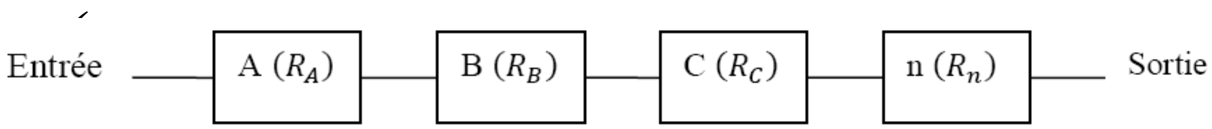


Figure I.1 : Taux de défaillance en fonction du temps



ensemble de "n" composants A, B, C , …, n montés ou connectés en série est égale au produit des fiabilités respectives RA, RB, RC, Rn de chacun des composants.

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

$$R_s = R_A \times R_B \times R_C \times \ldots \ldots . \times R_n \Longrightarrow R_s = R_s = e^{-\lambda_A t} \times e^{-\lambda_B t} \times e^{-\lambda_C t} \times \ldots . . e^{-\lambda_n t}$$

Avec : $MTBF = \frac{1}{\lambda_A+\lambda_B+\lambda_C+\cdots+\lambda_n}$

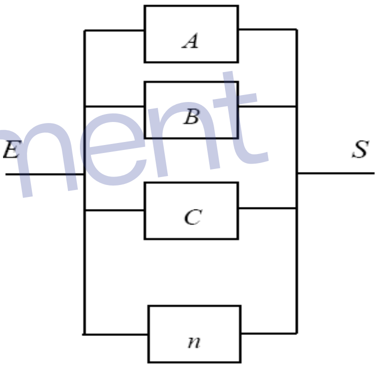
Si en plus, les composants sont identiques : $\lambda_A = \lambda_B = \lambda_C = \cdots = \lambda_n$ Alors :

$$R_s = e^{-n\lambda t} \text{ et } MTBF = \frac{1}{n\lambda}$$

✓ **Fiabilité de Système en série 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 Fi, alors :

La fiabilité R_P de l'ensemble est donnée par la relation :



$$R_p = 1 - (1 - R_A) \times (1 - R_B) \times (1 - R_C) \times \ldots . \times (1 - R_n)$$

Remarque : Si les "n" composants sont identiques ($R = R_A = R_B = \ldots = R_n$) et ont tous la même fiabilité R_p, l'expression devient : $R_p = 1 - (1 - R)^n$