

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITÉ ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA  
FACULTÉ DES SCIENCES EXACTES  
DEPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES



Mémoire présentée pour l'obtention du diplôme de  
Master en Mathématiques  
Spécialité : Statistique et Analyse Décisionnelle

Par

TIMERIDJINE Omar

**THÈME**

**METHODE AMDEC**

Analyse des Modes de Defaillance leurs Effets et Criticité

Soutenu publiquement, le 03/Juillet/2016 devant le jury composé de :

Mme	<b>F. AMRI</b>	MAA	U.A.M. Béjaïa	Présidente.
Mr.	<b>M. BOURAINE</b>	MAA	U.A.M. Béjaïa	Rapporteur.
Mr.	<b>A. AMRI</b>	MAA	U.A.M. Béjaïa	Examineur.

---

# Remerciements

Je tiens à remercier, monsieur Mohand BOURAINE pour son aide, sa présence et disponibilité, ses conseils et sa patience tout au long de mon travail.

Je voudrais exprimer ma gratitude à Madame Fadila AMRI, de l'université A/Mira pour l'intérêt qu'elle a bien voulu porter à ce travail et pour avoir accepté de présider mon jury.

Tous mes remerciements à Monsieur Atmane Amri, de l'université A/Mira pour avoir bien voulu être membre de mon jury.

Toute ma reconnaissance à l'ensemble des enseignants du département de mathématiques en particulier les enseignants de la formation Statistique et Analyse Décisionnelle qui m'ont soutenus et ouverts de no durant ces années nouvelles horaison dans ma vie professionnelle.

Mes remerciements s'adressent également à ma femme qui m'a encouragé à reprendre mes études, 20 ans après.

*Tout travail scientifique est le fruit de multiples collaborations. Une personne apporte ses connaissances du sujet, une autre ses aptitudes techniques et une dernière son soutien moral dans les moments difficiles.*

---

# Dédicaces

A

la mémoire de mon père

ma mère,

mon fils Rayan,

toute ma famille.

*"Ce qui nous manque nous instruit."*

---

# Table des matières

<b>Introduction</b>	<b>1</b>
0.1 Domaines d'application . . . . .	2
0.2 Présentation du mémoire . . . . .	3
<b>1 Définitions, analyse, détection des défaillances et modes de défaillance</b>	<b>4</b>
1.1 Défaillances . . . . .	4
1.1.1 Approche mathématique . . . . .	5
1.2 Modes de défaillance . . . . .	11
1.3 Cause de défaillance . . . . .	12
1.4 Effets d'une défaillance . . . . .	12
1.5 Détection et classification des défaillances . . . . .	12
1.5.1 Causes fondamentales d'apparition . . . . .	12
1.5.2 La vitesse de manifestation des défaillances . . . . .	13
1.5.3 En fonction de leurs amplitudes . . . . .	13
1.5.4 L'age . . . . .	13
1.5.5 L'aptitude à être constatée . . . . .	14
1.5.6 Conséquences . . . . .	14
<b>2 Outils préalables d'analyse des défaillances</b>	<b>16</b>

2.1	Approche fonctionnelle . . . . .	16
2.1.1	Réalisation d'une analyse fonctionnelle . . . . .	17
2.1.2	Arbre fonctionnel . . . . .	17
2.1.3	Techniques d'analyse fonctionnelle . . . . .	18
2.2	Approche mécanique . . . . .	20
2.3	Analyse des défaillances . . . . .	20
<b>3</b>	<b>Maintenance et Maintenabilité</b>	<b>23</b>
3.1	La fonction de maintenance . . . . .	23
3.2	Maintenabilité . . . . .	25
3.2.1	Approche mathématique . . . . .	25
3.3	Quelques méthodes d'optimisation de la maintenance . . . . .	29
3.3.1	Méthode de la maintenance par la fiabilité OMF . . . . .	29
3.3.2	Méthode de l'industrie aéronautique M.S.G.3 [2] . . . . .	31
3.3.3	Les méthodes "Risk based" ou "Risk informed" [2] . . . . .	31
3.3.4	Méthode total productive maintenance (TPM) [3] . . . . .	32
<b>4</b>	<b>Méthodologie de la méthode AMDEC</b>	<b>34</b>
4.1	Aspect et but de la méthode . . . . .	34
4.2	Les étapes de la méthode [5] . . . . .	35
4.3	Exemple d'AMDEC-Pocessus d'une distributrice de café . . . . .	41
	<b>Conclusion</b>	<b>45</b>

---

# Introduction

AMDEC est l'acronyme pour Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leurs Criticités, équivalent français de FMEA (Failure Mode, Effects and criticality Analysis).

Historiquement, l'idée originale de cette méthode est la loi de Murphy qui dit que "Si quelques chose peut mal tourner alors ça tournera mal " (If it can wrong, it will).

Le capitaine Edward A.Murphy Jr, travaillait entre (1947) et (1949) sur le projet MX981 de l'US air force, qui avait pour objectif de déterminer la décélération maximum qu'un humain peut endurer.

C'est durant les essais qu'il effectuait sur un cobaye humain qu'il constatait qu'un câble était mal cablé et rendu inutile les souffrances endurées par le cobaye, qu'il annonçait cette loi.

Par la suite, on a généralisé cette loi a tout système organisé: " Tout système organisé qui peut dysfonctionner, dysfonctionnera à coup sûr, un jour ou l'autre".

A partir de là, l'armée américaine à normalisé les " procédures for performing, Failure Mode, Effect and Criticality Analysis" ou FMECA, pour évaluer la fiabilité d'un système sous la référence MIL STD daté de (09/11/1949).

A cette époque les défaillances étaient classées selon leurs impacts sur le personnel et la sécurité de l'équipement dans les domaines aéronautique et aérospatial. Depuis la méthode a évolué, et a été introduite et adaptée dans la fabrication d'un produit, l'appréciation du client vis à vis du produit et dans la sécurité environnementale.

En particulier, dans l'industrie automobile. Elle a adopté la norme Q59000, qui a été développée par un groupe de travail représentant entre autre, le constructeur Chrysler, pour standardiser les systèmes qualité des fournisseurs automobiles.

Cette norme oblige les fournisseurs automobiles a utiliser la planification qualité de leur production en incluant l'outil AMDEC.

L'AIAG (Automotive Industry Action Groupe) et l'ASQC (American Society For quality Control) émettent au courant de l'année 1993, les normes AMDEC. C'est un manuel qui fournit les principes généraux pour préparer un AMDEC, qui donne la définition suivante :

"L' AMDEC est un procédé systématique pour identifier les modes de défaillances et traiter les défaillances avant qu'elles ne surviennent, avec l'intention de les éliminées ou de minimiser ces risques associés".

D'après le professeur Joseph Kélada de l'école des hautes études commerciales, l'AMDEC à été créée aux USA par la société Mc Donnell Douglas en 1966.

## 0.1 Domaines d'application

La méthode a fait ses epreuves dans les domaines suivants :

Spatial, armement, mécanique, électronique, électrotechnique, automobile, nucléaire, aéronautique, chimique et informatique.

Dans ce dernier, la méthode d'analyse des effets des erreurs logiciel (AEEL) consiste en une transcription de l'AMDEC dans un environnement de logiciel.

La prévention n'est pas limitée aux domaines de fabrication, il est possible d'anticiper les problèmes dans tous les systèmes de processus d'affaires et de rechercher à priori des solution préventives.

Dans ce contexte, le professeur Joseph Kélada a introduit la notion de qualité totale dans un processus d'affaires d'une entreprise. L'existence même de cette dernière est basée sur la fiabilité de ce processus.

Un processus d'affaires consiste en un ensemble de systèmes qui doivent être en parfaite harmonie.

Un système est composé de plusieurs processus, un processus de plusieurs procédés, un procédé de plusieurs activités et des tâches.

Si on identifie les défaillances potentielles dans le système et si on peut éliminer leurs cause alors le système fonctionnerait correctement.

## 0.2 Présentation du mémoire

Dans ce mémoire, nous présentons la méthode AMDEC (Analyse Mode Défaillance leurs Effets et Criticité), qui est une méthode utilisant la fiabilité. Cette méthode est très utilisée dans les pays développés par les grandes entreprises car elle est très couteuse.

Le mémoire est organisé comme suit

- . On commence par donner une introduction et les motivations de cette étude.
- . Le chapitre 1 de ce mémoire est consacré aux définitions aux outils de bases utilisés dans les notions de défaillance et de fiabilité.
- . Dans le chapitre 2, nous présentons quelques outils préalables à l'analyse des défaillances
- . Le chapitre 3 est consacré à la maintenance et la maintenabilité.
- . Dans le chapitre 4, nous présentons la méthodologie de la méthode AMDEC.
- . Nous terminons ce mémoire par une conclusion.

# Définitions, analyse, détection des défaillances et modes de défaillance

Dans ce chapitre nous présentons quelques définitions et outils de base utilisés en fiabilité.

## 1.1 Défaillances

**Définition 1.1.1** *On désigne par défaillance le comportement anormal d'un produit, d'un composant ou d'un ensemble.*

*Ce comportement anormal se traduit par :*

- *ne fonctionne pas;*
- *ne fonctionne pas au moment prévu;*
- *fonctionne à un instant non désiré;*
- *fonctionne, mais les performances requises ne sont pas obtenues.*

### 1.1.1 Approche mathématique

La notion de défaillance est intimement liée à la notion de fiabilité.

**Définition 1.1.2** *la durée de vie d'un équipement est le temps entre sa mise en service et sa défaillance.*

**Définition 1.1.3** *La fiabilité d'un équipement pour une durée donnée est la probabilité qu'aucune défaillance ne se produise pendant cette durée.*

Soit  $T$  la variable aléatoire représentant la durée de vie d'un composant ou d'un système  $E$ .

On définit sa fiabilité ( en anglais Reliability ), qu'on note par  $R(t)$ , la probabilité que  $E$  soit non défaillant sur  $[0, t]$  :

$$R(t) = P(T > t) = P(E \text{ non défaillant sur } [0, t]) = P(E \text{ fonctionne encore à l'instant } t)$$

donc sa défaillance ( ou sa défiabilité), notée  $F(t) = 1 - R(t) = P[T \leq t]$  qui n'est autre que la fonction de répartition de la variable aléatoire  $T$ .

#### Propriétés

1.  $R(t)$  est une fonction décroissante en  $t$ .
2.  $R(0) = 1$  et  $\lim_{t \rightarrow +\infty} R(t) = 0$ .
3.  $\forall t_1, t_2 \in [0, t], P[t_1 < T < t_2] = R(t_1) - R(t_2)$ .
4.  $T$  est généralement une variable aléatoire continue, dans ce cas on note par  $f$  la fonction densité de probabilité; on a,

$$f(t) = -R'(t) \quad (1.1.1)$$

5. Les figures 1 et 2 ci-dessous illustrent l'allure des fonctions de défaillance et de fiabilité

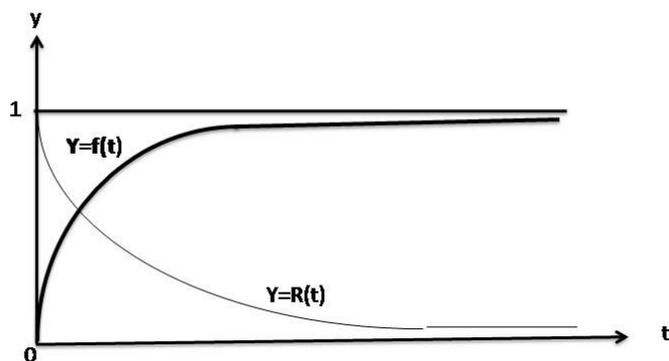


Fig.1 : Fonction de distribution F(t) et de fiabilité R(t)

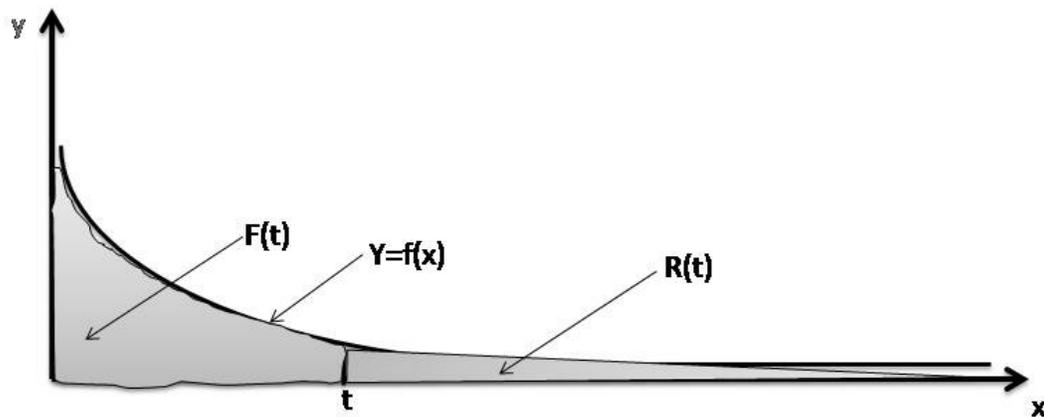


Fig.2 : Fonction de répartition; fiabilité

**Remarques :**

- 1 Il faut faire la distinction entre l'occurrence d'une défaillance et l'existence d'une défaillance à l'instant  $t$ .
  - L'occurrence d'une défaillance à l'instant  $t$  signifie que la défaillance a eu lieu dans l'intervalle  $[t, t + dt]$  ;
  - L'existence d'une défaillance à l'instant  $t$  signifie que la défaillance a eu lieu dans l'intervalle  $[0, t]$  .
- 2 Dans le cas où  $T$  est discrète, c'est le cas où  $T$  représente le nombre de cycles d'opérations,  $P[T = t] = P(t)$  représente sa probabilité de masse,

alors

$$R(t) = P(T > t) = \sum_{i \geq t+1} P(T = i) = \sum_{i \geq t+1} P(i) \quad (1.1.2)$$

**3** Il est arbitraire de décider que

$$R(t) = P(T \geq t) \quad , \quad (1.1.3)$$

ou

$$R(t) = P(T > t) \quad . \quad (1.1.4)$$

Si  $T$  est une variable aléatoire continue cela n'a aucune importance

Si  $T$  est une variable aléatoire discrète on utilise les notations suivantes :

$$R^-(t) = P(T > t) \quad (1.1.5)$$

et

$$R^+(t) = P(T \geq t) \quad (1.1.6)$$

**4** La fiabilité se distingue selon l'étape étudiée de la vie d'un équipement:

a) Fiabilité prévisionnelle : Elle est déterminée durant la phase de conception sur la base d'un modèle mathématique;

b) Fiabilité estimée ou intrinsèque: Elle est déterminée après la phase de conception à l'aide d'un ensemble d'essais;

c) Fiabilité opérationnelle : Elle est déterminée durant la phase d'exploitation, elle dépend des conditions réelles d'exploitation et des supports logistiques.

5 Expérimentalement, si on prend  $n$  composants identiques qui fonctionnent à  $t = 0$ , et on compte à chaque instant  $t_i \in [0, t]$  le nombre  $v(t)$  des composants qui sont toujours en marche alors

$$R(t) = \frac{v(t)}{n} \quad (1.1.7)$$

et

$$F(t) = \frac{n - v(t)}{n} \quad (1.1.8)$$

### Indices de fiabilité

Les indices de fiabilité sont des valeurs positives qui indiquent la fiabilité d'un composant, d'un produit ou d'un système.

Les principaux indicateurs de la fiabilité sont :

- La fonction de fiabilité;
- Le taux de défaillance noté  $\lambda$  ;
- *MTBF* : moyenne des temps entre les défaillances (Mean time between failure) pour les systèmes réparables;
- *MTTF* : Moyenne des temps jusqu'à la première défaillance (Mean time to first failure).

#### a) Taux de défaillance ou risque instantané

Pour un instant  $t$  fixé, le risque instantané  $\lambda(t)$  caractérise la probabilité d'être défaillant dans un intervalle  $[t, t + dt]$  sachant le fait d'avoir survécu jusqu'à l'instant  $t$

$$\lambda(t) = \lim_{dt \rightarrow 0} \frac{1}{dt} P(t < T < t + dt | T > t) \quad (1.1.9)$$

Le taux de défaillance caractérise la variation de la fiabilité au cours du temps pour une période donnée

$$\lambda = \frac{\text{Nombre de défaillances pendant le service}}{\text{Durée totale du bon fonctionnement}} \quad (1.1.10)$$

$$\begin{aligned} \lambda(t) &= \lim_{dt \rightarrow 0} \frac{1}{dt} P[t < T < t + dt | T > t] \\ &= \frac{1}{P[T > t]} \lim_{dt \rightarrow 0} \frac{1}{dt} P[t < T < t + dt] \\ &= \frac{1}{P[T > t]} \lim_{dt \rightarrow 0} \frac{F(t + dt) - F(t)}{dt} \\ &= -\frac{R'(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - F(t)}. \end{aligned} \quad (1.1.11)$$

$$\lambda(t) = -\frac{R'(t)}{R(t)} \Leftrightarrow R(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda(x) dx\right) \quad (1.1.12)$$

avec

$$R(0) = 1,$$

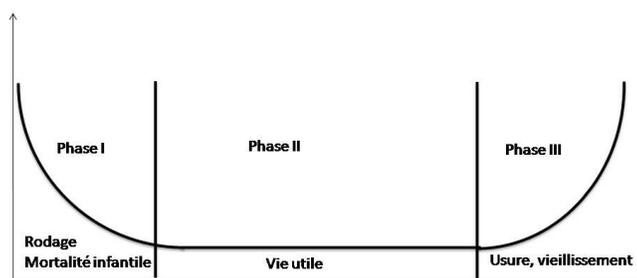


Fig.3: typologie du taux de défaillance

b) Fonction de hasard ou fonction de risque ou taux de défaillance cumulé

On note et on définit cette fonction par

$$\Lambda(t) = \int_0^t \lambda(x) dx = -\text{Log}(R(t)) \quad (1.1.13)$$

c) MTTF Moyenne des temps jusqu'à la première défaillance (Mean time to first failure)

$$\begin{aligned} MTTF &= E(T) = \sum_{i \geq 0} iP(i) = \sum_{i \geq 0} R(i) && \text{cas discret} && (1.1.14) \\ MTTF &= E(T) = \int_0^{+\infty} R(t) dt && \text{cas continu} \end{aligned}$$

d) MTBF Moyenne des temps entre les défaillances (Mean time between failure)

Ce paramètre existe seulement pour les systèmes réparables

$$MTBF = \frac{\text{Somme des temps de bon fonctionnement}}{\text{Nombre des temps du bon fonctionnement}} \quad (1.1.15)$$

Si  $\lambda$  est constant alors

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}. \quad (1.1.16)$$

## 1.2 Modes de défaillance

Le mode de défaillance est la façon ou la manière par laquelle la défaillance se manifeste.

Pour illustrer ceci voici quelques exemples :

- Déformation ;
- Corrosion ;
- Desserrage ;

- Fuite ;
- Court-circuit ;
- Perte de performance ;
- Vibration etc ....

### **1.3 Cause de défaillance**

Tout ce qui peut conduire à une défaillance est appelé cause de défaillance .

### **1.4 Effets d'une défaillance**

Les effets d'une défaillance sont les impacts nuisibles sur l'élément ou le système étudié, le manipulateur de l'élément ou du système, l'utilisateur final et l'environnement .

### **1.5 Détection et classification des défaillances**

La détection et la classification des défaillances se fait à partir d'une combinaison de paramètres répartis en six groupes.

#### **1.5.1 Causes fondamentales d'apparition**

**a) La faiblesse inhérente (intrinsèque)**

Elle est attribuée à une faiblesse inhérente au matériel lui même quand les contraintes dépassent les possibilités de ce matériel

**b) Le mauvais emplois (extrinsèque)**

Elle est attribuable à l'application des contraintes au delà des possibilités du matériel.

c) Défaillance première

la cause de défaillance n'est pas due à un autre équipement.

d) Défaillance seconde

La cause de défaillance est due à un autre équipement.

## 1.5.2 La vitesse de manifestation des défaillances

a) Défaillance graduelle

Elle est caractérisée par une variation progressive des paramètres déterminant la fiabilité du système. Ce type de défaillance est prépondérant pour le matériel mécanique.

b) Les défaillances subites

Elles sont dues à une perte totale des propriétés du système, entraînant l'arrêt du système. Elles concernent souvent le matériel électronique.

## 1.5.3 En fonction de leurs amplitudes

Elles résultent des déviations des caractéristiques au delà des limites spécifiées.

On parle de défaillances partielles si elles n'entraînent pas la disparition complète de la fonction requise, sinon on parle de défaillances complètes

## 1.5.4 L'âge

a) Défaillances précoces

Elles surviennent durant la période de jeunesse de l'équipement, c'est à dire juste après sa mise en fonctionnement.

Elles peuvent être dues à la conception, à la fabrication ou à la mauvaise exploitation.

b) Défaillances aléatoires

Elle apparaissent durant la vie utile de l'équipement, souvent ce sont des défaillances accidentelles.

c) Défaillances par usure

Ce sont des défaillances progressives dus à la fatigue, l'usure de l'équipement.

**Remarque :** La figure 3 illustre ces trois types de défaillance

### 1.5.5 L'aptitude à être constatée

a) Défaillances fugitives

Elles sont de courtes durées et difficilement constatables.

b) Défaillances intermittentes

Elles sont non permanentes, plus au moins constatables.

c) Défaillances permanentes

Elles sont constatables à tout moments.

### 1.5.6 Conséquences

a) Défaillances critiques

Elles entraînent l'arrêt total du système, elles peuvent causer des dégâts importants aux matériels, et des dégâts corporels aux personnels et à l'environnement.

b) Défaillances majeures

Elle réduisent l'aptitude du système à accomplir sa fonction.

c) Défaillance mineures

Elle ne réduisent pas l'aptitudes du système à accomplir sa fonction.

Pour trouver les défaillance potentielles d'un produit ou bien d'un système il faut connaître toutes ses fonctions

Pour cela on utilise deux approches

## 2.1 Approche fonctionnelle

**Définition 2.1.1** *Une analyse fonctionnelle est de déterminer de manière assez complète les fonctions principales, les fonctions contraintes et les fonction élémentaires.*

**Définition 2.1.2** *Les fonctions principales. Ce sont les fonctions pour lesquelles le système à été conçu pour satisfaire les besoins de l'utilisateur.*

**Définition 2.1.3** *Les fonctions contraintes. Ce sont les fonctions qui répondent aux interrelations avec le milieu extérieur.*

**Définition 2.1.4** *Les fonctions élémentaires. Elles ont pour but d'assurer les fonctions principales, ce sont les fonctions des différents composants élémentaires du système.*

### 2.1.1 Réalisation d'une analyse fonctionnelle

Pour réaliser une bonne analyse fonctionnelle, il faut passer par trois étapes principales.

#### **Etape n°1**

Définir les besoins à satisfaire, c'est une description des besoins et la façon dont ils sont satisfaits et comment ils risquent de ne pas être satisfaits.

#### **Etape n°2**

Définir les fonctions qui correspondent aux besoins. Chaque fonction répond à la question "à quoi ça sert?".

#### **Etape n°3**

Etablir un arbre fonctionnelle afin de visualiser l'analyse fonctionnelle.

### 2.1.2 Arbre fonctionnel

**Définition 2.1.5** *Un arbre fonctionnel est une représentation sous forme de bloc-diagramme, construit en définissant les fonctions du niveau le plus élevé (niveau A : les fonctions principales) au niveau le plus bas ( Niveau z : les fonction élémentaires), ainsi que les relations existantes entre les niveaux.*

D'après la norme militaire américaine pour L'AMDEC, un système (produit complexe) peut être décomposée en trois niveaux : système, sous système et composants. Ceci revient à décomposer le système à plusieurs niveaux d'arborescence

C'est grâce à l'analyse fonctionnelle que l'on pourra avoir la meilleure arborescence

Une fois l'arbre établi, l'AMDEC sera conduite à partir des niveaux plus bas puis, remonter aux divers niveaux (approche bottom-up).

En résumé, le système dont on étudie les défaillances doit-être décortiqué en se posant trois questions fondamentales :

à quoi sert-il?, Quelles fonctions doit-il remplir? Comment fonctionne-t-il. Et le système doit être analysé sous ses aspects internes et externes :

- Aspect externe : qu'est ce qui rentre, qu'est ce qui sort.
- Aspect interne : analyse des flux et des activités au sein du système.

### **2.1.3 Techniques d'analyse fonctionnelle**

#### **Analyse descendante**

Elle consiste à décomposer un problème en sous problèmes plus simples (vaut mieux résoudre plusieurs petits problèmes qu'un gros problème)

#### **Méthode de la pieuvre**

Cette méthode est utilisée pour étudier les relations d'un système avec le milieu extérieur.

#### **Diagramme des flux**

Elle est utilisée pour étudier l'analyse interne d'un système.

#### **L'arborescence**

Elle est utilisée pour décrire la structure matérielle d'une machine, c'est l'analyse structurelle.

#### **Diagramme processus**

Il est utilisé pour décrire la structure séquentielle d'un procédé.

### Exemple AMDEC-produit

La norme AFNOR NFX50-150 définit l'analyse fonctionnelle comme étant une démarche qui consiste à rechercher, ordonner, caractériser, hiérarchiser et valoriser les fonctions du produit attendu par l'utilisateur.

Elle s'effectue en plusieurs étapes, qui se résument comme suit

#### **Etape n°1.** Déterminer le profil de vie du produit

Il faut déterminer et trouver les informations nécessaires pour identifier les différentes phases du cycle de vie du produit, depuis son stockage jusqu'à son retrait du service en passant par son utilisation. Pour chaque phase, il faut lister les éléments (personnes, matière, et matériel) qui constituent l'environnement du produit.

#### **Etape n°2.** Recenser les fonctions

On fait un recensement exhaustif des fonctions, en s'appuyant sur les relations du futur produit avec son environnement. Il est indispensable de ne pas oublier des fonctions ou d'inventer de fausses fonctions.

Il faut distinguer entre les fonctions de service et les fonctions techniques

#### **1** Les fonctions de service.

Elles se divisent en deux catégories :

**a Les fonctions principales :** Il s'agit d'identifier les relations créées par le produit entre les éléments de son milieu d'utilisation et d'exprimer le but de ces relations. Chaque but détermine ainsi une fonction principale.

**b Les fonction contraintes :** Identifier les relations entre le produit et le milieu extérieur.

**2** Les fonctions techniques : Elles sont identifiées, une fois que les fonctions de services sont clairement exprimées.

**Etape n°3.** Ordonner les fonctions

Après que les fonctions soient identifiées, on établit une décomposition logique entre-elles, on crée ainsi un diagramme fonctionnel qui ordonne ces fonctions.

**Etape n°4.** Caractériser et quantifier les fonctions

Cela consiste à énoncer pour chaque fonction de service:

- Les critères appréciation ;
- les niveaux de chaque critère;
- La flexibilité de chaque niveau;
- Le taux d'échange associé .

**Etape n°5** hiérarchiser les fonctions

Cela consiste à déterminer l'importance de chaque fonction.

## 2.2 Approche mécanique

Cette approche ne concerne que les objets existant physiquement. Elle consiste à démonter l'objet pièce par pièce (physiquement) ou sur le papier et analyser ces pièces.

## 2.3 Analyse des défaillances

L'outil AMDEC distingue cinq sortes de défaillances.

- Défaillance complète : Paralysie complète du système.
- Défaillance partielle.
- Défaillance intermittente.
- Défaillance dans le temps (usure).
- Performances supérieures :par exemple un ventilateur tourne à 1000 tr/min au lieu de 250 tr/min.

Après avoir établi l'analyse fonctionnelle, on étudie chaque fonction du système en partant du niveau le plus bas. On parle de modes, de causes et d'effets de défaillance, les trois notions sont complémentaires.

Il existe deux démarches :

- Méthodes inductives : des cause vers les effets.
- Méthodes déductives : des effets vers les causes.

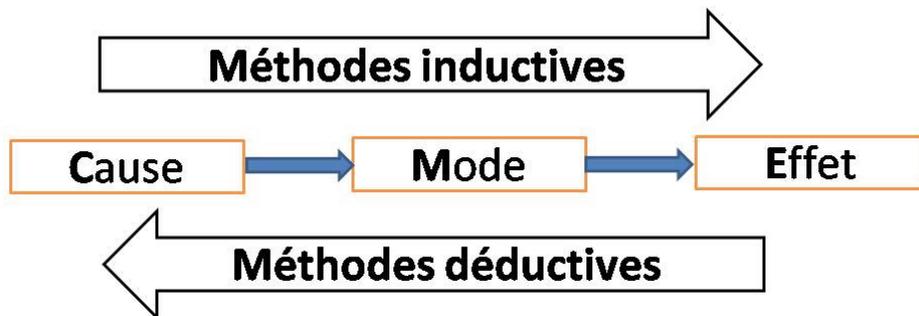


Fig 4

L'outil AMDEC fait parti des méthodes inductives, il classe les modes de défaillances en fonction de leur effets, cela facilite par la suite la priorisation des actions à mener dans le cadre de la mise en place d'un plan de maintenance.

Chaque fonction ou composant identifié pendant l'analyse fonctionnelle, permet d'affecter des modes de défaillances. Par la suite, on imagine et on décrit les conséquences induites quand un mode de défaillance apparaît.

On identifie ainsi les effets et les causes de chaque mode de défaillance.

# Maintenance et Maintenabilité

## 3.1 La fonction de maintenance

Selon l'AFNOR, par la norme NFX-60-010, la maintenance se définit comme étant l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié, ou en mesure d'assurer un service déterminé.

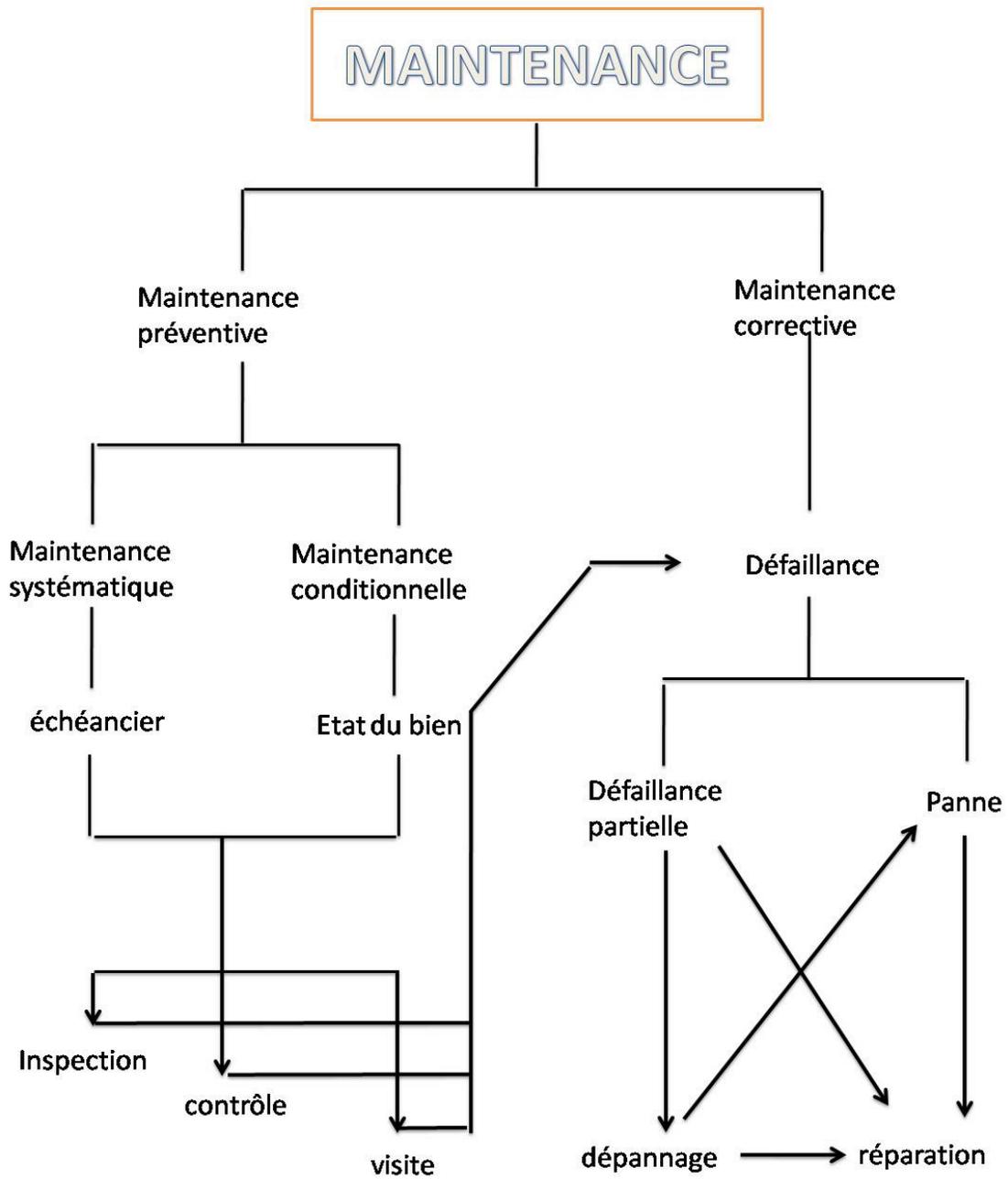
Il existe deux types de maintenances

-Maintenance préventive

Elle s'effectue avant l'arrivée de la défaillance, elle permet de réduire la probabilité de défaillance.

-Maintenance corrective

Elle s'effectue après l'arrivée de la défaillance, elle permet de redonner au matériel ces qualités perdues.



### Les diverses options de la maintenance

Fig.5

## 3.2 Maintenabilité

**Définition 3.2.1** *D'après la norme CEN13 306, elle se définit par " Dans des conditions données d'utilisation, la maintenabilité est l'aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état où il peut accomplir ses fonctions requises, dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits".*

**Condition 3.2.1** *D'après la norme américaine MIL-STD-721C: la maintenabilité est la mesure de l'aptitude d'un dispositif à être maintenu ou remis dans des conditions spécifiées quand la maintenance de celui-ci est réalisée par des agents ayant les niveaux spécifiés de compétence, utilisant les procédures et les ressources prescrites, à tous les niveaux prescrits de maintenance et de réparation.*

D'après ces définitions, la maintenabilité est une caractéristique des système réparables.

### 3.2.1 Approche mathématique

La maintenabilité est la probabilité de rétablir un système réparable dans des conditions de fonctionnement spécifiées en des limites de temps désirées, l'orsque la maintenance est accomplie dans des conditions données en utilisant des procédures et des moyen prescrits.

Pour un système réparable, la durée de réparation est une variable aléatoire notée  $T_R$  de fonction densité  $g(t)$ . La probabilité qu'un système soit rétabli dans un laps de temps  $dt$ , c'est à dire entre  $t$  et  $t + dt$ , est  $g(t)dt$

On notant la maintenabilité par  $M(t)$  alors,

$$M(t) = P[T_R \leq t] = \int_0^t g(x)dx \quad (3.2.1)$$

La figure 6 montre l'allure de la courbe de maintenabilité

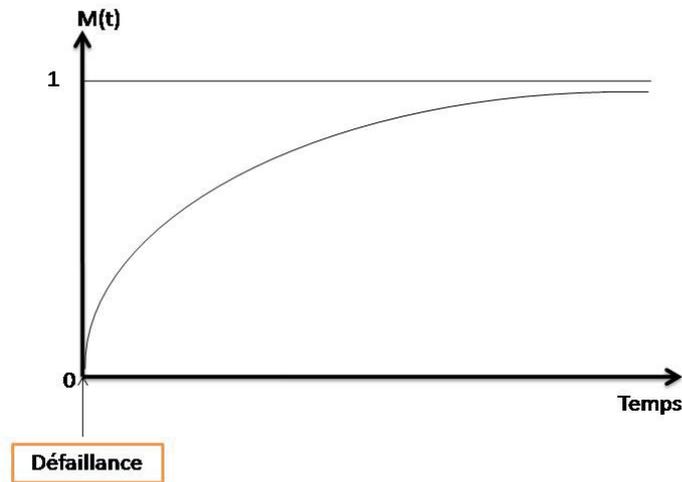


Fig 6 : Allure de la courbe de maintenabilité

### Taux de réparation

On appelle taux de réparation, noté  $\mu(t)$  d'un système réparable au temps  $t$ , la probabilité que le système soit réparé entre  $t$  et  $t + dt$  sachant qu'il n'était pas réparé sur l'intervalle  $[0, t]$ .

$$\begin{aligned}
 \mu(t) &= \lim_{dt \rightarrow 0} \frac{1}{dt} P(t < T_R \leq t + dt | T_R > t) & (3.2.2) \\
 &= \lim_{dt \rightarrow 0} \frac{1}{dt} \frac{P(t < T_R \leq t + dt)}{P[T_R > t]} \\
 &= \lim_{dt \rightarrow 0} \frac{1}{dt} \frac{P(T_R \leq t + dt) - P(T_R \leq t)}{P[T_R > t]} \\
 &= \lim_{dt \rightarrow 0} \frac{1}{dt} \frac{M(t + dt) - M(t)}{1 - M(t)} = \frac{M'(t)}{1 - M(t)}.
 \end{aligned}$$

### Temps moyen de réparation

L'une des caractéristiques de la maintenabilité est l'espérance mathématique de la variable aléatoire  $T_R$ . Qu'on note  $MTTR$  (Mean time to repair):Temp moyen de réparation.

$$MTTR = E(T_R) = \int_0^{+\infty} (t - g(t))dt \quad (3.2.3)$$

Pratiquement,

$$MTTR = \frac{\sum \text{somme des temps d'intervention pour } n \text{ pannes}}{\text{Nombre de pannes}}$$

et

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \quad (3.2.4)$$

### Remarque

Pour une entité, il y a plusieurs mode de défaillance, et à chaque mode de défaillance correspond un  $MTTR$ .

### Disponibilité [3]

Pour la norme NFX 60-010, la notion de disponibilité exprime la probabilité qu'une entité soit en état de disponibilité dans des condition données à un instant donné en supposant que la fourniture des moyens extérieurs soit assurée.

On définit la disponibilité instantanée, notée par  $D(t)$  ou  $A(t)$  par :  $D(t) = P(E \text{ non défaillant à l'instant } t)$ .

L'aptitude contraire est appelée indisponibilité et est définie par  $\bar{D}(t) = 1 - D(t)$

Et la disponibilité limite est définie par :

$$\text{disponibilite} = \frac{MTBF}{MTTR + MTBF} \quad (3.2.5)$$

*MTBF* désigne le temps moyen entre des défaillances consécutives, qui est aussi un indice de la fiabilité. La figure 7 illustre l'allure des courbes de disponibilité et d'indisponibilité

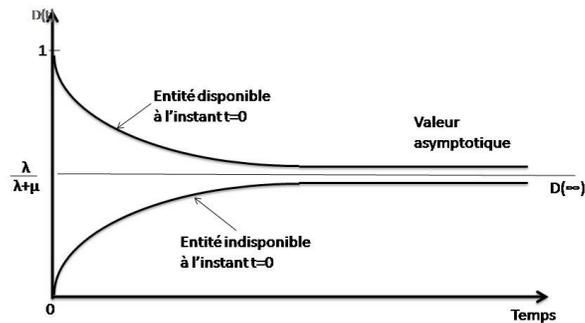


Fig 7 : Disponibilité en fonction du temps t

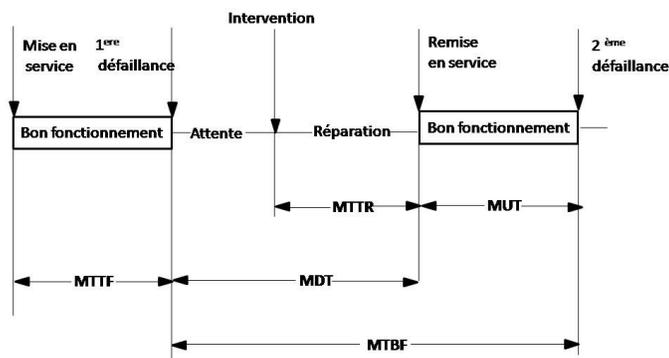


Fig 8 : Evolution temporel de l'état d'un système réparable

## Indicateurs de la maintenance

Pour définir une politique de maintenance, prioriser les interventions ou établir un budget, le responsable de la maintenance doit choisir les moyens et les modes d'interventions les plus adaptés, pour qu'il s'appuie sur certains indicateurs, qui sont la Fiabilité (MTBF), la Maintenabilité (MTTR) et la Disponibilité qu'on désigne par l'abréviation FMD

$$Fiabilité = \frac{1}{MTBF} \quad (\text{Taux de défaillance})$$

$$Maintenabilité = \frac{1}{MTTR} \quad (\text{Taux de réparation})$$

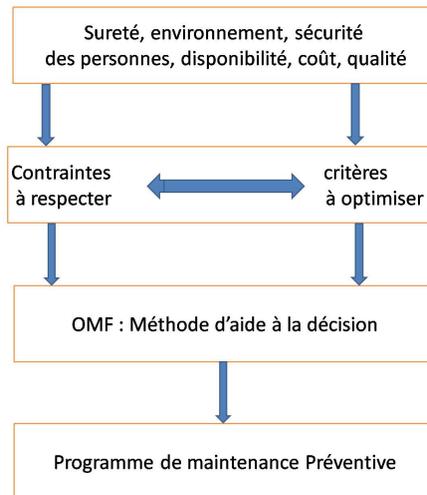
$$Disponibilité = \frac{MTBF}{MTTR+MTBF} \quad (\text{Disponibilité limite})$$

## 3.3 Quelques méthodes d'optimisation de la maintenance

### 3.3.1 Méthode de la maintenance par la fiabilité OMF

Elle est apparue dans les années quatre vingt (80), sous le nom RCM (Reliability centred Maintenance) dans l'aviation civile et militaire américaine, dans le but de maîtriser les coûts des exploitations des avions ([1]). Elle a été généralisée à partir de (1990) dans le domaine nucléaire et dans les systèmes considérés plus importants vis à vis des critères de sûreté, de disponibilité et des coûts d'exploitation.

**Définition 3.3.1** *L'OMF est une méthode d'aide à la décision pour élaborer une politique de maintenance préventive en respectant les conditions et en optimisant les critères de disponibilité, coût et qualité, sécurité des personnes et l'environnement.*



Schémas descriptif pour l'application de l'OMF

Fig.9 : OMF

## Méthodologie

La méthode se décline en cinq (05) phases qui sont présentées dans la figure suivante :

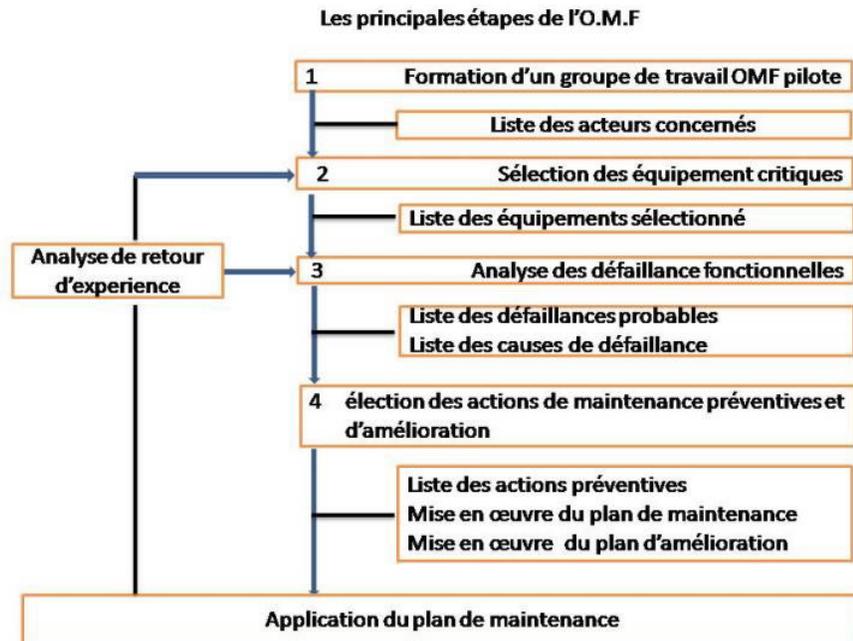


Fig 10 : Méthodologie

### 3.3.2 Méthode de l'industrie aéronautique M.S.G.3 [2]

Un des objectifs principaux de MSG3 (Maintenance steering group) est de définir la politique de maintenance qui permet d'assurer la sécurité des avions.

Le principe de la méthode est d'organiser le choix des taches de maintenance en fonction des conséquences de défaillance.

### 3.3.3 Les méthodes "Risk based" ou "Risk informed [2]

Elles sont utilisées au niveaux des installations où il y a risque de radiations, en particulier dans les centrales nucléaires où le personnel est plus exposé aux radiations.

Le but est de réduire au maximum cette exposition au radiation, qui a conduit à deux approches :

#### 1 RB-ISI (Risk based in service inspection)

Elle est appliquée aux matériels passifs, elle détermine les zones du matériel qu'il faut inspecter et avec quelles fréquences qu'il faut le faire.

#### 2 RB-IST (Risk based in service testing)

Elle est appliquée aux matériels actifs, ce sont des programmes qu'on applique à ce matériel qui mesure ces capacités à accomplir ces fonctions ou de détecter des dégradations qui peuvent aboutir à des défaillances.

### 3.3.4 Méthode total productive maintenance (TPM) [3]

La méthode est née au Japon en (1971), elle est une évolution des méthodes de maintenances notamment américaines.

La TPM s'attaque aux causes du gaspillage en utilisant trois leviers:

- Chercher à maximiser le temps productif ;
- Réduire le temps non productif ;
- Conserver les cadences optimales et réduire la non qualité.

La nouveauté dans cette méthode est l'implication des opérateurs (approche participative) qui connaissent intimement les machines et de ce fait contribuent efficacement aux maintenances des machines.

#### Les buts de la TPM (SELON le JIPM : Japan institute of plan Management)

Les buts de la TPM sont au nombre de cinq :

- Construire une culture d'entreprise qui améliore d'efficacité du système de production;
- Construire un système supprimant toute perte et gaspillage;
- Couvrir tous les départements incluant Production, Développement, Marketing et administration;
- Requiert une complète implication du top management aux employés;
- Atteindre zéro pertes en engageant des activités d'amélioration en petits groupes.

#### **Signification de total Productive Maintenance**

Maintenance : maintenir en bon état.

Productive : assurer la maintenance tout en produisant ou en pénalisant le moins possible la production.

Totale : considérer tous les aspects et y associer tout le monde .

# Méthodologie de la méthode AMDEC

Une étude AMDEC est avant tout un projet, qui doit se dérouler comme n'importe quel projet, avec un chef de projet, des experts des différentes disciplines du projet, des objectifs et une méthodologie [4].

## 4.1 Aspect et but de la méthode

Le but de la méthode consiste à imaginer les dysfonctionnements menant à l'échec avant même que ceux-ci ne se produisent, ce qui conduit à identifier les actions pouvant éliminer ou minimiser l'échec potentiel. C'est donc une méthode prédictive et préventive.

La méthode AMDEC est caractérisée par deux aspects:

### Aspect qualitatif

Il consiste à faire trois analyses :

- Analyse des causes de défaillance;
- Analyse des modes de défaillance;
- Analyse des effets de ces défaillances.

### **Aspect quantitatif**

Il consiste à estimer le risque associé à la défaillance potentielle, cette estimation permet de classer et de hiérarchiser ces défaillances, ce qui permet la recherche et la prise d'actions correctives et prioritaire.

Pour cela on fait trois évaluations

- Evaluation de la fréquence d'apparition;
- Evaluation de la gravité ;
- Evaluation de la probabilité que ces défaillances passent inaperçues .

## **4.2 Les étapes de la méthode [5]**

La réalisation de l'AMDEC nécessite Huit étapes qui sont résumées dans les figures ci-dessous.

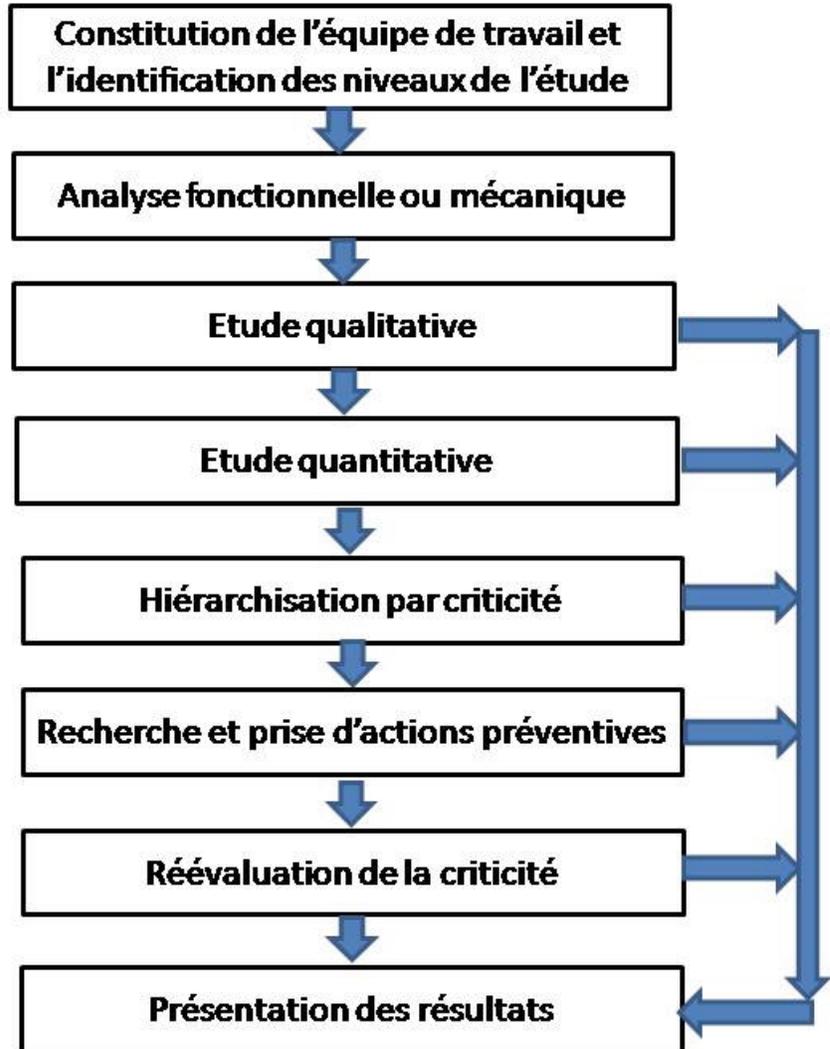


Fig 11 : Démarche de l'AMDEC

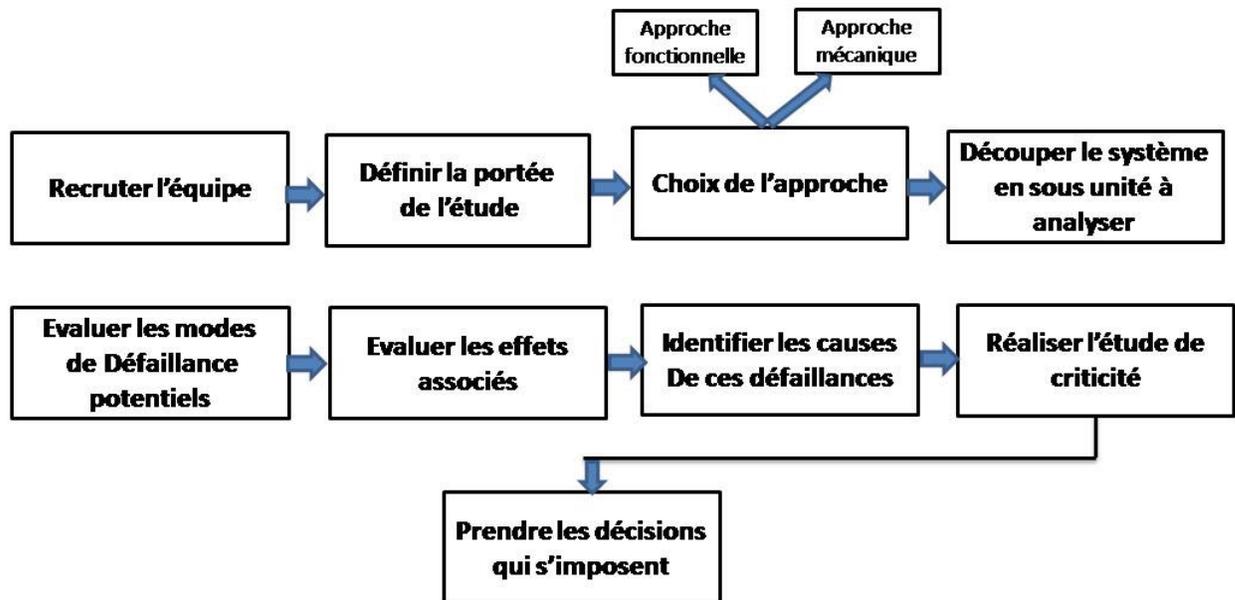


Fig.12 : Déroulement détaillé de l'AMDEC

**Etape n°1** : Elle consiste à une collecte de données, la mise sur pied d'une équipe de travail et la préparation des dossiers, tableaux, logiciels etc.....

C'est une équipe composée de cinq à neuf personnes, compétentes dans leurs domaines et disponibles, et surtout aptes à travailler en équipe. L'animateur doit avoir une bonne maîtrise

de l'AMDEC, mais qui n'est pas nécessairement un expert du domaine

**Etape n°2** : Délimiter la portée de l'étude

Elle doit être limitée d'une manière précise, car quelque soit le système étudié, on ne peut pas oublier son environnement.

Une fois la portée de l'étude définie, on commence la collecte des données (produit , machine ou procédé), sur les pannes et ces défauts connus.

Ceci sera indispensable pour attribuer une valeur à la gravité ou au risque de ne pas voir la défaillance, ou que la probabilité que la défaillance survienne.

**Etape n°3 :** Choix du type d'approche

On choisit entre l'approche fonctionnelle ou l'approche mécanique

- L'approche mécanique : Consiste à démonter l'objet physiquement ou sur le papier, ensuite, on trouvera les modes de défaillance de chacune des pièces.

- L'approche fonctionnelle On recherche les fonctions que l'objet, le système, la machine, le procédé, .... doit assurer, via une analyse fonctionnelle.

**Remarque.**

L'approche fonctionnelle est toujours utilisable, et donne lieu à des AMDEC plus complètes, mais elle nécessite un apprentissage du groupe de travail.

C'est pourquoi qu'elle est souvent délaissée dans le cas d'AMDEC-Produit ou AMDC-moyen au profit de la décomposition mécanique.

**Etape n°4 :** Définir les unités qui seront analysées

Ce sont des pièces ou des ensembles de pièces dont on étudiera les défaillances.

**Etape n°5 :** Evaluer les modes de défaillance

La question qu'il ne faut pas surtout se poser est : " est-ce que ce type de défaillance peut arriver?" car la loi de Murphy dit " La défaillance se produira tôt ou tard".

Par contre il faut se demander s'il existe une autre manière de défaillir pour ce système.

Bien entendu, il existe plusieurs modes de défaillance pour une même fonction.

**Etape n°6 :** Déterminer les effets associés aux modes de défaillance identifiés

L'effet de défaillance vient après la défaillance il ne faut pas prendre l'un pour l'autre.

**Etape n°7 :** Identifier les causes de défaillances

Il faut trouver la ou les causes associées, en effet deux causes différentes peuvent amener aux mêmes effets.

**Etape n°8 :** Réaliser l'étude de criticité

C'est la partie quantitative de l'étude. On doit noter :

- - La gravité des effets associés à chaque mode de défaillance, on parle de facteur  $G$ .
- La fréquence d'apparition de chaque mode de défaillance. Elle découle des causes, on parle de facteur  $F$ .
- La probabilité de ne pas détecter le mode de défaillance, on parle de facteur  $D$ .
- Elle est estimée en examinant les dispositions en place pour contrôler le bon déroulement.
- La criticité  $C$  se définit alors comme le produit des trois facteurs  $C = G * F * D$ .

Le groupe de travail doit alors décider d'un **seuil de criticité**. Au delà de ce seuil, l'effet de la défaillance n'est pas supportable. Une action est nécessaire.

Les actions sont de trois types :

- Actions préventives : On agit pour prévenir la défaillance avant qu'elle ne se produise
- Action correctives : Lorsque on estime que le problème n'est pas critique, on agit au moment où il se présente et la période de l'action doit être aussi courte que possible.
- Action amélioratives : Il s'agit en général de modification destinées à faire disparaître totalement le problème. Ce type d'action est considéré comme un investissement, car son coût n'est pas négligeable, et la période de l'action doit être aussi courte que possible.

**Etape n°9 :** Les décisions

Cette étape permet de considérer toutes les actions à prendre afin de diminuer le niveau de criticité des modes de défaillance critiques.

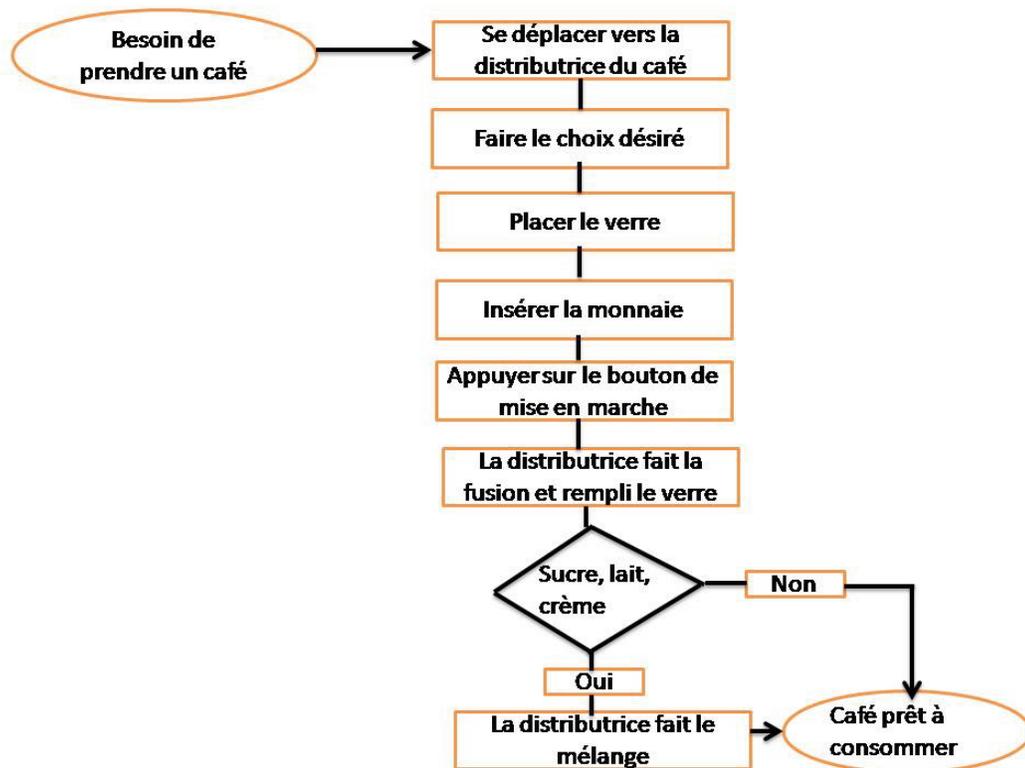
On commence par le facteur  $G$ , dont on diminuera de sa valeur. Si cela paraît impossible, on passe au facteur  $F$ , sinon on travaillera sur le facteur  $D$ . En prenant en compte les actions prises, on réévalue la criticité notée  $C'$ . Ce nouvel indice est parfois appelé risque résiduel

**Etape n°10 :** Présentation des résultats

Les entreprises utilisent des tableaux conçus spécialement pour les systèmes étudiés en fonction des objectifs recherchés.

## 4.3 Exemple d'AMDEC-Pocessus d'une distributrice de café de café

On choist ici l'approche fonctionnelle, pour celà , un excellent moyen est l'ordinogramme du processus représenté dans la figure ci-dessous



Ordinogramme du distributrice de café

Le but de cette AMDEC est d'analyser quel est l'effet potentiel pour le client.

Ce processus est un ensemble d'opérations élémentaire qui se déroule à partie du besoin de prendre un café jusqu'à sa consommation

On va s'intéresser à l'opération " La distributrice fait la fusion et remplit le verre ".

L'opération est effectuée correctement si le verre est rempli d'un café qui correspond

à une qualité et un volume désirés.

Une liste exhaustive des différents modes de défaillances possibles qui peuvent apparaître pour cette opération est :

- La distributrice ne remplit pas le verre;
- Le verre est rempli avec de l'eau seulement;
- La concentration en café est très faible dans le verre.

Un mode de défaillance peut être causé par une ou plusieurs causes, par exemple pour le deuxième mode de défaillance

la première cause est que la distributrice manque de café, une deuxième cause est que le circuit interne qui s'occupe de la fusion entre l'eau chaude et le café est bloqué.

Dans l'étude quantitative, l'estimation de l'indice de criticité du trio Cause-Mode-Effet de la défaillance est estimé selon certains critères.

Dans la pratique, on considère qu'une défaillance est d'autant plus importante si :

- Ces conséquences sont graves;
- Elle se produit souvent;
- Elle risque de ne pas être détectée.

Pour le trio Cause-Mode-Effet on attribue à chacune d'elle une note sur une échelle de 1 à 10.

Ainsi si par exemple, le verre est rempli uniquement avec de l'eau chaude, le client sera très insatisfait, on estime pour la gravité une note de 10

Le manque de café dans la distributrice peut arriver souvent, donc la note de la probabilité d'occurrence est estimée à 5.

La détection du manque de café est faite par l'agent d'entretien quand il vient remplir la machine du café moulu, donc la note de la probabilité de non détection est égale à 5.

Ce qui nous donne l'indice de criticité est égal à 250

### 4.3. Exemple d'AMDEC-Pocessus d'une distributrice de café

Le tableau ci-dessous nous donne les résultat obtenus pour l'opération " La distributrice fait la fusioin et remplit le verre "

Opération du processus	Mode de Défaillance potentielle	Effet de défaillance	Cause Possible de défaillance	Evaluation			Actions préventives		Résultats(Réévaluation)				
				détection	gravité	occurrence	criticité	Recommandées	Prises	détection	gravité	occurrence	Nouvelle criticité
La distributrice De café Remplit le verre	La distributrice De café remplit le verre et ne rend pas la monnaie	Client insatisfait	La distributrice Est en panne	2	5	6	60						
			Manque d'eau	7	0	6	0						
	La distributrice de café ne remplit pas le verre et ne prend pas la monnaie	Client très insatisfait	Manque de café dans la distributrice	5	5	10	250						
			blocage dans la distributrice	10	1	10	100						
	La concentration du café Est faible	Client insatisfait	Manque de café	7	1	8	56						
			Qualité du café	1	10	8	80						

Tableau 1

Les actions préventives qui sont préconisées et les causes possibles pour les differents modes de défaillances sont les suivantes:

1) Pour le mode de défaillance " La distributrice du café ne remplit pas le verre et ne rend pas la monnaie " qui a pour causes la panne de la disributrice et le manque d'eau

- Suivit statistique des pannes;
- Vérification mensuelle de l'état de la distributrice;
- Inscription du n°de téléphone de l'agence de l'entretien.

2) Pour le mode défaillance " La distributrice ne remplit pas le verre avec de l'eau et ne rend pas la monnaie "qui a pour cause un manque de café et blocage dans la distributrice

:

- Remplir chaque matin la distributrice de café;
- Faire régulièrement un entretien préventif.

3) Pour le mode de défaillance " la concentration du café est faible', qui a pour causes le manque et la qualité du café:

- Faire une vérification journalière;
- Faire une selection de marque et identifier le délais de conservation.

**Remarque :** les modes de défaillance (2) et (3) ont la même cause qui est le manque d'eau

Après avoir pris ces actions préventives une réévaluation des indices de criticité a été faite et a donner les résultats suivants:

- Pour la panne de la distributrice son indice de criticité est de 15 ( Avant c'était 60)

-Pour le deuxième mode de défaillance ces indices sont respectivement 40 et 20 (Avant 250 et 50)

- pour le troisième mode de défaillance ces indices sont respectivement 5 et 8 (Avant 56 et 80)

On remarque une nette décroissance des indices de criticité , donc une nette amélioration de la qualité de service, et on a définit une politique de maintenace.

### 4.3. Exemple d'AMDEC-Pocessus d'une distributrice de café

Le tableau ci-dessou résume les résultats :

Opération du processus	Mode de Défaillance potentielle	Effet de défaillance	Cause Possible de défaillance	Evaluation			Actions préventives		Résultats(Révaluation)				
				détection	occurrence	gravité	Recommandées	Prises	détection	occurrence	gravité	Novelle criticité	
La distributrice de café Remplit le verre	La distributrice De café remplit le verre et ne prend pas la monnaie	Client insatisfait	La distributrice Est en panne	2	5	6	60	*suivi statistique des pannes *vérification de l'état de la distributrice *inscrire le n° de téléphone de l'entretien sur la distributrice	Vérification et inscription du n° de téléphone de l'agence de l'entretien	1	3	5	15
			Manque d'eau	7	0	6	0						
	La distributrice de café ne remplit pas le verre avec de l'eau et ne rend pas la monnaie	Client très insatisfait	Manque de café dans la distributrice	5	5	10	250	Chaque matin remplir La distributrice de café	Chaque matin remplir La distributrice de café	2	2	10	40
			blocage dans la distributrice	10	1	10	100	Faire régulièrement Entretien préventif	Un entretien préventive mensuel	2	1	10	20
	La concentration du café Est faible	Client insatisfait	Manque de café	7	1	8	56	Une vérification par jour	Une vérification par jour	1	1	5	5
			Qualité du café	1	10	8	80	Sélectionner les marques et Identifier les délais de conservation	Marque et délais de conservation	1	1	8	8

Tableau 2

#### Conclusion

Ce mémoire à pour but de donner un apèrçu général sur la méthode AMDEC.

L'AMDEC est une évolution de la méthode AMDE, à qui elle ajoute la dimension de la garvité des modes de défaillances.

Elle est principalement utilisée en tant que technique d'analyse préventive.

L'AMDEC est avant tout, une méthode préventive, inductive ( pour certain c'est une politique de maintenance) qui peut être applicable à un produit, un moyen, un processus et un système dans pratiquement tous les domaines (aéronautique, spatial , industriel etc...). C'est un moyen de se prémunir contre certaines défaillance ainsi que leurs causes et leurs conséquences.

Elle liste et organise les modes de défaillance prévisibles et leurs effets.

### 4.3. Exemple d'AMDEC-Pocessus d'une distributrice de café

---

Sur le plan pratique, c'est une mééthode fastudieuse, longue et très couteuse en termes d'argent et de temps, c'est pourqoi seules les grandes sosiété de part le monde l'utilise.

---

# Bibliographie

- [1] A.Riali, A.Talbi, V.Zille (2009). Modélisation et évaluation des stratégies de maintenance. Thèse de Doctorat Université de Troyes
- [2] A.Riali, Aalbi. Ingenierie de la maintenace industrielle
- [3] C. Hohman O. L'essentiel de la TPM
- [4] H. Bazin
- [5] J.Keleda, H. Bazin