

# **Chapitre II**

**Concepts et outils de la sûreté de fonctionnement**

## II.1. Introduction

Les préoccupations dites de sécurité sont très présentes dans le monde industriel et en particulier les industries dites de grand risque (pétrochimie, cimenteries, sidérurgies;...etc.). Dans d'autres industries, du type manufacturier, les préoccupations sont plutôt liées à la disponibilité. Dès lors que la sécurité ou la disponibilité d'un système est mise en cause, on incrimine la fiabilité. Finalement, en cas de dysfonctionnement, il convient de remettre le système en état fonctionnel et c'est là qu'intervient la maintenabilité. Ces quatre caractéristiques (fiabilité, maintenabilité, disponibilité et sécurité) constituent la sûreté de fonctionnement d'un système ou d'un dispositif [3].

La Sûreté de Fonctionnement est une activité d'Ingénierie qualitative et quantitative. La part qualitative correspond à l'optimisation des études au Bureau d'Etudes; elle représente 70% environ de l'activité totale. Les 30% restants représentent la partie dite quantitative qui est consacrée à la maîtrise des risques avant fabrication à partir des architectures déjà élaborées.

C'est donc la phase d'optimisation des architectures des systèmes et de leur mise en œuvre de façon à maximiser, à moindre coût, leur robustesse aux aléas.

D'autre part La Sûreté de Fonctionnement est une action de réduction de risques et, par voie de conséquences, du coût à l'achèvement. Elle s'exerce donc essentiellement pendant les premières phases des projets, jusqu'à la mise en production.

Cette démarche est une partie de la démarche générale qui, depuis quelques années, est mise en œuvre pour contrôler la fabrication d'un produit ou d'un instrument donné, que l'on désigne sous le nom d'Assurance Produit [2].

## II.2. Généralité sur la sûreté de fonctionnement

« La sûreté de fonctionnement (Sdf) d'un système est la propriété qui permet à ses utilisateurs de placer une confiance justifiée dans le service qu'il leur délivre ».  
Elle est perçue à travers différents attributs :

La fiabilité, La disponibilité, La maintenabilité, La sécurité-innocuité, La confidentialité et l'intégrité. [9].

### II.2.1. Historique

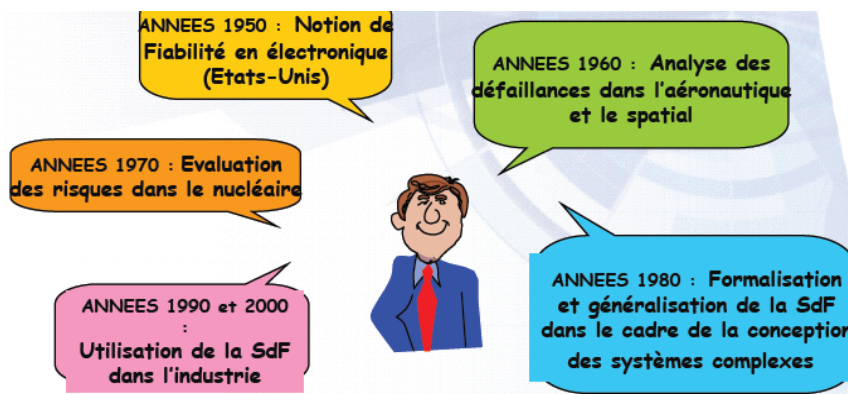


Figure II.1. Historique de Sdf [5]

## II. 3. Les études de sûreté de fonctionnement

- regroupent l'évaluation prévisionnelle de la FMDS d'une organisation, d'un système, d'un produit ou d'un moyen.
- permettent, par comparaison aux objectifs, d'identifier les actions de conception ou d'amélioration de l'entité.
- peuvent également concerner le suivi des performances d'un système en exploitation.
- utilisent un ensemble d'outils et de méthodes qui consistent généralement à analyser les effets des pannes, dysfonctionnements, erreurs d'utilisation... de l'entité étudiée [4].

## II.4. Le concept de Sûreté de fonctionnement( F.M.D.S )

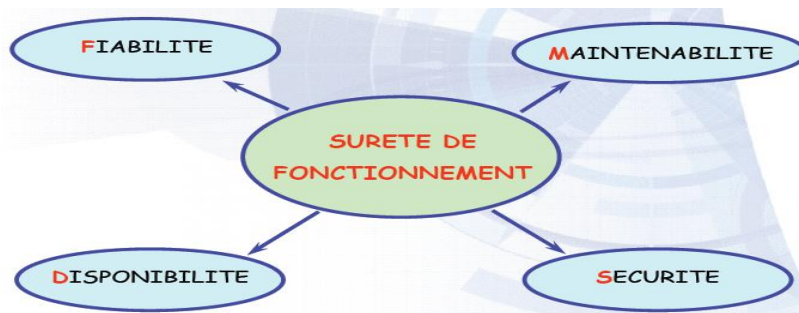


Figure II.2. Concepts F.M.D.S [5]

### II.4.1. Fiabilité

La norme NF X 60-500 définit la fiabilité comme « l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant un intervalle de temps donné ». L'entité (E) désigne au sens large un composant, sous-système ou système, et la fonction requise est la ou les fonctions que doit accomplir le dispositif pour pleinement remplir la tâche qui lui est assignée.

Considérons l'instant T d'occurrence de la défaillance ; cette variable aléatoire permet de définir la notion de fiabilité qui s'interprète comme la probabilité que l'entité considérée ne tombe pas en panne avant un instant t donné ou bien comme la probabilité qu'elle tombe en panne après l'instant t. Par extension, on appelle également fiabilité la probabilité associée R (t) à cette notion alors qu'elle n'en est qu'une mesure [7]. Elle est définie par :

$R(t) = P(E \text{ non-défaillante sur la durée } [0, t], \text{ en supposant qu'elle n'est pas défaillante à l'instant } t = 0).$  Ce qui peut s'exprimer par :

$$R(t) = P(T > t) \dots\dots\dots (II.1)$$

L'aptitude contraire est appelée dé fiabilité, et est définie par :

$$F(t) = 1 - R(t) = P(t < T) \dots\dots\dots (II.2)$$

### ➤ Les différents types de fiabilité

- ❖ **La fiabilité opérationnelle** : (observée ou estimée) déduite de l'analyse d'entités identiques dans les mêmes conditions opérationnelles à partir de l'exploitation d'un retour d'expérience.
- ❖ **La fiabilité prévisionnelle** : (prédite) correspondant à la fiabilité future d'un système et établie par son analyse, connaissant les fiabilités de ses composants.
- ❖ **La fiabilité extrapolée** : déduite de la fiabilité opérationnelle par extrapolation ou interpolation pour des conditions ou des durées différentes.
- ❖ **La fiabilité intrinsèque ou inhérente** : qui découle directement des paramètres de conception. Sans modification de conception des entités, il n'est pas possible d'obtenir un niveau de fiabilité au plus égal à la fiabilité intrinsèque [7].

## II.4.2. La Maintenabilité (Maintainability)

La compréhension des termes utilisés en maintenabilité rend nécessaire l'établissement d'un diagramme chronologique des temps entre l'instant de l'apparition de la défaillance et l'instant de la remise en service de l'installation. Le diagramme (la figure suivante) résume tous les instants importants de cette chronologie [7].

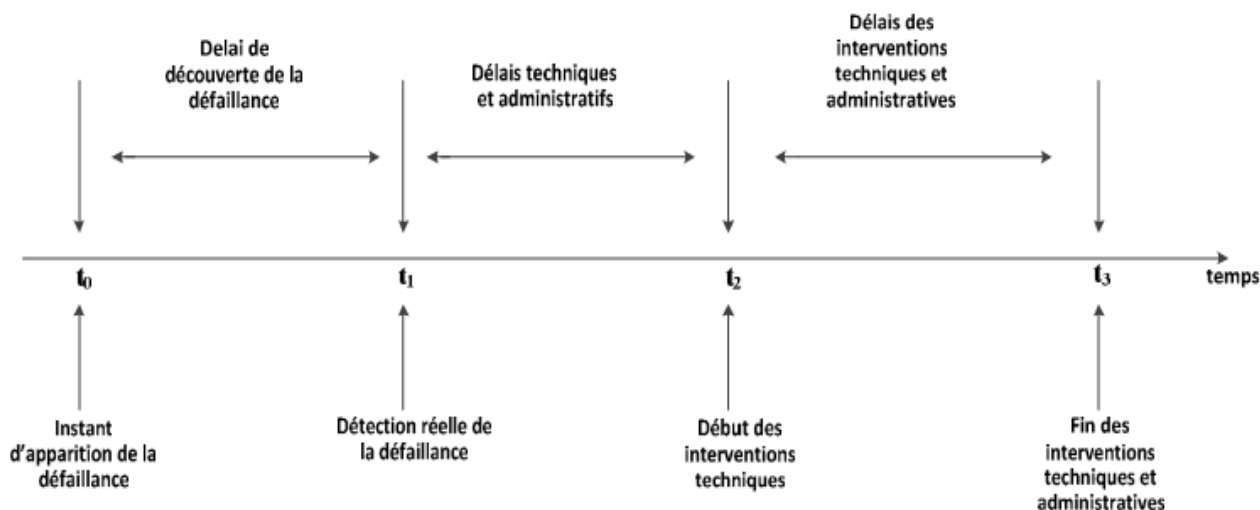


Figure II.3. Chronologie des temps des activités de maintenance [7].

### ➤ Définition de la Maintenabilité

(AFNOR X-06-010) : «Aptitude d'un dispositif à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il puisse accomplir une fonction requise lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions d'utilisation données avec des moyens et procédures prescrits».

**Suivant la norme AFNOR c'est** : dans les conditions données d'utilisation, l'aptitude d'une entité à être maintenue ou rétablie, sur un intervalle de temps donné, dans un état dans lequel elle peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits.

La maintenabilité est la mesure de l'aptitude d'un dispositif (« item ») à être maintenu ou remis dans des conditions spécifiques lorsque 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.

La maintenabilité d'un équipement dépend essentiellement de la facilité de démontage de ces éléments consécutifs et de leurs interchangeabilité [7].

-Maintenabilité intrinsèque.

-Maintenabilité extrinsèque.

### II.4.3. La Disponibilité

La norme AFNOR X 60-500 définit la disponibilité comme « l'aptitude d'une entité à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou pendant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires de maintenance soit assurée » [21].

La probabilité associée  $A(t)$  à l'instant  $t$  est aussi appelée disponibilité et s'exprime par :

**$A(t) = P(\text{E non-défaillante à l'instant } t)$ .**

L'aptitude contraire est appelée indisponibilité et est définie par :

$$\bar{A} = 1 - A(t) \dots\dots\dots (II.3)$$

#### ➤ Définition de la disponibilité

C'est l'aptitude d'un dispositif à être en état de fonctionnement dans ces conditions données sous les aspects combinés de la fiabilité de la maintenance, la logistique et l'organisation de maintenance c'est la probabilité pour qu'un dispositif soit en état de fonctionnement selon des conditions de maintenance prescrite et pour un temps donné [21].

### II.4.4. Sécurité

Bien que la norme [CEI 50 (191), 1990] n'intègre pas la sécurité comme composant de la SdF, nous considérons qu'il est important de la prendre en compte car l'occurrence d'un événement catastrophique met en péril la vie humaine.

En fait, le concept de sécurité est probablement le plus difficile à définir et à évaluer, car il englobe des aspects très divers. Cependant, la norme [EN 292 – 1, 1991] sur la sécurité des machines donne cette définition :

Aptitude d'une machine à accomplir sa fonction, à être transportée, installée, mise au point, entretenue, démontée et mise au rebut dans les conditions d'utilisation normales spécifiées dans la notice d'instructions, sans causer de lésions ou d'atteinte à la santé.

La sécurité peut également s'exprimer sous forme d'une probabilité : probabilité que le système évite de faire apparaître, dans des conditions données, des événements critiques ou catastrophiques [Villemeur, 1988]. Si on considère que les défaillances d'un système se partagent en deux catégories, celles qui sont dangereuses et celles qui ne le sont pas, la sécurité peut être considérée comme la part de la fiabilité relative aux défaillances dangereuses. Ce concept peut devenir prépondérant dans une analyse de Sdf, dans la mesure où une défaillance du système peut présenter un risque de dommage corporel à l'encontre des usagers [7].

## II.5. Les temps caractéristiques pour la Sûreté de Fonctionnement

Les différents temps caractérisant la Sdf se définissent en fonction de leur état de fonctionnement : avant défaillance, entre défaillance, entre défaillance et réparation, etc. Ces temps dépendent des probabilités d'occurrences des divers événements comme les défaillances et les réparations des composants. Ce sont des variables aléatoires que l'on cherche à caractériser par leurs espérances mathématiques [23].

[Villemeur, 1988] et [Lannoy, 1996] présentent quelques temps caractérisant de la SdF. De même, ils présentent aussi, au moyen d'un graphique, la relation existant entre eux.

Cependant, la norme [CEI 50 (191), 1990] présentent les définitions d'une façon plus fines par rapport aux autres auteurs :

- **MTTF** (mean time to failure) : durée moyenne de fonctionnement avant défaillance, espérance mathématique de la durée de fonctionnement avant défaillance. La définition du MTTF est :

$$\text{MTTF} = \int_0^{\infty} R(t) dt \dots\dots\dots (II.4)$$

- **MTBF** (mean time between failures) durée moyenne entre deux défaillances consécutives d'une entité réparée.

- **MRT** (mean repair time) durée moyenne de réparation, espérance mathématique de la durée du temps de réparation.

- **MTTR** (mean time to repair or restoration) durée moyenne de panne ou moyenne des temps pour la remise en état de fonctionnement, espérance mathématique de la durée de panne. MTTR<sub>rep</sub> est associé à la réparation du composant et MTTR<sub>res</sub> à sa restauration. La différence entre les deux est liée au fait que l'on considère ou non le temps mis pour remettre en service l'équipement, le MTTR<sub>res</sub> l'incluant.

- **MUT** (mean up time) ou TMD temps moyen de disponibilité, espérance mathématique de la durée de disponibilité.

- **MDT** (mean down time) ou TMI temps moyen d'indisponibilité, espérance mathématique de la durée d'indisponibilité.

Le MDT est décomposé en plusieurs phases lesquelles sont montrées par la figure suivante.

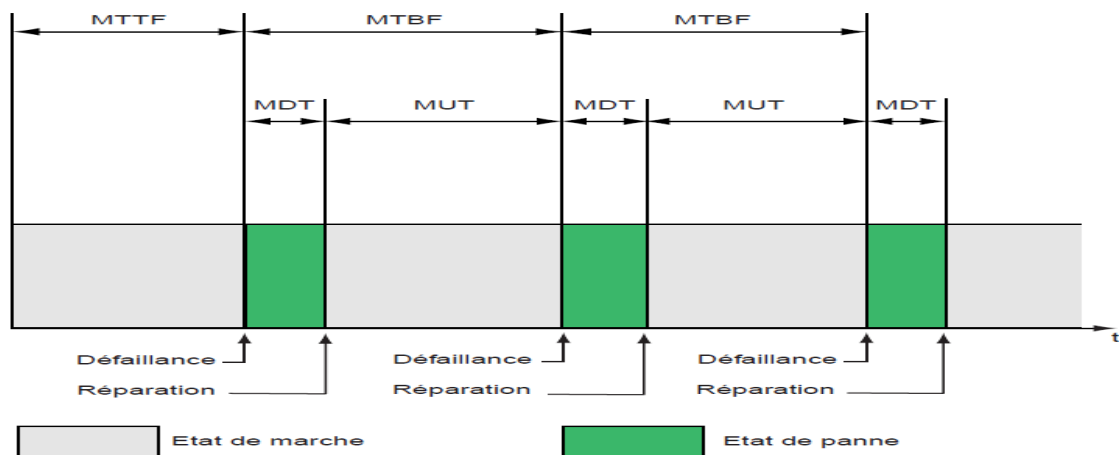


Figure.II.4. Diagramme des temps moyens [23]

## II.6. Analyse Fonctionnelle

### II.6.1. Analyse fonctionnelle externe

Elle permet de définir avec précision :

- Les limites fonctionnelles et matérielles du système
- Les différentes fonctions et missions réalisées par le système
- Les diverses configurations d'exploitation [5].

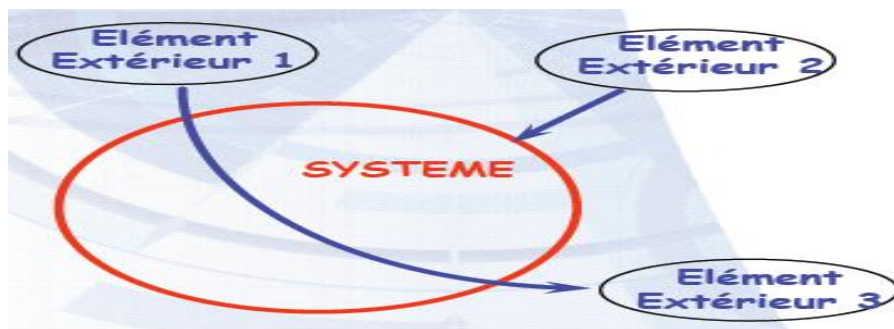


Figure II.5. Analyse fonctionnelle externe [5]

### II.6.2. Analyse fonctionnelle interne

Elle permet :

De réaliser une décomposition arborescente et hiérarchique du système en éléments fonctionnels et/ou matériels.

De lister le cheminement des fonctions définies au niveau système au travers des différents éléments [5].

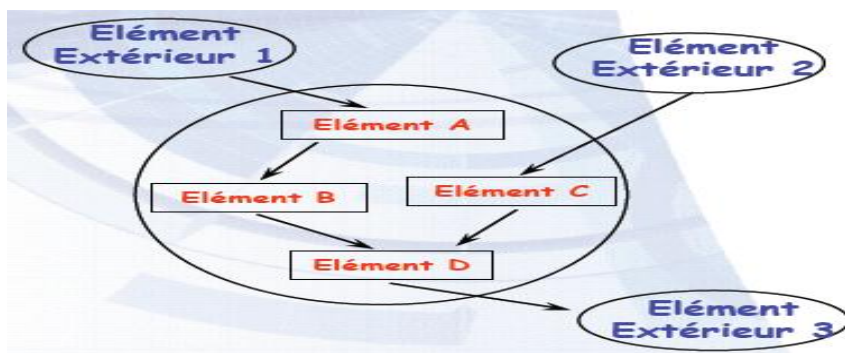


Figure II.6. Analyse fonctionnelle interne [5]

## II.7. Arbre de défaillances

Mise en évidence des diverses combinaisons possibles d'événements qui entraînent la réalisation d'événements redoutés. Représentation des combinaisons au moyen d'une structure arborescente [5].

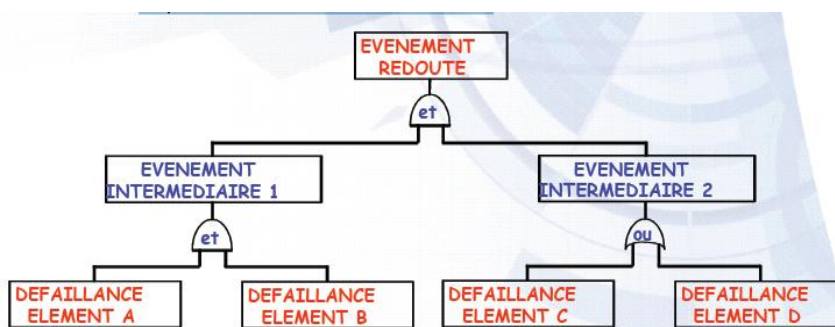


Figure II.7. Arbre de défaillances [5].

## II.8. Généralité sur la Maintenance

La maintenance est aujourd'hui reconnue comme facteur de performance et de compétitivité des entreprises. Jouant un rôle fondamental dans la maîtrise du coût global des équipements, de la qualité et des délais de livraison des produits et service [8].

### II.8.1. Histoire

Le terme « maintenance » forgé sur les racines latines, Manus et Tenere est apparu dans la langue française au 12<sup>ème</sup> siècle, l'étymologiste WACE a trouvé la forme maintenance comme celui qui soutient, utilisée en 1169, c'est une forme archaïque de maintenir.

Les utilisateurs anglo-saxons du terme sont donc postérieurs, à l'époque moderne, le mot a réapparu dans le vocabulaire militaire « maintien dans les unités de combat, de l'effectif et du matériel à des niveaux constant », définition intéressante, puisque l'industrie la reprend à son compte en l'adaptant aux unités de production affectées à un « combat économique » [7].



---

**Avant 1900** : on parle de réparation.

**1900 - 1970** : on utilise la notion d'entretien, avec le développement des chemins de fer, de l'automobile, de l'aviation et l'armement pendant les 2 guerres mondiales.

**A partir de 1970** : les développements de secteurs à risques et d'outils modernes aboutissent à la mise en œuvre de la maintenance.

Les principales raisons à retenir pour le passage de l'entretien à la maintenance :

- Automatisation.
- Evolution technologique.
- Coût.
- Contraintes réglementaires.
- Amortissement [7].

## II.8.2. Définition

La maintenance est l'ensemble de toutes les tâches permettant de maintenir ou de rétablir un bien, dans l'état dans lequel il peut accomplir la fonction requise.

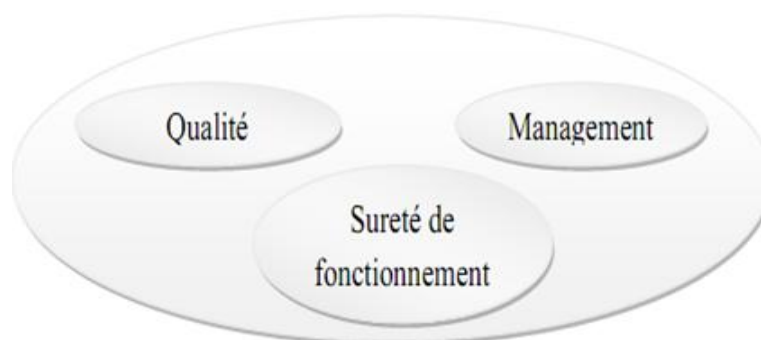
## II.8.3. La Maintenance comme politique

La maintenance est une politique qui prend en compte [7] :

- a) le choix des méthodes d'entretien (les différents modes de maintenances).
- b) les améliorations.
- c) la place des équipements dans le procédé de fabrication (hiérarchisation).
- d) la formation du personnel d'entretien et de production.

## II.8.4. L'environnement de la Maintenance

La maintenance s'intègre dans le concept global de la Sûreté de fonctionnement, qui lui-même s'intègre dans l'Assurance Produit [8].



**Figure II.8. L'assurance produit [8].**

---

## II.8.5. Les différents types de Maintenance

### II.8.5.1. La maintenance corrective

#### ➤ Définition

C'est une opération effectuée après la détection d'une panne ou après défaillance ; on envisage deux types d'interventions différentes :

a) **Palliative (dépannage)**, c'est-à-dire une remise en état de fonctionnement «caractère provisoire».

b) **Curative (réparation)**, c'est la réparation complète, parfois après dépannage «caractère définitif».

✓ **Définition AFNOR** : Maintenance effectuée après défaillance.

✓ **Définition (d'Alain Villemeur)** : maintenance effectuée après la détection d'une panne et destiné à remettre une entité dans un état lui permettant d'accomplir une fonction requise.

Cette maintenance est utilisée lorsque l'indisponibilité du matériel n'as pas de conséquences majeures sur le processus de production ou quand les contraintes de sécurité sont faibles [7].

#### ➤ Les formes de la maintenance corrective

La maintenance corrective peut être utilisée :

- seule en tant que méthode.
- en complément d'une maintenance préventive pour s'appliquer aux défaillances résiduelles.

#### ➤ Evolution de la maintenance corrective

La maintenance corrective peut évoluer vers une maintenance d'amélioration [8].

#### ➤ Les opérations de maintenance corrective

##### **Le dépannage**

Actions physiques exécutées pour permettre à un bien en panne d'accomplir sa fonction requise pendant une durée limitée jusqu'à ce que la réparation soit exécutée. Le dépannage n'a pas de conditions d'applications particulières. La connaissance du comportement du matériel et des modes de dégradation n'est pas indispensable même si cette connaissance permet souvent de gagner du temps.

Ainsi, le dépannage peut être appliqué par exemple sur des équipements fonctionnent en continu dont les impératifs de production interdisent toute visites ou intervention à l'arrêt [7].

##### **La réparation**

Actions physiques exécutées pour rétablir la fonction requise d'un bien en panne.

L'application de la réparation peut être décidée soit immédiatement à la suite d'un incident ou d'une Défaillance, soit après un dépannage, soit après une visite de maintenance préventive conditionnelle ou Systématique [7].

---

### **II.8.5.2. La maintenance préventive**

#### **✓ Définition**

AFNOR (X-60-010) : Maintenance effectuée dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu [7].

#### **✓ Les types de maintenance préventive**

##### **1) La maintenance préventive systématique**

###### **Définition**

AFNOR X-60-010 : « Maintenance préventive effectuée suivant un échéancier établi, suivant le temps ou le nombre d'unité d'usage ».

Cette maintenance comprend des inspections périodiques et des interventions planifiées.

###### **Avantage**

C'est une maintenance facile à gérer car les périodes d'interventions sont fixes, elle permet :

- d'éviter les détériorations importantes.
- de diminuer les risques d'avaries imprévues.

###### **Inconvénient**

Reposer sur la notion de MTBF et ne prends pas en compte les phénomènes d'usure [7].

##### **2) La maintenance préventive conditionnelle**

###### **Définition**

AFNOR X-60-010 : « Maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé révélateur de l'état du bien. »

###### **Avantages**

- elle sécurise : détection de l'arrivée des défauts.
- elle améliore la disponibilité par la planification des opérations.
- elle favorise les facteurs humains (appel aux compétences des opérateurs).

###### **Inconvénients**

- Pour être efficace elle doit être pensée dès la phase de conception.
- Elle sera limitée par l'existence de symptômes.
- Le coût de l'instrumentation [22].

## Les opérations de maintenance préventive

### a) Les inspections

Ce sont des activités de surveillance qui consistent à relever périodiquement des anomalies et exécuter des règles simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique ou d'arrêt de l'outil de production ou des équipements [22].

### b) Les visites

C'est une opération de surveillance, se situant dans le cadre d'action de Maintenance préventive, elle peut consister en un examen détaillé et approfondi d'une partie ou de l'ensemble du système suivi.

### c) Les contrôles

Vérifications de conformité par rapport à des données préétablies suivies d'un jugement. Le contrôle peut :

- ❖ Comporter une activité d'information ;
- ❖ Inclure une décision : acception, rejet, ajournement ;
- ❖ Déboucher comme les visites sur des opérations de maintenance corrective.

Les opérations de surveillance (contrôles, visites, inspections) sont nécessaires pour maîtriser

L'évolution de l'état réel du bien. Elles sont effectuées de manière continue ou à des intervalles prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou le nombre d'unités d'usage [7].

## Conclusion

Dans ce chapitre nous avons abordés une vue générale sur la sûreté de fonctionnement et la maintenance et l'ensemble de toutes les actions techniques et administratives effectuées durant le cycle de fonctionnement d'un bien ou d'un système. Dans le présent chapitre nous donnons les principaux outils d'aide à la décision et une présentation des Sdf.

Dans ce chapitre présenté les concepts de la terminologie en sûreté de fonctionnement, ont cependant l'intérêt pour ceux qui les adoptent de servir de référentiel dans les discussions technique et L'objet des techniques d'analyse des risque étant de contribuer à l'amélioration de la conception, ou l'amélioration du capital investi dans l'outil de production ainsi qu'à l'amélioration de la sécurité de fonctionnement des systèmes industriels.

