



MAINTENANCE DES SYSTEMES ELECTROMECHANIQUES



Pr. Bouras Slimane

I.6.6.1. Taux de défaillance pour des composants électroniques

Par expérience, la courbe représentant le taux de défaillance pour des composants électroniques en fonction du temps a la même allure que la courbe en baignoire (Figure I.12). Elle est donc composée de trois phases :

- **Phase 1** : La première phase définit la période de jeunesse,
- **Phase 2** : La deuxième phase définit la période de vie utile
- **Phase 3** : La dernière phase est la période de vieillissement,

I.6.6.2. Taux de défaillance pour des composants mécaniques

Les composants mécaniques sont soumis, dès le début de leur vie, au phénomène d'usure ou de vieillissement.
(voir Figure I.13) :

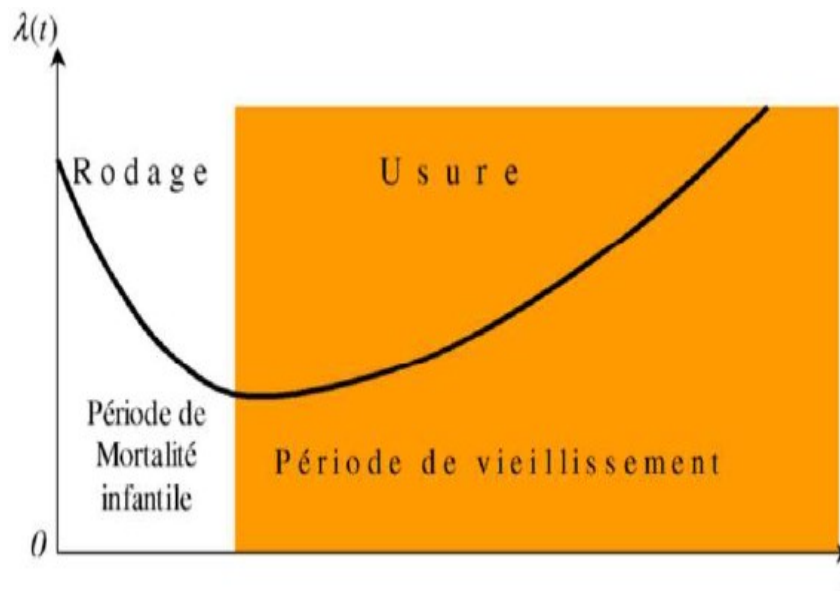


Figure I.13 – Courbe du taux de défaillance en mécanique [7]

- **Phase 1** : La première phase définit la période de mortalité infantile. C'est une durée de vie en principe très courte
- **Phase 2** : La dernière phase définit la période de vieillissement qui comporte la majorité de la vie du dispositif.

I.6.7. Objectifs et intérêts de la fiabilité en mécanique

L'analyse de la fiabilité constitue une phase indispensable dans toute étude de sûreté de fonctionnement. Aujourd'hui, la fiabilité est devenue un paramètre clé de la qualité et d'aide à la décision, dans l'étude de la plupart des composants, produits et processus "grand public" : Transport, énergie, bâtiments, composants électroniques, composants mécaniques....

De nombreux industriels travaillent à l'évaluation et l'amélioration de la fiabilité de leurs produits au cours de leur cycle de développement, de la conception à la mise en service (conception, fabrication et exploitation) afin de développer leurs connaissances sur le rapport Coût/Fiabilité et maîtriser les sources de défaillance.

L'analyse de la fiabilité dans le domaine de la mécanique est un outil très important pour caractériser le comportement du produit dans les différentes phases de vie, mesurer l'impact des modifications de conception sur l'intégrité du produit, qualifier un nouveau produit et améliorer ses performances tout au long de sa mission.

I.6.8. Evolution des coûts en fonction de la fiabilité

Construire plus fiable, augmente les coûts de conception et de production. Le coût total prend en compte ces deux contraintes.

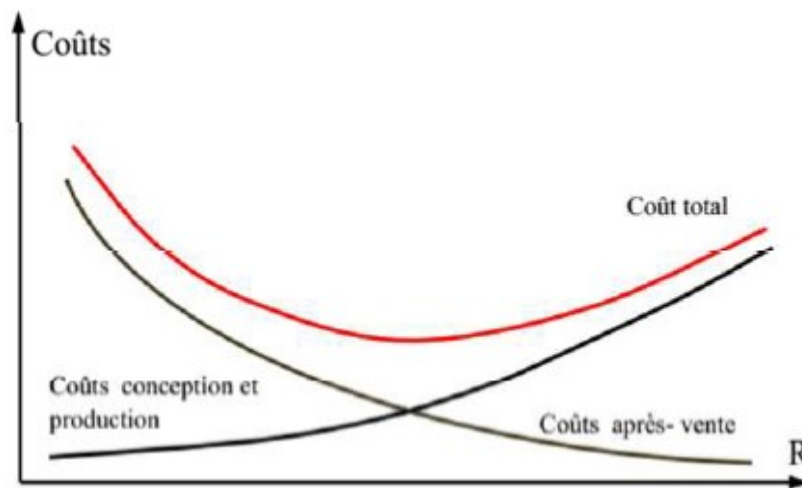


Figure I.14 – Courbes d'évolution des coûts en fonction de la fiabilité [7]

La fiabilité d'une machine a tendance à diminuer avec le nombre de ses composants ou de leurs complexités. La maîtrise de la fiabilité devient donc plus délicate.

Une très haute qualité pour chaque composant, n'entraîne pas nécessairement une grande fiabilité. Après assemblage, les interactions entre les composants diminuent la capacité de l'ensemble.

I.6.9. Fiabilité d'un système

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

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

1) Fiabilité de système constitué de plusieurs composants

a. En série

La fiabilité R_S d'un ensemble de n constituants connectés en série est égale au produit des fiabilités respectives R_A , R_B , R_C , R_n de chaque composant [5] :

$$R_S = R_A * R_B * R_C * \dots * R_n \quad (13)$$

Si les "n" composants sont identiques avec une même fiabilité R la formule sera la suivante :

$$R(s) = R^n \quad (14)$$

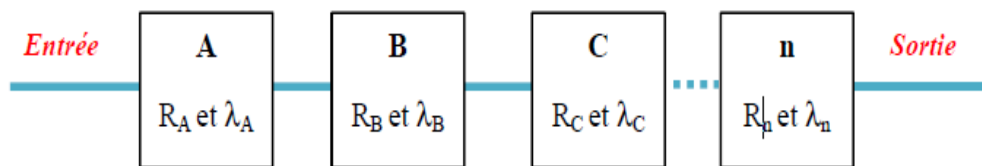


Figure I.15 – Composants en série

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

$$R(s) = (e^{-\lambda_A t}) * (e^{-\lambda_B t}) * (e^{-\lambda_C t}) * \dots * (e^{-\lambda_n t}) \quad (15)$$

avec

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

(16)

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

Alors :

$$R(s) = (e^{-\lambda n t}) \text{ et } MTBF(s) = \frac{1}{n * \lambda} \quad (17)$$

• Exemple 1 :

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

$$R_S = R_A * R_B * R_C * R_D = 0.95 * 0.92 * 0.97 * 0.89 = 0.7545$$

(soit une fiabilité de 75% environ)

• Exemple 2 :

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

$$R(S) = R^n = 0.9999^{2000} = \mathbf{0.8187} \text{ (soit une fiabilité de 82 \% environ)}$$

Si on divise par deux le nombre des composants

$$R(S) = R^n = 0.9999^{1000} = \mathbf{0.9048} \text{ (environ 90.5\%)}$$

Si on souhaite avoir une fiabilité de 90 % pour l'ensemble des 2000 composants montés en série, déterminons la fiabilité que doit avoir chaque composant.

$$R(S) = 0.9 = R^{2000}$$

Expression que l'on peut écrire, à partir des logarithmes népériens sous la forme :

$$L_n R_S = L_n 0.9 = 2000 L_n R, \quad \text{D'où } R = \mathbf{0.999945}$$

2) En parallèle

La fiabilité d'un système peut être augmentée en plaçant les composants en parallèle. Un dispositif constitué de n composants en parallèle ne peut tomber en panne que si les n composants tombent en panne au même moment. Si F_i est la probabilité de panne d'un composant, la fiabilité associée R est son complémentaire [5,8] :

$$F_i = 1 - R_i \quad (18)$$

F_i représentant la fiabilité associée.

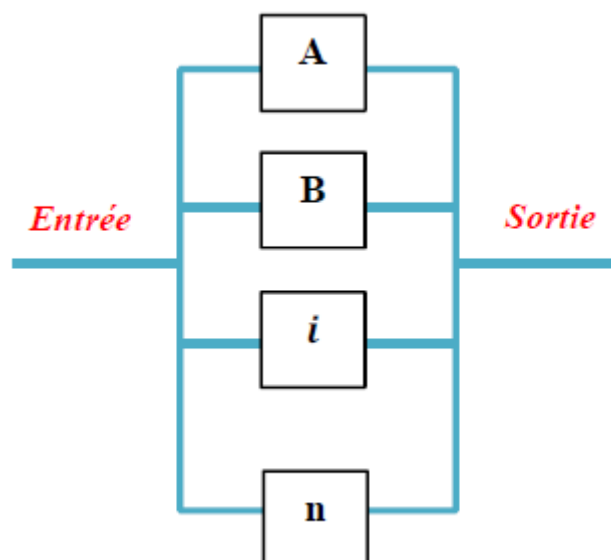


Figure I.16 – Composants en parallèle

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

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

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

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

Exemple :

Trois dispositifs A, B et C de même fiabilité $R_A = R_B = R_C = 0.75$ sont connectés en parallèle.

Déterminons la fiabilité R_S de l'ensemble :

$$R_S = 1 - (1 - 0.75)^3 = 0.984$$

Si on réduit le nombre des composants à deux :

$$R_S = 1 - (1 - 0.75)^2 = 0.9375$$

Si on met quatre dispositifs en parallèle :

$$R(S) = 1 - (1 - 0.75)^4 = 0.9961$$

c. Combinaison de composants en série et en parallèle

C'est la combinaison des deux sous-paragraphe précédents.

Exemple :

La fiabilité des trois composants identiques A, B et C est de 0.65, celle de D de 0,96 ; celle de E 0, 92 ; celle de G 0, 87 ; celle de F de 0,89 et celle de H de 1 (100%). La fiabilité globale R_S est exprimée ici par :

$$R_S = [1 - (1 - 0.65)^3] * [0.96] * [1 - (1 - 0.92 * 0.87)(1 - 0.89 * 1)] = 0.957 * 0.96 * 0.978 = 0.8986 \approx 90\%$$

I.6.10. Lois de fiabilité

On distingue deux types de lois de probabilité utilisées en fiabilité : les lois discrètes et les lois continues [9].

Les Lois discrètes

Une loi est dite discrète si elle prend ses valeurs dans $\mathbb{N}$ c'est à dire des valeurs entières comme par exemple celle qui compte le nombre de pannes.

Parmi les lois discrètes on peut citer :

- 1) Loi Uniforme, 2) Loi de Bernoulli, 3) Loi Binomiale,
- 4) Loi Binomiale négative, 5) Loi Géométrique, 6) Loi Hypergéométrique, 7) Loi de Poisson.

Les lois continues

Parmi les lois continues on peut citer : 1) La loi du Khi deux, 2) La loi de Birnbaum-Saunders, 3) La loi Gamma, 4) Loi Inverse Gamma, 5) La loi logistique, 6) La loi loglogistique, 7) La Loi de Cauchy, 8) La loi de Student, 9) La loi Bêta, 10) La loi exponentielle, 11) La loi de Fisher, 12) La Loi normal, 13) La loi Log normale, 14) La loi de Weibull

Exemples étudiés :

a. La loi de Weibull

L'expression loi de Weibull recouvre en fait toute une famille de lois, certaines d'entre elles apparaissant en physique comme conséquence de certaines hypothèses. C'est en particulier, le cas de la loi exponentielle ($\beta = 1$) et de la loi normale ($\beta = 3$). Sa fonction de fiabilité est :

$$R(t) = e^{-(\frac{t-\gamma}{\eta})^\beta}$$

Avec les paramètres de signification γ, β, η définissent la distribution de Weibull. On utilise trois paramètres :

- β : paramètre de forme ($\beta > 0$)
- η : paramètre d'échelle ($\eta > 0$)
- γ : paramètre de position ($-\infty < \gamma < +\infty$)

b. La loi exponentielle

En raison des applications multiples de cette loi qui n'est autre qu'un cas particulier de la loi de Weibull.

La distribution exponentielle s'exprime ainsi :

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Avec les paramètres de significations :

- e : est la base d l'exponentielle (2,718...)
- λ : c'est l'intensité.

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

La fonction de répartition : $F(t) = 1 - \int_0^t \lambda t e^{-\lambda t} dt$

La distribution exponentielle s'applique aux systèmes opérants en continu (systèmes électroniques) c'est ce qu'on appelle distribution sans mémoire. Les systèmes complexes ont aussi un $\lambda(t)$ constant

I.7. Modèles de fiabilité

On distingue les Modèles de fiabilité suivants [9] :

- a. La fiabilité estimée ou intrinsèque :** c'est la fiabilité mesurée au cours d'essais spécifiques effectués dans le cadre d'un programme d'essai entièrement défini.
- b. La fiabilité prévisionnelle :** elle est obtenue à partir d'un modèle mathématique connaissant la fiabilité estimée de ces composants (modèles deductifs). Les propriétés du système complet sont déduites d'une connaissance détaillée des propriétés de ses composants.
- c. La fiabilité opérationnelle :** c'est la fiabilité mesurée sur des dispositifs en exploitation normale. Elle dépend des conditions réelles d'utilisation et du support logistique.

I.8. Les différentes formes de la maintenance

Le choix entre les méthodes de maintenance s'effectue dans le cadre de la politique de la maintenance et doit s'opérer en accord avec la direction de l'entreprise.

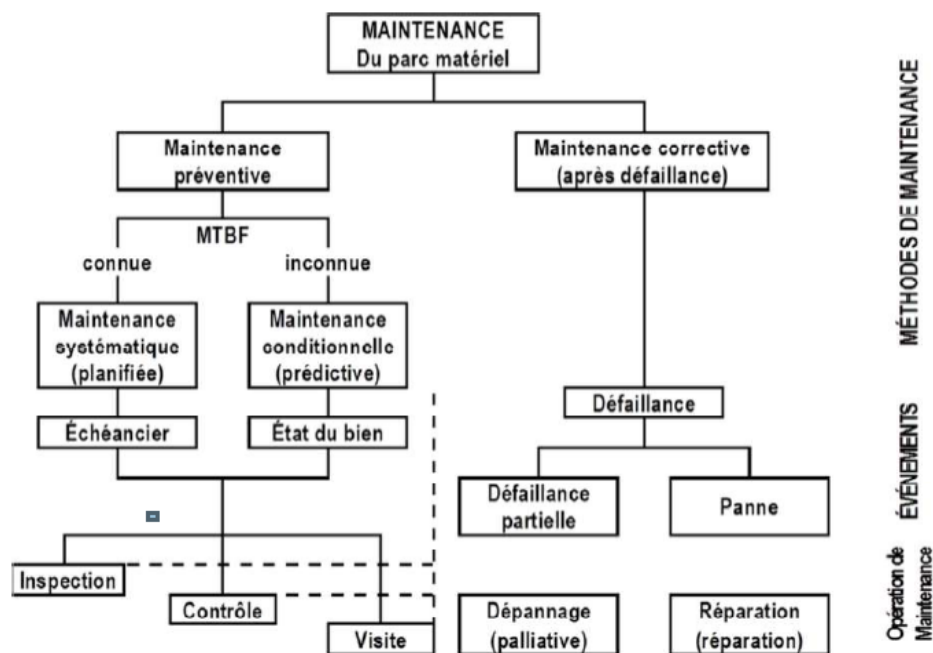


Figure I.17– Les méthodes de maintenance [6]

1. Maintenance corrective

La maintenance corrective ou accidentelle est définie ainsi : « maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise ».

- Elle peut être « différée » : si elle n'est pas exécutée immédiatement après la détection d'une panne, mais est retardée en accord avec des règles de maintenance données.
- Elle peut être « d'urgence » : si elle est exécutée sans délai après détection d'une

panne afin d'éviter des conséquences inacceptables.

Définitions (extraits normes NF X 60-010)

La maintenance corrective appelée parfois curative (terme non normalisé) a pour objet de redonner au matériel des qualités perdues nécessaires à son utilisation.

Les défauts, pannes ou avaries diverses exigeant une maintenance corrective entraînent une indisponibilité immédiate ou à très brève échéance des matériels affectés et/ou une dépréciation en quantité et/ou qualité des services rendus.

La **Figure I.18** montre que l'action exercée après une défaillance sera dite corrective et notée I_c . (intervention corrective).

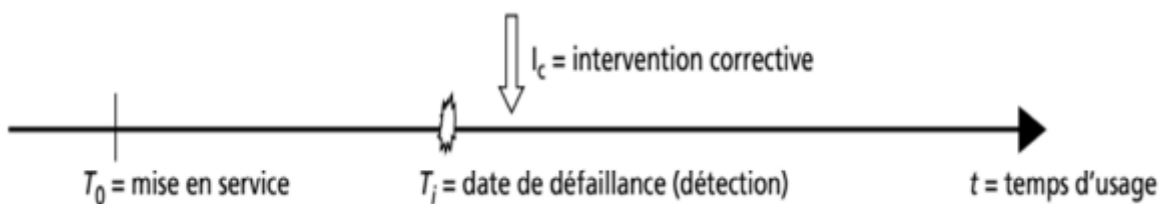


Figure I.18 - Action exercée après une défaillance sera dite corrective [1]

2. Maintenance curative

Ce type de maintenance permet de remettre définitivement en état le système après l'apparition d'une défaillance.

3. Maintenance palliative

La maintenance palliative revêt un caractère temporaire, provisoire. Elle est principalement constituée d'opérations qui devront toutefois être suivies d'opérations curatives (réparations).

4. Maintenance préventive

Opération de maintenance effectuée avant la détection d'une défaillance d'une entité, à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits (suite à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs) et destinée à réduire la probabilité de défaillance d'une entité ou la dégradation du fonctionnement d'un service rendu.

Elle est subdivisée en :

- Maintenance systématique
- Maintenance conditionnelle
- Maintenance prévisionnelle

a. Maintenance prévisionnelle : Maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien.

b. Maintenance systématique : Maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien.

c. Maintenance conditionnelle : Maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement et intégrant les actions qui en découlent.

I.9.Organisation d'entretien et de dépannage des équipements électriques

Comme la loi de Murphy le prédisait, les problèmes de système de contrôle électrique se produisent généralement avec le pire moment possible. Il faut avoir un plan de dépannage. Ne pas se précipiter pour régler directement un problème, il serait avantageux d'être méthodiques avec notre processus. Partageons ensemble les sept étapes pour le dépannage électrique [3].

- **Collecter des informations :**

Il s'agit de recueillir autant d'informations que possible sur le problème. Plutôt que de plonger immédiatement et d'essayer de faire fonctionner l'équipement au hasard, prenez d'abord un peu de recul et déterminez comment l'équipement est censé fonctionner, quelle documentation technique est disponible pour l'équipement et quelqu'un d'habitué à cet équipement.

- **Comprendre le dysfonctionnement et le rôle joué par l'équipement défectueux dans tout le processus :** Si l'équipement et le processus sont supposés fonctionner, on peut bien comprendre quelle partie de celui-ci ne fonctionne pas correctement.

- **Identifier ce qui peut être mesuré afin de pouvoir identifier les éléments qui sont en dehors de la plage acceptable :** Par exemple, y a-t-il des lectures de grandeurs (tension, intensité, vitesse, couple,...) ou paramètres qui aideraient à évaluer la source du problème ?

- **Identifier la source du problème en utilisant les données disponibles et les outils d'analyse pour isoler le composant défectueux :**
Cela pourrait impliquer d'isoler les composants ou l'élément mis en cause

- **Corriger / réparer le composant endommagé.**

- **Vérifier la réparation après l'achèvement :** Une fois la réparation effectuée, démarrer le système pour s'assurer qu'il fonctionne maintenant comme requis. Ceci est important car il peut y avoir eu d'autres problèmes sous-jacents.

- **Effectuer une analyse des causes profondes pour déterminer ce qui a vraiment causé le problème :**

Puisque l'un des objectifs du dépannage est de s'assurer que le problème ne se reproduira pas, il est important de déterminer ce qui a réellement causé le dysfonctionnement et de prendre des mesures pour s'assurer qu'une solution permanente est trouvée.

I.10. Classification de la maintenance planifiée des équipements électriques

Selon la norme Afnor NF EN 13306 X 60-319, la « maintenance planifiée est une maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire les probabilités de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien » [7].

L'objectif de la maintenance planifiée est d'établir et de maintenir un équipement dans des conditions de production optimale. Mettre au point un plan de la maintenance planifiée signifie d'augmenter les outputs (0 problème de fiabilité, 0 panne) et d'améliorer les compétences des techniciens de maintenance en augmentant la disponibilité des machines. Cela implique la réduction des actions « curatives et palliatives » de la maintenance pour construire un système qui inclue :

- Maintenance systémique, conditionnelle et prédictive régulière pour prévenir des pannes.
- Maintenance corrective pour réduire le risque de panne.
- Arrêt maintenance pour restaurer les machines et pour qu'elles refonctionnent mieux le plus rapidement possible.
- Supplément dans l'amélioration continue de la maintenance autonome.

En terme de culture, mettre en oeuvre la maintenance planifiée, c'est passé d'un mode « réactivité » (une panne a lieu, il faut redémarrer au plus vite, appelé aussi mode « pompier ») à un mode de proactivité (il y a possibilité d'une panne, faut agir).

Ainsi, la maintenance planifiée a pour enjeu de :

- Prolonger l'intervalle entre deux arrêts programmés.
- Diminuer la durée de l'intervention.
- Limiter la gravité des dégradations.
- Maîtriser l'outil de production en visant le « zéro panne » et en rendant les processus stables.
- Réduire les coûts de la maintenance.
- Soutenir les activités de la maintenance autonome.
- Intervenir au moment le plus optimal et opportun.

1. Prioriser le déploiement de la maintenance planifiée

Mettre en oeuvre la maintenance planifiée est un processus complexe et couteux. Il devient nécessaire le faire étape par étape et de prioriser les équipements. Il faut donc recueillir des données sur les équipements (MTBF, MTTR, fréquence et gravité des pannes...). Une fois cette priorisation effectuée, il faut identifier les objectifs de la maintenance planifiée pour le ou les équipements.

2. Classification

Le premier élément de classification consiste à mettre une priorité sur une ligne ou un équipement [8]. Une fois que l'on a priorisé les équipements, on fait de même avec les pièces de ces équipements.

Partie II. Organisation et gestion de la maintenance

Structure des ateliers spécialisés dans le dépannage des convertisseurs électromécaniques, organisation des opérations de maintenance, étapes principales de technologie de dépannage des machines électriques, étude des différentes pannes des machines électriques et méthodes de leur détection, technique de démontage et de remontage, essais et diagnostics avant le dépannage.

II.1. Introduction

Une bonne organisation de maintenance industrielle contribue à améliorer l'efficacité et la disponibilité des équipements pour les services de production. Plusieurs méthodes de maintenance sont intervenues pour traiter des tâches différentes. Ces méthodes sont d'autant plus efficaces quand elles gèrent et coordonnent toutes les activités liées à la fois à la production et à la maintenance, dans le cadre d'une politique de maintenance adaptée aux exigences de l'industrie, en tenant compte de ses diverses contraintes (techniques et économiques) et des objectifs de production (cout, qualité, délai).

II.2. Structure des ateliers spécialisés dans le dépannage des convertisseurs électromécaniques

II.2.1. Définition

Nous définissons un atelier de maintenance comme étant un ensemble de ressources (techniciens, postes d'intervention, outillage, pièces de rechange, magazine) destinée à garantir la pérennité des machines de production. Son rôle est de détecter l'origine des défaillances sur une machine défectueuse et de rétablir son fonctionnement (maintenance corrective). Afin de réduire la probabilité d'occurrence des défaillances et augmenter le cycle de vie de ces machines, des interventions régulières sont programmées (maintenance préventive systématique).

II.2.2. Fonctions de l'atelier de maintenance

Les fonctions de l'atelier de maintenance sont réparties en trois services avec la classification schématique illustrée par la Figure II.1. Ces fonctions interagissent entre elles pour assurer une gestion des activités production/maintenance permanente et surtout pour améliorer le rendement de ces activités [2].

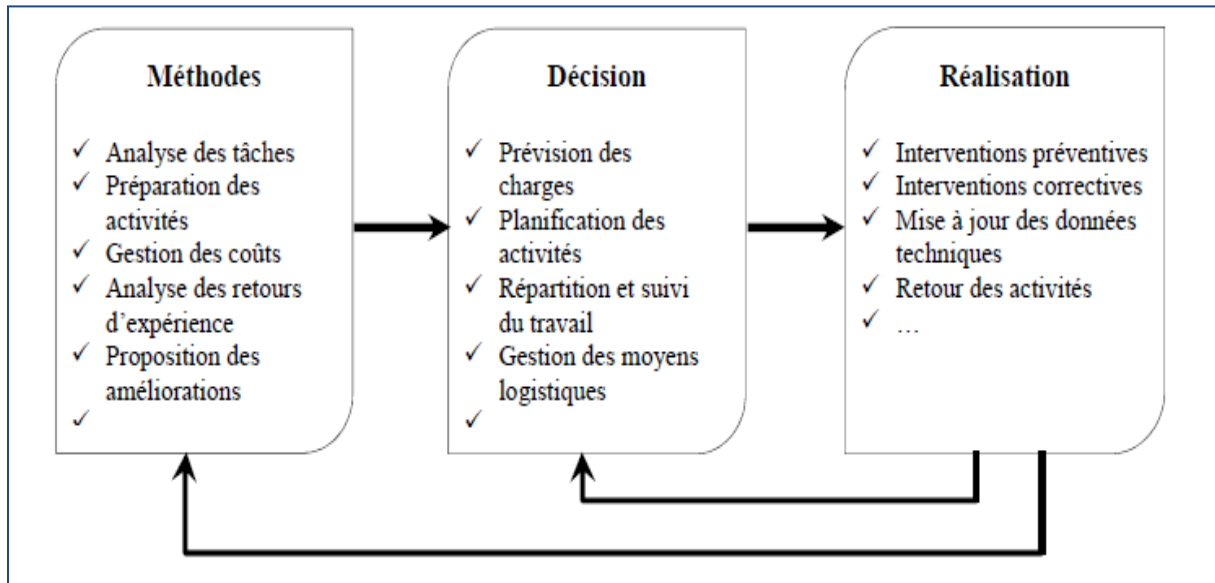


Figure II.1 - Fonctions de l'atelier de maintenance [6]

II.2.3. Étapes de conception d'un atelier de maintenance

Il est clair que le maintien de la productivité dépend, qualitativement et quantitativement, des outils de production utilisés mais aussi de l'efficacité de la maintenance de ces outils. La maintenance est donc un champ d'action privilégié de la recherche d'amélioration des performances de l'entreprise. Cependant, les méthodes et techniques de maintenance ne possèdent pas un caractère unique et universel. En fonction du type des processus industriels à maintenir et de la nature des systèmes et sous-systèmes ou équipements, il faudra mettre en oeuvre des méthodes spécifiques tenant compte des technologies d'employées selon les cas :

- Systèmes mécaniques dynamiques : moteurs, pompes.
- Systèmes numériques programmes.
- Systèmes hydrauliques ou thermo hydrauliques.
- Systèmes électriques ou électroniques.

Chacun de ces systèmes assure une ou plusieurs fonctions grâce à ses composants ou équipements. Ces fonctions sont hiérarchisées en termes d'importance, et avant d'appliquer une méthode de maintenance, il convient d'analyser ces systèmes et de s'interroger sur les aspects technico-économiques pour déterminer la politique de maintenance à appliquer. Pour cela, il est nécessaire d'identifier :

- Les fonctions du système à maintenir en distinguant les missions principales et secondaires et leurs importances relatives,

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]. Bensaada, S., MT Bouziane, and D. Felliachi. "LA MAINTENANCE MAINTENANT."
- [5]. G. Zwingelstein, Diagnostic de défaillance, Hermès Paris 1997
- [6]. Monchy, François. "maintenance, Méthodes et Organisation, dunod." (2000).
- [7]. Heng, Jean. Pratique de la maintenance préventive: mécanique, pneumatique, hydraulique, électricité, froid. Dunod, 2015.
- [8]. <http://www.wikilean.com/Articles/Kaizen/2-La-Total-Productive-Maintenance-16-articles/Pilier-3-Maintenance-planifiee-Keikaku-Hozen>
- [9]. CHAPOUILLE, Pierre. Fiabilité. maintenabilité. Ed. Techniques Ingénieur, 1980.