

CHAPITRE 1:

LES CONCEPTS DE FIABILITE ET DE LA MAINTENANCE

1 INTRODUCTION

Les entreprises sont de plus en plus sensibilisées à l'importance des coûts induits par les défaillances accidentelles des systèmes de production. Alors que la maintenance, jusqu'à très récemment, était considérée comme un centre de coûts, nous sommes de plus en plus conscients qu'elle peut contribuer d'une manière significative à la performance globale de l'entreprise. La complexité des mécanismes de dégradation des équipements a fait en sorte que la durée de vie de ces derniers a toujours été traitée comme une variable aléatoire. Cet état de fait a incité plusieurs entreprises à adopter des approches plutôt réactives, n'étant pas en mesure de justifier économiquement les avantages que peut procurer la mise en place d'une maintenance préventive.

L'absence de données fiables et d'outils efficaces de traitement de ces données a réduit la fonction maintenance à des tâches de dépannage, et par le fait même, à une fonction dont les coûts ne cessent d'augmenter et dont la contribution à la performance de l'entreprise n'est pas évidente. Les responsables des services de maintenance dans les entreprises ne sont pas toujours en mesure de défendre rigoureusement leur budget d'opération et encore moins leur contribution à l'efficacité de l'entreprise. En plus de ces lacunes, les petites et moyennes entreprises manquent souvent de ressources pour mettre en place des systèmes efficaces de gestion de la maintenance.

Dans ce chapitre, nous rappellerons certains concepts de fiabilité et de maintenance, non seulement pour introduire certaines définitions, mais également pour mettre en évidence l'ampleur de l'effort nécessaire pour mettre en place un système de maintenance.

2 LA NOTION DE FIABILITE D'UN SYSTEME

Un système peut être défini comme un ensemble de composants interdépendants, connus pour réaliser une fonction donnée, dans des conditions données et dans un intervalle de temps donné. Pour chaque système, il importe de définir clairement les éléments qui le caractérisent, à savoir: la fonction, la structure, les conditions de fonctionnement, les conditions d'exploitation et l'environnement dans lequel il est appelé à opérer.

La fiabilité d'un système s'exprime par la probabilité que ce dispositif accomplisse une fonction requise dans des conditions d'utilisation et pour une période de temps déterminée (AFNOR [1]). C'est donc une grandeur comprise entre 0 et 1. Nous la désignons, dans ce qui suit par $R(t)$ où t désigne la durée de la mission (équation 2.1).

$$R(t) = P(\text{durée de vie du système} > t) \quad (2.1)$$

Rappelons que la durée de vie d'un système est une mesure de la quantité de service rendu. Selon le système étudié, elle s'exprime en termes de temps, de kilomètres, d'heures de fonctionnement ou autre.

Le fait que la défaillance d'un système puisse survenir à n'importe quel moment nous amène à considérer cette grandeur comme une variable aléatoire à laquelle nous pouvons associer une fonction de densité $f(t)$. Il importe de rappeler que $f(t).dt$ est la probabilité que la durée de vie d'un système soit comprise entre t et $t + dt$ (équation 2.2), ou encore la probabilité qu'il tombe en panne entre t et $t + dt$ (figure 2.1).

$$f(t).dt = P(t < \text{durée de vie du système} < t+dt) \quad (2.2)$$

Il va sans dire que :

$$\int_0^{\infty} f(t).dt = 1 \quad (2.3)$$

Il est souvent difficile de caractériser la défaillance d'un système. Nous convenons dans ce qui suit qu'un système est considéré défaillant ou hors d'usage s'il n'est pas en mesure de réaliser la fonction pour laquelle il a été conçu. Pour certains systèmes, nous parlons de défaillance lorsque les grandeurs caractéristiques évoluent en dehors de certaines limites de fonctionnement établies auparavant. Cette seconde définition sera exploitée lorsque nous introduisons les concepts de maintenance conditionnelle. Nous désignons par $F(t)$, la fonction de répartition ou la fonction de distribution associée aux durées de vie. $F(t)$ peut s'interpréter comme la probabilité que la durée de vie du composant soit supérieure ou égale à t (équation 2.4).

$$F(t) = P(\text{durée de vie du système} \geq t) \quad (2.4)$$

Nous supposons qu'en tout temps, le système est soit «en opération» ou «hors d'usage», il s'ensuit que :

$$\text{Pour tout } t, R(t)+F(t) = 1 \quad (2.5)$$

De par la définition de la fonction densité $f(t)$ et en se basant sur les concepts de base de probabilité, nous avons :

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(x).dx \quad (2.6)$$

$$F(t) = \int_0^t f(x).dx \quad (2.7)$$

De même :

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (2.8)$$

Ou encore :

$$f(t) = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (2.9)$$

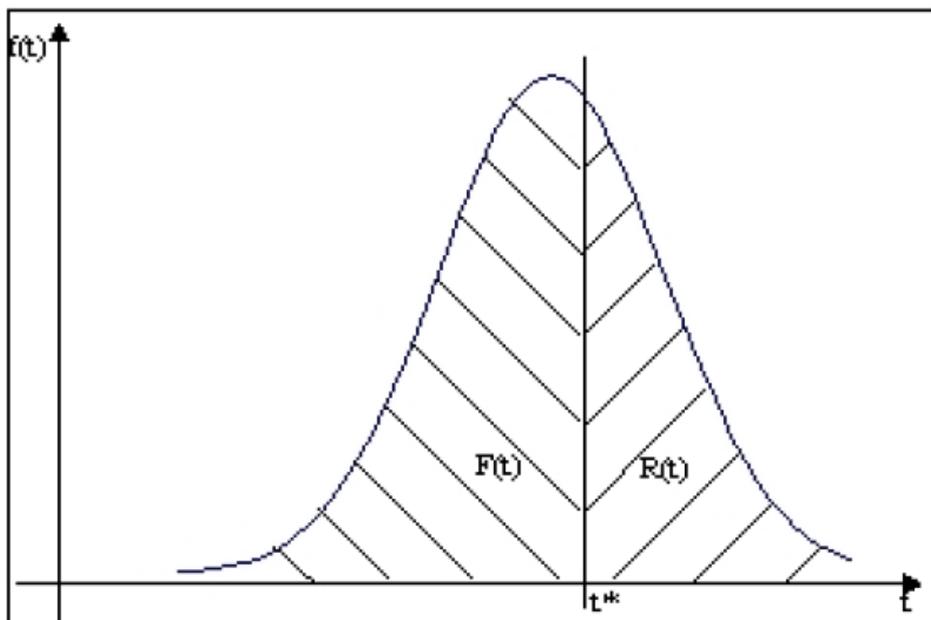


Figure 2.1. La fonction densité de durée de vie

La défaillance d'un équipement peut être caractérisée par un taux appelé taux de panne. Ce taux est aussi appelé taux de défaillance, taux de hasard ou taux de mortalité. Il est défini comme étant la probabilité conditionnelle que l'équipement tombe en panne entre l'instant t et $t + \Delta t$ sachant qu'il a survécu jusqu'à l'instant t . Il peut aussi être défini comme la proportion de composants ayant survécu jusqu'à l'instant t (équation 2.10). Il représente également la vitesse d'arrivée de la panne.

$$\lambda(t) = \frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{N(t)\Delta t} \quad (2.10)$$

Avec :

$N(t)$: Nombre de composants ayant survécu jusqu'à l'instant t .

$N(t + \Delta t)$: Nombre de composants ayant survécu jusqu'à l'instant $t + \Delta t$.

Si nous représentons le taux de panne en fonction du temps, nous obtenons une courbe appelée « en baignoire » qui est divisée en 3 parties (figure 2.2) : la première est appelée période de mortalité infantile ou le taux de panne est en décroissance ce qui correspond aussi au rodage; la deuxième partie n'est autre que la durée de vie utile :

c'est la zone où le taux de panne est constant; la dernière partie est appelée le vieillissement ou l'usure : en atteignant cet âge, le composant commence à vieillir et le taux de panne augmente en fonction du temps.

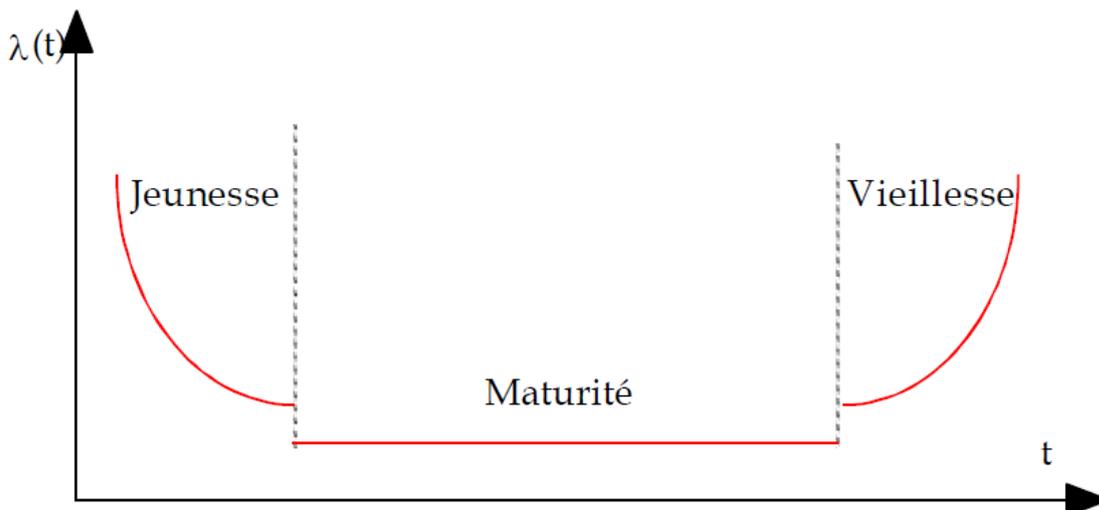


Figure 2. 2 : *La courbe en baignoire.*

Il importe de rappeler que la fiabilité est une fonction décroissante de l'usage fait de l'équipement. Elle est reliée au taux de panne $\lambda(t)$ par la relation suivante :

$$R(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda(x) dx\right) \quad (2.11)$$

Où t est la durée de la mission considérée.

La vie utile d'un composant comporte des cycles de fonctionnement. Au cours d'un cycle, l'état du composant passe de l'état «en fonction» à l'état «hors d'usage» (figure 2.3). Si nous

analysons ce cycle, nous remarquons qu'il est composé de la moyenne de temps de bon fonctionnement (MTBF). Cette moyenne est définie comme la durée moyenne de bon fonctionnement du composant (figure 2.3). L'expression du MTBF est donnée par l'équation 2.12. La moyenne de temps de bon fonctionnement comporte la MUT (*Mean Up Time*) qui est la moyenne de temps de fonctionnement et la MDT (*MeanDown Time*) qui est la moyenne de temps de panne. Cette dernière est composée de la moyenne de temps technique de réparation (MTTR) qui est la durée moyenne de réparation du composant sur un horizon de temps T (figure 2.3) et une fraction de temps nécessaire à la détection de la panne et à la remise en route du composant.

La durée moyenne entre deux défaillances (MTBF) correspond à l'espérance mathématique de la variable aléatoire T. Son expression est donnée par l'équation 2.12.

$$MTBF = \int_0^{+\infty} R(t)dt \quad (2.12)$$

Il résulte de ces définitions une grandeur qui caractérise un appareil au même titre que la fiabilité : la disponibilité. Elle est définie comme la probabilité de bon fonctionnement d'un dispositif à l'instant t. Augmenter la disponibilité d'un matériel consiste à diminuer le nombre de ses arrêts et à réduire le temps nécessaire pour résoudre les causes de ceux-ci. Ainsi, la disponibilité, notée D, est donnée par l'équation 2.13.

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (2.13)$$

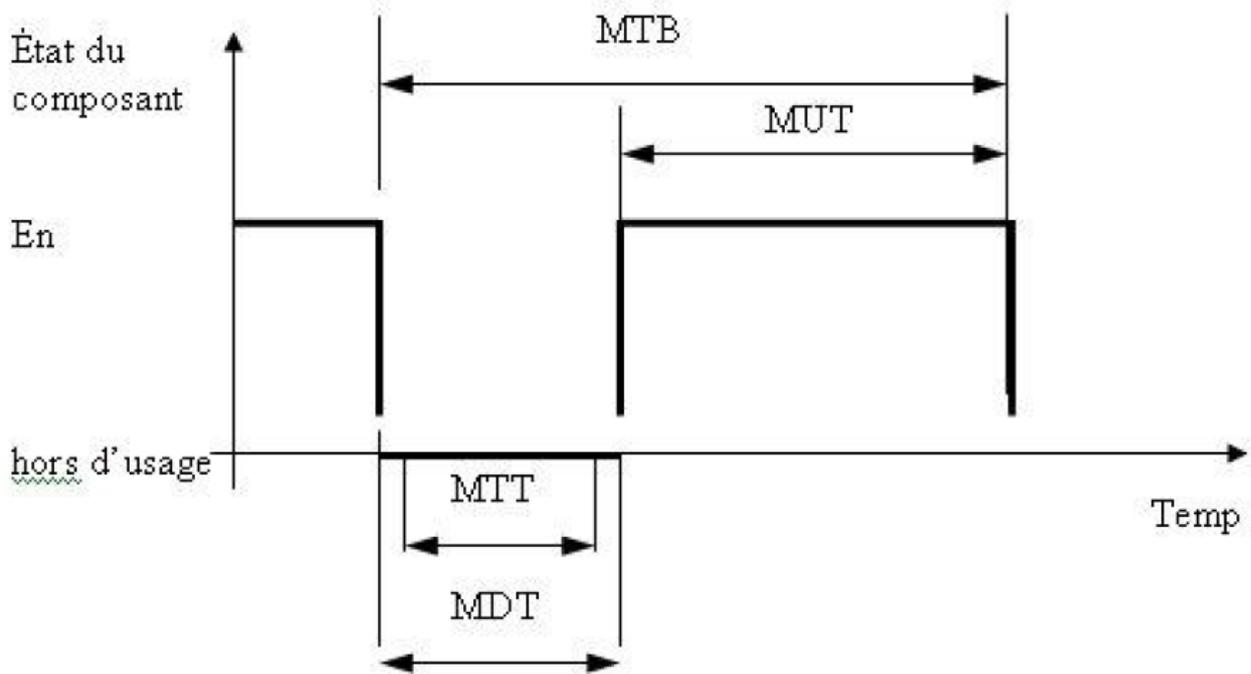


Figure 2.3 : La présentation des différentes grandeurs en fonction du temps

D'un point de vue pratique, la figure 2.4 présente un schéma global de détermination des caractéristiques de la fiabilité opérationnelle d'un composant à partir d'une banque de données, de l'historique des pannes ou du retour des expériences. Ces données nous permettent de déterminer la durée de vie observée et de déduire les différentes caractéristiques telles que le taux de panne, la fiabilité, la défaillance, etc.

Pour mettre en place une politique de maintenance adéquate, il est important de comprendre les phénomènes de défaillance et de dégradation des composants. Il existe deux types de défaillances : la défaillance catalectique complète et soudaine et la défaillance par dérive. Cette dernière est due à un phénomène d'usure.

La norme AFNOR [1] définit la défaillance comme une altération ou une cessation d'un bien à accomplir une fonction requise.

L'analyse de la défaillance est faite non seulement dans le but de réparer ou dépanner un système défaillant, mais également de chercher à éviter la réapparition du défaut. Une expertise doit permettre, à l'issue d'une défaillance d'un équipement, de déterminer les causes qui peuvent être soit un processus intrinsèque ou une imputation externe (accident ou mauvaise utilisation). Elle doit aussi permettre d'identifier la nature de la défaillance, de la détecter, d'en déduire les conséquences, d'en déterminer l'amplitude et finalement, de

comprendre le processus de manifestation qui est caractérisé par la vitesse de propagation ou le caractère.

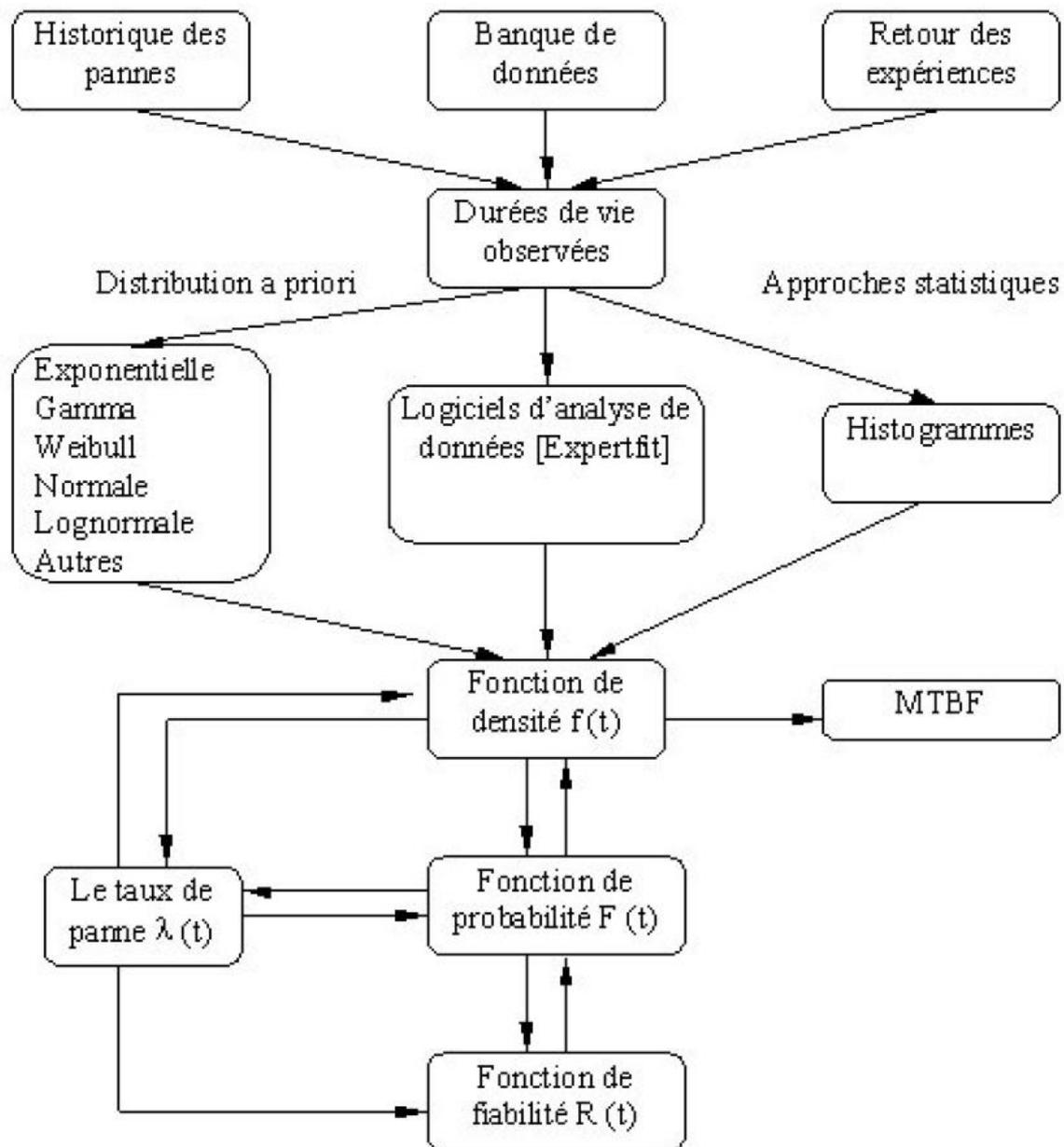


Figure 2.4: La détermination expérimentale des différentes caractéristiques d'un Composant

Les principaux modes de défaillances sont divisés dans les trois catégories suivantes :

- la santé – matière : il s'agit de défauts préexistants dans les pièces en service. Il apparaît suite à un défaut soit lors de l'élaboration de la matière, soit lors de l'élaboration de la pièce finie, ou lors du montage;

- les modes de défaillances mécaniques en fonctionnement : il s'agit de plusieurs types de défaillances mécaniques. Elles apparaissent suite à un choc, à une surcharge, à une fatigue mécanique ou thermique, à un fluage, à l'usure, à l'abrasion, à l'érosion ou à la corrosion;

- les modes de défaillances électriques : ces défaillances surgissent suite à la rupture d'une liaison électrique, au collage, à l'usure de contact ou au claquage d'un composant.

Pour remédier à ces défaillances, les concepts de maintenance et de maintenabilité ont vu le jour. Comme le mentionne Monchy [2], les défaillances sont à la maintenance ce que les maladies sont à la médecine : leur raison d'exister.

3 LA MAINTENABILITE ET LA MAINTENANCE

3.1 Les critères de maintenabilité.

Les normes NF X 60-300 et X 60-301 spécifient cinq types de critères de maintenabilité. Le premier critère est relatif à la surveillance de la maintenance préventive. Il est important de connaître à ce niveau l'accessibilité de la composante, sa démontabilité et son interchangeabilité. Le deuxième est relatif à la maintenance corrective, plus particulièrement, le temps de recherche de panne ou de défaillance et le temps de diagnostic. Le troisième critère est relatif à l'organisation de la maintenance, pris en compte par la périodicité du préventif, le regroupement à des périodes identiques, l'homogénéité de la fiabilité des composants, la présence d'indicateurs et de compteurs et la complexité des interventions. L'avant-dernier critère est lié à la qualité de la documentation technique. Celui-ci comporte la valeur du contenu, la disponibilité de la documentation, le mode de transmission et les principes généraux de rédaction et de présentation de la documentation technique. Le dernier critère de maintenabilité est lié au suivi du bien par le fabricant. Il sera question de l'évolution du fabricant, de la qualité du service après-vente et de l'obtention des pièces de rechange.

3.2 Définition de la maintenance.

Les normes NF X 60-010 et 60 011 définissent la maintenance comme l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé.

Retour et *al.* [4] présentent la fonction maintenance comme un ensemble d'activités regroupées en deux sous-ensembles : les activités à dominante technique et les activités à dominante gestion (voir figure 2. 5).



Figure 2.5: *Le contenu de la fonction maintenance.*

Dans la définition de la maintenance, nous trouvons deux mots-clés : maintenir et rétablir. Le premier fait référence à une action préventive. Le deuxième fait référence à l'aspect correctif (voir figure 2. 6). Nous présentons dans les paragraphes qui suivent les définitions de chaque type de maintenance.

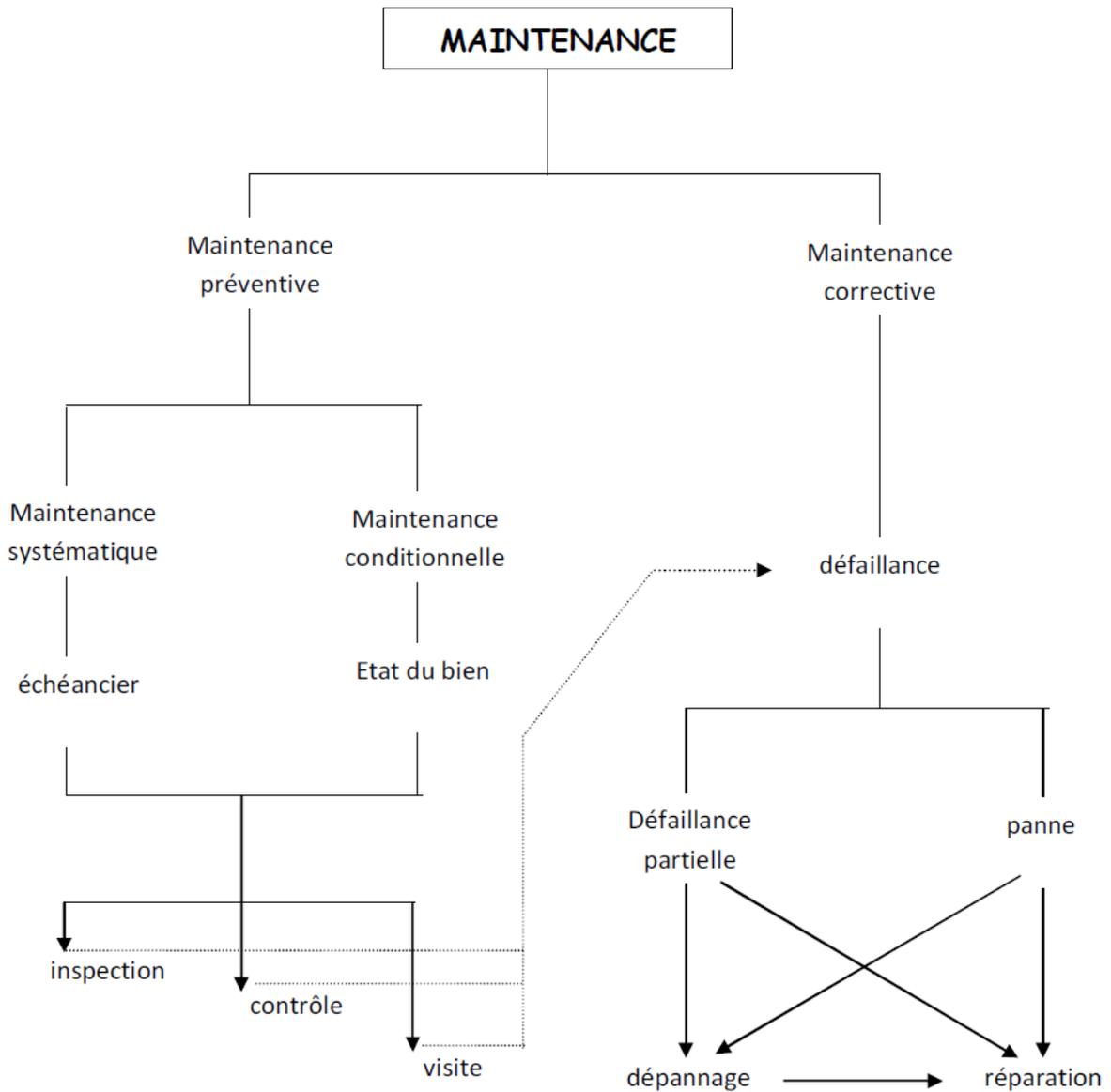


Figure 2.6 : *Les différents types de maintenance.*

La maintenance corrective est définie comme une maintenance effectuée après défaillance (AFNOR X 60-010 [1]). Elle est caractérisée par son caractère aléatoire et requiert des ressources humaines compétentes et des ressources matérielles (pièces de rechange et outillage) disponibles sur place. La maintenance corrective débouche sur deux types d'intervention. Le premier type est à caractère provisoire, ce qui caractérise la maintenance palliative. Le deuxième type est à caractère définitif, ce qui caractérise la maintenance curative.

La maintenance préventive est définie quant à elle comme une maintenance effectuée dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou d'un service rendu. Les activités correspondantes sont déclenchées selon un échancier établi à partir d'un nombre

prédéterminé d'unités d'usage (maintenance systématique) ou de critères prédéterminés significatifs de l'état de dégradation du bien ou du service (maintenance conditionnelle).

La maintenance préventive systématique est une maintenance effectuée selon un échéancier établi selon le temps ou le nombre d'unités d'usage (AFNOR [1]). La périodicité des remplacements est déterminée selon deux méthodes : la première est de type bloc et la seconde, de type âge. La politique de remplacement de type âge suggère de remplacer l'équipement à la panne ou après T unités de temps de bon fonctionnement. La politique de type bloc suggère de remplacer l'équipement après une période prédéterminée de temps T, 2T, etc. indépendamment de l'âge et de l'état du composant.

La maintenance préventive conditionnelle est une maintenance subordonnée à un type d'événement prédéterminé (AFNOR [1]). Divers outils comme l'analyse de la vibration et l'analyse d'huile, permettent de détecter les signes d'usure ou de dégradation de l'équipement. Ceci s'effectue en mesurant, à chaque inspection, la valeur d'un paramètre de contrôle tel que l'amplitude de déplacement, de vitesse ou d'accélération des vibrations, le degré d'acidité, ou la teneur de particule solide dans l'huile. L'action ne se déclenche que lorsque le paramètre de contrôle dépasse un seuil déterminé empiriquement, fixé par le constructeur ou par les normes de santé et de sécurité au travail.

La maintenance prédictive (ou prévisionnelle) est une maintenance préventive subordonnée à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs de la dégradation du bien, permettant de retarder et de planifier les interventions.

Il existe aussi un troisième concept qui consiste à se débarrasser définitivement des défaillances : c'est la maintenance améliorative. Elle nécessite une réflexion pour :

- Déterminer les causes réelles du problème
- Envisager les remèdes adaptés à leur suppression.

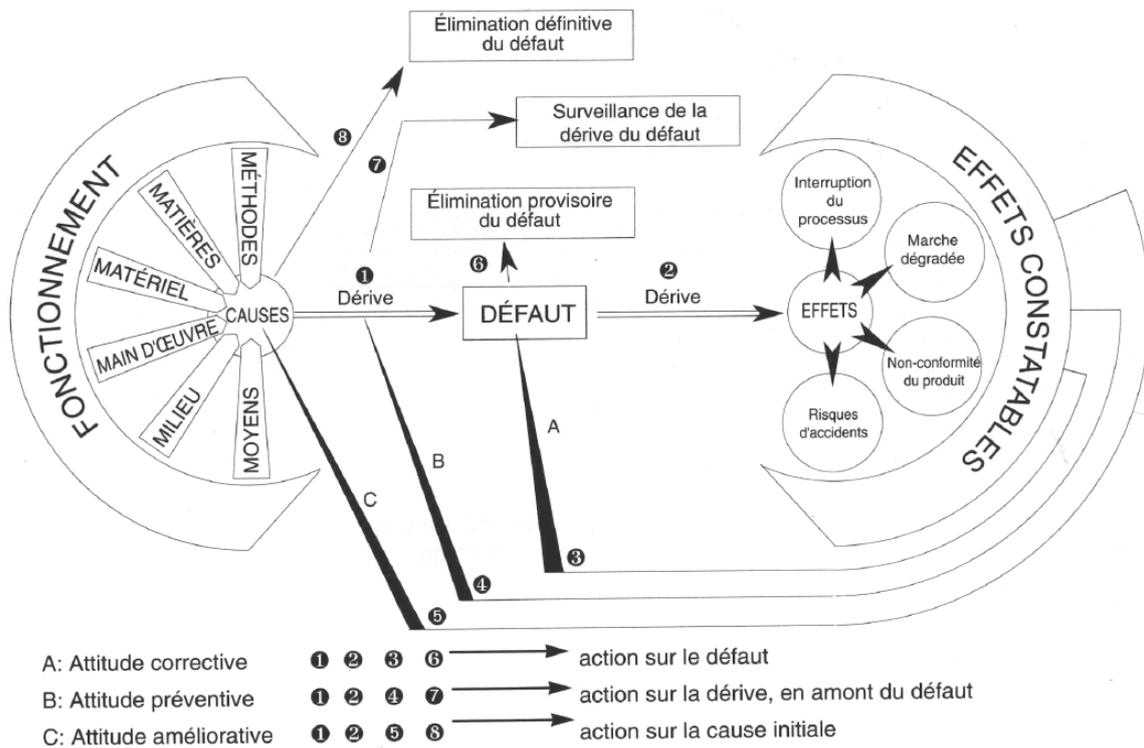


Figure 2.7: Les différentes options de la maintenance

3.3 Relation entre la maintenance et la fiabilité

La figure 2.8 présente la contribution des différents types de maintenance en ce qui concerne la fonction de fiabilité $R(t)$ et la durée de vie utile de l'équipement.

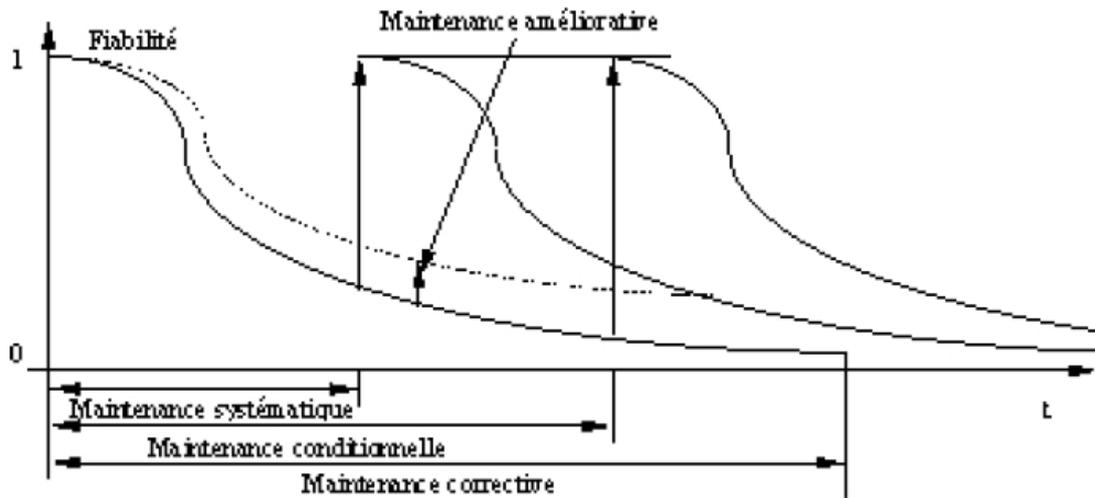


Figure 2.8: l'impact de la maintenance sur la fiabilité des équipements.

Il va sans dire qu'une réduction du taux de panne $\lambda(t)$ entraîne une amélioration de la fonction de fiabilité $R(t)$. C'est dans cette optique que la maintenance améliorative a été instaurée. La maintenance préventive, avec toutes ses variantes, va en revanche tenter de ramener le taux de

panne à son niveau le plus bas en remplaçant la composante usée sans améliorer les caractéristiques intrinsèques de l'équipement.

4 LE SYSTEME DE MAINTENANCE

4.1 Les fonctions et les tâches associées à la maintenance

Après avoir présenté quelques définitions de la maintenance et de ses différents types, nous situons dans ce qui suit la maintenance par rapport au processus de production. Ainsi, nous présentons les fonctions et les tâches associées à la maintenance. Nous identifions trois fonctions associées à la gestion de la maintenance (figure 2. 9). Ces tâches associées à chacune de ces fonctions, bien que différentes dans leurs descriptions, sont complémentaires dans leurs finalités.

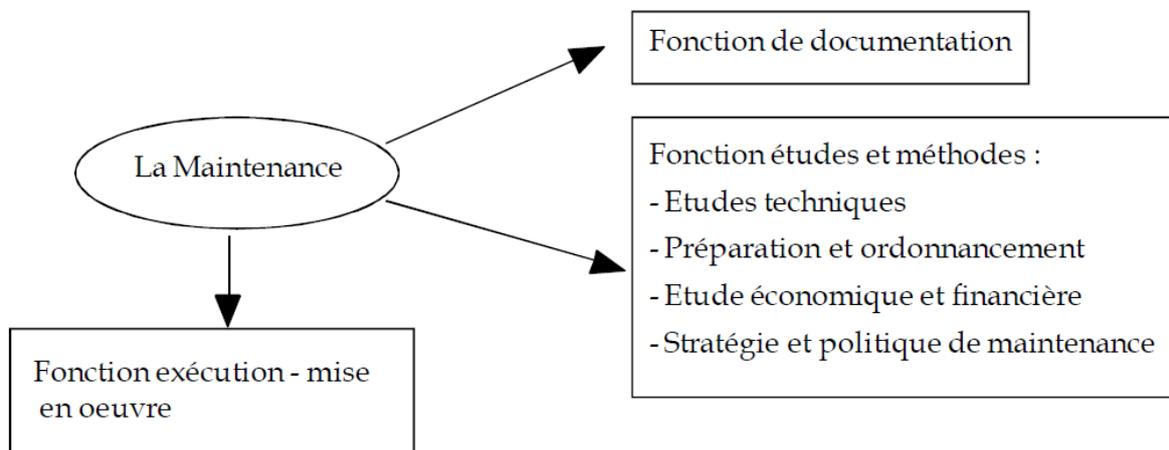


Figure 2.9: Les fonctions et les tâches associées à la maintenance

La première fonction consiste à optimiser toutes les tâches en fonction des critères retenus dans le cadre de la formulation de la politique de maintenance. Cette partie regroupe quatre tâches principales.

La première tâche, relative à l'étude technique, consiste à :

- rechercher des améliorations dans le système de production susceptibles d'apporter la valeur ajoutée recherchée;
- participer à la conception des travaux neufs tout en tenant compte de l'aspect maintenance de l'appareil de production;
- participer à l'analyse des accidents de travail pour essayer d'y remédier en apportant des consignes de sécurité dans un premier lieu, et des actions de maintenance corrective et préventive dans un second lieu.

La deuxième tâche, relative à la préparation et l'ordonnancement, consiste à:

- établir les fiches d'instructions nécessaires pour effectuer les interventions;
- constituer la documentation pour tous les genres d'intervention;
- établir les plannings des interventions préventives et d'approvisionnement (la politique de gestion du stock étant dépendante de celle de l'entreprise) ;
- recevoir et classer les documents relatifs à l'intervention.

La troisième tâche, relative à l'étude économique et financière, comporte plusieurs étapes telles que :

- gérer les approvisionnements pour optimiser la gestion des matières premières nécessaires au processus de production;
- analyser les coûts de maintenance, de défaillance et de fonctionnement, ce qui aura un impact direct sur la politique de maintenance choisie par l'entreprise manufacturière et aussi sur le coût de production;
- participer à la rédaction des cahiers de charges pour tenir compte de la maintenabilité et de la fiabilité des systèmes à commander;
- gérer le suivi et la réalisation des travaux pour ainsi mettre à jour la partie historique du dossier technique des machines.

En se fondant sur l'étude économique et financière, l'entreprise doit :

- choisir des procédures de maintenance corrective, préventive conditionnelle et préventive systématique;
- déterminer des domaines d'actions préventives prioritaires;
- étudier les procédures de déclenchement des interventions;
- élaborer et choisir les procédures de contrôle;
- élaborer et choisir les procédures d'essai et de réception des nouveaux équipements pour assurer l'existence des différents éléments nécessaires à la maintenance;
- assurer la sécurité dans l'organisation pour faire régner un climat de confiance.

Pour remplir la fonction étude et méthode avec toutes ses composantes telles que citées ci-dessus, le personnel doit disposer des dossiers techniques résumant les caractéristiques techniques des machines et des pièces d'usure; des fiches d'historique résumant les opérations déjà effectuées, en d'autres termes, le comportement de la machine; de la documentation du fournisseur constamment mise à jour et résumant l'évolution des techniques et des banques de données (éventuellement).

Pour la fonction exécution - mise en oeuvre, une expérience considérable sur le matériel des entreprises modernes et une connaissance approfondie des différentes technologies sont nécessaires.

Les principales tâches pour remplir cette fonction sont les suivantes :

- installer les machines et le matériel (réception, contrôle, etc.);
- informer le personnel sur la façon d'utiliser les équipements et faire la mise à niveau;
- appliquer les consignes d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail ;
- gérer l'ordonnancement et l'intervention de la maintenance et établir le diagnostic de défaillance du matériel;
- coordonner les interventions de la maintenance et remettre en marche le matériel après intervention;
- gérer les ressources matérielles (les pièces de rechange, l'outillage, etc.).

Le troisième type de fonction, à savoir la documentation, est complémentaire aux deux autres. Ses principales tâches consistent à :

- établir et mettre à jour l'inventaire du matériel et des installations ;
- constituer et compléter les dossiers techniques, historiques et économiques ainsi que le dossier des fournisseurs;
- constituer et compléter une documentation générale (technique, scientifique, d'hygiène et de sécurité).

Le système de maintenance ainsi situé permet de préciser, de limiter et de dégager les responsabilités et les attentes envers ce système. Cependant, ceci constitue une condition nécessaire mais non suffisante pour réussir l'implantation d'un système de maintenance dans une entreprise. Nous présentons dans ce qui suit les autres conditions de réussite.

4.2 Les conditions de réussite d'un programme de gestion de la maintenance

Un programme de gestion de la maintenance ne peut atteindre les résultats voulus sans la préparation du terrain et sans l'implication du personnel. Ces deux conditions sont importantes pour la réussite d'un système de gestion de la maintenance. Il faudra également ajouter d'autres conditions pour la réussite de l'implantation du système :

- se définir un objectif fixe : cet objectif va permettre de tracer les lignes directrices de la politique de maintenance. Il dépend énormément de la mission de l'entreprise. Prenons, par exemple, une entreprise hôtelière qui cherche le confort de son client. Celle-ci ne peut pas avoir le même département de maintenance qu'une entreprise minière qui cherche à diminuer le prix de revient par kilogramme de minerai;
- favoriser une direction et un personnel motivés pour l'instauration de la maintenance;
- se prévaloir de procédures rigoureuses de collecte, de traitement et d'archivage de données pertinentes. Ces données seront utilisées dans le système de gestion de la maintenance;

- assurer la communication entre les différents membres de l'équipe;
- se doter de procédures de suivi, d'évaluation de la performance et d'affichage des indicateurs de performance.

Nous citons dans ce qui suit quelques objectifs que doivent se fixer les entreprises manufacturières. Il faut cependant rappeler que ces objectifs sont étroitement liés à la mission de l'entreprise :

- la limitation du nombre d'interruptions de service et la réduction des durées de pannes accidentelles;
- le maintien des équipements en bon état pour opérer en toute sécurité;
- la maximisation de l'efficacité de l'équipement;
- la minimisation des coûts d'opération;
- le maintien d'un niveau de qualité élevé du travail effectué par le service de maintenance pour, entre autres, améliorer la qualité des produits et allonger la durée de vie des équipements.

L'objectif visé est de réduire l'inventaire de pièces de rechange, d'accroître la capacité de production, ainsi que le profit global de l'entreprise.

4.3 Les niveaux de maintenance

Une autre condition pour réussir un système de maintenance serait de spécifier les niveaux de maintenance dans l'entreprise. Monchy [2] et Nakajima [5, 6] présentent cinq niveaux. Ceux-ci font référence à la complexité des tâches à effectuer et aux ressources humaines et matérielles nécessaires à la réalisation de chacune des tâches:

1er niveau : réglage simple prévu par le constructeur au moyen d'organes accessibles sans aucun montage d'équipement ou échange d'équipements accessibles en toute sécurité.

2ème niveau : dépannage par échange standard d'éléments prévus à cet effet ou d'opérations mineures de maintenance préventive.

3ème niveau : identification et diagnostic de pannes, réparation par échange de composants fonctionnels, réparations mécaniques mineures.

4ème niveau : travaux importants de maintenance corrective ou préventive.

5ème niveau : travaux de rénovation, de reconstruction ou réparations importantes confiées à un atelier central.

Les ressources nécessaires pour chaque niveau sont illustrées dans le tableau 2.1.

Tableau 2.1. *Les ressources nécessaires pour chaque niveau de maintenance.*

Niveaux	Personnel d'intervention	Moyens
1 ^{er}	Exploitant sur place	Outillage léger défini dans les instructions d'utilisation.
2 ^{ème}	Technicien habilité sur place.	Outillage léger défini dans les instructions d'utilisation, plus pièces de rechange trouvées à proximité, sans délai.
3 ^{ème}	Technicien spécialisé, sur place ou en local de maintenance.	Outillage prévu plus appareils de mesure, banc d'essai, contrôle, etc.
4 ^{ème}	équipe encadrée par un technicien spécialisé, en atelier central	Outillage général plus spécialisé, matériel d'essai, de contrôle, etc.
5 ^{ème}	équipe complète, polyvalente en atelier central	Moyens proches de la fabrication par le constructeur.

5 LE SYSTEME DE GESTION DE LA MAINTENANCE

5.1 La pertinence d'un système de gestion de la maintenance

La pertinence d'un système de gestion de la maintenance a été démontrée dans plusieurs ouvrages. En effet, un système de gestion de la maintenance bien adapté aux besoins de l'entreprise manufacturière peut l'aider à demeurer compétitive aussi bien à l'échelle nationale qu'à l'échelle internationale. Pour illustrer cette pertinence, nous procéderons en deux étapes. Au cours de la première, nous mettons en évidence les conséquences de l'implantation d'un système de gestion de la maintenance sur l'entreprise. Au cours de la deuxième étape, nous essaierons d'établir le lien entre les résultats cités lors de la première étape et les critères de compétitivité d'une entreprise manufacturière.

Un système de gestion de la maintenance implanté adéquatement a un impact à différents niveaux : l'infrastructure, les ressources (humaines et matérielles), la gestion (pièces de rechange, inventaire, etc.) et la sécurité (figure 2.10). C'est ce que nous détaillerons dans ce qui suit.

Sur le plan de l'infrastructure, l'implantation de ce système permet de :

- protéger les investissements en assurant aux machines et aux bâtiments une vie utile prolongée grâce à un entretien régulier et efficace;

- veiller au rendement de ces investissements en utilisant au maximum les équipements et en réduisant ainsi au minimum les périodes d'interruption (non planifiées) du système de production.

Sur le plan des ressources, l'effet du système de gestion de la maintenance se situe aussi bien aux niveaux des ressources humaines que des ressources matérielles.

En ce qui concerne le premier volet, ce système permet de :

- superviser et diriger le personnel du service d'entretien afin d'améliorer au maximum l'utilisation et l'allocation de ces ressources;
- assurer efficacement la formation technique du personnel, pour qu'il maîtrise les tâches qu'il est en train d'accomplir.

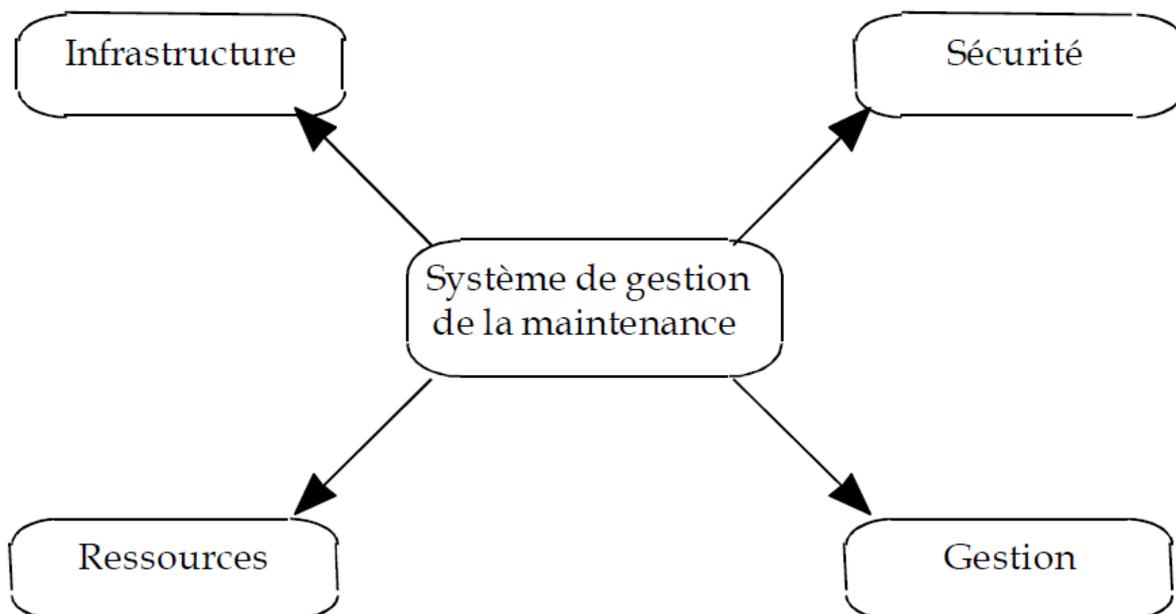


Figure 2.10: *L'impact du système de gestion de la maintenance.*

En ce qui concerne le volet matériel, le système de gestion de la maintenance permet de:

- améliorer l'utilisation de ces ressources (les équipements, l'outillage et les pièces de rechange);
- optimiser leur allocation (pour éviter le gaspillage);
- réduire les coûts de production.

Au niveau de la gestion, il permet de :

- consigner les dépenses et de bien estimer les coûts des travaux d'entretien et de maintenance afin de tenter de les réduire;

- contrôler les coûts d'entretien afin de tenir une comptabilité en vue de l'établissement des budgets futurs.

Sur le plan de la sécurité, ce système permet de :

- mettre en place un système de prévention des accidents en assurant la sécurité de fonctionnement des équipements et la sécurité des bâtiments;
- avoir un climat serein de travail au sein de l'entreprise, créant ainsi une ambiance de travail sécuritaire.

Finalement, le système de gestion de la maintenance influence aussi les critères de compétitivité de l'entreprise, à savoir la qualité, le prix, le temps, la flexibilité, le service et la notoriété. Ces derniers sont tributaires des actions de maintenance suivantes:

- assurer une longue vie utile aux machines et aux bâtiments;
- diminuer les périodes d'interruption de production;
- superviser le personnel des services d'entretien;
- réduire les coûts des services d'entretien;
- améliorer l'efficacité des ressources humaines;
- éviter le gaspillage des ressources matérielles;
- assurer la formation technique du personnel de service;
- assurer l'indépendance des cadres et des travailleurs locaux sur le plan technique et pendant la phase d'exploitation;
- estimer les coûts des travaux d'entretien;
- mettre en place un système de prévention des accidents de travail;
- évaluer le fonctionnement des équipements en vue des décisions d'achat futures.

Effectivement, en augmentant la durée de vie utile des machines du système de production, la maintenance permet d'amortir sur une longue durée les équipements et réduit par conséquent le prix de revient du produit fini. La diminution de la période d'interruption de la production permet de son côté de réduire le coût par unité produite. Par ailleurs, la supervision, la formation et l'amélioration de l'efficacité des ressources humaines du service de maintenance permettent d'agir sur tous les critères de compétitivité. De même, un bon estimé des travaux de maintenance et leur optimisation permettent au gestionnaire d'améliorer le contrôle des coûts.

5.2 Présentation d'un système de gestion de la maintenance

Le cadre de référence du système de gestion de la maintenance que nous présentons à la figure 2.11, comporte quatre étapes aussi importantes les unes que les autres.

La première étape concerne la réception du matériel et la documentation. La deuxième est relative au choix du type de maintenance à effectuer en fonction des paramètres choisis. A partir du type de maintenance choisi (préventive conditionnelle, systématique, corrective ou améliorative), nous précisons les étapes du processus de maintenance telles que la planification des interventions, les procédures de détection des défaillances, l'exécution et le suivi de l'intervention (troisième étape). La dernière étape concerne la réalisation et le suivi de l'opération de maintenance.

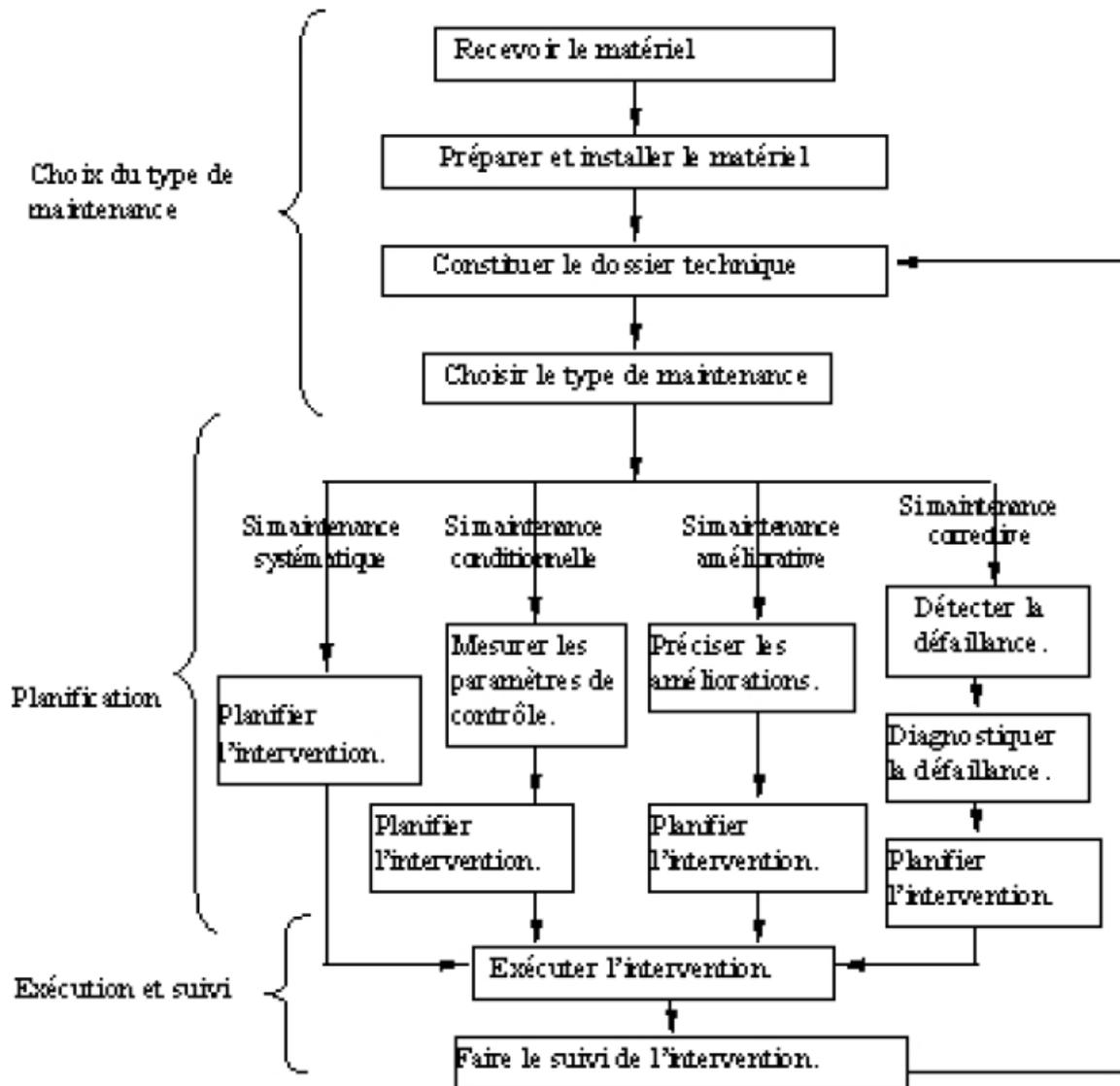


Figure 2.11 : Le système de gestion de la maintenance

5.3 La gestion des flux d'information

A travers cette dynamique de gestion des opérations dans la maintenance, un volume important d'informations circule à travers les différents processus. Pour étudier cet aspect de

la fonction maintenance et en se référant aux travaux sur l'organisation des systèmes, le système de gestion de la maintenance peut être subdivisé en trois sous-systèmes :

- le sous-système de décision et de pilotage,
- le sous-système d'information,
- le sous-système opérant.

Le sous-système de décision comprend de nombreuses fonctions : régulation, décision et coordination. Il définit, entre autres, les objectifs et les orientations à moyen et à long terme.

Le sous-système opérant comprend la réalisation des opérations qui assurent l'atteinte des objectifs de l'entreprise. En général, il reçoit des intrants, les transforme grâce à l'utilisation de ressources en extrant (produits ou services à valeur ajoutée). Il se charge de l'exécution des travaux et de la gestion des opérations de maintenance.

Les échanges entre les sous-systèmes de pilotage et opérant s'effectuent via le système d'information. Sa structure doit permettre de relier d'une manière intelligente les différents intervenants, de leur acheminer une information complète et de les renseigner sur l'état du système en tout temps et ce, d'une manière sûre et sans équivoque. Un sous-système d'information peut être plus ou moins simple à concevoir, cela dépend essentiellement de l'effort requis pour investiguer au-delà des limites de l'action et pour forcer la révision fondamentale des façons de faire.

Rôle du système d'information dans la maintenance :

Un système de gestion de la maintenance génère un volume important d'informations (figure 2.12). Jusqu'à très récemment, ces informations étaient exploitées pour facturer les services rendus par les équipes de maintenance et pour établir les budgets d'achat de nouveaux équipements et d'outillages. L'usage de ces informations pour assurer la planification, le lancement et le suivi des opérations étaient très limités. Sur le plan technique, très peu d'entreprises disposent de banques de données exploitables. Le cas échéant, les données sont généralement introduites par le personnel technique. Elles sont incomplètes, imprécises et peu fiables.

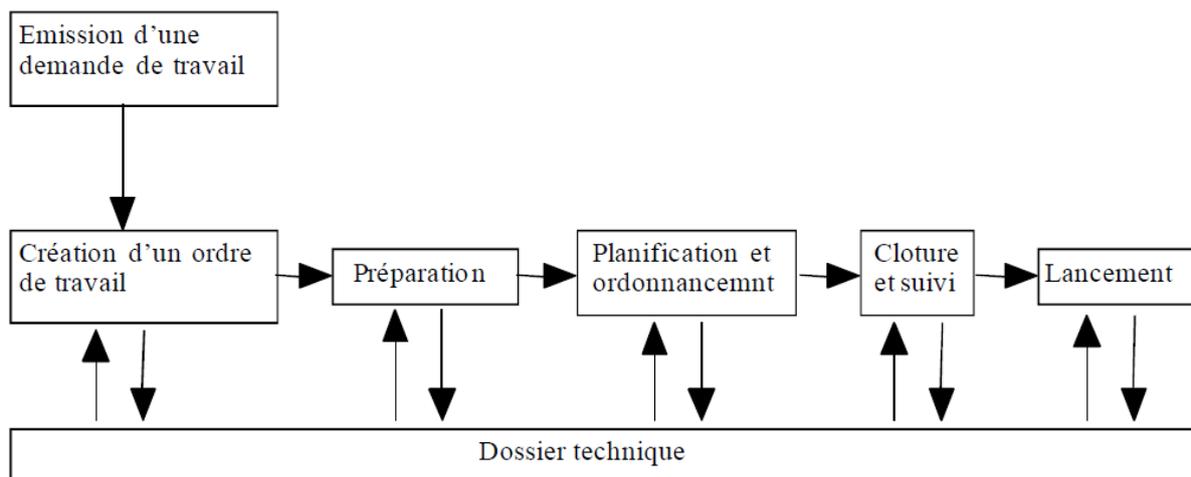


Figure 2.12: *La procédure de traitement d'une demande de travail*

Indépendamment du type de maintenance considéré, la figure 2.12 montre le processus de traitement d'une requête adressée aux services de maintenance ainsi que les informations considérées à chacune des étapes de traitement.

Le système d'information et de décision a pour mission de planifier et d'ordonner les travaux de maintenance, de faire les collectes d'information et les suivis de l'exécution des travaux. La mission du système opérant est d'exécuter les travaux, de remettre des rapports d'intervention et de discuter avec les membres du système de décision les différentes difficultés rencontrées au cours des travaux et des éventuelles améliorations pouvant être apportées au système global.

La figure 2.13 présente une schématisation des flux d'information entre les différents acteurs du système de gestion de la maintenance. Il faut toutefois mentionner que, vu la taille réduite des équipes dans les PME manufacturières, il est difficile de distinguer le système de décision du système opérant.

Le système de décision, tel qu'il a été défini ci-dessus, doit gérer les informations qui lui sont destinées pour bien s'éclairer quant aux stratégies de maintenance à adopter selon la mission de l'entreprise. Cependant, le système de décision doit gérer les données pour transmettre la bonne information au système opérant.

Pour faciliter la tâche de l'opérant, et pour qu'il puisse transmettre des rapports d'intervention précis, ce dernier doit utiliser des procédures et des schémas clairs et détaillés avec des repères topologiques des composants (Afnor [1], [11]). Le schéma en sa possession devra être conforme à l'appareil dépanné, c'est-à-dire mis à jour, à chaque fois que des modifications de fabrication sont apportées.

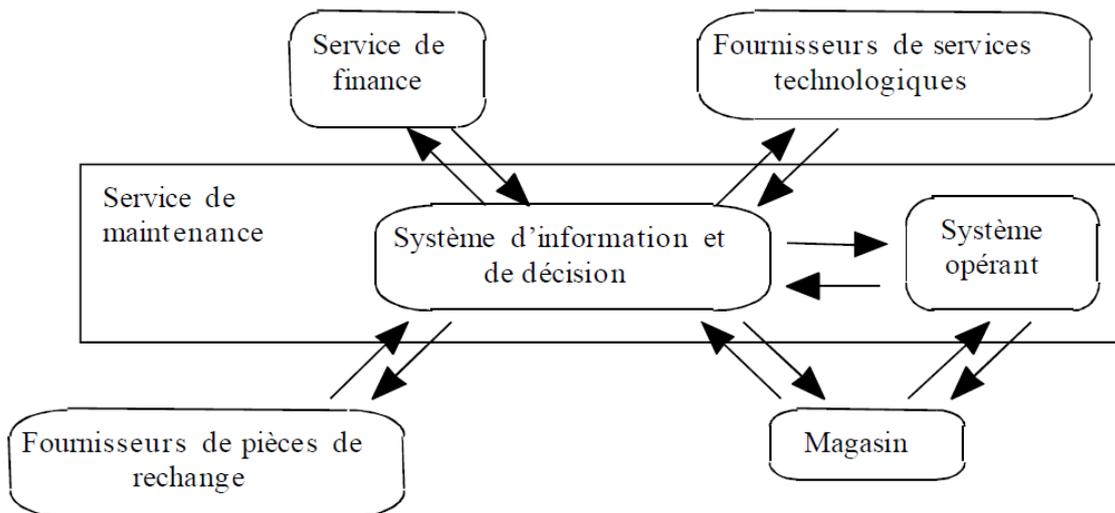


Figure 2.13: *Le flux d'information à travers le service de maintenance*

Sur son rapport, l'intervenant doit signaler sans ambiguïté tous les composants changés, le mode de défaillance et toutes les indications utiles sur les causes probables et les conditions d'apparition de la défaillance. Cependant, de nouvelles approches ont vu le jour pour aider la personne intervenante à réaliser le processus auquel elle est affectée. Ces méthodes, comme la télé-maintenance, la maintenance productive totale ou la maintenance centrée sur la fiabilité seront présentées dans ce qui suit.

6. LES APPROCHES CONTEMPORAINES

6.1. La télé-maintenance

La télé-maintenance est une forme évoluée de maintenance (Hayes et al. [11]). Elle est basée sur le principe suivant : les capteurs, mesurant des grandeurs intimement liées à l'état de la machine, sont reliés à une centrale de surveillance qui enregistre toutes les alarmes et les mesures. Des tableaux synoptiques visualisent la localisation de l'information. Cette technique permet d'une part, le suivi et l'enregistrement des données sur chaque machine pour des fins de comparaison et d'autre part, la détection d'aléas de fonctionnement. L'agent de surveillance qui constate une évolution d'une dégradation ou l'apparition d'un défaut, a la responsabilité de mettre hors service, de consigner la partie lésée de l'installation et d'alerter les agents d'intervention. Cette technique voit son application dans les chaînes de production automatisées ou autoprogrammables.

Avec l'évolution fulgurante de la technologie lors de la dernière décennie, la télémaintenance a pris une place de plus en plus grande dans les entreprises manufacturières. Cette technologie permet de faire le contrôle et le suivi de l'évolution de l'état des machines de production à l'interne ou à l'externe.

6.2 La Maintenance Productive Totale (TPM)

Nakajima [5,6] définit la T.P.M comme une approche où tous les employés participent à la maintenance préventive par des activités d'équipe. C'est la définition qui est adoptée d'emblée dans la littérature sur la T.P.M. Il ajoute que le terme «Total» de TPM a trois significations : le rendement global des installations, un système global de réalisation et une participation de tout le personnel. La TPM vise à modifier la manière de penser des employés vis-à-vis de la maintenance et à améliorer leur niveau de connaissance.

La T.P.M a été définie en cinq points clés :

1. le fonctionnement optimal des installations;
2. un système exhaustif de maintenance préventive, incluant la maintenance autonome et la détection des micro-dégradations par un programme de propreté;
3. une approche multidisciplinaire (design + production + maintenance);
4. l'implication de tous les employés et à tous les niveaux;
5. la réalisation des activités de maintenance préventive par petits groupes autonomes.

L'implantation du concept de la T.P.M doit s'effectuer progressivement, tel qu'exposé par Nakajima [5]. Il propose une période de deux à trois ans aux membres de l'usine (incluant travailleurs et administrateurs) pour adopter cette philosophie. Il conseille d'essayer ce programme dans le cadre d'un projet-pilote avant de généraliser l'expérience.

L'aspect principal à considérer, lors de l'implantation de la T.P.M, est le facteur humain. Peu de problèmes sont à prévoir du côté technique. Il est donc crucial de bien planifier et gérer le facteur humain pour garantir la réussite d'un tel changement. Les prérequis à la TPM semblent être plus du côté culturel d'entreprise et du potentiel d'apprentissage des employés, que du côté technique de la maintenance. Les méthodes d'implantation proposées sont semblables mais non génériques.

6.3. La Maintenance Basée sur la Fiabilité

La RCM (Reliability Centred Maintenance) a vu le jour dans l'industrie aéronautique au cours des années 60. A la fin des années 50, le coût des activités de maintenance dans cette industrie était devenu exorbitant et a justifié une recherche spéciale sur l'efficacité de ces activités. En conséquence, un groupe de travail des forces armées américaines a pris en charge l'étude de nouvelles alternatives de l'entretien préventif. Ce groupe de travail a développé une série de directives pour les compagnies aériennes. Le premier ensemble a été émis en 1967 et a servi de base, entre autres, au programme d'entretien pour le Boeing 747. D'autres directives ont donné naissance à la maintenance basée sur la fiabilité (RCM), définie par Moubray [12],

comme un processus qui détermine les besoins en maintenance du composant dans son contexte opérationnel.

Par la suite, la RCM2 a été présentée par Moubray [12]. Elle ne présente pas une variation significative des principes initiaux de la RCM à un niveau théorique bien qu'il ait découvert quelques petites lacunes dans la logique (notamment le manque des principes initiaux de la RCM dans la considération explicite de l'impact potentiel d'une panne sur l'environnement, et la logique concernant le traitement pertinent des pannes cachées). Cependant :

1. les questions de RCM ont été raffinées pour améliorer la clarté et la convivialité. Ceci permet d'appliquer plus facilement les principes de la RCM;
2. le processus intègre une approche de gestion du changement pour le développement et la mise en place de nouvelles stratégies d'entretien du matériel;
3. il est bien davantage qu'un ensemble de principes d'ingénierie; il est conçu pour renforcer et mettre en valeur les qualifications des hommes de maintenance et des opérateurs.

Le processus contient une partie formation et une partie mise en place. Cette dernière se compose de plusieurs étapes :

1. présenter l'approche aux décideurs dans l'organisation;
2. choisir le matériel approprié pour l'analyse initiale et estimer les avantages potentiels de cette analyse;
3. choisir l'équipe appropriée pour conduire l'analyse;
4. mener le processus d'apprentissage pour les membres d'équipe;
5. former l'équipe et conduire l'analyse;
6. conduire l'audit technique et managérial de l'analyse;
7. développer les programmes de maintenance révisés;
8. mettre en application les programmes de maintenance révisés;
9. évaluer les avantages obtenus;
10. répéter les étapes 2 à 9.

Les étapes 2 et 3 sont critiques pour le succès du projet d'implantation de la RCM.

7. CONCLUSION : Au cours de ce chapitre, nous avons défini la fiabilité et la défaillance d'un système. Il est important de connaître les grandeurs et les mécanismes qui en résultent pour pouvoir implanter un système de maintenance efficace et rentable. Puis, nous avons défini le système de gestion de la maintenance avec ses différents aspects préventifs et correctifs. Nous avons dressé la typologie de ce dernier et nous l'avons positionné par rapport au système de production.

