Introduction

Dans de nombreux secteurs industriels, la disponibilité et la sûreté de fonctionnement sont des enjeux majeurs pour assurer une continuité optimale de l'outil de production. Tout changement indésirable ou un arrêt inattendu provoquera des pertes économiques considérables. Pour éviter ce genre de problèmes, les chaînes de production doivent être dotées de systèmes de diagnostic fiables permettant de détecter n'importe quel défaut ou changement dans l'état de fonctionnement avant la défaillance totale.

La complexité sans cesse croissante des systèmes industriels s'est accompagnée d'une demande toujours plus forte de la disponibilité et de la sureté des installations industrielles. Il est en effet financièrement inutile de concevoir des installations sans cesse plus complexes, si celles-ci peuvent régulièrement tomber en panne et présenter un danger pour les personnes, l'environnement et les biens. L'accroissement de la disponibilité peut être obtenu par améliorations de la fiabilité des unités fonctionnelles mais aussi par la mise en œuvre d'une stratégie de maintenance adaptée à l'installation étudiée.

Problématique et Objectifs :

L'activité du diagnostic comporte deux tâches : la détection et la localisation. La détection consiste à détecter la présence d'un défaut tandis que la localisation a pour but de trouver l'élément en défaut. le diagnostic (la détection et la localisation) de n'importe quel défaut peut être effectué par la surveillance de sa propre signature dans le spectre fréquentiel des différents signaux issus de la machine.

De plus, il a été démontré que la présence d'un défaut dans une machine s'accompagne toujours par des phénomènes physiques compliqués, tels que l'échauffement, les vibrations, les oscillations dans le couple, les modulations dans le courant.. Ces derniers sont causés par les défauts mécaniques.

Pour ces raisons, la philosophie générale de ce travail suppose que le but principal d'un opérateur de maintenance est de détecter la présence d'un défaut mécanique dès sa naissance pour qu'il planifie un arrêt programmé de la chaîne de production afin de remplacer l'élément de la machine en défaut.

La Maintetenances des systèmes electromécanique forme aux concepts de la maintenance et lui permet de concevoir la stratégie globale de la maintenance de l'entreprise ainsi que la logistique de mise en oeuvre. il dispose des connaissances pluridisciplinaires:

- Technique: connaissances minimales de technologies de matériels à maintenir: mécanique, matériaux, électricité, électrotechnique, thermique, instrumentation, hydraulique, automatique.

- Méthodes de la maintenance: maintenance totale, analyse de modes de défaillances (AMDEC), fiabilité de systèmes, soutien logistique intégéré (SLI), maintenance basée sur la fiabilité (MBF), technologie de maintenance, gestion de maintenance assistée par ordinateur (GMAO), coût de cycle de vie (LCC).

- organisationnelle: piloter l'activité maintenance, être capable de réaliser l'audit préalable de la fonction, respecter les objectifs en matière d'augmentation de la diponibilité, de la fiabilité et de la maintenabilité des équipements, développer et gérer la documentation technique.

- Financière: gérer son budget, rédiger son cahier de charges, veiller à leurs applications, négocier les contrats dans le cas de sous-traitance.

- Décisionnelle/relationnelle: animer, motiver, veiller au niveau de compétence, de ses équipes, planifier les opérations de maintenances, et réagir face aux urgences, veiller à la bonne exécution des travaux sous-traités, faire preuve d'écoute, de négociation et de diplomatie dans ses relations avec la production ou avec le client s'il travaille pour une société prestataire de service en maintenance.

Chapitre 1 : Généralité sur la maintenance

La fonction maintenance est l'affaire de tous et doit être omniprésente dans les entreprises et les services. Après avoir démontré la rentabilité de son action dans les diverses entreprises elle occupe maintenant sa place dans le monde industriel sans cesse en évolution. Elle est un enjeu économique considérable pour toutes les payes qui souhaitent disposer d'outils de production disponible, performants.

La santé publique, la sécurité des populations et la maintenance des machines sont des sujets sérieux qui ne doivent pas être abordés à la légère. La diffusion d'information approximative peut susciter des craintes inutiles.

1.1. Définition

La maintenance est l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié, ou dans un état où il est en mesure d'assurer un service déterminé.

Avant 1900 : on parlait de réparation.

1900-1970 : on utilisait la notion d'entretient, avec le développement des chemins de fer, de l'automobile, de l'aviation et l'armement pendant les deux 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.

Dans une entreprise, maintenir, c'est effectuer des opérations (dépannage, réparation, graissage, contrôle,….etc.) qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la production avec efficacité et qualité.

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

- Evolution technologique.
- Coût.
- Automatisation.
- Contraintes réglementaires.

Le concept de sûreté de fonctionnement regroupe 4 disciplines :

a) La fiabilité : aptitude d'un dispositif à accomplir une requise dans des conditions d'utilisation données à un instant donné.

b) La disponibilité : la disponibilité est une mesure de la fraction du temps pendant laquelle un système est disponible, c.-à-d, en fonction ou apte à fonctionner. C'est une probabilité fonction de temps.

c) La maintenabilité : la maintenabilité est une caractéristique précisant la facilité et la rapidité avec lesquels un système peut être remis en un état de fonctionnement total avec une fiabilité correspondant à son âge.

La rapidité de remise en état d'un système peut être mesuré par la duré active (temps de démontage et remontage sans tenir compte du temps perdu "temps d'attente de réponse des dépanneur, achat des pièces…etc.") du dépannage.

d) La sécurité : aptitude d'un dispositif à éviter de faire apparaître des événements critiques ou catastrophiques.

1.2. Rôle de maintenance

La maintenance doit assurer la rentabilité des investissements matériels de l'entreprise en maintenant le potentiel d'activité et en tenant compte de la politique définie par l'entreprise. La fonction maintenance sera donc amenée à considérer alors les :

- **prévisions à long terme :** liées à la politique de l'entreprise et permettant l'ordonnancement des charges, des stocks et des investissements en matériel.
- **Prévision à moyen terme :** la volonté de maintenir le potentiel d'activité de l'entreprise conduit à vieller à l'immobilisation des matériels à des moments qui perturbent le moins possible le programme de fabrication. Dés lors il faut fournir nécessairement et suffisamment tôt le calendrier des interventions de maintenance. Celle-ci ayant une influence sur l'ordonnancement des fabrications.

- **Prévision à court terme :** dans ce cas le service maintenance s'efforcera de réduire les durées d'immobilisation du matériel et les coûts de ses interventions. Sachons que les réductions de coûts et d'immobilisation ne sont possibles que si le matériel et les interventions on fait l'objet d'une étude préalable, il est donc nécessaire de préparer le travail et d'étudier les conditions de fonctionnement, les défaillances possibles et les conditions d'exécution des interventions. Le service technique lié à cette fonction doit fournir toutes les informations qualitatives et quantitatives susceptibles d'influencer les politiques particulières de l'entreprise.

1.3. Formes de maintenance

Le choix entre les méthodes (types) 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. Pour choisir, il faut donc être informé des objectifs de la direction (des directions politiques de maintenance), mais il faut aussi connaître le fonctionnement et les caractéristiques des matériels ; le comportement du matériel en exploitation, les conditions d'application de chaque méthode, les coûts de maintenance et les coûts de perte de production.

Il existe alors différents types de maintenance, on va les cités dans le diagramme suivant :

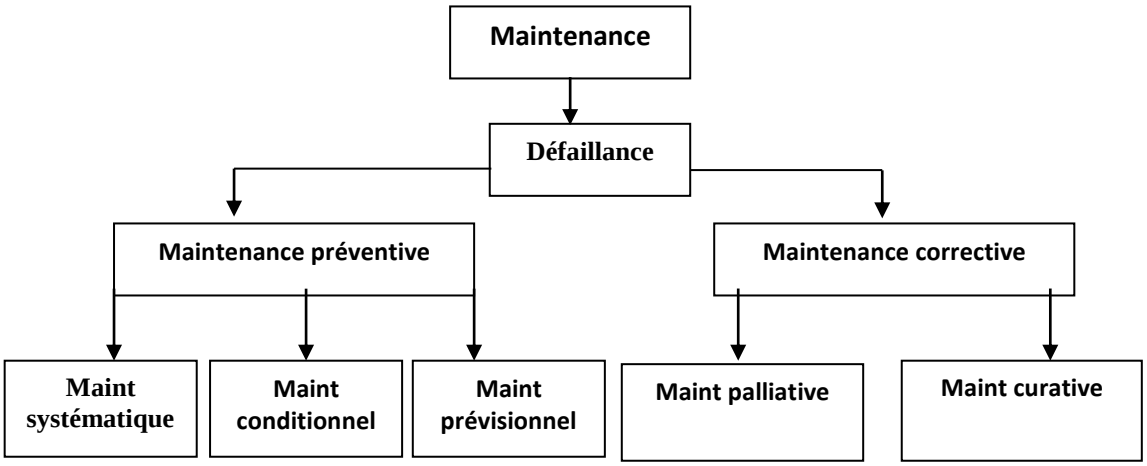


Diagramme de différents concepts de maintenance

1.3.1. Maintenance préventive

Elle est effectuée généralement sur des systèmes en service, elle doit permettre d'éviter des défaillances des matériels en cours d'utilisation. Elle doit être planifiée et nécessite une gestion et un suivi des différentes défaillances ; la philosophie principale de ce type de maintenance est d'améliorer les performances de fonctionnement ainsi que l'augmentation de la durée de vie des systèmes, avec le souci d'un coût minimal.

Le but de la maintenance préventive est :

- Augmenter la durée de vie du matériel.
- Diminuer la probabilité des défaillances en service.
- Diminuer les temps d'arrêt en cas de révision ou de panne.
- Prévenir et aussi prévoir les interventions de maintenance corrective coûteuse.
- Permettre de décider la maintenance corrective dans de bonnes conditions.
- Eviter les consommations anormales d'énergie, de lubrifiant,…etc.
- Améliorer les conditions de travail du personnel de production.
- Diminuer le budget de maintenance.
- Supprimer les causes d'accidents graves.

Il existe 3 formes de ce type de maintenance.

1.3.1.1 Maintenance préventive systématique

- **Définition**

La maintenance préventive systématique est effectuée en fonction de condition qui reflète l'état d'évolution d'une défaillance. L'intervention peut être programmée juste à temps avant l'apparition de la panne. Cette méthode nécessite de connaître : le comportement du matériel ; les usures ; les modes de dégradations et le temps moyen de bon fonctionnement entre deux avaries.

- **Cas d'application**

La maintenance systématique peut être appliquée dans les cas suivants :

- équipements soumis à la législation en vigueur « sécurité réglementée » (ascenseurs, appareil de levage…etc.).
- équipements dont la panne risque de provoquer des accidents graves (tous le matériel assurant le transport en commun des personnes…etc.).
- équipements ayant un coût de défaillance élevé (système fonctionnement en continu).
- Equipements dans les dépenses de fonctionnement deviennent anormalement élevées (consommation excessive d'énergie…etc.).
- des équipements dont l'arrêt (ou le redémarrage) sont longs.

1.3.1.2 Maintenance conditionnelle

- **Définition**

La maintenance conditionnelle permet d'assurer le suivi continu du matériel en service, et la décision d'intervention est prise lorsqu'il y a une évidence expérimentale de défaut imminent ou d'un seuil de dégradation prédéterminé.

La maintenance préventive conditionnelle se caractérise par la mise en évidence des points faibles. Suivant les cas il est souhaitable de les mettre sous surveillance à partir de là,

nous pouvons décider d'une intervention lorsque un certain seuil est atteint mais les contrôles demeurent systématiques et font partie des moyens de contrôles non destructifs.

Les objectifs de cette forme sont :

- Eviter les démontages inutiles qui eux-mêmes peuvent engendrer des défaillances.
- Eviter les interventions d'urgences en suivant l'évolution dans le temps des débuts d'anomalies, d'intervenir dans les meilleures conditions.

➢ **Cas d'application**

Que tous les matériels sont concernés. Cette maintenance préventive conditionnelle ne se fait par des mesures pertinentes sur le matériel en fonctionnement. Les paramètres mesurés sont :

- Le niveau et la qualité d'une huile.
- Les températures et les pressions.
- La tension et l'intensité des matériels électriques.
- Les vibrations et les jeux mécaniques.

De tous les paramètres énumérés, l'analyse vibratoire est de loin la plus riche quant aux informations recueillies. Sa compréhension autorise la prise à bon escient, de décision qui est à la base d'une maintenance préventive conditionnelle. La surveillance peut être soit périodique, soit continu.

1.3.1.3 Maintenance prévisionnelle

Maintenance prévisionnelle est une maintenance subordonnée à l'analyse de l'évolution surveillée des paramètres de la dégradation de bien permettant de retarder et planifier l'intervention. Elle est exécutée en suivant les prévisions extrapolées (imaginées) de l'analyse de paramètres de dégradation.

1.3.2 Maintenances corrective

La maintenance corrective effectuée après défaillance ou bien après la détection d'une panne est destinée à remettre une entité dans un état lui permettant d'accomplir une fonction requise. La maintenance corrective peut être utilisée:

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

Cette maintenance est utilisée lorsque l'indisponibilité du matériel n'a pas de conséquences majeures sur le processus de production ou quand les contraintes de sécurité sont faibles. Elle permet d'identifier la cause d'une panne à l'aide d'un raisonnement logique ; elle s'appuie sur :

- des schémas fonctionnels ;
- des tableaux du type effet, cause, remède ;
- les tests ;
- des systèmes experts ;

La réparation permet de :

- décomposer l'intervention en phases ;
- décrire précisément le travail ;
- allouer les temps ;
- définir les moyens d'exécution ;
- définir les moyens de contrôle ;

Nous rencontrons deux formes de défaillances : la défaillance partielle et la défaillance complète.

- **Défaillance partielle :** altération de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise.
- **Défaillance complète :** cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise.

Ce type possède deux formes :

1.3.2.1 Maintenance palliative

Activités destinée au paramètre à un bien d'accomplir provisoirement tout au partie d'une fonction requise appelée dépannage.

1.3.2.2 Maintenance curative

Activités ayant pour objet de rétablir un bien dans un état qui lui permet d'accomplir la fonction requise. Le résultat doit être permanent « réparation, modification ou aménagement ».

1.4 Niveaux d'interventions de la maintenance

Les niveaux des interventions dans les différents secteurs du « Génie électrique » comprennent tous les éléments de la chaîne de transformation énergétique : de la génération de l'énergie jusqu'à sa consommation à savoir :

- systèmes de production et de transformation : groupes de production ; transformateurs de départ ; transformateurs d'arrivée ; transformateurs de distribution…etc. ;
- systèmes de transport et de distribution : lignes de transport et de distribution ; les postes d'interconnexion ; les postes de distribution ; les poste terminaux…etc. ;
- systèmes d'utilisation : éclairage publique, domestique ; administration ; secteurs industriel ; agricole…etc. ;

Il existe 5 niveaux pour l'intervention

1.4.1 1er Niveau

Réglage simple par le constructeur de la machine avec aucun démontage ou ouverture de l'équipement ou échange d'éléments.

1.4.2 2ème Niveau

Dépannage par échange des éléments et opération mineur de maintenance préventive (graissage ou contrôle de bon fonctionnement). Ce type d'intervention est effectué par un technicien de qualification moyen avec un outillage portable.

1.4.3 3ème Niveau

Identification et diagnostique des pannes, réparation échange de composant et toute opération de maintenance préventive « réglage générale ». Ce type est effectué par un technicien spécialisé avec un outillage précis ainsi que des appareils de mesure, banc d'essais et de contrôle.

1.4.4 4ème Niveau

Touts les travaux de maintenance corrective ou préventive à l'exception de rénovation et de la reconstruction. Ce type d'intervention est effectué par un équipement comprenant des techniciens très spécialisés et des outils précis et bancs de mesure.

1.4.5 5ème Niveau

Rénovation, reconstruction ou réparations importantes par un atelier central ou extérieur. Ce type de travaux est effectué par le constructeur ou le reconstructeur par des moyens proches de la fabrication.

1.5 Opération de maintenance

1.5.1 Le dépannage

Action sur un bien en panne, en vue de le remettre en état de fonctionnement ; compte tenue de l'objectif, une action de dépannage peut s'accommoder de résultats provisoires et de condition de réalisation hors réglage de procédures, de coûts de qualité, et dans ce cas sera suivie de la réparation.

1.5.2 La réparation

Intervention définitive et limitée de maintenance corrective après panne ou défaillance.

1.5.3 Les inspections

Ce sont des activités de surveillance consistant à relever périodiquement des mesures sans le besoin d'arrêt de l'outil de production ou des équipements.

1.5.4 Les visites

Ce sont des opérations de surveillance qui, dans le cadre de la maintenance préventive systématique, s'opèrent selon une périodicité prédéterminée. Ces interventions correspondent à une liste d'opérations définies au préalable qui peuvent entraîner des démontages d'organes et une immobilisation du matériel.

1.5.5 Les contrôles

Ils correspondent à des vérifications de conformité par rapport à des données préétablies suivies d'un jugement. Le contrôle peut comporter une activité d'information ; inclure une décision ; acceptation, rejet ; ajournement ; déboucher comme les visites sur des opérations de maintenance corrective. Les opérations de surveillance (inspection, visite, contrôle) sont nécessaires pour maîtriser l'évolution de l'état réel du bien, effectuées de manière continue ou des intervalles prédéterminées ou non, calculées sur le temps ou le nombre d'unités d'usage.

1.5.6 Les révisions

Ensemble des actions d'examens, de contrôles et des interventions effectuées en vue d'assurer le bien entre toute défaillance majeure ou critique, pendant un temps ou pour un nombre d'unités d'usage donné.

1.5.7 Les échange standards

Reprise d'une pièce, d'un organe ou d'un sous-ensemble usage, et vente au même client d'une pièce, d'un organe ou d'un sous-ensemble identique, neuf ou remise en état conformément aux spécifications du constructeur, moyennant le paiement d'une soulte (c'est une somme d'argent qui, dans un échange ou dans un partage, compense l'intégralité de valeur des lots ou des biens échangés) dont le montant d'après le coût de remise en état.

1.6 Coût de maintenance

L'estimation du coût de la maintenance dépend d'une manière générale de plusieurs facteurs dont le plus important est le temps d'immobilisation ou temps d'arrêt du système particulièrement pour les grandes chaînes de montage ou de production, pour les systèmes de grande puissance (centrale de production, bateaux, avions, locomotives, puis de forage…etc.). En effet, l'estimation du coût de la maintenance quelle soit prédictive ou curative dépondant de facteurs suivants :

- temps d'immobilisation (ou temps d'arrêt) ;
- pièce à maintenir ou de la pièce de rechange ;
- personnel d'intervention ;
- moyens d'intervention ;
- transport ou autre s'il y a lieu ;

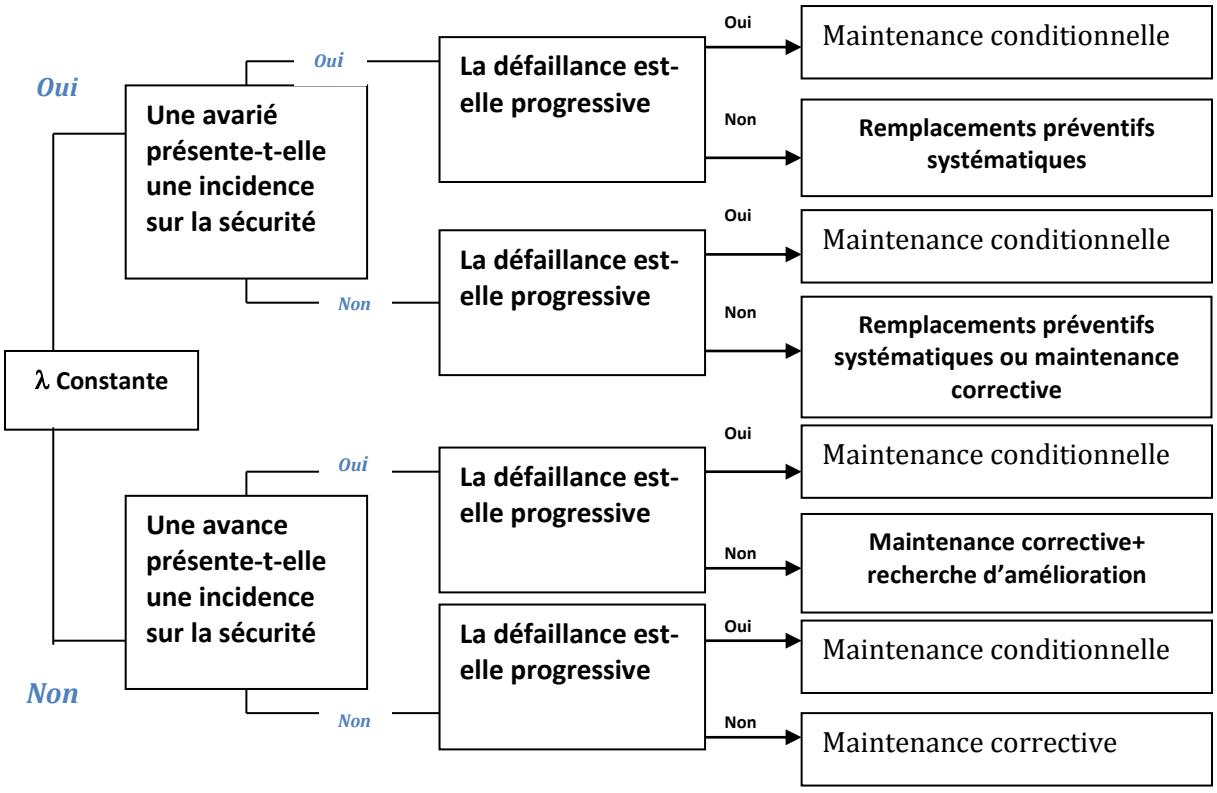
1.7 Politique de maintenance et critère de choix

La politique est la définition, au niveau de l'entreprise, des objectifs technico-économique relatifs à la prise en charge des équipements par le service maintenance.

C'est dans le cadre de cette politique que le responsable du service de maintenance met en œuvre les moyens adaptés aux objectifs fixés ; on parlera alors de stratégie pour le moyen terme et de tactique pour le court terme. La gestion de maintenance prend essentiellement en compte les aspects technique, économique et financier des différentes méthodes utilisables (corrective, préventive systématique et préventive conditionnelle) en vue d'optimiser la disponibilité des matériels.

La maintenance est une politique qui prend en compte :

- le choix des méthodes d'entretien (les différents modes de maintenance) ;
- les améliorations ;
- la place des équipements dans le procédé de fabrication (hiérarchisation) ;
- la formation du personnel d'entretien et de production ;



Arbre de décision.

Avec λ est taux de défaillance.

CHAPITRE 2 : Dysfonctionnement des systèmes électromécaniques

Parmi les facteurs qui contribuent à l'amélioration de la disponibilité, de la qualité et de la sûreté de fonctionnement ainsi qu'à la réduction des coûts de fonctionnement, les méthodes de diagnostic de défaillances, sont devenues des aides significatives, en particulier, pour l'exploitation des Systèmes Automatisés de Production, dont la complexité est en constante évolution.

Le diagnostic consiste à détecter, à localiser et éventuellement à isoler les défaillances et/ou les défauts qui affectent un système. Il s'intègre dans le cadre plus général de la surveillance et de la supervision et permet d'une part d'améliorer la qualité et d'autre part de réduire les coûts, en intervenant au cours des phases du cycle de vie du produit. La conception des systèmes automatiques nécessite de prendre en considération des fonctions telles que la surveillance, la supervision et d'inclure des aides à la gestion de production, à la gestion technique et à la maintenance. La diversité des définitions trouvées dans les différents travaux du domaine, nous oriente à établir un lexique des termes qui nous seront utiles pour la suite.

2.1. Système de surveillance et dysfonctionnement

Le système de surveillance a pour vocation première d'émettre des alarmes dont l'objectif est d'attirer l'attention de l'opérateur de supervision sur l'apparition d'un ou plusieurs événements susceptibles d'affecter le bon fonctionnement de l'installation. Avec la complexité des procédés, la génération d'alarmes est le moyen le plus employé pour avertir l'opérateur de l'occurrence d'un événement « anormal ». Les alarmes sont liées aux dysfonctionnements pouvant apparaître sur le système. Il est alors important de préciser le sens accordé aux termes employés pour évoquer (indiquer) les dysfonctionnements pouvant survenir dans le système:

2.1.1. ***Anomalie*** :

Condition anormale diminuant ou supprimant l'aptitude d'une concept fonctionnelle à accomplir une fonction requise. Elle permet de décrire tout ce qui n'est pas « conforme » à une référence.

2.1.2. Défaut :

Anomalie de comportement au sein d'un système physique ; un défaut ne change pas nécessairement le fonctionnement d'un système physique mais peut présager (supposer) d'une défaillance à venir.

2.1.3. Défaillance :

Anomalie fonctionnelle au sein d'un système physique. C'est une cessation (arrêt) de l'aptitude d'une unité fonctionnelle à accomplir une fonction requise avec les performances définies dans les spécifications techniques. La défaillance est un passage d'un état à un autre.

- ***Défaillance partielle :***

Défaillance à la suite de laquelle le système ne peut accomplir qu'une partie des fonctions requises ou ne peut les accomplir qu'avec des performances limitées.

- ***Défaillance complète :***

Défaillance qui entraine l'inaptitude totale de l'entité à accomplir toutes les fonctions requises.

3.1.4. Panne :

Inaptitude d'un dispositif à accomplir sa fonction. C'est la cause de l'apparition de symptômes.

- ***Panne complète :***

Panne résultant d'une défaillance complète.

- ***Symptôme :***

Une ou plusieurs observations qui révèlent d'un dysfonctionnement. Il s'agit d'un effet qui est la conséquence d'un comportement anormal. Il est clair que dés l'apparition d'une défaillance, caractérisée par la cessation d'une entité à accomplir sa fonction, celle-ci est déclarée en panne. Par conséquent, une panne résulte toujours d'une défaillance.

2.2. Surveillance

Le rôle de la surveillance est de recueillir (capter) en permanence tous les signaux en provenance du procédé et de la commande, de reconstituer l'état réel du système commandé et de faire toutes les interférences nécessaires pour produire les données utilisées ou utilisables en vue de :

- dresser des historiques de fonctionnement,

- le cas échéant, mettre en œuvre un processus de traitement de défaillance.

La surveillance regroupe les sous fonctions suivantes:

2.2.1. Détection **:**

Qui répond à la question « y a-t-il une (nouvelle) anomalie dans le système ? », et permet de déterminer la normalité ou l'anormalité du système en fonctionnement.

2.2.2. Suivi **:**

Qui a pour fonction de maintenir un historique des traitements exécutés et une trace des événements observés par le système de commande-supervision.

2.2.3. *Pronostic* :

Peut être considéré comme la vision du degré de gravité et de l'évolution d'une défaillance, y compris les conséquences et leurs issues, en se référant à l'évolution habituellement observée pour des événements similaires.

2.3. La sûreté de fonctionnement

La sûreté de fonctionnement est la science de défaillances des systèmes. Elle inclut ainsi leur connaissance, leur évaluation, leur prévision, leur mesure et leur maîtrise. Ses principaux concepts sont: la fiabilité, la disponibilité, la sécurité et la maintenabilité.

La sûreté de fonctionnement n'est pas uniquement un ensemble de concepts mais également une discipline qui regroupe des méthodes permettant d'évaluer les concepts précités de manière qualitative et quantitative. Ces méthodes présentent les avantages suivants:

- elles permettent d'envisager, de manière méthodique, les différents aspects liés aux systèmes étudiés et d'apporter des éléments techniques pour juger des performances de ces systèmes,
- la plupart de ces méthodes trouvent leur pleine efficacité lorsqu'elles sont pratiquées au sein d'un groupe de travail pluridisciplinaire. A ce titre, ces méthodes constituent un support d'échange et de communication entre les différents acteurs,
- ces méthodes sont complémentaires ce qui permet d'assurer l'exhaustivité de l'étude de sûreté de fonctionnement des systèmes.

Ces avantages n'épargnent pourtant pas ces méthodes de certaines limites. Les plus importantes concernent les systèmes étudiés et l'exhaustivité de ces méthodes. En effet, malgré l'usage répandu de ces méthodes, l'ensemble de ces méthodes est dédié à l'identification des risques générés par des installations industrielles grâces à des analyses de leur bon fonctionnement et/ou de leurs dysfonctionnements. De même et malgré le perfectionnement croissant de ces méthodes, le recours à une seule méthode ne garantit pas l'exhaustivité de la démarche de gestion des risques. En d'autres termes, l'utilisation d'une seule méthode ne permet pas de mener à bien une étude systématique de sûreté de fonctionnement des systèmes techniques.

Le concept de sûreté de fonctionnement regroupe 4 disciplines :

2.3.1. Fiabilité (c'est une probabilité):

Aptitude d'une entité à accomplir les fonctions requises dans des conditions données pendant une durée donnée.

2.3.2. Disponibilité (c'est une probabilité):

Aptitude d'une entité à être en état d'accomplir les fonctions requises dans des conditions données.

2.3.3. Maintenabilité:

Aptitude d'un système à être remise en état par une maintenance adaptée afin d'accomplir des fonctions requises dans des conditions données. Elle se caractérise par la probabilité d'être en état, à l'instant t, d'accomplir ces fonctions sachant qu'elle était en panne à l'instant 0. La maintenabilité ne se différencie de la fiabilité que sur ce dernier point. La maintenabilité, peut être traduite par la brièveté des pannes.

2.3.4. Sécurité :

Aptitude d'un dispositif à éviter de faire apparaître des événements critiques ou catastrophiques.

2.4. Principales étapes de conception d'un dispositif de sûreté de fonctionnement

La mise en place d'une démarche de sûreté de fonctionnement présente quatre étapes que nous nous proposons de synthétiser ci- après.

- La première étape porte sur ***la recherche de signature des défaillances*** et s'intéresse aux phénomènes ainsi qu'aux situations critiques pouvant mettre en danger la fonction, l'environnement et la mission d'un système. Ceci amène à s'interroger sur les phénomènes pouvant conduire à une situation critique et sur les conséquences des défauts à forte probabilité d'occurrence. Cette réflexion fait partie intégrante de la démarche de sûreté de fonctionnement. Il est donc important de bien connaitre l'objet à surveiller afin d'appréhender au mieux son comportement, en l'absence et en présence de défauts. La difficulté rencontrée par le concepteur de la sûreté de fonctionnement est de savoir quels sont les éléments les plus sensibles d'une installation et à travers quelles grandeurs va-t-on être le plus à même d'observer les effets des défauts et comment vont se manifester les défauts sur ces grandeurs. Cette étape que l'on nomme par recherche de signatures des défaillances est une étape majeure dans la mise au point d'un dispositif de sûreté de fonctionnement.
- La seconde étape porte sur ***la mise au point de méthodes de surveillance et de détection*** qui utilisent les résultats de la première étape. Cette partie exploite les données pour mettre au point des techniques permettant de mettre en évidence les prémices ou l'occurrence d'un défaut. Les méthodes de surveillance et de détection des défauts s'appuient généralement sur des mesures directes ou indirectes de grandeurs liées au système en fonctionnement. L'objectif de cette étape est de chercher l'apparition des signatures des défauts surveillés et de générer automatiquement des indicateurs informant de l'apparition des défauts.

- La troisième étape concerne ***le diagnostic des défaillances (on analyse qualitative, elle est quantifiée en terme de probabilité)***. Elle consiste à analyser les données issues de la surveillance pour tenter d'identifier et de localiser la ou les causes probables de la défaillance. Dans cette étape on peut utiliser toutes les connaissances disponibles sur leur relation de cause à effet. Elle fournit des informations sur les degrés de criticité des défauts et cible les actions à prendre.
- La dernière étape est ***l'étape décisionnelle (synthèse)*** qui intervient pour appliquer les actions les plus appropriées afin de répondre aux exigences du cahier des charges de sûreté de fonctionnement dont le maintient de la fonction, la sécurisation et la maintenance.

Pour résumer, la sûreté de fonctionnement consiste à connaitre, détecter, analyser, et maîtriser les défaillances des systèmes.

Chapitre 3 : supervision du fonctionnement des systèmes électromécaniques

3.1. Supervision

Le mot « supervision » est le plus utilisé dans le domaine de l'automatisme ; pourtant, il n'est pas évident d'en donner une définition qui fasse l'unanimité. La supervision est généralement définie comme une tâche de commande et de surveillance de l'exécution d'une opération ou d'un travail accompli par d'autres agents (hommes ou machines), sans entrer dans les détails de cette exécution. Nous avons adopté la définition du Groupement de Recherche en Automatisation Intégrée et Systèmes Homme-Machine qui stipule que « **la supervision est l'ensemble des outils et méthodes qui permettent de conduire des installations industrielles tant en fonctionnement normal qu'en présence de défaillances ou de perturbations ».**

Les activités concernées par ce mot clé sont le pilotage, la surveillance, le diagnostic et la prise de décision. Pour concevoir un système de supervision, on a besoin de maitriser les techniques suivantes:

- ***Acquisition de données*** :

La première étape de la supervision, elle consiste à recueillir, à valider et à assurer l'acheminement des informations sur l'état du système jusqu'au poste de pilotage. Cette tâche est exécutée sans interruption et chaque instant, ces opérations impliquent l'utilisation des capteurs permettant de mesurer les différentes variables du processus. Ces informations seront utilisées dans des relations de résidus pour accomplir l'étape de détection.

- ***Surveillance*** :

On utilise les données provenant du système pour représenter l'état de fonctionnement puis en détecter les évolutions. Elle permet également de détecter et diagnostiquer les défauts et les erreurs dans le système. En cas de dysfonctionnement, elle informe le module de maintenance et le module de supervision. Les deux types de surveillance sont la surveillance de la commande et la surveillance du système opérant.

- ***Diagnostic*** :

Cette étape consiste à partir des défauts détectés, à localiser l'élément défaillant, à identifier la cause qui provoque ce défaut et à isoler les variables ou les systèmes en défauts. Avec cette étape, il est possible de remonter aux causes, c'est-à-dire remonter aux éléments défaillants à partir des résidus.

- ***Aide à la décision*** :

Elle consiste à aider l'opérateur à prendre la bonne décision devant toute situation, et cela en proposant une liste d'actions qui pourrait restaurer les grandeurs optimales du système. Dans cette étape, l'opérateur est toujours maître de la situation, car le système d'aide à la décision n'agit jamais, mais informe et conseille seulement. De ce fait le système ne calcule pas une valeur précise, mais propose plutôt quel moyen d'action devrait être exécuté.

- ***Maintenance*** :

La maintenance est l'étape qui intervient généralement après l'étape de prise de décision. Elle consiste à maintenir où à restaurer les performances des composants ou du système d'une façon globale, pour l'accomplissement de sa tâche requise. Ces activités sont une combinaison d'activités techniques, administratives et de gestion.

- **Observateur, mesure et signature**

Nous définissons les termes observation, mesure et signe issus de:

- ***Observation*** **:**

C'est une information obtenue à partir du comportement ou du fonctionnement réel du système.

- ***Mesure*** :

C'est une observation élémentaire du fait qu'elle reflète une seule et une seule grandeur physique. Elle est représentée par une variable dont le contenu est l'image d'une grandeur physique. Son obtention s'effectue par l'intermédiaire d'un système physique « capteur ».

- ***Signature*** :

C'est le caractère distinctif d'un état comportemental anormal. Une signature est caractérisée par un ensemble d'observations en provenance d'un système physique et révèle la présence d'un défaut.

3.2. L'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité

L'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (Failure Mode Effects Critically Analysis ou FMECA) est une méthode structurée et systématique pour:

- détecter les défaillances (et leurs effets) d'un produit ou d'un processus
- définir les actions à entreprendre pour éliminer ces défaillances, réduire leurs effets et pour en empêcher ou en détecter les causes
- documenter le processus du développement.

L'AMDEC est un système qui aide à "pré-voir" pour ne pas être obligé de "re-voir". En appliquant une AMDEC dès la phase de la conception on peut apporter des modifications à un stade précoce.

L'AMDEC a été développée par l'armée américaine vers la fin des années 40 en tant que procédure militaire (MIL-P-1629). Elle était utilisée comme technique d'évaluation de fiabilité afin de déterminer les effets des défaillances de systèmes ou d'équipements. Les défaillances étaient répertoriées suivant leur effet sur le succès d'une mission et sur la sécurité du personnel et de l'équipement. Au cours des années 50 l'AMDEC a été utilisée dans l'industrie aérospatiale. Les équipes de lancement à Cape Canaveral ne pouvaient pas se permettre d'erreurs. Ils se demandaient systématiquement ce qui pourrait survenir et ce qu'ils pouvaient faire pour éviter ces défaillances. Actuellement l'AMDEC est devenue une technique de base pour la maîtrise de la qualité, qui est appliquée depuis longtemps déjà dans l'industrie automobile. Ford p.ex. oblige tous ses sous-traitants à effectuer une AMDEC pour chaque pièce. L'AMDEC fait également de plus en plus son entrée dans les autres secteurs.

Il y a plusieurs sortes d'AMDEC, en fonction du stade de la conception : l'AMDEC du concept, l'AMDEC du produit et AMDEC du procédé, (AMDEC de la machine, …). Toutes ces AMDEC ont la même structure.

Voici comme illustration les différentes étapes d'une AMDEC du design :

- Rédigez un organigramme (fonctionnel ou hardware) qui situe la pièce à étudier par rapport aux pièces ou aux systèmes contigus; mentionnez la manière dont les éléments contigus sont reliés à la pièce. Indiquez les influences (de l'environnement) éventuelles. Déterminez la limite pour l'analyse du système.
- Construire un arbre des fonctions, partant des fonctions primaires et en tenant compte des interactions aux limites du système. Développez ces fonctions jusqu'aux "actionable levels" et déterminez les valeurs cible.
- Déterminez tous les modes de défaillance éventuels lors de l'accomplissement de la fonction (pas de fonction, fonction partielle, fonction décroissante, fonction alternative, …).
- Examinez, au moyen d'un tableau des effets, l'effet des défaillances éventuelles sur les différents niveaux (composant, système, client, législation, …).
- Evaluez gravité[1] (G) de l'effet (échelle 1-10; 10 = le plus grave). En modifiant le concept, les modes de défaillance les plus graves peuvent être éliminés de sorte qu'ils n'apparaissent plus, ou que leurs effets soient réduits. Les modes de défaillance doivent être examinés de plus près si le concept ne peut pas être modifié.

Au moyen d'un diagramme d'Ishikawa rédigez une liste des causes probables des défaillances.

Déterminez les probabilités de manifestation[1] (M) (échelle 1-10; 10 = la plus grande probabilité de manifestation)

Pour les modes de défaillance présentant le plus haut degré de risque (Gravité x Manifestation : GxM) on peut modifier la conception ou le processus de sorte à éviter les causes ou a réduire la probabilité qu'elles se manifestent. Si le concept ne peut pas être modifié, il faut étudier de plus près les possibilités de détection.

Déterminez les contrôles de la conception pour les modes de défaillance restants. Ces contrôles peuvent être préventifs ou de détection et concernent les modes de défaillance et les causes.

Déterminez la probabilité de détection[1] (D) pour tous les contrôles de conception (échelle 1-10; 10 = pas de détection).

Le Chiffre Prioritaire des Risques (RPN/CPR), qui est le produit de Gravité, Manifestation et Détection, donne une idée de l'importance d'un mode de défaillance. Une méthode alternative pour accorder une priorité aux modes de défaillance consiste à les classer suivant les risques (Gravité x organisation).

3.2.1. Intérêts de l'AMDEC

- Déterminer les points faibles du système et y apporter des remèdes.
- Préciser les moyens de se prémunir contre certaines défaillances.
- Étudier les conséquences de défaillances vis-à-vis des différents composants.
- Classer les défaillances selon certains critères.
- Fournir une optimisation du plan de contrôle, une aide éclairée à l'élaboration de plans d'essais.
- Optimiser les tests (choix judicieux de tests) pour solliciter toutes les fonctions du système.
- Prendre des décisions de « rétro-conception ».

3.2.2. Méthodologie AMDEC

Avant de se lancer dans la réalisation proprement dite des AMDEC, il faut connaître précisément le système et son environnement. Ces informations sont généralement les résultats de l'analyse fonctionnelle, de l'analyse des risques et éventuellement du retour d'expériences.

Il faut également déterminer comment et à quel fin l'AMDEC sera exploitée et définir les moyens nécessaires, l'organisation et les responsabilités associées.

Dans un second temps, il faut évaluer les effets des modes de défaillance. Les effets de mode de défaillance d'une entité donnée sont étudiées d'abord sur les composants directement interfacés avec celui-ci (effet local) et de proche en proche (effets de zone) vers le système et son environnement (effet global).

Il est important de noter que lorsqu'une entité donnée est considérée selon un mode de défaillance donné, toutes les autres entités sont supposées en état de fonctionnement nominal.
Dans un troisième temps, il convient de classer les effets des modes de défaillance par niveau de criticité, par rapport à certains critères de sûreté de fonctionnement préalablement définis au niveau du système en fonction des objectifs fixés (fiabilité, sécurité, etc.).

Les modes de défaillance d'un composant sont regroupés par niveau de criticité de leurs effets et sont par conséquent hiérarchisés.

Cette typologie permet d'identifier les composants les plus critiques et de proposer alors les actions et les procédures " juste nécessaires " pour y remédier. Cette activité d'interprétation des résultats et de mise en place de recommandations constitue la dernière étape de l'AMDEC.

3.2.3. Mesure de la criticité

Un moyen simple pour mesurer la criticité d'un événement, est d'effectuer le calcul suivant :

Criticité C = G x F x D

Avec :
G : la Gravité
F : la Fréquence
D : la détectabilité

Valeurs de G	**Critère**
1	- Défaillance mineure ne provoquant qu'un arrêt de production faible et aucune dégradation notable (arrêt de production inférieur à 1 heure)
2	-Défaillance moyenne nécessitant une remise en état ou une petite réparation et provoquant (arrêt de production de 1 à 8 heures)
3	-Défaillance critique nécessitant un changement du matériel défectueux et provoquant (arrêt de production de 8 à 48 heures)
4	-Défaillance très critique nécessitant une grande intervention et provoquant (arrêt de production de 2 à 7 jours)
5	-Défaillance catastrophique impliquant des problèmes de sécurité et/ou *une production non-conforme et provoquant (arrêt de production* supérieur à 7 jours)

Valeurs de F	**Probabilité d'apparition de la défaillance**
1	Défaillance inexistante sur matériel similaire (1 arrêt max. tous les 2 ans)
2	Défaillance occasionnelle déjà apparue sur matériel similaire (1 arrêt max. tous les ans)
3	Défaillance occasionnelle posant plus souvent des problèmes (1 arrêt max. tous les 6 mois)
4	Défaillance certaine sur ce type de matériel (1 arrêt max. par mois)
5	Défaillance systématique sur ce type de matériel (1 arrêt max. par semaine)

Valeurs de D	**Critère**
1	Signe précurseur de la défaillance que l'opérateur pourra éviter par une action préventive ou alerte automatique d'incident
2	Il existe un signe avant précurseur de la défaillance mis il y a un risque que ce signe ne soit pas perçu par l'opérateur
3	Le signe avant précurseur de la défaillance n'est pas facilement décelable
4	Il n'existe aucun signe avant précurseur de la défaillance