الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المركز الجامعي عبد الحفيظ بوالصوف ميلة

Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf –Mila

Institut des Sciences et de Technologie

Département de génie mécanique et électromécanique



Polycopié pédagogique

Organisation et gestion de la maintenance Industrielle

Destiné aux étudiants en Master 2 électromécanique.

Réalisé par : GUENTRI Hocine

Maitre de conférence « A »

-O- Année universitaire 2022/2023 -O-

Préface

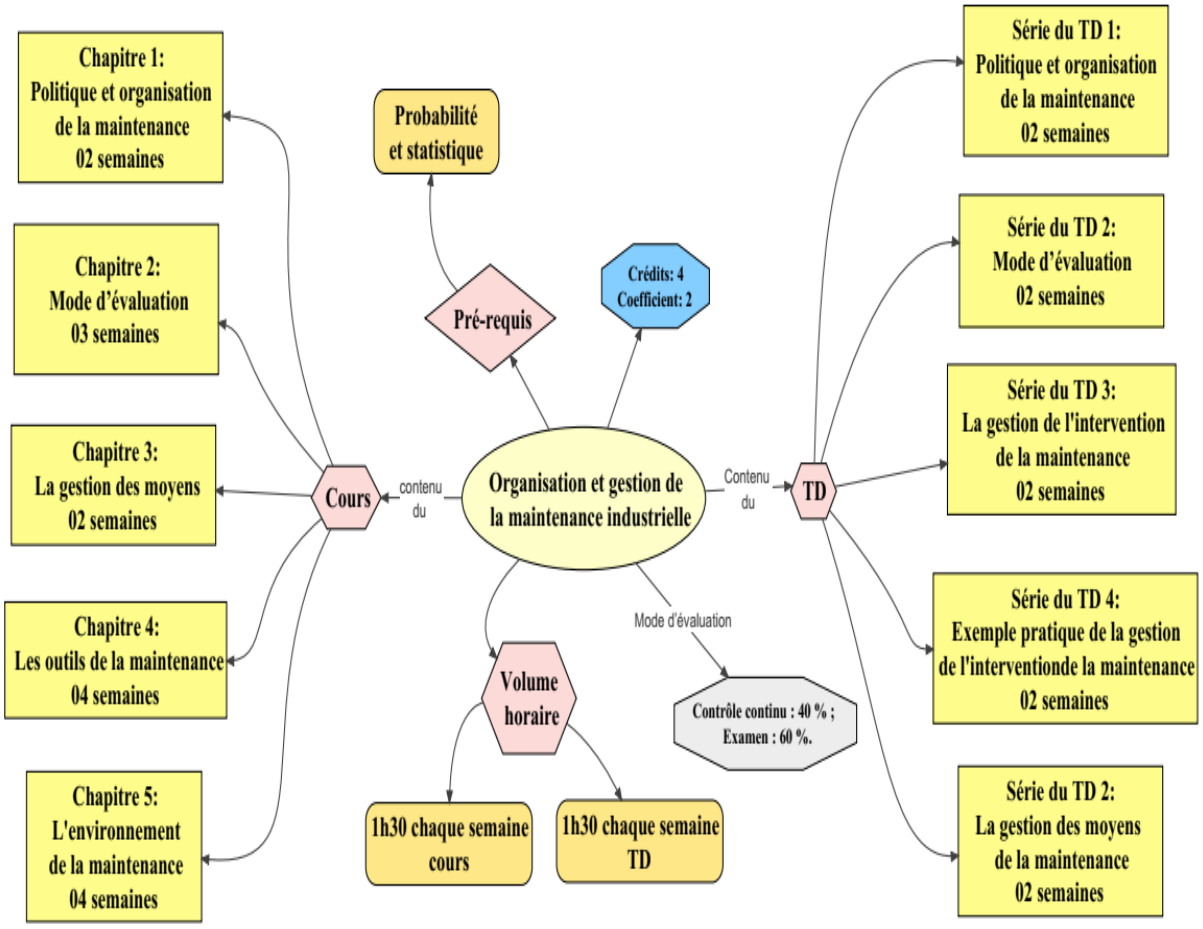
Le rôle croissant de la maintenance dans divers secteurs industriels, petits et grands, oblige les techniciens à intervenir sur des équipements de plus en plus variés et à approfondir leurs connaissances sur toutes les technologies. Aussi, Avec la croissance des entreprises industrielles et la complexité et l'imbrication des technologies, il est devenu nécessaire non seulement d'entretenir et de réparer les équipements, mais aussi d'organiser et de gérer le service maintenance. Par conséquent, la gestion et l'organisation du service de maintenance jouent un rôle important et efficace dans la maintenance des équipements, et d'augmenter le temps de disponibilité et la fiabilité des équipements. Ce cours est un véritable guide pour les responsables du service de la maintenance. Au début de ce cours, Nous allons voir la définition, politique et organisation de la maintenance industrielle. Suivi par, un exposé détaillé sur les différents types de la maintenance industrielle. Après, nous présentons la gestion des moyens et les outils de la maintenance. A la fin du cours, en présentant l'environnement de la maintenance, pour plus de détails voir la figure ci-après qui présente le contenu global de ce cous selon le canevas..

Ce polycopié s'adresse essentiellement aux étudiants de deuxième année master électromécanique. Aussi, À cet égard, les sociétés industriels et autres ingénieurs de maintenance trouveront ce manuel très utile dans leur travail quotidien.

Les textes présentés dans ce polycopié ont été inspirés de certains guides et catalogues techniques, livres, thèses…etc.

Tout commentaire ou proposition ou critique constructive permettant l'amélioration des textes ainsi élaborés sera recueillie avec grand intérêt.

Email : hguentri2005@centre-univ-mila.dz


Organisation et gestion de la maintenance industrielle
Pré-requis
Probabilité et statistique
Crédits: 4
Coefficient: 2
contenu du
Cours
Chapitre 1: Politique et organisation de la maintenance 02 semaines
Chapitre 2: Mode d'évaluation 03 semaines
Chapitre 3: La gestion des moyens 02 semaines
Chapitre 4: Les outils de la maintenance 04 semaines
Chapitre 5: L'environnement de la maintenance 04 semaines
Contenu du
TD
Série du TD 1: Politique et organisation de la maintenance 02 semaines
Série du TD 2: Mode d'évaluation 02 semaines
Série du TD 3: La gestion de l'intervention de la maintenance 02 semaines
Série du TD 4: Exemple pratique de la gestion de l'interventionde la maintenance 02 semaines
Série du TD 2: La gestion des moyens de la maintenance 02 semaines
Volume horaire
1h30 chaque semaine cours
1h30 chaque semaine TD
Mode d'évaluation
Contrôle continu : 40 % ; Examen : 60 %.

Liste des figures

Figure 1: Le contenu de la fonction maintenance 9
Figure 2 : Structure type avec sectorisation partielle 11
Figure 3 : Les différentes formes de la maintenance 17
Figure 4 : Les phases d'une opération de maintenance corrective 18
Figure 5 : Principe de la maintenance préventive systématique. 21
Figure 6 : Activités de la maintenance systématique. 22
Figure 7 : Le système de gestion de la maintenance 34
Figure 8 : La procédure de traitement d'une demande de travail 35
Figure 9 : Le flux d'information à travers le service de maintenance 36
Figure 10 : Structure de la documentation du service maintenance 40
Figure 11 : Les éléments de base d'un système documentaire 41
Figure 12 : La procédure de l'approvisionnement 47
Figure 13 : Les outils graphiques 50
Figure 14 : les facteurs d'influence de la disponibilité intrinsèque 55
Figure 15 : Maintenabilité et disponibilité 56
Figure 16 : Gestion centralisée de la maintenance 65

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les niveaux de maintenance 25
Tableau 2 : Documents normatifs 42
Tableau 3 : Quelques familles d'huiles de synthèse 71

Tables des Matières

1 Chapitre 1 : Politique et organisation de la maintenance 9
1.1 Définition de la maintenance (norme NF EN 13306) 9
1.2 Les objectifs de la maintenance 9
1.3 Les missions de la maintenance 10
1.4 Evolution de la maintenance 10
1.5 Politique de maintenance 11
1.5.1 Méthode de maintenance 11
1.6 Organisation de la maintenance : 11
1.6.1 Fonction réalisation : 12
1.6.2 Fonction méthodes : 12
1.6.3 Fonction ordonnancement : 13
1.7 Les conditions de réussite d'un programme de gestion de la maintenance 14
2 Chapitre 2 : Les différents types de maintenance 16
2.1 Introduction 16

2.2 Les concepts 16
2.3 Les méthodes : 17
2.3.1 La maintenance corrective : 17
2.3.2 La maintenance préventive : 19
2.4 Les opérations de maintenance : 24
2.4.1 Les opérations de maintenance corrective : 24
2.4.2 Les opérations de maintenance préventive : 24
2.4.3 Autres opérations : 25
2.5 Niveaux de maintenance : 25
2.6 Echelons de maintenance : 26
2.7 Les activités connexes : 26
2.7.1 La maintenance d'amélioration : 26
2.7.2 Les travaux neufs 28
2.7.3 La sécurité 28
3 Chapitre 3 : La gestion des moyens 31
3.1 Introduction : 31
3.2 La pertinence d'un système de gestion de la maintenance 31
3.2.1 L'impact de la gestion sur le plan infrastructure : 31
3.2.2 L'impact de la gestion sur le plan des ressources : 31
3.2.3 L'impact de la gestion sur le cout de la production : 32
3.2.4 L'impact de la gestion sur le plan de la sécurité : 32
3.3 Présentation d'un système de gestion de la maintenance 32
3.4 La gestion des flux d'information 34
3.4.1 Rôle du système d'information dans la maintenance 35
4 Chapitre 4 : Les outils de la maintenance 38
4.1 Documentation : 38
4.2 Le système documentaire : 38
4.3 Définitions préalables : 39
4.3.1 Documentation générale : 40
4.3.2 Documentation stratégique : 41
4.3.3 Nomenclature des équipements : 42
4.3.4 Le dossier technique équipement (DTE) 42
4.3.5 Plan de maintenance d'un équipement 43
4.3.6 Fichier historique de l'Equipement 44
4.4 Gestion de stock et approvisionnement 45
4.4.1 Le stock maintenance 45

4.4.2 La fonction approvisionnements 46
4.5 Planification de la maintenance 47
4.5.1 Planification des travaux de maintenance préventive 47
4.5.2 Planification des charges 47
4.6 Tableaux de bord 48
4.6.1 Définitions 48
4.6.2 Nécessité d'indicateurs et de tableaux de bord : 48
4.6.3 Gérer la maintenance a partir de tableaux de bord : 49
4.6.4 Les ratios : 51
4.7 Disponibilité et fiabilité des équipements 54
4.7.1 Définition de la fiabilité 54
4.7.2 Définition La disponibilité 54
4.7.3 Définition la maintenabilité 55
Maintenabilité = être rapidement dépanné 55
4.7.4 Maintenabilité et maintenance 56
4.7.5 Maintenabilité et disponibilité 56
5 Chapitre 5 : L'environnement de la maintenance 58
5.1 Introduction 58
5.2 Protection de l'environnement 58
5.3 Sécurité des personnes 59
5.3.1 Règles de base de sécurité 59
5.4 Contrôle des installations 60
5.4.1 Contrôle des installations par analyse vibratoire. 60
5.4.2 Contrôle de des huiles dans les installations 61
5.4.3 Le contrôle des installations par la thermographie 62
5.4.4 Détection des fuites 63
5.4.5 Le contrôle Visuel des installations de production 64
5.5 Gestion technique centralisée 64
5.6 Système intégré de production 65
5.6.1 Les 16 causes de pertes de rendement 66
5.6.2 Amélioration du TRG : 68
5.6.3 Les 5 principes de développement de la T P M 68
5.7 Gestion de l'énergie et des fluides 71
5.7.1 Choix des lubrifiants : 71
5.7.2 Stockage des lubrifiants : 72
5.7.3 Organisation du graissage : 74

CHAPITRE 1

Politique et organisation de la maintenance

1 Chapitre 1 : Politique et organisation de la maintenance

1.1 Définition de la maintenance (norme NF EN 13306)

La maintenance est l'ensemble des actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise.

Plusieurs auteurs 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 1).

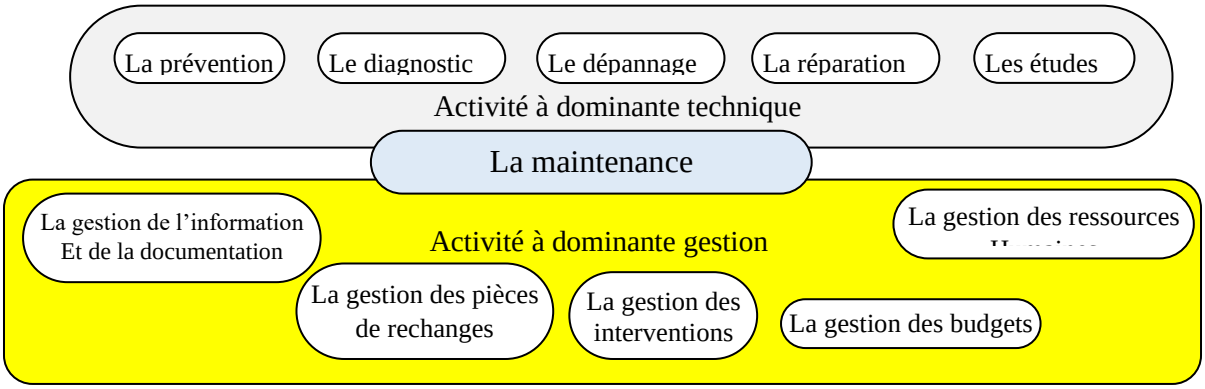


Figure 1: Le contenu de la fonction maintenance

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.

1.2 Les objectifs de la maintenance

Les objectifs de la maintenance 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 ;
- Assurer la sécurité des biens et des hommes.

1.3 Les missions de la maintenance

La maintenance ne se limite plus à sa simple remise en état d'un bien. Il doit à travers cette mission satisfaire les besoins de la production :

- Améliorer la qualité des équipements de la production ;
- Améliorer l'interface production - maintenance, c'est-à-dire connaitre et appliquer les méthodes et outils pour améliorer la communication (MPT (Maintenance Productive Totale), GMAO) ;
- Obtenir le cout global minimal pour les équipements ;
- Se mettre en conformité avec la législation sur la sécurité ;
- Se mettre en conformité avec la législation sur l'environnement ;
- Participer à la qualité des produits fabriqués ;
- Participer à l'amélioration des couts de fabrication ;

1.4 Evolution de la maintenance

Entre les années 1960 et 1980, la maintenance industrielle était uniquement perçue comme une activité d'arrière-plan, dont l'utilité était considérée comme toute relative et à laquelle on ne faisait appel que lorsque la machine était tombée en panne.

Au fil du temps, les entreprises ont progressivement pris conscience de l'aspect sécurité. Elles se sont donc penchées sur l'aspect maintenance pour le développer et lui donner d'avantage d'importance. Les machines ayant évolué et s'étant dotées de technologies plus abouties, les risques étaient proportionnellement plus élevés et les entreprises ont voulu contrer les risques accrus d'accident.

La maintenance industrielle a donc pris une place plus importante au sein des usines : les premières procédures de maintenance ont vu le jour. Il est étonnant de constater que les entreprises ont d'avantage souhaité développer la maintenance et lui accorder une place de choix pour des raisons humaines que pour des raisons purement économiques.

Entre 1980 et 2000, le monde industriel a évolué dans tous les domaines. Pour ce qui est de la maintenance industrielle, elle se métamorphose complètement avec l'arrivée de nouvelles approches, à l'image de la maintenance productive totale (TPM), un concept tout droit importé du Japon qui a révolutionné la vision mondiale du secteur.

Aujourd'hui, les entreprises cherchent toujours à s'affirmer sur les marchés industriels et à prouver qu'elles sont pleines de ressources, en s'appuyant sur les avancées réalisées en la matière au cours des vingt dernières années. Chacune, à sa façon, veille à améliorer la gestion

de sa maintenance dans le but de diminuer les arrêts de production tout en augmentant la qualité et la capacité de production de ses machines.

1.5 Politique de maintenance

Elle consiste à fixer les orientations (méthodes, programme, budget…) en matière de maintenance. Dans le cadre des objectifs fixés par la direction de l'entreprise. Ces orientations peuvent privilégier des objectifs sur d'autres compte tenu de la politique globale de l'entreprise. Elle doit prend en compte :

a) Le choix des méthodes d'entretien (les différents modes de maintenance);
b) Les améliorations ;
c) La place des équipements dans le procédé de fabrication (hiérarchisation);
d) La formation du personnel de maintenance et de production.

1.5.1 Méthode de maintenance

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

Pour choisir une méthode de maintenance, il faut être informé des objectifs de la direction, des décisions 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.

1.6 Organisation de la maintenance :

Un exemple d'organigramme est donnée figure 2, Ce n'est qu'une possibilité, chaque directeur technique étant libre de l'organiser selon sa propre conviction. Il fait apparaitre par contre des fonctions indispensables pour que la fonction maintenance soit efficace.

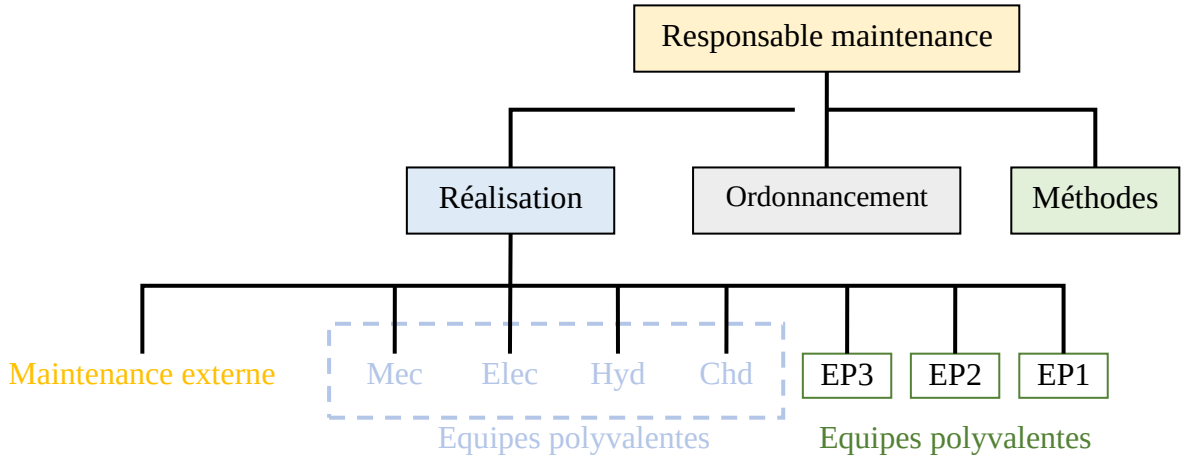


Figure 2 : Structure type avec sectorisation partielle

1.6.1 Fonction réalisation :

L'équipe réalisation est pluriethnique et de composition adaptée au matériel. Par exemple, un chef d'équipe, un électricien, un mécanicien et un hydraulicien. Elle est chargée de l'exécution des taches de maintenance planifier par le service méthode.

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.).

1.6.2 Fonction méthodes :

La fonction méthodes 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 comme indiqué dans la figure1.3, 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.

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).

1.6.3 Fonction ordonnancement :

La fonction Ordonnancement permet l'intervention optimale, à l'heure H et avec tous les moyens nécessaires : personnel, outillage, préparation, dossier technique, consignes de sécurité, moyens spéciaux (appareils de levage, échafaudage, etc..), pièces de rechange.

1.6.3.1 *Rôle de l'ordonnancement en maintenance*

L'ordonnancement représente la fonction « chef d'orchestre ». Dans un service maintenance caractérisé par l'extrême variété des tâches en nature, en durée, en urgence et en criticité, l'absence du chef d'orchestre débouche vite sur la cacophonie quel que soit le brio des solistes. L'ordonnancement se situe entre la fonction méthode, chargée de la définition des tâches à effectuer et des moyens à mettre en œuvre, et la fonction réalisation chargée de leur exécution.

Le terme ordonnancement est souvent remplacé par le terme planification dans les entreprises. Mais pour nous et selon les normes, l'ordonnancement est une planification qui prend en compte les moyens et les ressources disponibles.

1.6.3.2 *Missions de l'ordonnancement*

Ayant la responsabilité de la conduite et de la synchronisation des actions de maintenance internes ou externalisées, la fonction ordonnancement a pour mission :

- De prévoir la chronologie du déroulement des différentes tâches ;
- D'optimiser les moyens nécessaires en fonction des délais et des chemins critiques ;
- D'ajuster les charges aux capacités connues ;
- De lancer les travaux au moment choisi, en rendant tous les moyens nécessaires disponibles ;
- De contrôler l'avancement et la fin des travaux ;
- De gérer les projets (prévision, optimisation logistique, avancement et respect des délais) ;
- D'analyser les écarts entre prévisions et réalisation.

Cela peut s'exprimer sous la forme : prévoir un instant t et un endroit x où un personnel p muni d'un outillage o et des matières m exécutera la tâche M en harmonie avec les autres travaux connexes.

1.7 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.

CHAPITRE 2

Les différents types de maintenance

2 Chapitre 2 : Les différents types de maintenance

2.1 Introduction

Pour les non-spécialistes, la maintenance suggère d'abord une action corrective sur un élément défectueux, **la maintenance corrective**, qui est en quelque sorte une première impression de la fonctionnalité.

Puis nous avons pensé qu'en le réparant avant qu'il ne tombe en panne, nous pourrions éviter une indisponibilité imprévue. Il suffit de remplacer régulièrement les pièces potentiellement défectueuses avant qu'elles ne deviennent défectueuses : c'est **la maintenance systématique.**

Un peu plus loin de la panne, de la boîte à outils (souvent la première image évoquée par le mot "maintenance"), on peut s'intéresser aux mécanismes de dégradation et aux manières de les observer. L'objectif est alors de restaurer l'actif uniquement si la menace de dégradation entraîne une défaillance à court terme. Ceci introduit **la maintenance préventive conditionnelle**. Des analyses et des moyens techniques plus élaborés conduisent à parler parfois de maintenance prévisionnelle qui n'est en fait qu'une maintenance conditionnelle sophistiquée permettant de pronostiquer plus finement l'instant de la défaillance.

2.2 Les concepts

L'analyse des différentes formes de maintenance repose sur 4 concepts :

- ⇨ **Les évènements qui sont à l'origine de l'action :** référence à un échéancier, la subordination à un type d'événement (auto diagnostic, information d'un capteur, mesure d'une usure, etc.), l'apparition d'une défaillance
- ⇨ **Les méthodes de maintenance qui leur seront respectivement associées :** maintenance préventive systématique, maintenance préventive conditionnelle, maintenance corrective.
- ⇨ **Les opérations de maintenance proprement dites :** inspection, contrôle, dépannage, réparation, etc.
- ⇨ **Les activités connexes :** maintenance d'amélioration, rénovation, reconstruction, modernisation, travaux neufs, sécurité, etc.

Cette réflexion terminologique et conceptuelle représente une base de référence pour :

- ⇨ L'utilisation d'un langage commun pour toutes les parties (conception, production, prestataires de services, etc.)
- ⇨ La mise en place de systèmes informatisés de gestion de la maintenance Structure générale d'un réseau industriel.

2.3 Les méthodes :

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.

Pour choisir, il faut donc être informé des objectifs de la direction, des directions politiques de maintenance, mais il faut 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.

Le diagramme de la figure 3 synthétise selon la norme NF EN 13306 les méthodes de maintenance.

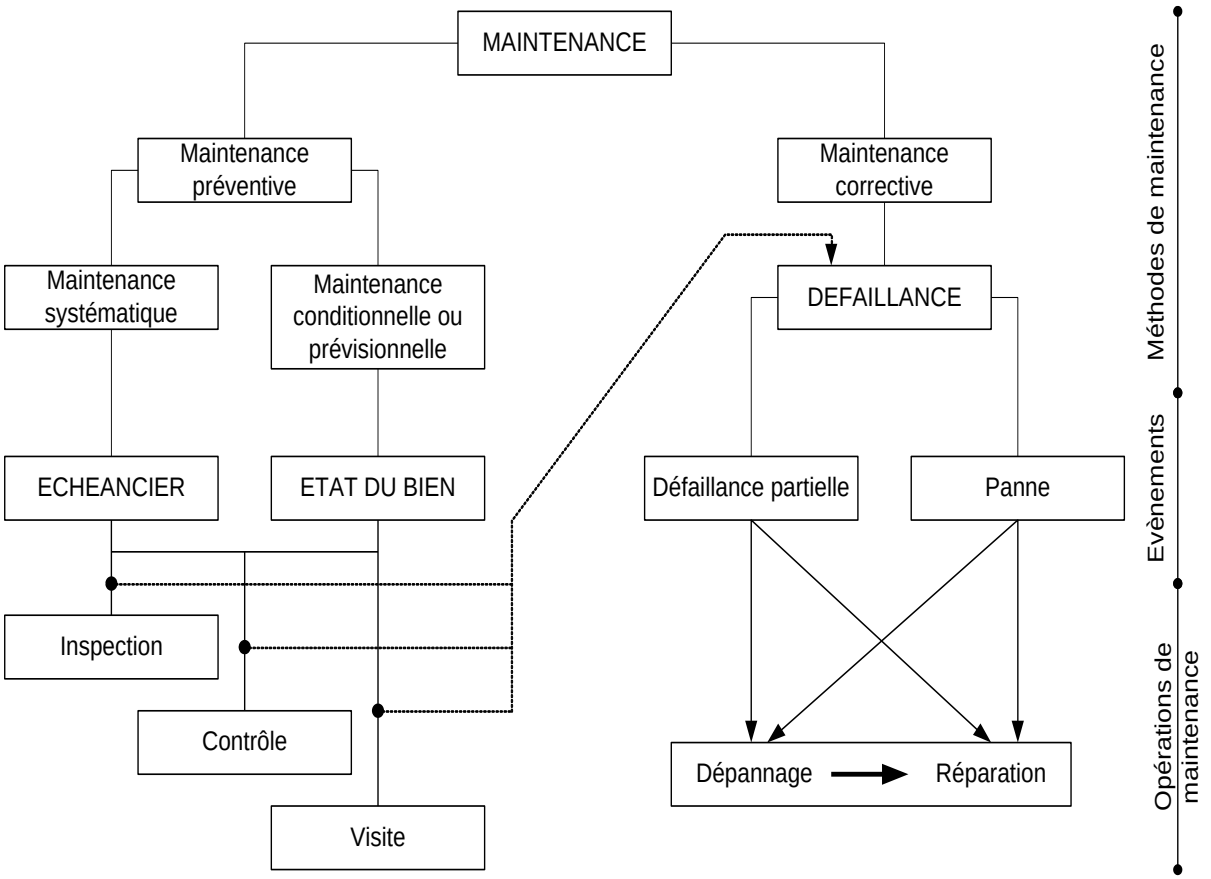


Figure 3 : Les différentes formes de la maintenance

2.3.1 La maintenance corrective :

Définitions (extraits normes NF EN 13306) :

Défaillance : altération ou cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise.

Il existe 2 formes de défaillance :

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.

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

Selon la norme NF EN 13306, la maintenance corrective peut être :

- ***Différée : maintenance corrective qui n'est pas exécutée immédiatement après la détection d'une panne, mais est retardée en accord avec des règles de maintenance données.***
- ***D'urgence : maintenance corrective exécutée sans délai après détection d'une panne afin d'éviter des conséquences inacceptables.***

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

2.3.1.1 *Les phases d'une intervention de maintenance corrective*

La figure ci-dessous montre les différentes phases d'une intervention type de maintenance corrective.

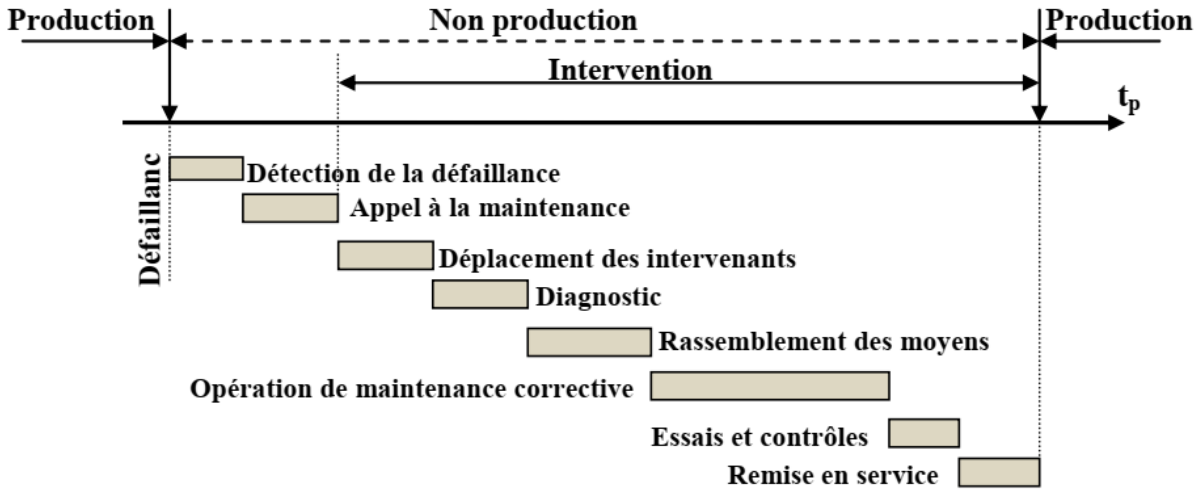


Figure 4 : Les phases d'une opération de maintenance corrective

1. **Détection de la défaillance** = Temps mis par l'utilisateur du système pour constater une dérive de fonctionnement.
2. **Appel à la maintenance** = Temps utilisé pour informer le service maintenance avec un minimum de détails (localisation, conséquences, premiers symptômes, ...).
3. **Déplacement des intervenants** = Temps nécessaire aux techniciens pour se rendre sur le lieu de la défaillance.
4. **Diagnostic** = Temps nécessaire aux techniciens de maintenance pour identifier la cause de la défaillance et organiser l'intervention (détection, localisation, analyse).

5. **Rassemblement des moyens** = Temps nécessaire aux techniciens de maintenance pour se fournir en outillages et pièces de rechanges.
6. **Opération de maintenance corrective (dépannage ou réparation)** = Temps nécessaire aux techniciens de maintenance pour remettre le système en état d'accomplir sa mission.
7. **Essais et contrôles** = Temps nécessaire aux techniciens de maintenance pour valider la remise à niveau de compétence du système.
8. **Remise en service** = Temps nécessaire aux techniciens de maintenance éventuellement associés à l'utilisateur pour permettre au système d'atteindre sa cadence nominale.

2.3.1.2 ***Diagnostic après défaillance***

1. Démarche de localisation.
   - □ Constater la défaillance ;
   - □ Identifier la fonction défaillante ;
   - □ Identifier et répertorier les composants liés à la non réalisation de la fonction et susceptibles d'être défaillants ;
   - □ Définir et hiérarchiser les hypothèses ;
   - □ Définir et réaliser les tests, mesures et contrôles permettant de valider ou non les hypothèses ;
   - □ En déduire l'élément défaillant.
2. Recherche des causes.
   - □ Analyser le mécanisme de défaillance ;
   - □ Identifier la cause de défaillance ;
   - □ Proposer un plan d'action (remède immédiat, préconisations …).

2.3.2 La maintenance préventive :

Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien (EN 13306 : avril 2001).

Elle doit permettre d'éviter les défaillances des matériels en cours d'utilisation. L'analyse des coûts doit mettre en évidence un gain par rapport aux défaillances qu'elle permet d'éviter.

2.3.2.1 ***Buts de la maintenance préventive***

- ⇨ Augmenter la durée de vie des matériels
- ⇨ 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 coûteuses de maintenance corrective
- ⇨ 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

On distingue deux types de maintenance préventive :

1. La maintenance préventive systématique : Les activités correspondantes à ce type de maintenance sont déclenchées selon un échéancier (période fixe) établi à partir d'un nombre prédéterminé d'unités d'usage.
2. La maintenance préventive conditionnelle : Les activités correspondantes à ce type de maintenance sont déclenchées selon des critères prédéterminés significatifs de l'état de dégradation réel du bien ou du service à travers des capteurs.

2.3.2.2 *La maintenance préventive 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 (EN 13306 : avril 2001).

Même si le temps est l'unité la plus répandue, d'autres unités peuvent être retenues telles que : la quantité de produits fabriqués, la longueur de produits fabriqués, la distance parcourue, la masse de produits fabriqués, le nombre de cycles effectués, etc.

Cette périodicité d'intervention est déterminée à partir de la mise en service ou après une révision complète ou partielle.

Ce type de maintenance se caractérise par :

- Une dégradation théorique probable : Elle représente la durée de vie théorique de l'entité
  donnée par le constructeur (exemple : la durée de vie théorique d'un roulement est de 2000 heures de fonctionnement).
- Une dégradation prévue : Elle représente la durée de vie estimé par l'exploitant (techniciens de la maintenance) en fonction du retour d'expérience (en prend par

exemple 1800 heures). Elle correspond à la périodicité TBF_i de changement systématique de l'organe.

L'écart entre la dégradation théorique probable et celle prévue par l'exploitant représente « la marge de sécurité » que l'en note par 'T_s'.

⇒ Plus la marge de sécurité (T_s) est importante plus l'exploitant risque une panne imprévue.

⇒ Plus la marge de sécurité (T_s) est faible plus l'exploitant échange une pièce presque neuve, ce qui entraînera un gaspillage de potentiel (pièce) plus important. Nous verrons au paragraphe suivant « la maintenance conditionnelle » un meilleur moyen de résoudre ce problème.

La périodicité (TBF_i) d'intervention systématique est déterminée par le service maintenance en exploitant l'historique des défaillances

A un certain seuil admissible recherché (correspondant à un échéancier TBF_i constant), un arrêt programmé par le service maintenance pour intervention systématique programmée.

TA : Temps d'arrêt pour une intervention de maintenance systématique.

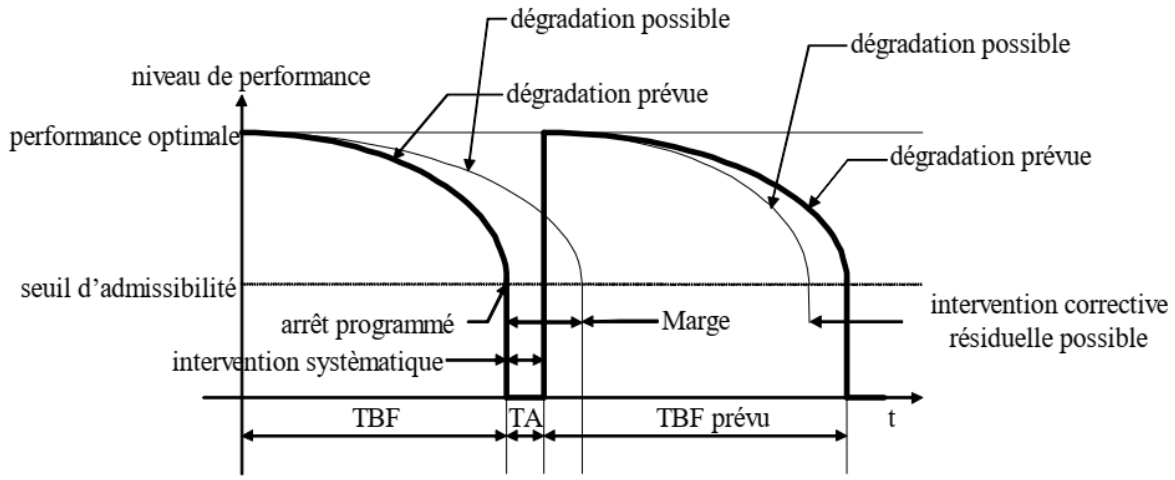


Figure 5 : Principe de la maintenance préventive systématique.

Remarque : de plus en plus, les interventions de la maintenance systématique se font par échanges standards.

Cas d'application :

- Equipements soumis à une législation en vigueur (sécurité réglementée) : appareils de levage, extincteurs, réservoirs sous pression, convoyeurs, ascenseurs, monte-charge, etc.

- Equipements dont la panne risque de provoquer des accidents graves : tous les matériels assurant le transport en commun des personnes, avions, trains, etc.
- Equipement ayant un coût de défaillance élevé : éléments d'une chaîne de production automatisée, processus fonctionnant en continu (industries chimiques ou métallurgiques).
- Equipements dont les dépenses de fonctionnement deviennent anormalement élevées au cours de leur temps de service : consommation excessive d'énergie, éclairage par lampes usagées, allumage et carburation déréglés (moteurs thermiques), etc.

Les activités de la maintenance préventive systématique.

Les activités de la maintenance préventive systématique se résument par la figure 6.

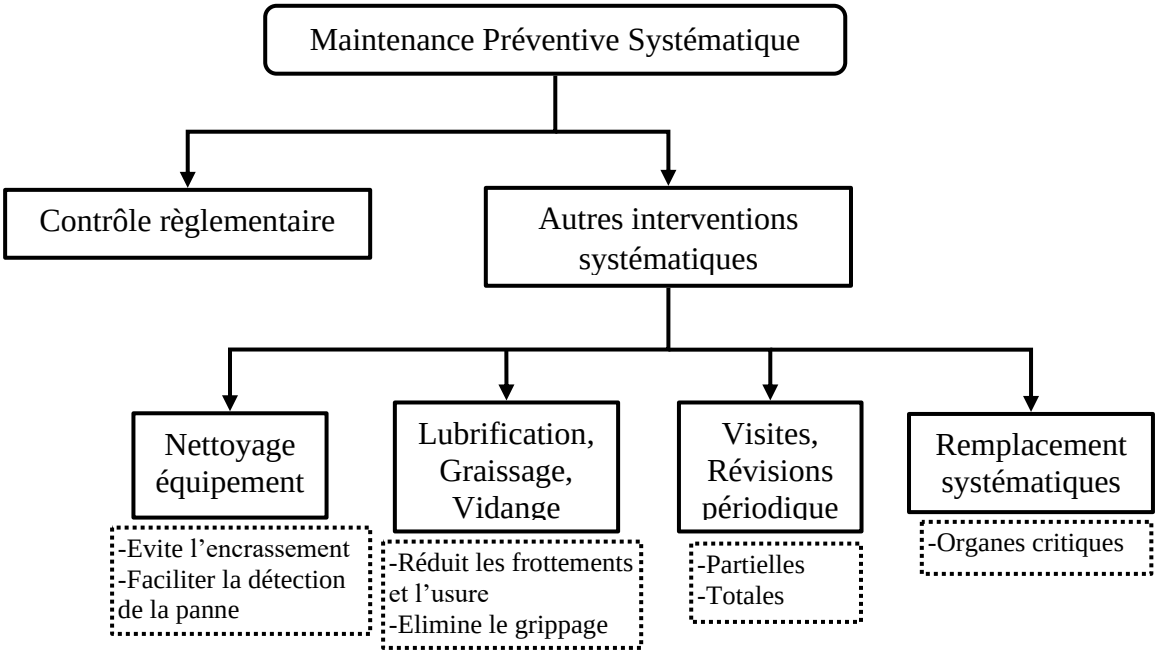


Figure 6 : Activités de la maintenance systématique.

2.3.2.3 ***La maintenance préventive conditionnelle :***

Maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent. La surveillance du fonctionnement et des paramètres peut être exécutée selon un calendrier, ou à la demande, ou de façon continue (EN 13306 : avril 2001).

Remarque : la maintenance conditionnelle est donc une maintenance dépendante de l'expérience et faisant intervenir des informations recueillies en temps réel.

La maintenance préventive conditionnelle se caractérise par la mise en évidence des points faibles. Suivant le cas, il est souhaitable de les mettre sous surveillance et, à partir de là, de décider d'une intervention lorsqu'un certain seuil est atteint. Mais les contrôles demeurent systématiques et font partie des moyens de contrôle non destructifs.

Tous les matériels sont concernés. Cette maintenance préventive conditionnelle se fait par des mesures pertinentes sur le matériel en fonctionnement.

Les paramètres mesurés peuvent porter sur :

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

De tous les paramètres énumérés, l'analyse vibratoire est de loin la plus riche quant aux informations recueillies. Sa compréhension autorise la prise de décisions qui sont à la base d'une maintenance préventive conditionnelle.

La surveillance est soit périodique, soit continue.

Avantage : la connaissance du comportement se fait en temps réel à condition de savoir interpréter les résultats. A ce niveau, l'informatique prend une place primordiale.

Le matériel nécessaire pour assurer la maintenance préventive conditionnelle devra être fiable pour ne pas perdre sa raison d'être. Il est souvent onéreux, mais pour des cas bien choisis il est rentabilisé rapidement.

Cette méthode de maintenance, pour être efficace, doit dans tous cas être comprise et admise par les responsables de production et avoir l'adhésion de tout le personnel.

Ces méthodes doivent être dans la mesure du possible standardisées entre les différents secteurs (production et périphériques) ; ce qui n'exclut pas l'adaptation essentielle de la méthode au matériel.

Avec l'évolution actuelle des matériels et leurs tendances à être de plus en plus fiables, la proportion des pannes accidentelles sera mieux maîtrisée. La maintenance préventive diminuera quantitativement d'une façon systématique mais s'améliorera qualitativement par la maintenance conditionnelle.

2.4 Les opérations de maintenance :

2.4.1 Les opérations de maintenance corrective :

A – Le dépannage :

Actions physiques exécutées pour permettre à un bien en panne d'accomplir sa fonction requise pendant une durée limitée jusqu'à ce que la réparation soit exécutée (EN 13306 : avril 2001).

B – La réparation :

Actions physiques exécutées pour rétablir la fonction requise d'un bien en panne (EN 13306 : avril 2001).

L'application de la réparation peut être décidée soit immédiatement à la suite d'un incident ou d'une défaillance, soit après un dépannage, soit après une visite de maintenance préventive conditionnelle ou systématique.

Remarque : la réparation correspond à une action définitive. L'équipement réparé doit assurer les performances pour lesquelles il a été conçu.

2.4.2 Les opérations de maintenance préventive :

- **Les inspections :** contrôles de conformité réalisés en mesurant, observant, testant ou calibrant les caractéristiques significatives d'un bien. En général, l'inspection peut être réalisée avant, pendant ou après d'autres activités de maintenance (EN 13306 : avril 2001).
- **Visites :** opérations de surveillance qui, dans le cadre de la maintenance préventive systématique, s'opèrent selon une périodicité déterminée. Ces interventions correspondent à une liste d'opérations définies préalablement qui peuvent entraîner des démontages d'organes et une immobilisation du matériel. Une visite peut entraîner une action de maintenance corrective.
- **Contrôles :** vérifications de conformité par rapport à des données préétablies suivies d'un jugement. Le contrôle peut :
    - Comporter une activité d'information
    - Inclure une décision : acceptation, rejet, ajournement
    - Déboucher comme les visites sur des opérations de maintenance corrective

Les opérations de surveillance (contrôles, visites, inspections) sont nécessaires pour maîtriser l'évolution de l'état réel du bien. Elles sont effectuées de manière continue ou à des intervalles prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou le nombre d'unités d'usage.

2.4.3 Autres opérations :

– Révision :

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

Il faut distinguer suivant l'étendue des opérations à effectuer les révisions partielles et les révisions générales. Dans les 2 cas, cette opération nécessite la dépose de différents sous-ensembles.

Le terme révision ne doit en aucun cas être confondu avec les termes visites, contrôles, inspections.

Les 2 types d'opérations définis (révision générale ou partielle) relèvent du 4ème niveau de maintenance (cf. paragraphe suivant).

2.5 Niveaux de maintenance :

La maintenance et l'exploitation d'un bien s'exercent à travers de nombreuses opérations, parfois répétitives, parfois occasionnelles, communément définies jusqu'alors en 5 niveaux de maintenance.

Le classement de ces opérations permet de les hiérarchiser de multiples façons. Ce peut être en fonction des critères suivants :

Définir qui fait quoi au regard de chacun des niveaux de maintenance :

- Le personnel de production ;
- Le personnel de maintenance en tenant compte de la qualification de l'intervenant ;
- Le personnel de l'entreprise ou un sous-traitant ;
- Une combinaison des 3.

Tableau 1 : Les niveaux de maintenance

Niveau	Nature	Personnel	Moyens
1er	Réglages simples au moyen d'éléments accessibles sans aucun démontage ou ouverture de l'équipement (dégagement d'un produit coincé, voyants, fusibles).	Opérateur	Outillage léger défini dans la notice d'utilisation.
2ème	Dépannages par échange standard des éléments prévus à cet effet et opérations mineures de maintenance préventive (graissages).	Technicien habilité.	Outillage de base et pièces de rechange sur place.

3ème	Identification et diagnostic de pannes, réparations par échange de composants (remplacement d'une clavette).	Technicien spécialisé.	Outillage prévu et appareils de mesure.
4ème	Travaux importants de maintenance corrective ou préventive sauf rénovation et reconstruction (remplacement d'un coffret électrique).	Equipe disposant d'un encadrement technique spécialisé.	Outillage spécifique.
5ème	Rénovation, reconstruction ou réparations importantes (mise en conformité).	Atelier central de maintenance, sous-traitance, constructeur.	Moyens proches de ceux de la fabrication.

2.6 Echelons de maintenance :

Il est important de ne pas confondre les niveaux de maintenance avec la notion d'échelon de maintenance qui spécifie l'endroit où les interventions sont effectuées. On définit généralement 3 échelons qui sont :

- La **maintenance sur site** : l'intervention est directement réalisée sur le matériel en place ;
- La **maintenance en atelier** : le matériel à réparer est transporté dans un endroit, sur site, approprié à l'intervention ;
- La **maintenance chez le constructeur** ou une **société spécialisée** : le matériel est alors transporté pour que soient effectuées les opérations nécessitant des moyens spécifiques.

Bien que les deux concepts de niveau et d'échelon de maintenance soient bien distincts, il existe souvent une corrélation entre le niveau et l'échelon : les opérations de niveaux 1 à 3, par exemple, s'effectuant sur site, celles de niveau 4 en atelier, et celles de niveau 5 chez un spécialiste hors site (constructeur ou société spécialisée).

2.7 Les activités connexes :

Ces activités complètent les actions de maintenance citées précédemment et participent pour une part non négligeable à l'optimisation des coûts d'exploitation.

2.7.1 La maintenance d'amélioration :

L'amélioration des biens d'équipements consiste à procéder à des modifications, des changements, des transformations sur un matériel. Dans ce domaine, beaucoup de choses

restent à faire. Il suffit de se référer à l'adage suivant : « on peut toujours améliorer ». C'est un état d'esprit qui nécessite une attitude créative. Cependant, pour toute maintenance d'amélioration une étude économique sérieuse s'impose pour s'assurer de la rentabilité du projet.

Les améliorations à apporter peuvent avoir comme objectif l'augmentation des performances de production du matériel ; l'augmentation de la fiabilité (diminuer les fréquences d'interventions) ; l'amélioration de la maintenabilité (amélioration de l'accessibilité des sous-systèmes et des éléments à haut risque de défaillance) ; la standardisation de certains éléments pour avoir une politique plus cohérente et améliorer les actions de maintenance, l'augmentation de la sécurité du personnel.

2.7.1.1 *La rénovation (extrait de la norme NF X 50-501, février 1982) :*

Inspection complète de tous les organes, reprise dimensionnelle complète ou remplacement des pièces déformées, vérification des caractéristiques et éventuellement réparation des pièces et sous-ensembles défaillants, conservation des pièces bonnes.

La rénovation apparaît donc comme l'une des suites possibles d'une révision générale.

2.7.1.2 *La reconstruction :*

Remise en l'état défini par le cahier des charges initial, qui impose le remplacement de pièces vitales par des pièces d'origine ou des pièces neuves équivalentes.

La reconstruction peut être assortie d'une modernisation ou de modifications.

Les modifications apportées peuvent concerner, en plus de la maintenance et de la durabilité, la capacité de production, l'efficacité, la sécurité, etc.

Remarque : Actuellement entre la rénovation et la reconstruction, se développe une forme intermédiaire : « la cannibalisation ». Elle consiste à récupérer, sur du matériel rebuté, des éléments en bon état, de durée de vie connue si possible, et à les utiliser en rechanges ou en éléments de rénovation.

2.7.1.3 *La modernisation :*

Remplacement d'équipements, accessoires et appareils ou éventuellement de logiciel apportant, grâce à des perfectionnements techniques n'existant pas sur le bien d'origine, une amélioration de l'aptitude à l'emploi du bien.

Cette opération peut aussi bien être exécutée dans le cas d'une rénovation, que dans celui d'une reconstruction.

La rénovation ou la reconstruction d'un bien durable peut donner lieu pour certains de ses sous-ensembles ou organes à la pratique d'un échange standard.

2.7.2 Les travaux neufs

L'adjonction à la fonction maintenance de la responsabilité des travaux neufs est très répandue, en particulier dans les entreprises de taille moyenne. Elle part du principe que, lors de tout investissement additionnel de remplacement ou d'extension, il est logique de consulter les spécialistes de la maintenance qui, d'une part, connaissent bien le matériel anciennement en place, et d'autre part auront à maintenir en état de marche le matériel nouveau. A partir de là, on prend souvent la décision de leur confier l'ensemble des responsabilités de mise en place des nouvelles installations. On crée alors un service appelé **« maintenance-travaux neufs ».**

L'étendue des responsabilités en matière de travaux neufs est très variable d'une entreprise à l'autre. Il peut s'agir de la construction d'un quai ou d'un bâtiment, de la mise en place d'une machine achetée à l'extérieur (raccordement à la source d'énergie, etc.), ou même de la réalisation intégrale de la machine elle-même. Dans certains cas les « travaux neufs » auront recours à la fabrication de l'entreprise qui réalisera les commandes passées par eux-mêmes.

Notons que même si la fonction maintenance ne se voit pas adjoindre la fonction « travaux neufs », le service s'occupera des installations succinctes du type modifications (réfection d'un bureau, etc.).

2.7.3 La sécurité

La sécurité est l'ensemble des méthodes ayant pour objet, sinon de supprimer, du moins de minimiser les conséquences des défaillances ou des incidents dont un dispositif ou une installation peuvent être l'objet, conséquences qui ont un effet destructif sur le personnel, le matériel ou l'environnement de l'un et de l'autre.

Sachant qu'un incident mécanique, une panne, peuvent provoquer un accident, sachant aussi que la maintenance doit maintenir en état le matériel de protection ou même que certaines opérations de maintenance sont elles-mêmes dangereuses, il apparût que la relation entre la maintenance et la sécurité est particulièrement étroite.

Pour toutes ces raisons ainsi que pour sa connaissance du matériel, le responsable de la maintenance devra participer aux réunions du Comité d'Hygiène et de Sécurité (CHS) en qualité de membre ou à titre d'invité, et développer sa collaboration avec l'ingénieur sécurité lorsque l'entreprise en possède un.

Dans une entreprise moyenne où la sécurité n'a pas de service propre, on trouve normal de faire appel au service maintenance pour les interventions concernant la sécurité. Celles-ci sont de deux ordres :

- ⇨ D'une part celles que l'on peut classer dans la sécurité « officielle ». C'est la tenue des registres concernant les chaudières, les visites d'appareils à pression, le contrôle des installations électriques, etc., la tenue des dossiers des rapports de visite de l'inspecteur du Travail, du contrôleur de la Sécurité sociale, etc.
- ⇨ D'autre part celles qui, tout en s'inspirant des premières, les appliquent dans un contexte précis.

CHAPITRE 3
La gestion des moyens

3 Chapitre 3 : La gestion des moyens

3.1 Introduction :

Au sein de cette fonction de gestion, il existe des tâches qui fournissent les moyens nécessaires aux activités de maintenance. Il s'agit d'une fonction transversale où chaque partie prenante est impliquée à des degrés et à des niveaux différents. Elle va également fournir au management des données économiques qui vont l'aider à prendre des décisions.

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

Un système de gestion de la maintenance implanté adéquatement a un impact important à différents niveaux, tels que l'infrastructure, les ressources (humaines et matérielles), la gestion des pièces de rechange, la gestion de l'outillage, l'inventaire et la sécurité.

3.2.1 L'impact de la gestion sur le plan infrastructure :

Sur le plan de l'infrastructure, l'implantation du système de gestion 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.

3.2.2 L'impact de la gestion sur le plan des ressources :

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 de maintenance 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.

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.

3.2.3 L'impact de la gestion sur le cout de la production :

Le système de la gestion de la maintenance a un impact très important sur le cout de la production, 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.

3.2.4 L'impact de la gestion sur le plan de la sécurité :

L'implantation d'un système de gestion de la maintenance sur le plan de la sécurité 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.

3.3 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 7, comporte quatre étapes aussi importantes les unes que les autres.

- La première étape concerne la réception du matériel et la documentation.
- La deuxième étape 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),
- La troisième étape présente le processus de maintenance telles que la planification des interventions, les procédures de détection des défaillances, l'exécution et le suivi de l'intervention.
- La dernière étape concerne la réalisation et le suivi de l'opération de maintenance.

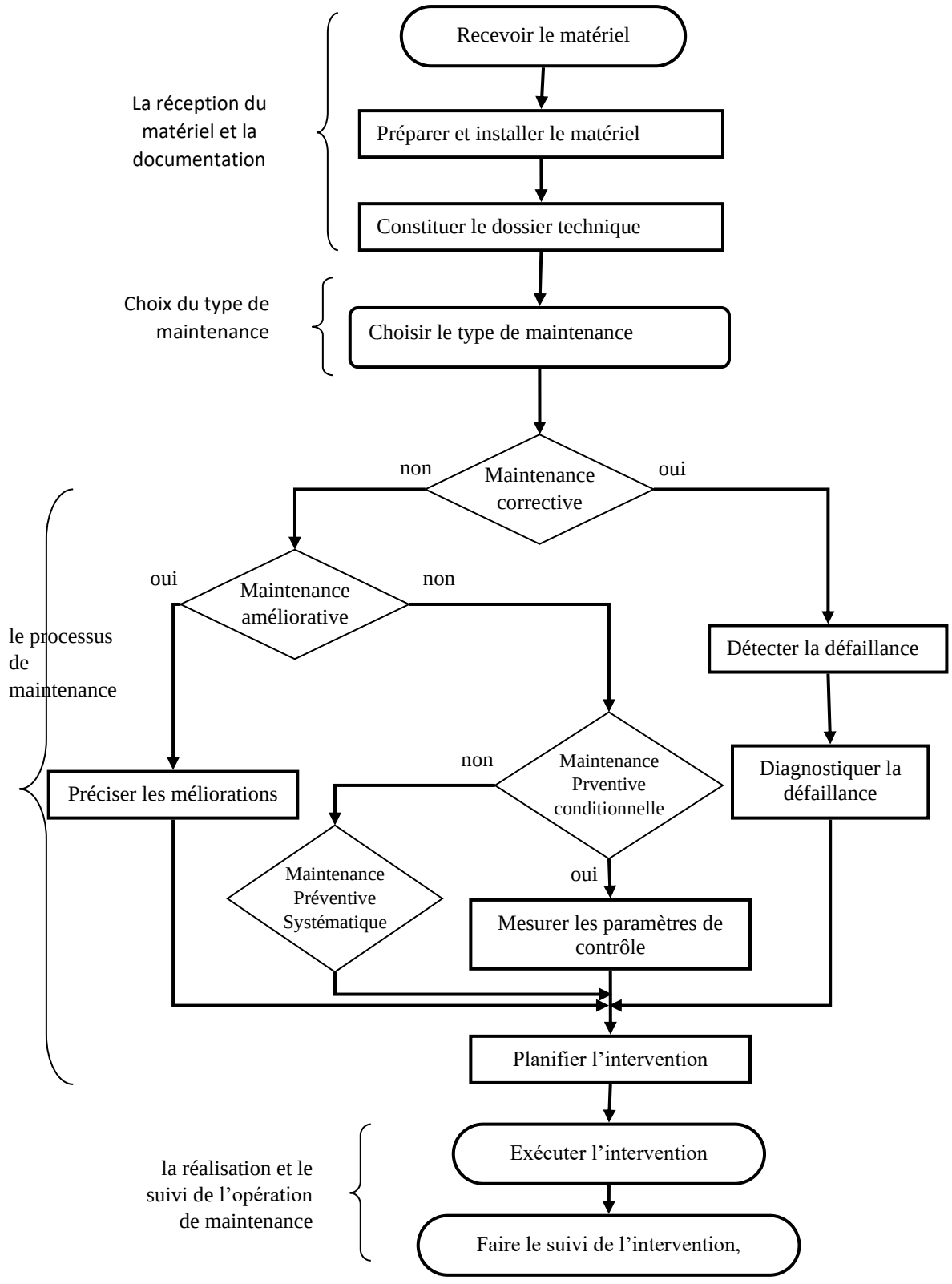


Figure 7 : Le système de gestion de la maintenance

3.4 La gestion des flux d'information

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.

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.

3.4.1 Rôle du système d'information dans la maintenance

Un système de gestion de la maintenance génère un volume important d'informations (figure 8). 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.

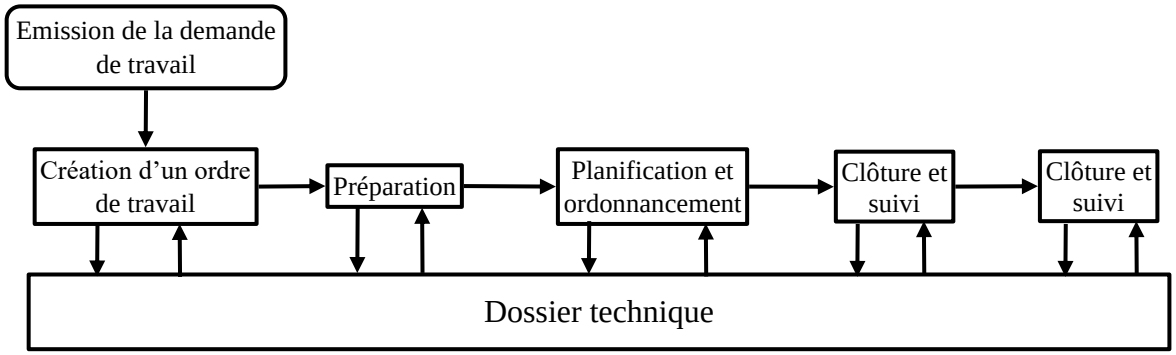


Figure 8 : La procédure de traitement d'une demande de travail

Le système d'information et de décision a pour mission de planifier et d'ordonnancer 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 9 présente une schématisation des flux d'information entre les différents acteurs du système de gestion de la maintenance.

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.

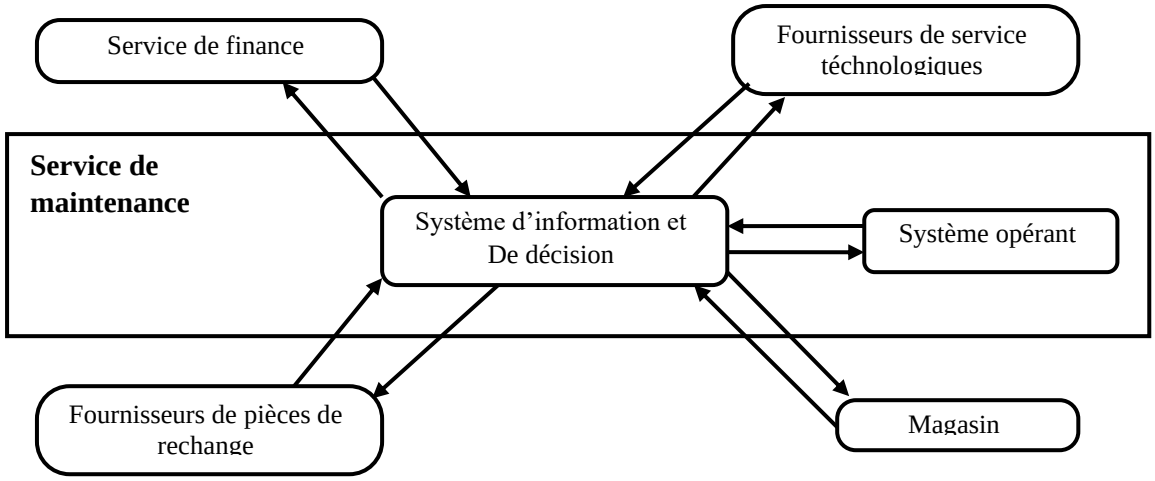


Figure 9 : Le flux d'information à travers le service de maintenance

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.

Chapitre 4 : Les outils de la maintenance

4 Chapitre 4 : Les outils de la maintenance

4.1 Documentation :

Tous les acteurs de la fonction maintenance reconnaissent que la documentation joue un rôle très important dans la conception et la mise en œuvre des opérations de maintenance des actifs. Il en va de même pour ses opérations quotidiennes. Encore faut-il comprendre ce que signifie la documentation. En effet, le document doit être adapté aux besoins qui peuvent être ressentis par les personnes concernées. En particulier, une grande attention doit être portée à tous les documents intrinsèquement liés à l'équipement, communément appelés "***Documents d'Exploitation et de Maintenance***".

Cependant, pour atteindre ses objectifs et remplir sa mission, la fonction maintenance doit être documentée dans divers autres documents, qu'ils soient de nature générale ou adaptés au fonctionnement et à la gestion de la fonction.

Par conséquent, dans le cadre d'une sous-fonction de la fonction de maintenance, il vous est demandé de considérer tous les aspects de ces besoins de documentation. Facilité la documentation. C'est généralement la responsabilité des méthodes de maintenance.

4.2 Le système documentaire :

Aucune action technique importante ne peut se faire en maintenance sans référence documentaire. Un des rôles essentiels de la fonction maintenance est « **d'assurer la maîtrise de la documentation relative aux équipements** » avec pour objectif principal la connaissance technologique et opérationnelle des équipements.

Cet objectif permet :

- Une préparation d'interventions plus sûres et plus efficaces
- Une aide aux agents de maintenance
- Une traçabilité des activités de terrain à des fins d'amélioration de l'organisation
- Une analyse du comportement des matériels à des fins d'améliorations techniques et d'optimisation économique

La GMAO (la gestion de maintenance assisté par ordinateur), par sa capacité de mémorisation et de traitement rapide des données sera l'élément essentiel de la maîtrise de la documentation.

La qualité du système documentaire en maintenance est une condition nécessaire à la qualité de la maintenance.

Il appartient donc au service maintenance de développer son propre système documentaire en cohérence avec les procédures du système d'assurance qualité (AQ) de l'entreprise.

En particulier, dans le cadre de la nouvelle certification ISO 9000, la norme a identifié deux procédures de base :

- PGM (procédure générale de maintenance) : Cette procédure comprend les étapes suivantes :
    1. Nécessité de l'entretien de l'équipement ;
    2. Dresser la liste des équipements ;
    3. Établir un calendrier d'investigation ;
    4. Mise en œuvre de l'enquête ;
    5. Établir un calendrier d'entretien ;
    6. Estimation du matériel ;
    7. Mise en œuvre ;
    8. Mise à jour des fichiers.
- PQE (plan qualité de l'équipement): voici ce que peut apporter une bonne gestion de d'un équipement :
    - Un gain de temps ;
    - Une optimisation des coûts ;
    - Une plus grande supervision et une meilleure maîtrise des risques ;
    - Plus de sécurité de l'environnement de travail pour les opérants et moins d'accidents ;
    - Le respect des délais de production ;
    - L'assurance de la qualité du produit fabriqué, grâce à des ajustements périodiques ;
    - La garantie de la conformité du produit, grâce à un suivi des évolutions réglementaires ;
    - La préservation de l'environnement, etc.

4.3 Définitions préalables :

Document d'entretien : Informations détenues sous forme écrite ou électronique nécessaires pour effectuer des travaux de maintenance.

Les fonctions maintenance nécessitent un flux d'informations approprié entre les différents nœuds de l'organisation interne. La documentation est donc pertinente à tous les niveaux du service de maintenance :

- ☐ Dossiers techniques pour la préparation d'interventions plus efficaces et plus sûres,
- ☐ Modes opératoires pour les interventions proprement dites,
- ☐ Dossiers historiques pour la politique de maintenance à mettre en place (traçabilité des interventions et analyse du comportement des équipements),
- ☐ Catalogues constructeurs pour la gestion du stock maintenance,

La figure 10 montre la structure générale d'un document de service de maintenance.. Cette documentation se décompose en deux grandes parties : la documentation générale et la documentation stratégique.

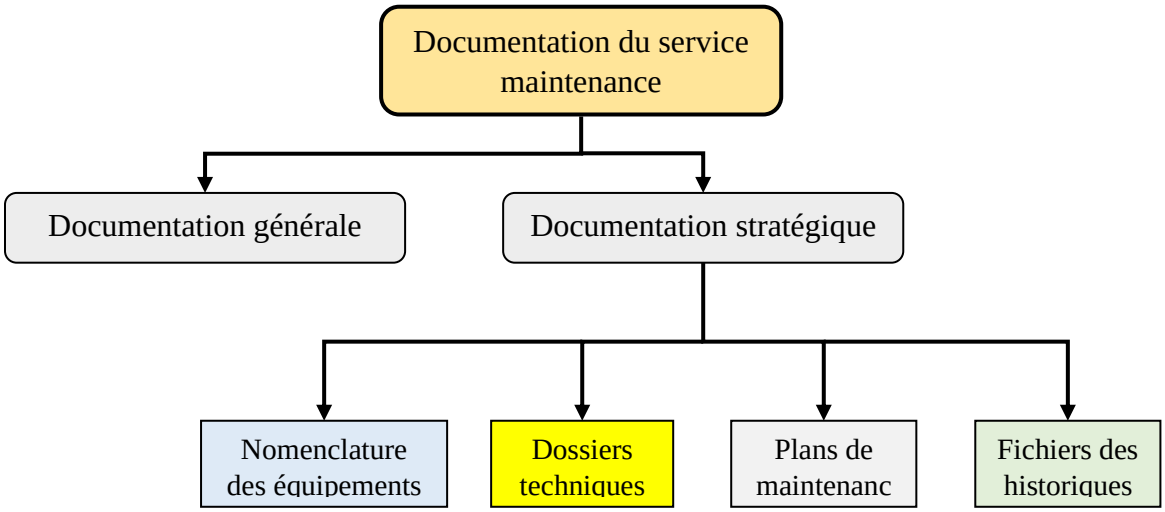


Figure 10 : Structure de la documentation du service maintenance

4.3.1 Documentation générale :

Le service de maintenance doit être doté d'un service de documentation générale régulièrement mis à jour. Cela inclut toute la documentation technique non liée à un appareil spécifique, mais nécessaire au personnel de service pour répondre à des questions techniques plus générales. Elle contient en particulier :

- ❖ Tous les ouvrages de technique fondamentale (mécanique, électricité, hydraulique, pneumatique, thermique) où l'on trouvera les formulaires et abaques nécessaires au dimensionnement rapide d'éléments techniques ou de composants ;
- ❖ Des ouvrages plus spécialisés, destinés à des lecteurs plus avertis, et très utiles lorsqu'on veut conduire une étude d'amélioration et de fiabilisation d'un équipement.

D'autre part, ce service doit être abonné à :

- ❖ Toutes les revues techniques et articles de conférences permettant d'effectuer une « veille technologique » (par exemple « Maintenance et entreprise », « Production Maintenance, « Usine Nouvelle », « Mesures », « Contrôle », etc.),
- ❖ Toutes les normes (internationales si possible, nationales) et conventions ou « habitudes » d'entreprise (par exemple « normes ISO », « normes AFNOR »).
- ❖ Les catalogues de fournisseurs.

4.3.2 Documentation stratégique :

Elle se décompose en quatre grandes parties, voir figure 11 :

- ➢ La nomenclature des équipements ou inventaire du parc matériel,
- ➢ Le dossier technique des équipements (DTE),
- ➢ Le plan de maintenance des équipements,
- ➢ Le fichier des historiques.

Rappelons en effet que mettre en place un système qualité, et en ayant en tête la roue de Deming (PDCA), c'est :

- o Ecrire ce que l'on va faire (définition des procédures : préparation des interventions = Plan),
- o Faire ce que l'on a écrit (intervention maintenance = Do),
- o Ecrire ce que l'on a fait (traçabilité) et analyser le retour d'expérience = Check
- o Acter, c'est-à-dire standardiser = Act et améliorer.

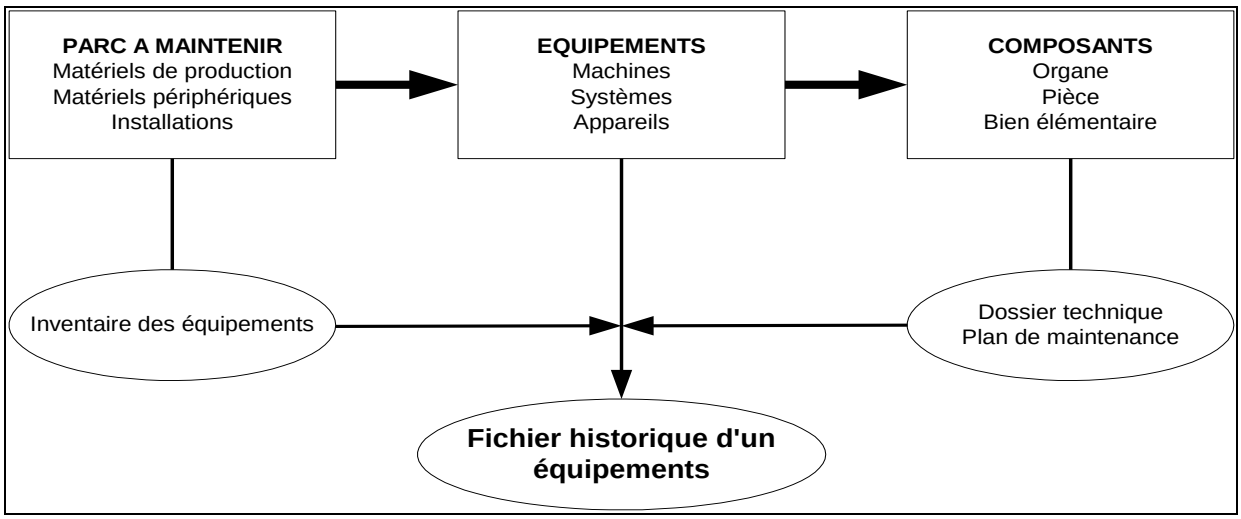


Figure 11 : Les éléments de base d'un système documentaire

4.3.3 Nomenclature des équipements :

Tous les matériels et biens durables de l'entreprise doivent être inventoriés, classés et organisés pour former une nomenclature. Une telle nomenclature facilite l'établissement des budgets de maintenance, la mise en œuvre des plans de maintenance préventive et les pratiques générales de maintenance.

4.3.4 Le dossier technique équipement (DTE)

L'efficacité du travail de préparation du bureau des méthodes maintenance et des équipes d'intervention repose sur une bonne connaissance des équipements à maintenir : connaissance du matériel (origine, technologies, performances) et connaissance de sa santé (défaillances, actions correctives et préventives). L'état de santé sera déterminé à partir de l'historique.

Le DTE appelé aussi « dossier machine » a pour vocation de mettre à disposition de la maintenance toutes les informations relatives à l'équipement et susceptibles d'aider les préparateurs et les intervenants. Le DTE est généralement composé de 2 ou 3 parties :

- Le dossier constructeur, avec toutes les informations d'origine, négociées et fournies par le constructeur ;
- Le dossier interne, établi et mis à jour par la maintenance ;
- Le plan de maintenance qui peut être ou non intégré au DTE.

Le DTE devant être opérationnel, il doit présenter les informations :

- Sous la forme la plus utile à leur exploitation en préparation ou en intervention ;
- Proportionnellement à la « criticité » de l'équipement : un touret à meuler n'a pas besoin du même DTE que la machine « goulet d'étranglement » de la production.

Ce dossier énumère et définit l'ensemble complet des documents et renseignements à prendre en considération lors de l'acquisition d'un bien afin de rendre possible l'organisation de sa maintenance, comme indiqué dans le tableau 2.

Tableau 2 : Documents normatifs

Nom machine	**Code machine**
Repère	**Titre des rubriques**
1	Données techniques
2	Manuel de mise en œuvre
3	Manuel de maintenance
4	Liste des composants
5	Dispositions
6	Détail
7	Schéma de graissage
8	Schéma unifilaire
9	Schéma logique
10	Schéma électrique

11	Plan des tuyauteries et des instruments
12	Emplacement
13	Plan de masse
14	Rapport du programme d'essai
15	Certificats

Le DTE est un excellent outil de travail pour les préparateurs de maintenance, mais c'est aussi un formidable outil pour les équipes opérationnelles. La GMAO permet de l'informatiser complètement. Certains logiciels de PAO (publication assistée par ordinateur), interfaçables avec les GMAO, permettent d'obtenir des schémas en 3D, des perspectives éclatées, etc.

4.3.5 Plan de maintenance d'un équipement

Cela vient de la phase opérationnelle du cycle de vie, la phase où la maintenance est effectuée. Il est donc riche en informations et il appartient à chaque entreprise de le produire. Le plan de maintenance ne doit contenir que ce qui est strictement nécessaire au travail quotidien de l'équipe de maintenance. L'objectif est d'adapter la documentation à la notion de risque (perte de disponibilité des appareils). Limitez le temps perdu lors des interventions et gérez plus efficacement l'espace documentaire.

Cela signifie qu'un plan de maintenance trop riche ou trop perfectionné, donc très coûteux, peut aller à l'encontre des bonnes intentions. Il faut alors sélectionner ses documents : inutile de créer le plan de maintenance d'un équipement qui ne tombe jamais en panne. Pour mettre en évidence les équipements à risque, on effectue une étude de criticité.

4.3.5.1 *Définitions*

- **Mode opératoire (MO)** : ensemble des étapes séquentielles à suivre, afin d'exécuter une opération de maintenance, depuis les activités préparatoires, comme l'étude et les politiques de définition, jusqu'à l'analyse lorsque le travail est terminé et jusqu'à la définition des actions à entreprendre pour améliorer des cas futurs similaires.
- **Bon de travail (BT)** : document contenant toutes les informations relatives à une opération de maintenance et les références à d'autres documents nécessaires à l'exécution du travail de maintenance.
- **Bon de mouvement (BM)** : document permettant au logisticien de suivre les mouvements d'un équipement mobile.
- **Bon de sortie magasin (BSM)** : document qui permet au maintenancier de sortir un équipement ou un composant du magasin ; il permet aussi au magasinier de comptabiliser et de suivre le stock des pièces de rechange.
- **Cahier de marche d'un équipement de production** : document mis à la disposition des opérateurs pour noter tous les incidents de fonctionnement. L'opérateur commence

son activité par l'ouverture de ce cahier et prend connaissance des incidents survenus pendant le poste précédent. Il termine son poste en fermant ce cahier après l'avoir complété éventuellement. Il appartient ensuite au maintenancier de venir consulter régulièrement ce cahier.

- **Fiche d'intervention technique** : Elle sert de liaison entre le technicien de maintenance et les « méthodes maintenance ». Elle indique en particulier les opérations réalisées, les pièces de rechange et les consommables utilisés, etc.
- **Fiche de suivi d'un équipement** : elle permet de retracer tous les évènements survenant pendant la phase opérationnelle de l'équipement. C'est la notion d'historique que nous traiterons à part.
- **Liste des articles consommables** : recueil contenant la référence de tous les composants prévus pour être consommés pendant l'utilisation normale de l'équipement. Ces articles sont conçus de telle sorte qu'ils ne soient pas réparables ou qu'ils disparaissent pendant l'utilisation de l'équipement.
- **Liste de pièces d'usure** : liste contenant la référence de toutes les pièces prévues pour s'user pendant l'utilisation normale de l'équipement. Ces articles peuvent être réparables ou non réparables. La connaissance des pièces d'usure permet une gestion optimisée des stocks de pièces de rechange.
- **Liste des pièces de rechange** : liste contenant la référence de toutes les pièces prévues pour être échangées suite à une usure ou une détérioration pendant l'utilisation normale de l'équipement. Ces articles peuvent être réparables ou non réparables.
- **Liste des articles non consommables** : recueil contenant la référence de tous les composants prévus pour la remise en état de l'équipement avant réutilisation. Ces articles sont conçus de telle sorte qu'ils soient réparables au cours du cycle de vie de l'équipement.

4.3.6 Fichier historique de l'Equipement

- C'est la partie de la documentation de maintenance qui enregistre les défaillances, pannes et informations relatives à la maintenance d'un bien. L'historique d'un équipement est donc l'équivalent du « carnet de santé » des individus. Elle retrace la vie du matériel en indiquant chronologiquement tous les faits marquants de maintenance ainsi que les améliorations qui auront été apportées à l'équipement depuis sa mise en service. Le technicien de maintenance se doit de connaître les évolutions d'un matériel pour les raisons suivantes :

- Certains faits passés peuvent très bien expliquer une défaillance quelques mois, voire quelques années plus tard ; l'historique est donc la mémoire technique de l'équipement.
- L'historique va permettre de conduire et de réaliser des études de fiabilisation et d'amélioration de l'équipement, au regard de toutes les interventions sur celui-ci.

Le fichier historique a donc une importance vitale pour la maintenance de l'équipement ; il doit être « vivant », c'est à dire mis à jour régulièrement :

- □ Il doit être commencé dès l'installation de l'équipement car les défaillances de jeunesse peuvent contribuer à la recherche des causes des défaillances plus tardives.
- □ Tous les événements sont systématiquement consignés, même les plus anodins ; il est toujours plus simple de se rappeler d'une grosse panne que d'une micro défaillance répétitive qui engendrera à terme une défaillance grave ; en effet, la micro défaillance, le dérèglement passager d'un paramètre deviennent rapidement des habitudes ; or, il est prouvé qu'elles sont génératrices de perte de disponibilité, donc de productivité moindre et bien sûr de non-qualité.
- □ Lorsqu'une défaillance survient, il faut noter tout ce qui s'est passé (date, relevé du compteur machine en heures ou unités d'usage, effets, causes analysées, remèdes apportés, temps d'arrêt de l'équipement, temps consacré à l'intervention, pièces remplacées) ; la date est importante car une défaillance peut toujours arriver au même moment d'une journée, d'une période ou d'une saison.
- □ Il faut également consigner les conditions de fonctionnement du processus (type de matière d'entrée, conducteur de la machine, valeurs des paramètres de fonctionnement : température, vitesse, débit, pression, vibrations, etc..).

4.4 Gestion de stock et approvisionnement

4.4.1 Le stock maintenance

C'est l'ensemble des articles stockés, nécessaires à la réalisation optimale de la fonction maintenance, c'est à dire dans les meilleures conditions de délais, de coûts et de sécurité (NF X 60-000).

Le stock maintenance est constitué, selon la politique de maintenance de l'entreprise :

1) Par les **articles appartenant à la nomenclature des biens à maintenir** selon le niveau de maintenance défini par l'entreprise.
2) Par les articles tels qu'**outils, outillages ou équipements nécessaires à la réalisation des travaux de maintenance**.

Les articles du stock maintenance peuvent être classés par exemple suivant leur nature :

- Consommables : fusibles, joints, visserie, huiles, etc.
- Pièces de rechanges : capteurs, moteurs, courroies, roulements, vérins, etc.
- Outillages classiques : outillage courant de l'agent de maintenance, équipements de graissage, appareils de mesure, etc.
- Outillages spéciaux : engins de levage, caméra de thermographie infrarouge, analyseur vibratoire, etc.

Il est nécessaire de faire une distinction au niveau des pièces de rechange :

- D'une part celles qui sont **spécifiques** à un matériel et qui ne peuvent être acquises que chez le constructeur du bien.
- D'autre part celles qui sont **banalisées**, qui peuvent se monter sur plusieurs matériels et qui peuvent être acquises chez différents fournisseurs.

Les pièces spécifiques entrant en compte dans la sécurité des personnes et des biens doivent être parfaitement identifiées et faire l'objet d'un suivi rigoureux.

4.4.2 La fonction approvisionnements

La « fonction approvisionnements » est responsable de la satisfaction des besoins exprimés en matières premières, composants et fournitures nécessaires pour la réalisation des opérations de fabrication et de maintenance de l'entreprise.

Un approvisionnement se déroule généralement suivant le schéma ci-dessous.

L'ensemble des activités relatives à un approvisionnement doit être réalisé en temps opportun et avec un coût global minimum.

La structure générale de la fonction approvisionnements met en évidence 2 sous fonctions : les achats et la gestion des stocks.

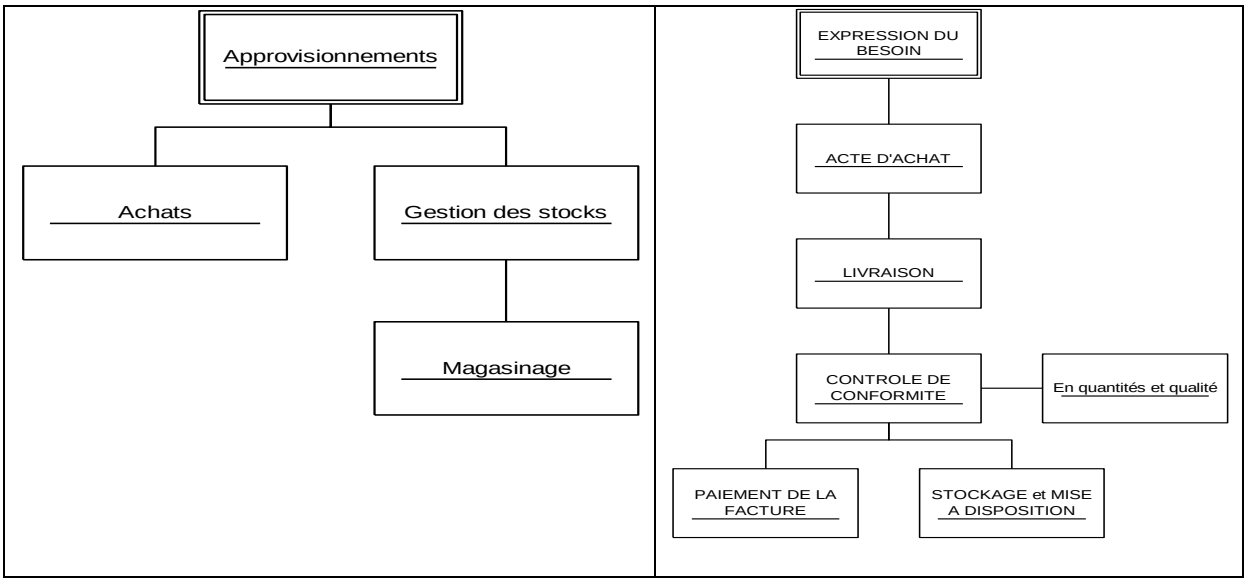


Figure 12 : La procédure de l'approvisionnement

4.5 Planification de la maintenance

4.5.1 Planification des travaux de maintenance préventive

L'augmentation de la part de la maintenance préventive au détriment de celle de la maintenance corrective permet de planifier les activités de maintenance, de maîtriser au lieu de subir.

Les opérations journalières, hebdomadaires, mensuelles et annuelles sont définies dans des plans de maintenance ; la maintenance journalière (graissage, contrôle…) est plutôt confiée au personnel de production tandis que la maintenance annuelle, généralement constituée d'opérations lourdes et fortement techniques, est plutôt effectuée par le personnel de maintenance. Une maintenance planifiée permet à la production d'organiser la fabrication en tenant compte d'arrêts de maintenance prévus à l'avance ; les deux activités, maintenance et production, ne sont plus concurrentes mais partenaires pour l'utilisation de la ligne. Une maintenance planifiée permet également une meilleure gestion du stock de pièces de rechange : celles-ci ne sont approvisionnées qu'au moment voulu pour effectuer l'intervention.

4.5.2 Planification des charges

C'est une répartition annuelle homogène pour tous les arrêts, sauf l'arrêt annuel et l'arrêt de fin de production, afin de respecter les moyens en personnel dont dispose la réalisation (capacité des charges des ateliers).

La planification devra tenir en compte des contraintes suivantes :

- La charge effective de l'ensemble des travaux définis dans chaque fiche de maintenance préventive ;
- La périodicité des opérations ;

- La durée effective du temps de travail (6 heures par poste);
- Les conditions d'intervention telles que l'accessibilité, la localisation, les règles de sécurité ;
- La politique du service de maintenance, de production ou de l'entreprise.

4.6 Tableaux de bord

4.6.1 Définitions

Le tableau de bord caractérise l'état et l'évolution des matériels et du service maintenance. Il doit pouvoir mesurer l'efficacité de la politique de maintenance et justifier ainsi la mise en place de la maintenance préventive. Cet outil de synthèse est composé des éléments suivants :

- Indicateur : valeur quantifiant d'une situation, un résultat ou un état, pour une période donnée ;
- Ratio : indicateur relatif ou rapport d'une valeur réelle et d'une valeur référence. Il est exprimé en pourcentage ;

4.6.2 Nécessité d'indicateurs et de tableaux de bord :

L'importance de la quantification de la maintenance, au même titre que les autres grands postes de l'entreprise, doit amener les responsables de maintenance à choisir et à utiliser des indicateurs caractéristiques et significatifs afin de connaître la situation (financière, matérielle et en personnels) de leur service et de justifier toutes les actions passées, en cours et à venir ; ces indicateurs devant s'appuyer sur des données explicités.

L'utilisation de ces indicateur doit donc permettre de fixer des objectifs tant aux niveaux économique, technique, humain et de suivre les résultats pour apprécier les écarts et les analyser. Les indicateurs constituent dons des outils indispensables pour une gestion efficace de l'outil de production et de la fonction maintenance :

- Amélioration de la productivité
- Tenue et justification des objectifs
- Mise en évidence des points faibles
- Aide à la décision lors de changements de matériels
- Etc.

4.6.3 Gérer la maintenance a partir de tableaux de bord :

4.6.3.1 *Principe et mise en forme :*

Appliquée à la maintenance, l'utilisation de tableaux de bord permet de conduire vers une disponibilité maîtrisée des équipements et / ou vers une réduction des coûts par la connaissance des évènements et des activités du service.

Ces évènements et activités étant paramétrées et mesurées à un instant t1, le tableau de bord doit permettre au responsable d'effectuer l'analyse à la situation t1, d'en déduire des axes d'actions puis de vérifier à t2 s'ils ont été efficaces ou non.

Le tableau de bord est donc un outil d'aide à l'analyse objective des résultats obtenus dans la situation de la période t1 pour cibler des objectifs à atteindre à l'horizon t2 ; puis pour vérifier à l'instant t2 si ces résultats ont été atteints ou non. Ces résultats sont mis sous la forme d'indicateurs facilitant l'analyse et l'interprétation.

La mise en forme de ces indicateurs nécessaires à décrire une situation doit faciliter la réflexion du décideur. Les indicateurs doivent donc être :

- Globalisés pour synthétiser la masse des informations saisies puis sélectionnées
- Peu nombreux, mais descriptifs de la fonction à piloter
- Simples, visuels, clairs pour être facilement compréhensibles et interprétables
- Objectifs pour donner une image incontestable d'une situation
- Structurés suivant l'objectif à atteindre
- Sélectionnés : trop d'informations nuisent à l'analyse mais pas assez ne permet pas une description complète de la situation
- Etablis sur une période de référence identifiée et significative

4.6.3.2 *Les différentes formes possibles d'indicateurs :*



Regardons un tableau de bord d'une voiture : des indicateurs numériques (témoin de niveau d'huile) côtoient des indicateurs analogiques (fréquence de rotation du moteur).

Une indication numérique 0/1 (lampe témoin) convient à la description d'un état (alarme, seuil) mais pas à une analyse de situation.

Par contre, n'importe quelle valeur mesurée analogique est une indication de situation : n = 7500 tr/min. Elle devient alors plus intéressante à interpréter dès lors qu'elle permet une réflexion tirée d'une dérive par rapport à une valeur de référence (n maxi = 6000 tr/min) ou une évolution temporelle mise en évidence par un graphe.

Le phénomène « la fréquence de rotation moteur est supérieur à la fréquence maxi admissible » mérite un diagnostic suivi de mesures correctives. Autrement dit, l'indicateur analogique « valeur mesurée » n'a pas une grande signification en valeur absolue, mais devient intéressante en valeur relative :

- Sous forme de pourcentage (c'est l'intérêt de l'analyse de Pareto)
- Sous forme de moyenne (par traitements statistiques ou probabilistes)
- Par comparaison à une référence (dérive) ou à une norme
- Par comparaison à lui-même dans le temps (évolution)
- Par comparaison à d'autres indicateurs de nature semblable

Il y a donc un intérêt certain à utiliser les outils « visuels » de la statistique descriptive pour traiter un échantillon de N valeurs. Ces outils graphiques sont préférables aux tableaux de valeurs qui sont moins faciles à interpréter.

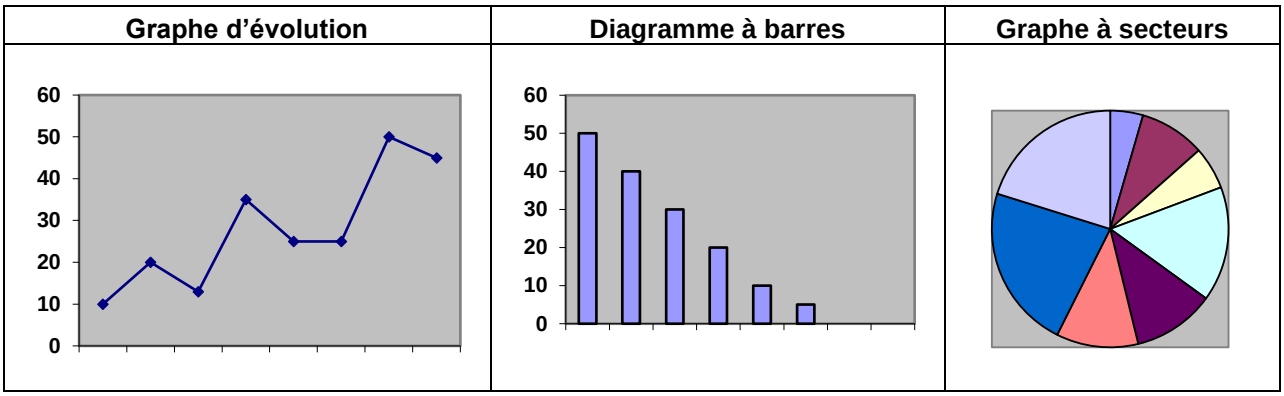


Figure 13 : Les outils graphiques

4.6.3.3 ***Qualités d'un indicateur :***

La pertinence : l'indicateur a pour objet la prise de décision en connaissance de cause. La pertinence permet l'interprétation facile du phénomène étudié et la prise d'une décision efficace.

La fidélité : l'indicateur doit renvoyer une image sans distorsion du phénomène.

La justesse et la stabilité : l'indicateur doit donner une image exacte (centrée) et stable (renouvelable et répétitive).

La précision et la sensibilité : les variations significatives du phénomène doivent être reflétées par des variations lisibles de l'indicateur.

La consolidation : il peut être utile afin de réaliser des synthèses ou des analyses, d'agréger (réunir en un tous des éléments distincts), de cumuler ou de consolider (présenter des résultats de manière synthétique) des indicateurs quantifiés.

L'aide à la communication : lorsque plusieurs populations de préoccupations différentes sont intéressées à l'interprétation d'un indicateur, celui-ci doit faciliter le dialogue.

4.6.4 Les ratios :

Les indicateurs peuvent aussi prendre la forme de ratios : rapport conventionnel de 2 grandeurs sans lien direct, mais ayant une force d'évocation facilitant la réflexion et les comparaisons.

Ex : nombre de litres de carburant consommé sur 100 km ; le nombre de pannes par tonne d'acier produit ; le coût de la maintenance par litre produit, etc.

4.6.4.1 *Ratios normalisés :*

Les ratios des pages suivantes sont extraits de la norme NF X 60-020. Ils ne sont pas limitatifs. De plus, chaque entreprise peut avoir des ratios qui lui sont propres.

Indicateurs de maintenance et performance générale de l'entreprise	
$r1 = \frac{\text{Couts de maintenance}}{\text{Valeur du bien à maintenir}}$	Permet d'évaluer les exigences économiques du bien concerné et de prendre notamment des décisions d'investissements ou de choix d'une technologie donnée.
$r2 = \frac{\text{Couts de maintenance}}{\text{Valeur ajoutée produite}}$	Il permet des comparaisons inter-entreprises dans des secteurs identiques.
$r3 = \frac{\text{Couts de maintenance}}{\text{Chiffre d'affaire relatif à la production}}$	C'est un indicateur financier.
$r4 = \frac{\text{Couts de maintenance}}{\text{Quantité produite}}$	Permet de mesurer l'évolution des coûts de maintenance à court terme et de juger du bon usage ou de la bonne maintenance d'un matériel.
$r5 = \frac{\text{Couts de maintenance + Couts d'indisponibilité}}{\text{Chiffre d'affaire relatif à la production}}$	Indicateur d'évolution de l'efficacité économique de la maintenance.
$r6 = \frac{\text{Couts de défaillance}}{\text{Couts de maintenance + Couts de défaillance}}$	Indicateur d'évolution de l'efficacité technique de la maintenance.

Indicateurs de maintenance et gestion des biens durables : analyse des coûts de maintenance	
$r7 = \frac{\text{Valeur du ou des biens à maintenir}}{\text{Quantité produite}}$	Indicateur de l'évolution du coût d'exploitation par unité produite.
$r8 = \frac{\text{Couts de la maintenance sous-traitée}}{\text{Couts totaux de la maintenance}}$	
$r9 = \frac{\text{Couts de la maintenance préventive}}{\text{Couts de la maintenance préventive + corrective}}$	Importance relative des coûts de maintenance préventive.
$r10 = \frac{\text{Cout de maintenance}}{\text{Cout de remplacement}}$	Indicateur de décision de remplacement des équipements.

$r11 = \frac{\text{Couts de l'outillage et des équipements de maintenance}}{\text{Couts du personnel d'intervention}}$	Evolution de l'importance de l'outillage par rapport aux moyens correspondants de main d'œuvre.
$r12 = \frac{\text{Couts de la documentation technique}}{\text{Couts de maintenance}}$	
$r13 = \frac{\text{Couts des consommés}}{\text{Couts du personnel d'intervention + Couts des consommés}}$	Indicateur des dépenses courantes. Choix entre politique de remplacement rapide des pièces de rechange et d'usure, et réparations approfondies du matériel par le personnel de maintenance.
$r14 = \frac{\text{Valeur du stock maintenance}}{\text{Valeur des biens à maintenir}}$	

Indicateurs de maintenance et gestion des biens durables : suivi des activités de maintenance	
$r15 = \frac{\text{Temps actifs de maintenance}}{\text{Temps effectif de disponibilité}}$	Anticipation des charges en personnel d'intervention par rapport aux prévisions de disponibilité.
$r16 = \frac{\text{Temps actifs de maintenance conditionnelle}}{\text{Temps actifs de maintenance préventive systématique + conditionnelle}}$	Importance de la maintenance conditionnelle dans les opérations actives de maintenance préventive.
$r17 = \frac{\text{Temps actifs de maintenance corrective}}{\text{Temps actifs de maintenance}}$	Importance de la maintenance corrective dans les opérations actives de maintenance.
$r18 = \frac{\text{Temps annexes de maintenance corrective}}{\text{Temps de maintenance corrective}}$	Importance de tous les temps de mise en œuvre des opérations de maintenance corrective (temps administratifs, logistiques, techniques, de préparation).
$r19 = \frac{\text{Temps de préparation du travail}}{\text{Temps actifs de maintenance}}$	Importance des activités de préparation du travail par rapport aux interventions effectives sur le bien.
$r20 = \frac{\text{Temps de travaux préparés}}{\text{Temps actifs de maintenance}}$	Part des interventions préparées dans toutes les interventions effectuées sur les biens.

Indicateurs de maintenance et gestion des biens durables : suivi des performances et de l'exploitation des biens durables.	
Mesure de la disponibilité des biens.	
$r21 = \frac{\text{Temps requis}}{\text{Temps total}}$	C'est le taux d'engagement du bien.

$r22 = \frac{\text{Temps effectif de disponibilité}}{\text{Temps requis}}$	Indicateur d'évaluation de la disponibilité opérationnelle des biens.
$r23 = \frac{\text{Temps de fonctionnement}}{\text{Temps effectif de disponibilité}}$	C'est le taux d'utilisation des biens appelé encore TRS ou taux de rendement synthétique.
$r24 = \frac{\text{Temps de bon fonctionnement}}{\text{Temps requis}}$	Permet une comparaison des performances d'exploitation du bien.
Mesure de l'indisponibilité pour maintenance	
$r25 = \frac{\text{Temps propre d'indisponibilité pour maintenance corrective}}{\text{Temps requis}}$	Expression de la pénalité d'indisponibilité subie par l'utilisateur pour effectuer la maintenance corrective.
$r26 = \frac{\text{Temps propre d'indisponibilité pour maintenance}}{\text{Temps effectif de disponibilité}}$	Mise en évidence des causes d'indisponibilité dues à la maintenance par rapport à celles inhérentes à des causes externes ou indépendantes des actions de maintenance proprement dites.
$r27 = \frac{\text{Temps propre d'indisponibilité pour maintenance}}{\text{Temps de fonctionnement ou quantité produite}}$	Anticipation de la charge de personnel de maintenance par rapport à des prévisions de fonctionnement ou de production.
$r28 = \frac{\sum \text{Temps de bon fonctionnement}}{\text{Nombre de défaillances}}$	MTBF : temps moyen de fonctionnement entre 2 défaillances. L'inverse donne le taux de défaillance
$r29 = \frac{\sum \text{Temps actifs de maintenance corrective}}{\text{Nombre de défaillances}}$	TMRS : temps moyen avant remise en service ➔ MTTR.

Indicateurs de gestion du personnel de maintenance : formation du personnel.	
$r30 = \frac{\text{Temps ou couts de formation maintenance}}{\text{Effectif maintenance}}$	$r31 = \frac{\text{Temps ou couts de formation maintenance}}{\text{Temps ou couts de formation entreprise}}$
$r32 = \frac{\text{Couts de formation}}{\text{Masse salariale}}$	

Indicateurs de gestion du personnel de maintenance : évolution des effectifs de maintenance.	
$\text{Variation} = \frac{\text{Effectif de la période P}}{\text{Effectif de la période P-1}} x100$	$\text{Rotation} = \frac{\text{Effectif remplacé durant la période P}}{\text{Effectif moyen de la période P-1}} x100$

$$\text{Personnel temporaire} = \frac{\text{Nb d'heures du personnel temporaire}}{\text{Nb d'heures totales travaillées}}$$

Indicateurs de gestion du personnel de maintenance : sécurité des personnes.	
Nb d'accidents du travail par mois avec ou sans arrêts.	Nb de « presque accidents » par mois par non-respect des consignes ou par non connaissance des consignes.
$\text{Taux de fréquence des accidents} = \frac{\text{Nb d'accidents avec arrets x } 10^6}{\text{Nb d'heures travaillées}}$	
$\text{Taux de gravité des accidents} = \frac{\text{Nb de journées perdues x } 10^3}{\text{Nb d'heures travaillées}}$	

Indicateurs de gestion du personnel de maintenance : absentéisme et présentéisme.
$\text{Présentéisme} = \frac{\text{(Nb de personnes) x (Nb d'heures de présence effective)}}{\text{(Nb de personnes inscrites) x (Nb d'heures standard prévues)}}$
$\text{Absentéisme} = \frac{\text{(Nb de personnes) x (Nb d'heures d'absence effective)}}{\text{(Nb de personnes inscrites) x (Nb d'heures standard prévues)}}$

4.7 Disponibilité et fiabilité des équipements

4.7.1 Définition de la fiabilité

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). C'est donc une grandeur comprise entre 0 et 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.

4.7.2 Définition La disponibilité

> La disponibilité est l'aptitude d'un bien à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs est assurée. Les moyens autres que la logistique de maintenance (personnel, documentation, rechanges, etc.) n'affecte pas la disponibilité d'un bien.

La disponibilité se traduit par « Availability » et se note souvent A(t). Seuls les temps d'arrêt intrinsèques, appelés également « temps d'arrêt propres » et caractérisés par la MTI (moyenne des temps d'indisponibilité), seront relevés pour évaluer la disponibilité opérationnelle d'un système. La figure ci-dessous montre les trois facteurs d'influence de la disponibilité intrinsèque Di.

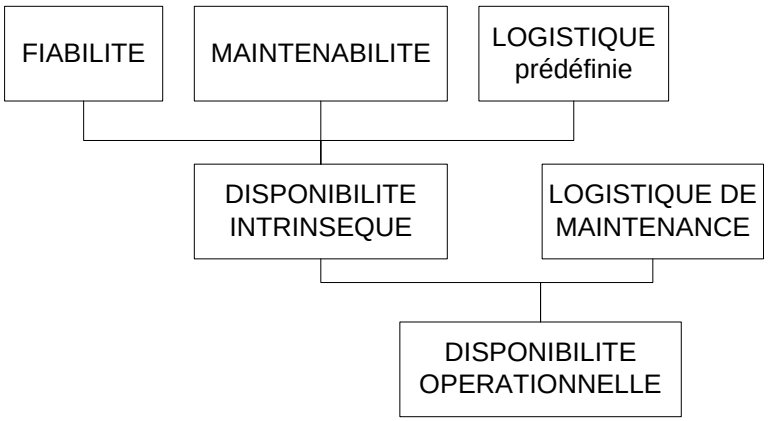


Figure 14 : les facteurs d'influence de la disponibilité intrinsèque

4.7.3 Définition la maintenabilité

Dans des conditions données, la maintenabilité est l'aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état où il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits.

C'est aussi la probabilité de rétablir un système dans des conditions de fonctionnement spécifiées, en des limites de temps désirées, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits.

Maintenabilité = être rapidement dépanné

A partir de ces définitions, on distingue :

- **La maintenabilité intrinsèque :** elle est « construite » dès la phase de conception à partir d'un cahier des charges prenant en compte les critères de maintenabilité (modularité, accessibilité, etc).
- **La maintenabilité prévisionnelle :** elle est également « construite », mais à partir de l'objectif de disponibilité.
- **La maintenabilité opérationnelle :** elle sera mesurée à partir des historiques d'interventions.

Remarque :

On peut améliorer la maintenabilité en :

- Développant les documents d'aide à l'intervention

- Améliorant l'aptitude de la machine au démontage (modifications risquant de coûter cher)
- Améliorant l'interchangeabilité des pièces et sous ensemble.

4.7.4 Maintenabilité et maintenance

Pour un technicien de maintenance, la maintenabilité est la capacité d'un équipement à être rétabli lorsqu'un besoin de maintenance apparaît. L'idée de « facilité de maintenir » se matérialise par des mesures réalisées à partir des durées d'intervention.

Il est donc indispensable que la maintenance sache définir ses besoins et les intégrer au cahier des charges d'un équipement nouveau afin que celui-ci puisse être facilement maintenable.

La maintenabilité est une caractéristique du système et est définie en termes de probabilité. En revanche, la maintenance est une action réalisée par les techniciens de maintenance sur le système pour le remettre en état.

4.7.5 Maintenabilité et disponibilité

Le schéma ci-dessus rappelle les composantes de la disponibilité d'un équipement. Il met en évidence :

- Que la maintenabilité est un des leviers d'action pour améliorer la disponibilité et donc la productivité d'un équipement.
- Que la fiabilité et la maintenabilité sont 2 notions parallèles de même importance (et dont les démarches d'analyse sont semblables).

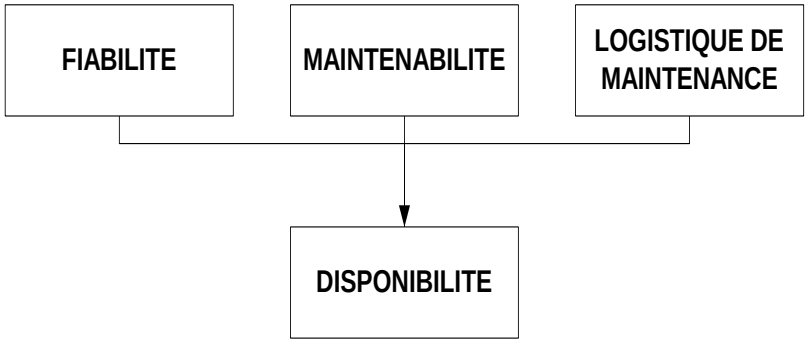


Figure 15 : Maintenabilité et disponibilité

Chapitre 5 :
L'environnement de la maintenance

5 Chapitre 5 : L'environnement de la maintenance

5.1 Introduction

Il en découle que le service maintenance doit organiser la prévention en tenant compte de son environnement, tels que les risques environnementaux, la sécurité des personnes et la gestion de l'énergie et des fluides. Dans ce cadre, ce chapitre donne une vue sur la relation du service de maintenance et son environnement.

5.2 Protection de l'environnement

L'entretien régulier des machines et des équipements est non seulement essentiel en termes de santé et de sécurité des travailleurs et du public, mais peut également contribuer grandement à la préservation de l'environnement et à la réduction des niveaux de pollution directe ou indirecte.

Certains types de machines peuvent gravement endommager l'environnement s'ils ne sont pas correctement entretenus, par exemple en dégageant des fumées toxiques qui dépassent les limites spécifiées. Bien qu'ils puissent fonctionner correctement, les dommages causés à l'environnement ne sont pas acceptables et constituent probablement une violation des réglementations législatives, sans parler du fait qu'ils constituent un danger probable pour la santé et la sécurité de tous ceux qui se trouvent à proximité car ils respirent les fumées nocives.

On notera que la maintenance qui limite le taux de rebuts et maintient un rendement élevé aura par définition un effet favorable sur les résultats de l’entreprise puisqu’elle permet de réduire les consommations de matières premières et d’énergie. Le souci de l’environnement peut même dans certains cas conduire à la production de produits de qualité élevée : c’est le cas des cimenteries, où un meilleur filtrage des fumées permet de récupérer dans les filtres un ciment d’une extrême finesse donc de haute qualité, à condition bien sûr qu’une maintenance régulière conserve l’efficacité des filtres. Le résultat pour l’environnement est visible, puisqu’on ne voit plus autour des cimenteries des paysages entièrement poudrés de blanc, comme autrefois.

5.3 Sécurité des personnes

Une mauvaise attention au respect des règles de sécurité et d'exploitation des machines conduit aux accidents. Parfois l'erreur d'une personne conduit aux accidents mortels des personnes. Les accidents de travail on une grande influence sur le plan financier, production et surtout humain l'homme est le bonheur de la famille, c'est aussi l'élément constituel de la société, protégeons-le en premier.

Les gestionnaires des entreprises ne doivent pas sous-estimer la sécurité de travail et doivent prendre des mesures pour diminuer la fréquence et la gravité des accidents dans l'entreprise. Il existe pour cela un certain nombre de dispositifs, de consignes et de règlement dit de sécurité. Faire œuvre de prévention ne peut pas être la seule responsabilité des gestionnaires de l'entreprise. Il est absolument nécessaire de donner à l'ensemble du personnel un véritable esprit de sécurité qui lui permettra de prévoir et d'agir de façon efficace dans toutes les circonstances.

5.3.1 Règles de base de sécurité

Chaque accident de travail résulte d'une négligence de quelqu'un. On peut éviter les accidents par l'apport et l'implication des responsables de sécurité, des ingénieurs et techniciens qui doivent veiller à assurer :

- Les meilleures conditions possibles de sécurité de travail ;
- L'apprentissage permanent aux travailleurs des méthodes de sécurité.

Pour cela, il existe des instructions à organiser pour les travailleurs telles que :

a. Instructions générales : Ces instruction sont destinées pour tous les travailleurs sans exception et elles comprennent les connaissances avec l'entreprise, avec l'ordre et l'organisation du travail, les places et lieux les plus dangereux et nuisibles.

b. Instructions relatives au poste de travail : Ces instructions sont destinées pour les nouveaux travailleurs ou ceux qui sont chargés des postes de travail ou d'ateliers. On leur indique les parties dangereuses de l'équipement, les règles de sécurité appropriées à respecter vis-à-vis de l'équipement et de l'atelier.

Il est aussi nécessaire d'organiser régulièrement des séminaires périodiques pour revoir et faire rappeler les instructions de sécurité de travail en général et spécifiques aux postes de travail.

c. **Instructions de protection individuelle** : En plus a ces deux instructions citées auparavant, il est nécessaire aussi de rappeler la protection individuelle des

travailleurs, elle est absolument nécessaire et peut sauver le travailleur des graves infirmités.

- Le casque protège le crane contre les chocs et son port est obligatoire sur les lieux de travail ;
- Les lunettes isolent les yeux des poussières, des particules provenant du meulage, des acides, des rayons de l'arc électrique, etc. Le type de lunette à porter doit convenir au type de travaux à effectuer ;
- Les masques évitent l'installation des poussières ou gaz dont les conséquences sont parfois désastreuses pour la santé ;
- Les gants protègent les mains des écorchures et des maladies telles que les dermatoses ;
- Les souliers renforcés sont une sécurité contre les chutes de matériaux, les chocs, la pénétration de pointes, etc. ;
- Le tablier est utilisé lorsqu'il y a risque de brûlures par corps chauds ou corrosifs ;
- Les protègent tympans ou stop bruit, sont utilisés dans les ateliers ou le bruit est intense, dépassent les normes. Sont utilisation évite la surdité ;
- Les écrans à verre filtrants des soudures protègent les yeux contre les radiations.

5.4 Contrôle des installations

5.4.1 Contrôle des installations par analyse vibratoire.

Les machines tournantes sont présentes dans de nombreux secteurs d'activité. Elles sont très diverses : compresseurs, turbines, moteurs d'avion, pompes, alternateurs... Elles doivent, dans un souci de qualité, d'efficacité et de sûreté, être étudiées et contrôlées avec soin au niveau du projet.

L'analyse des vibrations des machines permet de poser un diagnostic sur leur état de fonctionnement et de mettre en œuvre des stratégies de maintenance prédictive, la mesure des vibrations est l'outil le plus efficace qui permet de détecter de façon précoce les défauts de machines, bien avant qu'un échauffement ou qu'un accroissement des particules d'usure ne soient rendue significatifs. En effet l'analyse des signaux vibratoires donne des informations sur les processus de dégradations internes.

5.4.1.1 *Objectifs d'analyse vibratoire :*

- La détection des défauts.
- L'analyse détaillée des défauts

On utilise l'analyse vibratoire des machines :

- ✓ Soit dans le domaine temporel.
- ✓ Soit dans le domaine fréquentiel.
- ✓ Soit dans les deux à la fois

5.4.1.2 *Les avantages de l'analyse vibratoire :*

- Détection de défauts à un stade précoce.
- Possibilités de réaliser un diagnostic approfondi.
- Autorise une surveillance continue.
- Permet de surveiller l'équipement à distance

5.4.1.3 *Les inconvénients de l'analyse vibratoire :*

- □ Spectres parfois difficiles interpréter.
- □ Dans le cas de la surveillance continue, installations relativement coûteuses.

5.4.2 Contrôle de des huiles dans les installations

La surveillance des huiles en fonctionnement a deux buts essentiels :

- Surveiller l'huile pour vérifier son état conforme.
- Surveiller, à travers l'huile, l'état de l'installation.

Un des moyens les plus simples consiste à noter la consommation d'huile de l'installation par unités de production (temps, nombre de pièces ou de kilomètres). L'évolution de la consommation indiquera les dérives de fonctionnement et permettra de prévenir les défaillances (maintenance préventive conditionnelle).

5.4.2.1 *L'analyse d'huile*

L'analyse des lubrifiants en service contribue à optimiser les coûts de maintenance (directs et indirects) par une meilleure connaissance de l'état des machines et de l'évolution du lubrifiant. Cette technique s'applique à l'ensemble du parc des machines lubrifiées. Cette méthode est complémentaire des suivis par analyses vibratoire et thermographique.

L'analyse d'huile, pratiquée dans le cadre d'une maintenance préventive conditionnelle, va permettre, par exemple, de détecter et de suivre les dysfonctionnements potentiels suivants :

Sur moteur thermique :

- Problèmes d'étanchéité de la filtration d'air.
- Infiltration de liquide de refroidissement.

- Déréglage du système d'injection.
- Etat mécanique du moteur (usure).
- Conduite ou contrainte d'exploitation plus ou moins sévère.

Sur multiplicateurs, réducteurs et engrenages

- Mauvais état d'un roulement ou d'un palier.
- Transmission défectueuse (engrenages endommagés).
- Performance des additives extrêmes pressions.
- Appréciation des caractéristiques résiduelles du lubrifiant.
- Pollution externe (eau, poussières...)

Sur compresseurs (pistons, à vis et centrifuges)

- Etat mécanique.
- Pollution externe (eau, silice...).
- Evolution du lubrifiant en service (dépôts, oxydation...).

Sur systèmes hydrauliques

- Pollution du circuit (matières solides, eau...).
- Usure des composants (pompes, moteurs, distributeurs...).
- Efficacité de la filtration (niveau de pollution...).
- Caractéristiques résiduelles du lubrifiant

5.4.3 Le contrôle des installations par la thermographie

Tous les corps, quel que soit leur physique, émettent de l'énergie sous état la forme d'ondes électromagnétiques. Ces radiations, de même nature que la lumière visible, ont une intensité et une énergie d'autant plus élevées que la température du corps est elle-même plus importante. Suivant la longueur d'onde (λ), le rayonnement électromagnétique ne se manifeste pas de la même manière. La matière émet du rayonnement électroniquement (la luminance) en fonction de sa température.

Les systèmes de mesure en thermographie infrarouge sont constitués d'un capteur (caméra infrarouge) et d'une unité d'enregistrement et de traitement du signal permettant l'interprétation des images (transcription en niveaux de température). Cet ensemble permet d'enregistrer la distribution spatiale des températures sur l'objet examiné ainsi que l'évolution temporelle de cette distribution.

Les utilisations de la thermographie pour le diagnostic industriel sont nombreuses, avec par exemple le contrôle qualité en continu sur des soudures ou la détection de fuites. Elle est

notamment utilisée par les industries de pointe (ex : contrôle des fours en pétrochimie, ou dans l'aéronautique. Mais aussi en tant que méthode de maintenance conditionnelle.

Une caméra thermique permet de facilement détecter des problèmes de surchauffe et les points sensible d'une installation mécanique ou électrique. La détection automatique du point froid/chaud accentue immédiatement les zones à risques directement sur l'écran de la caméra thermique.

Une caméra thermique peut être utilisée pour :

- La maintenance préventive d'organe de production comme : moteur, roulement, engrenage, pompe…
- L'inspection de système électrique comme : armoire électrique, Transformateurs BT / MT / HT…
- L'assurance qualité en production comme : corps étranger, analyse de la distribution de température.
- Le suivi de process & contrôle de : four, niveau de cuve, purgeur de vapeur, valve, enveloppe réfractaire…
- Détecter les surchauffes mécaniques et électriques afin de mettre en place des actions de maintenance (moins coûteuses qu'un arrêt de production)

5.4.4 Détection des fuites

Plusieurs méthodes de détection de fuite existent. Elles se divisent en deux catégories :

- ❖ Les méthodes permettant une quantification globale, c'est-à-dire une mesure de fuite sur un composant, assemblage ou même une installation et qui permet de connaître la valeur de fuite de l'ensemble, plus ou moins précisément selon la technique employée. Ici, elles peuvent être appelées méthodes indirectes. Les méthodes sont : enveloppe remplie de gaz, enveloppe sous vide (global ou partiel), accumulation, pressurisation-dépression (appelé aussi ressuage), chute de pression, remontée de pression, débitmètre.
- ❖ Les méthodes permettant une localisation, c'est-à-dire, une détection qui permet de localiser finement une source de fuite. Certaines techniques permettent d'estimer la valeur de niveau de fuite locale. D'autres techniques permettent d'apprécier le dépassement ou non d'un niveau de fuite par rapport à une valeur de fuite seuil, qui est fixée ou estimée. Ici, les techniques de localisation peuvent être appelées méthodes directes. Les méthodes sont : enveloppe sous vide (local), reniflage, aspersion, immersion, application d'un liquide.

Les différentes méthodes utilisées pour la détection des fuites des lubrifiants dans une installation de production sont :

- La mesure par chute de pression
- La mesure par remontée de pression
- Le contrôle des paramètres de fonctionnement de l'installation (pression ou température)
- L'utilisation de détecteur d'ambiance

5.4.5 Le contrôle Visuel des installations de production

Le contrôle visuel est une méthode d'inspection courante de contrôle des équipements et les installations de productions, qui utilise uniquement l'œil nu pour repérer les défauts ou les problèmes. Des spécialistes de la sécurité et du contrôle qualité formés dans différents secteurs d'activité effectuent des inspections visuelles pour aider à normaliser les meilleures pratiques et à renforcer le respect des réglementations en matière de sécurité et de normes industrielles.

5.5 Gestion technique centralisée

La gestion centralisée de la maintenance où toute la maintenance est assurée par un seul service. Les avantages sont :

- La standardisation des méthodes, des procédures et des moyens de communication
- Possibilité d'investir dans des matériels onéreux grâce au regroupement
- Vision globale de l'état du parc des matériels à gérer
- Gestion plus aisée et plus souple des moyens en personnels
- Rationalisation des moyens matériels et optimisation de leur usage (amortissement plus rapide)
- Diminution des quantités de pièces de rechange disponibles
- Communication simplifiée avec les autres services grâce à sa situation centralisée

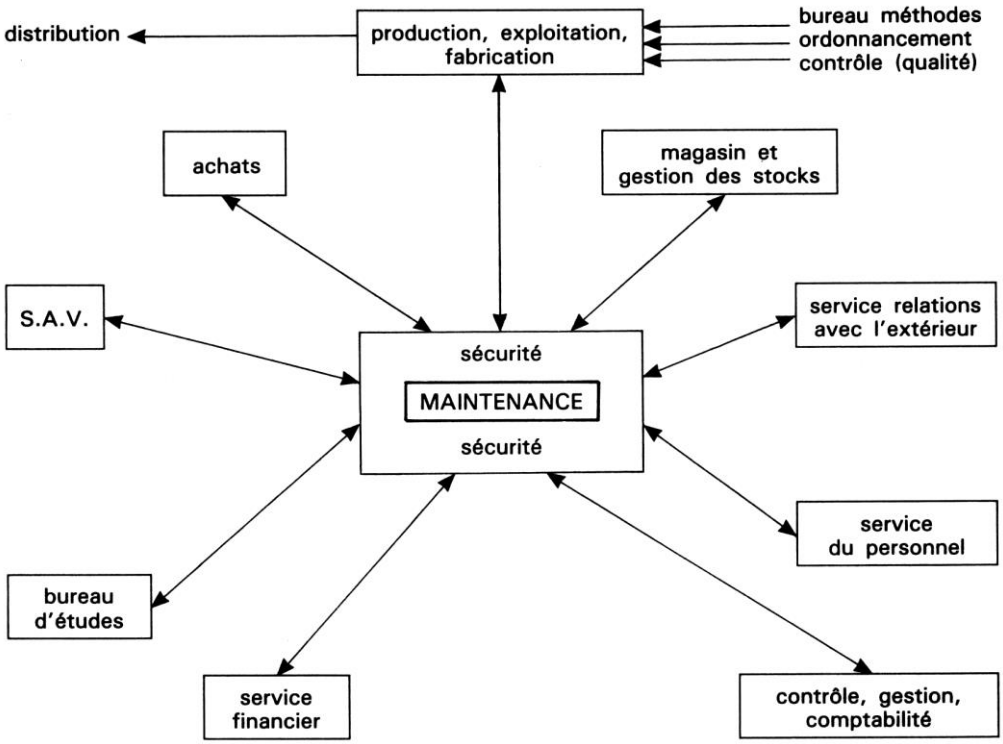


Figure 16 : Gestion centralisée de la maintenance

Dans ce cas, le service maintenance a une seule direction qui gère tous. A cet effet nous avons les inconvénients suivants :

- Une lourde et mauvaise communications et relations à l'intérieur du service de maintenance, et aussi avec les autres services.
- Effectifs plus importants dans le service de maintenance
- Réactivité diminuée face à un problème
- Mauvaise connaissance des matériels
- Gestion administrative très lourde

5.6 Système intégré de production

Face à la concurrence mondiale, les entreprises doivent concilier :

- Amélioration de la qualité de leurs produits et de leurs services,
- Réduction des délais et flexibilité,
- Diminution des coûts et amélioration de leur rentabilité.

La Total Productive Maintenance TPM correspond bien à cette notion de progrès permanent. Elle peut être définie comme :

Une démarche globale d'amélioration des ressources de production qui vise la performance économique de l'entreprise.

Les ressources de production comprennent les équipements bien sûr, mais également les Hommes et l'organisation qui leur permet d'atteindre l'efficacité maximale.

Certains oublient que la TPM est une démarche globale qui rejoint les objectifs de la qualité totale et la présentent encore de manière parcellaire. La TPM n'est pas une nouvelle méthode de Maintenance, ni un outil tel que les 5S ou la maintenance de premier niveau, pas plus que l'application aux équipements des cercles de qualité.

Un des objectifs principaux de la TPM est d'améliorer la performance des ressources de production, performance qui se mesure par le TRG: Taux de Rendement Global créé en 1970 par le JIPM.

Le TRG est le rapport entre la quantité de Produits bons fabriqués et la quantité de produits que l'on aurait pu fabriquer dans les conditions idéales.

Dans beaucoup d'entreprises le TRG est de l'ordre de 40 à 60 %. Un TRG égal à 40 % signifie que plus de la moitié de l'investissement n'est pas utilisé ; alors que son amortissement sur sa valeur totale est bien inclus dans le coût de revient industriel. Avoir un TRG de 40 % signifie aussi que l'entreprise dispose, sans avoir à investir, d'un deuxième équipement pour produire plus, mais aussi pour être plus flexible et pour pouvoir respecter ses délais.

La TPM a pour objectifs :

- D'obtenir le rendement maximum du système de production,
- D'optimiser les coûts d'exploitation des équipements durant toute leur durée de vie (notion de Life Cycle Cost),
- D'améliorer le savoir-faire de chacun pour créer un processus d'amélioration permanente des performances de l'entreprise.

5.6.1 Les 16 causes de pertes de rendement

Ces 16 causes de pertes peuvent être classées en 3 grandes familles :

- Les pertes dues au manque de fiabilité des équipements,
- Les pertes dues aux carences de l'organisation,
- Les pertes dues aux méthodes et procédés utilisés.

5.6.1.1 *Pertes dues au manque de fiabilité des équipements*

Ces pertes concernent les arrêts dus aux :

- Pannes - disparition ou dégradation de la fonction,

- Réglages - ajustages en cours de série qui ne devraient pas exister si le procédé utilisé était capable et stable.
- Pertes aux démarrages - temps de préchauffage de la machine, pièces perdues avant stabilisation du procédé.
- Micro arrêts et marche à vide - les entreprises ont pris l'habitude de nommer ainsi tous les arrêts inférieurs à 5 ou 10 min. Mais il y a d'autres arrêts beaucoup plus courts, pas toujours détectables et qui méritent vraiment l'appellation de micro arrêts. Ils sont souvent à l'origine des défaillances chroniques devant lesquelles les services maintenance ont très souvent abdiqué. Ils représentent les causes principales de problèmes rencontrés par les Opérateurs, ce sont eux qui empêchent le fonctionnement automatique des équipements.
- Sous vitesses - baisse volontaire de vitesse, parce qu'à la vitesse nominale on rencontre des problèmes de fiabilité ou de qualité.
- Rebuts et retouches - l'équipement a été utilisé pour rien (rebuts) ou plus longtemps que nécessaire (retouches).
- aux arrêts programmés - arrêts de l'équipement pour des actions que l'on pourrait qualifier d'incontournables dans une bonne exploitation des ressources de production. Ce sont les arrêts pour nettoyage, pour maintenance préventive, pour inspections, les temps de réunion (réunions 5 minutes ou réunions en bout de ligne). En général ces temps sont déduits de l'horaire de travail pour obtenir le temps d'ouverture qui sert de base au calcul du TRG. Mais ce n'est pas parce que l'on a qualifié d'incontournables ces arrêts qu'il ne faut pas les mesurer et chercher à les diminuer.

5.6.1.2 *Pertes dues aux carences de l'organisation :*

Ce sont toutes les pertes générées par les carences du management telles que :

- Temps de changements de fabrication - temps qui s'écoule entre l'obtention de la dernière pièce bonne de la série qui se termine jusqu'à l'obtention de la première pièce bonne de la série suivante.
- Activité Opérateurs - manque d'habileté, de formation, de savoir-faire, d'efficacité de l'Opérateur.
- Déplacements et manutentions - temps passé par les Opérateurs à la manutention de produits ou de matières suite à la défaillance des équipements.
- Organisation du poste - retards dans l'enchaînement de tâches dus à des déplacements ou à des problèmes divers.

- Défauts de logistique - manque matière, manque outillage, manque personnel.
- Excès de mesures - pertes dues à une mauvaise organisation du contrôle, à un manque de confiance dans le procédé, à des attentes de diagnostic qualité.

5.6.1.3 ***Pertes dues aux méthodes et procédés :***

Ces pertes ne peuvent pas toujours entrer directement dans le calcul du TRG; elles correspondent:

- Au rendement des matériaux
- Au rendement énergétique
- Aux surconsommations d'outillages et d'accessoires - dépenses supplémentaires de remplacement des outillages et accessoires usés ou cassés. Les surconsommations d'huile rentrent aussi dans cette catégorie.

5.6.2 Amélioration du TRG :

L'objectif de la T P M est de réduire à ZERO les 16 causes de pertes pour améliorer les performances des ressources de production et obtenir l'efficacité maximale des Hommes, des équipements, des matières et de l'énergie. Ce qui nécessite suivant le classement que nous avons adopté :

- De supprimer les causes de pertes dues aux carences de l'organisation,
- D'améliorer la fiabilité (intrinsèque et opérationnelle) des équipements,
- D'améliorer les méthodes et procédés de fabrication.

5.6.3 Les 5 principes de développement de la T P M

La T P M est structurée autour de 5 principes (5 principes qui se traduiront par 8 piliers) qui en font :

Une démarche globale de management des ressources de production ayant pour objectif la performance économique de l'entreprise.

Principe N° 1: Atteindre l'efficacité maximale des équipements

Pour atteindre cette efficacité maximale il est avant tout indispensable :

- **de respecter les conditions de base d'utilisation des équipements** et donc de supprimer toutes les causes de pertes chroniques et de dégradations forcées (agressions extérieures et non-respect des conditions de normalité). Ceci concerne principalement les Hommes de production (qualité de la conduite, du réglage, respect des caractéristiques nominales, respect de l'équipement, nettoyage, ...). De plus les opérateurs étant les plus proches de l'équipement ils seront mis à contribution pour détecter au plus tôt les prémices d'anomalies sur les équipements

(il est plus important de transformer les opérateurs en "détecteurs fiables" qu'en techniciens de maintenance).

La TPM aura pour objectifs de rendre responsable les opérateurs de la qualité de leur équipement en l'utilisant correctement et en détectant au plus tôt tout changement dans l'état ou le comportement de leur matériel.

Cette action sera réalisée à l'aide du 1er pilier de la TPM : **LA GESTION AUTONOME DES EQUIPEMENTS**

- **De prévenir les défaillances naturelles.** Tant qu'il existe des causes de dégradations forcées la maintenance préventive est peu efficace et coûteuse. Ce n'est que lorsque les conditions de base seront respectées que le service maintenance pourra mettre en place une organisation permettant :
  - De prévenir les défaillances naturelles dues aux phénomènes d'usure,
  - De détecter et de rechercher les améliorations possibles concernant la fiabilité et la maintenabilité.

  Cette action fera l'objet du 3éme pilier de la TPM : **LA MAINTENANCE PLANIFIEE.**
- **De supprimer les causes de pertes de rendement dues à l'organisation**. C'est bien entendu cette action qui apportera les gains financiers. Mais on ne peut espérer détecter les vrais problèmes tant que les ressources ne sont pas utilisées dans les conditions pour lesquelles elles ont été prévues et tant que le personnel, de l'opérateur à l'encadrement ne s'implique pas dans la démarche.

  La suppression des causes de pertes fera l'objet du 2éme pilier : **L'AMELIORATION AU CAS PAR CAS.**
- **D'améliorer les connaissances et le savoir-faire des opérateurs et des techniciens de maintenance**. Les piliers précédents sont indispensables à l'obtention de l'efficacité maximale des équipements, mais leur mise en œuvre et leur pérennisation nécessitent d'améliorer les connaissances et le savoir-faire des opérateurs, des techniciens de maintenance mais aussi de l'encadrement direct du personnel.

  D'où le 4éme pilier : **AMELIORATION DU SAVOIR-FAIRE ET DES CONNAISSANCES**

***Principe N° 2*: Démarrer le plus rapidement possible les nouveaux produits et les nouveaux équipements**

La maîtrise des ressources de production permettra aux responsables production et maintenance de travailler efficacement avec les services développements et ingénierie pour concevoir des produits faciles à fabriquer et des équipements faciles à utiliser et faciles à entretenir.

La T P M rejoint la notion d'ingénierie simultanée et vise à ne plus accepter de modifications du produit ou de l'équipement après la phase de pré industrialisation.

Ce principe se traduira par le pilier N° 7: **MAITRISE DE LA CONCEPTION**

Principe N° 3: Obtenir l'efficacité maximale des services fonctionnels

Les services techniques et administratifs doivent avoir pour objectifs de fournir à la production les informations et supports nécessaires à l'amélioration de sa compétitivité, tout en diminuant les tâches administratives et en simplifiant les procédures " sur générées " par les démarches de certification.

Ce principe se traduira par le pilier N° 8: **APPLICATION DE LA T P M DANS LES BUREAUX**

Principe N° 4: Stabiliser les 5 M à un haut niveau

Obtenir le Zéro panne, le Zéro défaut, le TRG maximum, en un mot obtenir la performance maximale des ressources de production nécessite d'atteindre et de maintenir à un haut niveau les 5 M (Matière, Machine, Milieu, MO, Méthodes). C'est à dire de mettre en œuvre les principes précédents :

- Disposer d'équipements où ne subsistent que des détériorations naturelles,
- Prévenir les défaillances naturelles,
- Appliquer la T P M aux nouveaux produits et équipements,
- Avoir des Opérateurs et des Techniciens de maintenance très compétents.
- Avoir des fournisseurs qui se considèrent comme partenaires de la qualité de l'entreprise.

Le pilier correspondant sera le pilier N° 6: **MAITRISE DE LA QUALITE**

Principe N° 5: *Maîtriser la sécurité, les conditions de travail et le respect de l'environnement*

La performance des ressources de production passe aussi par ces exigences qui se traduisent aujourd'hui par la certification environnement ISO 14001 et bientôt sécurité et conditions de travail. C'est aussi rendre le travail moins pénible, moins salissant, moins dangereux.

5.7 Gestion de l'énergie et des fluides

Les huiles ont des performances élevées, en particulier pour des objectifs et des conditions de service difficiles. Cependant, elles sont chères à produire et leur disponibilité dans le monde est limitée. De plus, le choix d'un lubrifiant synthétique dépend du problème posé.

Les mélanges d'huiles de base d'origines différentes sont parfois possibles, toutefois une huile dite "synthétique" doit contenir moins de 15% d'huile minérale.

Ci-dessous quelques familles d'huiles de synthèse :

Tableau 3 : Quelques familles d'huiles de synthèse

Poly glycols	Bonnes propriétés lubrifiantes, point éclair élevé. Haut indice de viscosité : 150 à 200, faible volatilité, bonne stabilité thermique, incompatible avec les huiles minérales. Exemples d'utilisations : Poly glycol soluble à l'eau : fluide difficilement inflammable, fluide d'usinage Poly glycol insoluble : fluide de frein, lubrifiant moteur, lubrifiant engrenage ...
Esters	Faible volatilité, bonnes propriétés à froid, bonne tenue thermique, bonne propriété solvante et bonne résistance au cisaillement. Exemples d'utilisation : graisse, turbine à gaz, aviation, utilisé comme additif (pouvoir lubrifiant élevé).
Hydrocarbures synthétiques (polyalphaoléfines)	Comportement à froid performant, indice de viscosité élevé. Selon la longueur de la chaîne, bonne propriété thermique. Exemples d'utilisations : lubrifiant d'engrenages, compresseur ...
Silicone	Inerte chimiquement, grande résistance à la chaleur et à l'oxydation. Hydrophobe, indice de viscosité élevé (jusqu'à 300), bonne propriété à froid. Incompatibilité chimique avec de nombreux additifs. Pouvoir lubrifiant très médiocre. Exemples d'utilisations : graisse, fluide hydraulique ...
Glycol	Utilisées dans les compresseurs (air, frigorifiques) pour la propreté des clapets, compatibilité avec les fluides frigorigènes, caloporteur...

5.7.1 Choix des lubrifiants :

Le choix d'un lubrifiant doit prendre en compte les conditions fonctionnelles du mécanisme à lubrifier et en particulier sa température de fonctionnement, les efforts de pression, les vitesses relatives de déplacement, les conditions d'environnement.

Les fabricants d'huiles et de graisses sont les mieux placés pour déterminer le type de lubrifiant à utiliser en fonction du mécanisme à lubrifier.

Cependant, la norme NF ISO/TR 3498 donne des recommandations pour le choix des lubrifiants pour machines-outils.

5.7.2 Stockage des lubrifiants :

Pour mettre en place la sécurité dans le stockage et l'utilisation des produits, il faut connaître en premier lieu les risques que représentent ces produits. Cette connaissance s'acquiert par l'obtention de données sur le (ou les) produit(s).

5.7.2.1 *Quelques règles générales pour le stockage :*

Les règles de sécurité visent à gérer l'organisation en fonction du type de stockage et du type de produits et des quantités détenues. Les produits sont stockés en réservoirs fixes ou en conteneurs mobiles selon leurs quantités et leur utilisation.

Stockage en réservoirs fixes (aériens ou enterrés) :

- Conformité : les réservoirs renfermant des gaz sous pression doivent être conformes à la réglementation sur les appareils à pression de gaz (décret du 18 janvier 1943 modifié).
- Résistance à la corrosion : le matériau constituant le réservoir ou la citerne doit être choisi pour résister à la corrosion par le produit qu'il contient.
- Marquage : les citernes et réservoirs fixes doivent être identifiés à l'aide d'un panneau portant en caractères indélébiles l'indication en toutes lettres du produit stocké. Il est également conseillé de reporter, sur le réservoir, son volume et le symbole noir sur fond rouge orangé de l'étiquetage. Les canalisations qui partent du réservoir doivent aussi être identifiées par des couleurs ou symboles différents. Un affichage à proximité des réservoirs rappelle l'interdiction de fumer et d'utiliser les appareils produisant des flammes, des étincelles...
- Contrôle de remplissage : chaque réservoir ou citerne doit posséder un indicateur permettant de contrôler facilement le niveau de remplissage.
- Event : chaque réservoir ou citerne doit posséder un évent de section suffisante dont la sortie est dirigée vers l'intérieur de la zone de rétention dans une direction telle qu'il n'existe aucun danger pour les personnes.
- Mise à la terre : tous les réservoirs ou citernes fixes doivent être reliés à la terre.
- Cuvette de rétention : en cas de fuite du réservoir ou de la citerne, le liquide doit être retenu sur place par un dispositif faisant cuvette de rétention, en matériau résistant au produit stocké. Prévoir un point bas dans la cuvette de rétention afin de faciliter le pompage en cas de fuite et pour évacuer les eaux pluviales. Si des produits présentent un risque de réaction dangereuse en cas de mélange, les cuvettes de rétention doivent être séparées.

- Protection des réservoirs : des matériaux ignifuges sont désormais acceptés pour la protection des réservoirs aériens de gaz combustibles liquéfiés. Pour ces mêmes stockages, mis sous talus, l'application, dans des conditions déterminées, d'un géomatériau, est maintenant reconnue comme assurant une protection mécanique et thermique équivalente à l'épaisseur de matériaux inertes préconisés par les textes en vigueur.

Conteneurs mobiles :

Le stockage en conteneurs mobiles décrit un ensemble de produits conditionnés en fûts, conteneurs divers, emballages rigides ou souples, entreposés sur une aire extérieure ou dans un local. Le déplacement des conteneurs mobiles est effectué à l'aide de dispositifs manuels ou motorisés.

- **Règles d'implantation :**
  - Séparation des produits : les produits susceptibles de réagir violemment les uns avec les autres ne doivent pas être stockés au même endroit. On éloignera ainsi les produits combustibles des produits comburants, tels que l'oxygène ou les peroxydes.
  - Sol du stockage : le sol doit être imperméable, résistant aux produits chimiques et en légère pente vers un caniveau d'évacuation relié à une fosse de récupération ou une station de traitement.
  - Voies de circulation : les voies de circulation aménagées dans les entrepôts doivent être suffisamment larges pour que le stockage soit facilement accessible, que ce soit pour le dépotage des produits, les vérifications ou les interventions en cas de danger ou d'incendie.
  - Ventilation du site de stockage : si le stockage est réalisé en plein air, un auvent est conseillé pour l'abriter des intempéries et du soleil ; si le stockage est réalisé en local fermé, celui-ci doit être ventilé (on privilégiera un système de ventilation mécanique).
  - Conformité électrique : l'équipement électrique, l'éclairage, les appareils électriques (y compris les appareils de chauffage), les engins de manutention, utilisés dans un entrepôt de produits chimiques inflammables, doivent être conformes à la réglementation concernant les zones à risque d'incendie et d'explosion.

- Marquage : un affichage de proximité des emballages rappelle l'interdiction de fumer et d'utiliser les appareils produisant des flammes, des étincelles, etc.

➢ **Mode de stockage**

- Stockage sans accessoire (gerbage) : La hauteur maximale de stockage doit être choisie de façon à éviter tout endommagement des récipients en cas de chute. Des accessoires spéciaux sont employés pour les conteneurs souples qui ne doivent pas être empilés les uns sur les autres.
- Stockage en rayonnages : Les rayonnages utilisés pour le stockage en hauteur doivent être conçus et mis en place pour empêcher les chutes. Ils doivent aussi comporter des systèmes de protection contre les chariots de manutention. L'aire de stockage doit être facilement accessible aux véhicules de transport comme de secours. Elle doit être à l'écart de tout local de travail ou d'habitation (distances d'éloignement à respecter). Elle doit être organisée en zones de produits distincts, identifiables sans risque de confusion.

5.7.3 Organisation du graissage :

En maintenance préventive, on doit :

➢ Elaborer des fiches de graissage par matériel qui doivent définir :

- Le matériel à maintenir (photos, dessins)
- Le type d'opération de lubrification
- La quantité de lubrifiant à remplir
- La nature et les caractéristiques du lubrifiant à employer
- La fréquence des opérations de lubrification
- Les points de graissage et/ou de remplissage
- Les organes à lubrifier
- Le matériel à utiliser

➢ Etablir un planning des visites

La norme NF E 60-201 donne toutes les informations nécessaires. Cette norme concerne les « LUBRIFIANTS POUR LE GRAISSAGE ET LA COMMANDE DES MACHINES-OUTILS » et précise les « FICHES D'INSTRUCTIONS DE LUBRIFICATION ET LE REPERAGE ». Ce plan de graissage doit prendre en compte les préconisations du constructeur de la machine (informations données dans le dossier machine) et du vécu de l'entreprise (historiques).

L'établissement du plan de graissage peut être facilité par un module spécifique au sein de la GMAO.

Références

[1] Ahmed. Bellaouar, Salima. Beleulmi, ‘Fiabilité Maintenabilité et Disponibilité’, Polycopie pédagogique, Université Constantine 1, 2014.

[2] Messaoud. Benzoual, ‘Gestion de la maintenance industrielle’, Polycopie pédagogique, Université de Batna 2.

[3] Karim. Bourouni, ‘Cours de maintenance industrielle’, Polycopie pédagogique, Ecole nationale d'ingénieurs de Tunis, 2004.

[4] Alberto. Martenetti, Micaela. Demichela and Sarbeet Singh , *Applications and Challenges of Maintenance and Safety Engineering in Industry*. Engineering (ACIE) Book Series, IGI Global, 2020.

[5] R. Keith Mobiley, ‘Maintenance fondamentals’. Elsevier, 2nd Edition, 2004.

[6] Jean. Héng, ‘Pratique de la maintenance préventive’, Edition Dunod., 2002.

[7] Froçois. Monchy, Jean-Pierre. Vernier, ‘Maintenance Méthodes et organisations pour une meilleure productivité’,, Dunod. 3ème édition, 2010.

[8] S. Bensadda, D. Feliachi, ‘La maintenance indutrielle’, Office des publications universitaires, Algérie, 2002.

[9] Terry. Wireman, ‘Benchmarking Best Practices in Maintenance, Reliability and Asset Management: Updated for ISO 55000’, Industrial Press, Third Edition, 2015..

[10] G. Klempner and I. Kerszenbaum, *Operation and Maintenance of Large Turbo-Generators*, IEEE Press. 2005.