

Cours de
STRATEGIE DE MAINTENANCE

<http://btsmiforges.free.fr/>

SOMMAIRE

	pages
Chapitre 1 LA FONCTION MAINTENANCE	4
1 – INTRODUCTION A LA MAINTENANCE INDUSTRIELLE	4
2 – LE SERVICE MAINTENANCE	5
3 – LES TYPES DE MAINTENANCE	7
4 – LES ACTIVITES DE LA MAINTENANCE	7
5 – LES TEMPS DE LA MAINTENANCE	8
6 – NIVEAUX ET ECHELONS DE MAINTENANCE	9
Chapitre 2 LES DEFAILLANCES	11
1 – DEFAILLANCES ET PANNES : QUELQUES DEFINITIONS	11
2 – CLASSIFICATION DES DEFAILLANCES	11
3 – EVOLUTION DES DEFAILLANCES	12
4 – MECANISMES DE DEFAILLANCE	12
5 – OUTILS D'ANALYSE DES DEFAILLANCES	17
6 – DIAGRAMME CAUSES-EFFET (ou ISHIKAWA ou en ARETE DE POISSON)	17
7 – Q-Q-O-Q-C-P	17
8 – GRAPHE DE PARETO ou METHODE ABC	18
9 – AMDEC	19
Chapitre 3 LA MAINTENANCE CORRECTIVE	20
1 – DEFINITION	20
2 – LES PHASES D'UNE INTERVENTION DE MAINTENANCE CORRECTIVE	20
3 – LES TYPES DE MAINTENANCE CORRECTIVE	21
4 – PREPARATION DES ACTIONS DE MAINTENANCE CORRECTIVE	21
5 – DIAGNOSTIC APRES DEFAILLANCE	22
6 – OUTILS D'AIDE AU DIAGNOSTIC	22
7 – ORGANIGRAMME DE DIAGNOSTIC	23
8 – TABLEAU "EFFET-CAUSES-REMEDES"	23
9 – GAMME DE DEMONTAGE	24
Chapitre 4 LA MAINTENANCE PREVENTIVE	25
1 – DEFINITIONS	25
2 – LES AVANTAGES DE LA MAINTENANCE PREVENTIVE	25
3 – LA MAINTENANCE PREVENTIVE SYSTEMATIQUE	25
4 – LA MAINTENANCE PREVENTIVE CONDITIONNELLE OU PREVISIONNELLE	26
5 – LE PLAN DE MAINTENANCE PREVENTIVE	27
6 – LA COMPLEMENTARITE ENTRE MAINTENANCE PREVENTIVE ET MAINTENANCE CORRECTIVE	28
7 – PREPARATION DES ACTIONS DE MAINTENANCE PREVENTIVE	29
8 – MAINTENANCE PREVENTIVE ET GRAISSAGE	29
Chapitre 5 LA SURETE DE FONCTIONNEMENT	32
1 – DÉFINITIONS	32
2 – LE TAUX DE DEFAILLANCE	33
3 – ANALYSE FMD D'UN HISTORIQUE	33
4 – ETUDE DE LA FIABILITE	34
5 – LE MODELE EXPONENTIEL	35
6 – LE MODELE DE WEIBULL	35
Chapitre 6 LES COÛTS ET INDICATEURS	39
1 – LES COÛTS LIES A LA MAINTENANCE	39
2 – INVESTISSEMENT EN MAINTENANCE	40
3 – BUDGET DE MAINTENANCE	42
4 – LES INDICATEURS DE MAINTENANCE	43
5 – LE TABLEAU DE BORD	43

Chapitre 7 ORGANISATION ET LOGISTIQUE DE MAINTENANCE	45
1 – INTRODUCTION	45
2 – LA FONCTION DOCUMENTATION	45
3 – ORDONNANCEMENT	46
4 – GMAO	47
5 – STOCKS	49
6 – TPM	52
Chapitre 8 LES OUTILS DE CONTROLE	55
1 – ANALYSE VIBRATOIRE	55
2 – THERMOGRAPHIE	56
3 – ANALYSE D'HUILE	58
4 – ULTRA-SONS	59
Chapitre 9 L'EXTERNALISATION DES TRAVAUX	61
1 – DEFINITIONS	61
2 – POURQUOI EXTERNALISER ?	61
3 – LES TACHES A SOUS-TRAITER	62
4 – LES FORMES DE SOUS-TRAITANCE	62
5 – LE CONTRAT DE MAINTENANCE	62
Chapitre 10 QUALITE ET MAINTENANCE	64
1 – LES TERMES LIES A LA QUALITE	64
2 – LES CERTIFICATIONS ISO 9000	64
3 – LES CERTIFICATIONS ISO 14000	64
4 – FONCTION MAINTENANCE ET QUALITE	65
5 – LA METHODE KAISEN	65
6 – LES 5 ZEROS	65
7 – LE BENCHMARKING	65
8 – LA DEMARCHE DE RESOLUTION DE PROBLEMES	66
9 – LA CONDUITE DE PROJET	66
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	67

Chapitre 1

LA FONCTION MAINTENANCE



1 – INTRODUCTION A LA MAINTENANCE INDUSTRIELLE

1.1. Définition de la maintenance (norme NF EN 13306)

La maintenance est l'ensemble de toutes les 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.

Une fonction requise est une fonction, ou un ensemble de fonctions d'un bien considérées comme nécessaires pour fournir un service donné.

1.2. Les objectifs de la maintenance (norme FD X 60-000)

Selon la politique de maintenance de l'entreprise, les objectifs de la maintenance seront :

- la disponibilité et la durée de vie du bien ;
- la sécurité des hommes et des biens ;
- la qualité des produits ;
- la protection de l'environnement ;
- l'optimisation des coûts de maintenance ;
- etc.

La politique de maintenance conduit, en particulier, à faire des choix entre :

- maintenance préventive et/ou corrective, systématique ou conditionnelle ;
- maintenance internalisée et/ou externalisée.

1.3. La stratégie de maintenance (normes NF EN 13306 & FD X 60-000)

"La stratégie de maintenance est une méthode de management utilisée en vue d'atteindre les objectifs de maintenance."

Les choix de stratégie de maintenance permettent d'atteindre un certain nombre d'objectifs de maintenance :

- développer, adapter ou mettre en place des méthodes de maintenance ;
- élaborer et optimiser les gammes de maintenance ;
- organiser les équipes de maintenance ;
- internaliser et/ou externaliser partiellement ou totalement les tâches de maintenance ;
- définir, gérer et optimiser les stocks de pièces de rechange et de consommables ;
- étudier l'impact économique (temps de retour sur investissement) de la modernisation ou de l'amélioration de l'outil de production en matière de productivité et de maintenabilité.

1.4. Historique et évolution de la maintenance

a – Le terme "maintenance" a son origine dans le vocabulaire militaire, dans le sens maintien dans des unités de combat, de l'effectif et du matériel à un niveau constant.

Il est évident que les unités qui nous intéressent ici sont les unités de production, et le combat est avant tout économique.

L'apparition du terme "maintenance" dans l'industrie a eu lieu vers 1950 aux USA. En France, il se superpose progressivement à "l'entretien".

b – Entretien ou Maintenance ?

- Entretien c'est dépanner et réparer un parc matériel, afin d'assurer la continuité de la production. **Entretien c'est subir.**
- Maintenir c'est choisir des moyens de prévenir, de corriger ou de rénover le matériel, suivant sa criticité économique afin d'optimiser le coût global de possession. **Maintenir c'est maîtriser.**

2 – LE SERVICE MAINTENANCE

2.1. Les fonctions du service maintenance (norme FD X 60-000)

Les fonctions de la maintenance	Etude
	Préparation
	Ordonnancement
	Réalisation
	Gestion

Etude

Sa mission principale est l'analyse du travail à réaliser en fonction de la politique de maintenance choisie. Elle implique la mise en œuvre d'un plan de maintenance avec des objectifs chiffrés et des indicateurs mesurables.

Préparation

La préparation des interventions de maintenance doit être considérée comme une fonction à part entière du processus maintenance. Toutes les conditions nécessaires à la bonne réalisation d'une intervention de maintenance seront ainsi prévues, définies et caractérisées. Une telle préparation devra bien sûr s'inscrire dans le respect des objectifs généraux tels qu'ils sont définis par la politique de maintenance : coût, délai, qualité, sécurité,...

Quel que soit le type d'intervention à réaliser, la préparation sera toujours présente. Elle sera :

- implicite (non formalisée) : dans le cas de tâches simples, l'intervenant assurera lui-même, par expérience et de façon souvent automatique la préparation de ses actions ;
- explicite (formalisée) : réalisée par un préparateur, elle donne lieu à l'établissement d'un dossier de préparation structuré qui, faisant partie intégrante de la documentation technique, sera utilisé chaque fois que l'intervention sera réalisée. Il sera donc répertorié et conservé sous réserve de mises à jour ultérieures.

Ordonnancement

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 de chef d'orchestre débouche vite sur la cacophonie quel que soit le brio des solistes.

Réalisation

La réalisation consiste à mettre en œuvre les moyens définis dans le dossier de préparation dans les règles de l'art, pour atteindre les résultats attendus dans les délais préconisés par l'ordonnancement.

Gestion

La fonction gestion du service maintenance devra être capable d'assurer la gestion des équipements, la gestion des interventions, la gestion des stocks, la gestion des ressources humaines, et la gestion du budget.

2.2. Domaines d'action du service maintenance

Voici la liste des différentes tâches dont un service maintenance peut avoir la responsabilité :

- la maintenance des équipements : actions correctives et préventives, dépannages, réparations et révisions.
- l'amélioration du matériel, dans l'optique de la qualité, de la productivité ou de la sécurité.
- les travaux neufs : participation au choix, à l'installation et au démarrage des équipements nouveaux.
- les travaux concernant l'hygiène, la sécurité, l'environnement et la pollution, les conditions de travail, ...
- l'exécution et la réparation des pièces de rechanges.
- l'approvisionnement et la gestion des outillages, des rechanges, ...
- l'entretien général des bâtiments administratifs ou industriels, des espaces verts, des véhicules, ...

Ce qui prouve le bien-fondé d'une formation polyvalente.

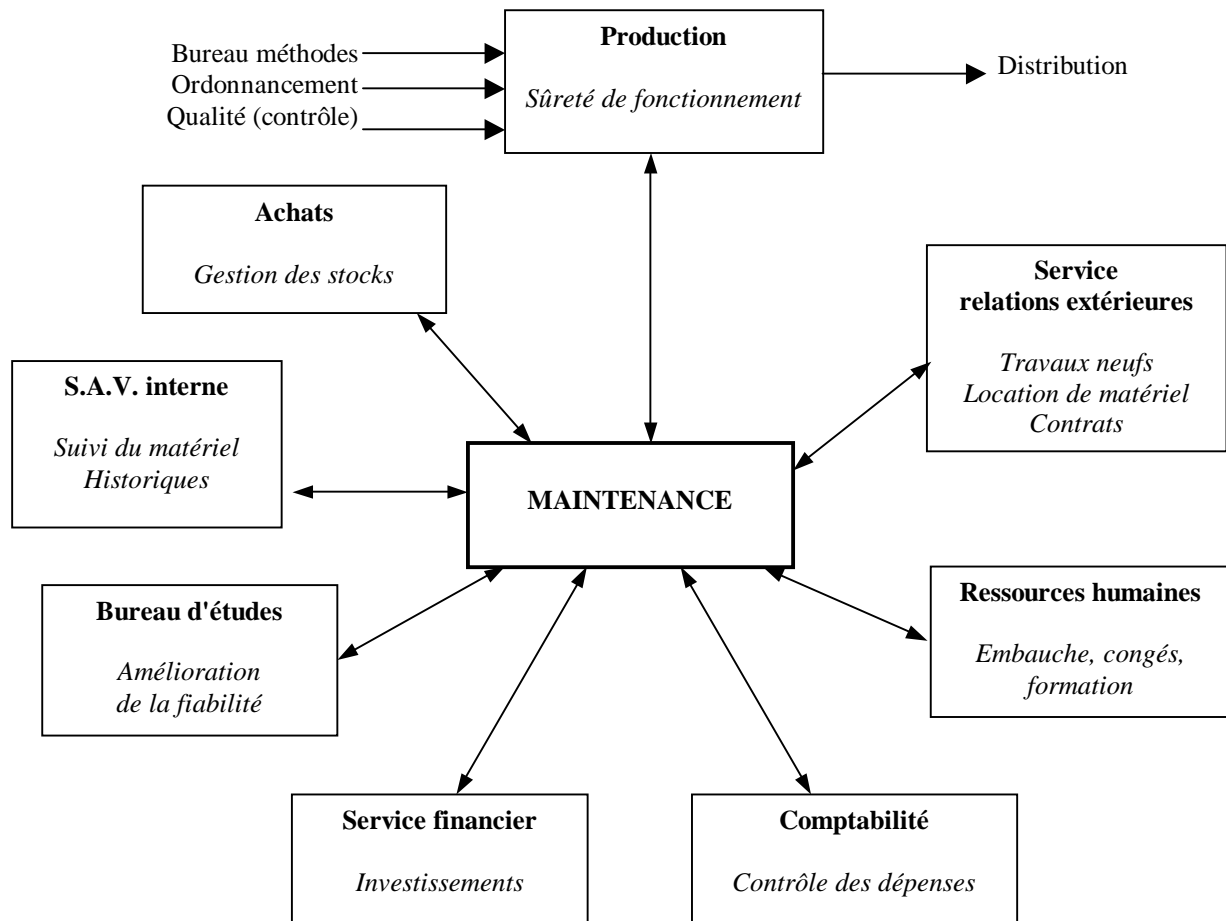
2.3. Place du service maintenance dans l'entreprise

Les installations, les équipements, tendent à se détériorer dans le temps sous l'action de causes multiples : usures, déformations dues au fonctionnement, action des agents corrosifs (agents chimiques, atmosphériques, etc.).

Ces détériorations peuvent provoquer l'arrêt de fonctionnement (panne); diminuer les capacités de production; mettre en péril la sécurité des personnes; provoquer des rebuts ou diminuer la qualité; augmenter les coûts de fonctionnement (augmentation de la consommation d'énergie, etc.); diminuer la valeur marchande de ces moyens.

Dans tous les cas ces détériorations engendrent des coûts directs ou indirects supplémentaires.

Le service maintenance, comme le service de sécurité, devient une interface entre toutes les entités qui composent l'entreprise.



La maintenance est de plus en plus concernée par la qualité des produits, qui passe par la qualité des machines. La **TPM (Total Productive Maintenance)** japonaise montre l'intérêt qu'il y a à confier à des conducteurs de machines les actions de maintenance de 1^{er} et 2^e niveaux. Dans la même logique, le **TRS (taux de rendement synthétique)** est un indicateur de gestion qui prend en compte à la fois des performances de production et de maintenance.

Organisation géographique du service maintenance : Deux types d'organisation peuvent être mis en place selon la spécificité et la taille de l'entreprise :

- ◆ Un service maintenance centralisé (atelier central)
- ◆ Des services maintenance décentralisés à proximité de chaque secteur d'activité

2.4. Le technicien de maintenance

Pour atteindre les objectifs de la maintenance, et en tenant compte d'un contexte de mondialisation visant à réduire les coûts pour assurer la compétitivité, les entreprises ont besoin de techniciens ayant des compétences très fortes tant dans les domaines techniques que dans l'approche économique des problèmes et dans la capacité à manager les hommes.

La technologie des matériels actuels implique une **compétence technique polyvalente**. Les frontières entre les domaines mécanique, électrique, hydraulique, pneumatique, informatique ... ne sont pas évidentes sur une machine compacte.

Une polyvalence au niveau de la gestion est aussi indispensable, ainsi que **la maîtrise des données techniques, économiques et sociales**.

Le profil du technicien de maintenance, est celui **d'un homme de terrain**, de contact et d'équipe, qui s'appuie sur sa formation initiale puis sur son expérience pour faire évoluer la prise en charge du matériel dont il a la responsabilité.

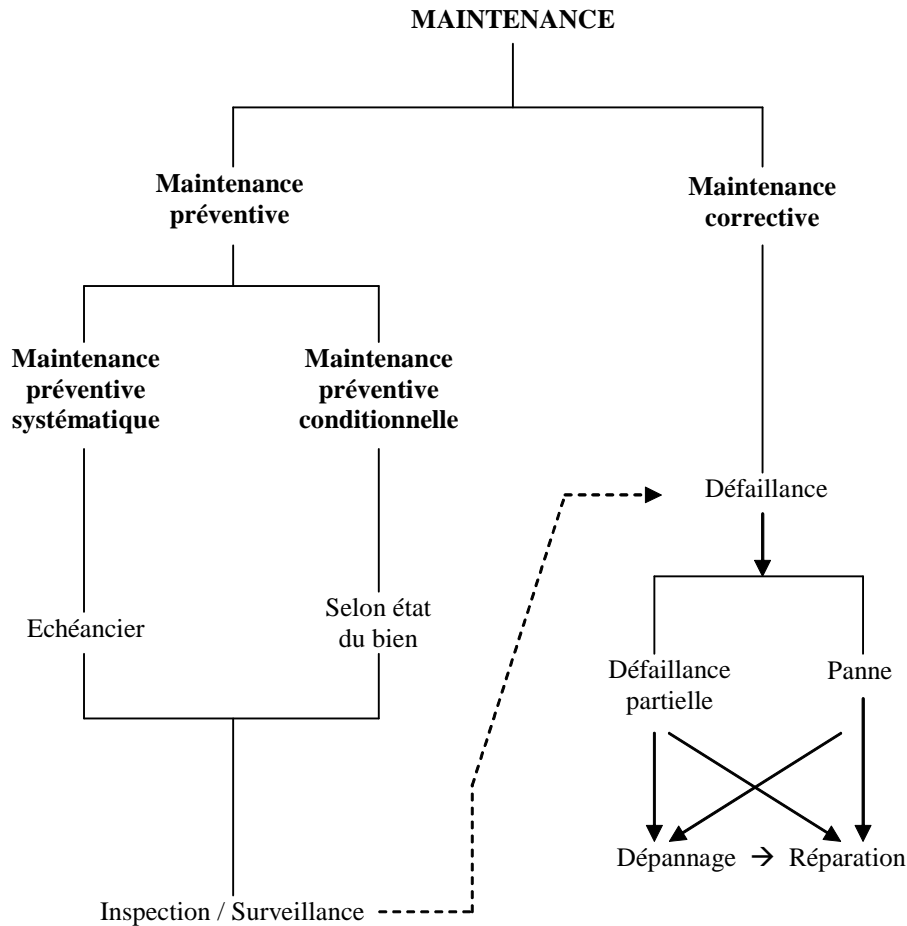
2.5. Le management de la maintenance

Le management de la maintenance est à la charge d'une (ou plusieurs) personne(s) désignée(s) dont les responsabilités et autorité doivent être définies. (*norme FD X 60-000*)

Il appartient au management et aux responsables de :

- Définir les profils d'emploi nécessaires à l'accomplissement de la mission de la fonction maintenance ;
- Gérer les ressources disponibles en interne dans cet esprit et en particulier de prendre des dispositions pour assurer la formation, la qualification et l'habilitation du personnel en vue de :
 - lui permettre d'assurer les tâches de maintenance avec un optimum d'efficacité ;
 - s'assurer que les règles de sécurité sont connues et mises en œuvre ;
 - être conforme aux exigences réglementaires en matière d'habilitation ;
 - etc.

3 – LES TYPES DE MAINTENANCE (norme NF EN 13306)



La maintenance corrective

C'est la maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise.

La maintenance préventive

C'est la 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.

La maintenance préventive systématique

C'est la 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.

La maintenance préventive conditionnelle

C'est la 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 maintenance préventive prévisionnelle

C'est la maintenance préventive conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien.

4 – LES ACTIVITES DE LA MAINTENANCE (norme NF EN 13306)

L'inspection

C'est un contrôle de conformité réalisé 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.

La surveillance

C'est l'activité exécutée manuellement ou automatiquement ayant pour objet d'observer l'état réel d'un bien

La surveillance se distingue de l'inspection en ce qu'elle est utilisée pour évaluer l'évolution des paramètres du bien avec le temps.

La réparation

Ce sont les actions physiques exécutées pour rétablir la fonction requise d'un bien en panne.

Le dépannage

Ce sont les 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.

L'amélioration

Ensemble des mesures techniques, administratives et de gestion, destinées à améliorer la sûreté de fonctionnement d'un bien sans changer sa fonction requise.

La modification

Ensemble des mesures techniques, administratives et de gestion, destinées à changer la fonction d'un bien.

La révision

Ensemble complet d'exams et d'actions réalisés afin de maintenir le niveau requis de disponibilité et de sécurité.

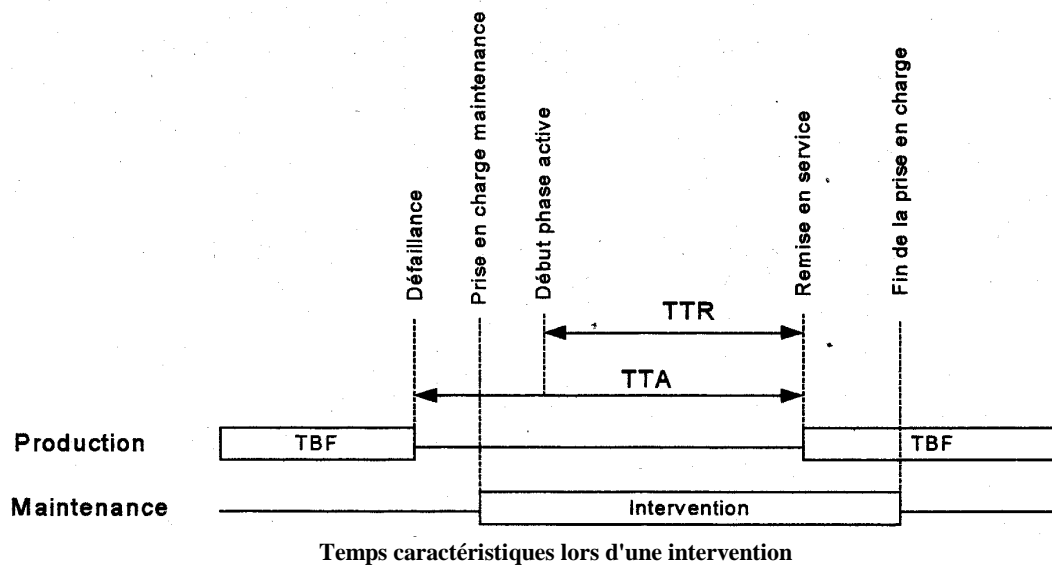
La reconstruction

Action suivant le démontage d'un bien et la réparation ou le remplacement des composants qui approchent de la fin de leur durée de vie utile et/ou devraient être systématiquement remplacés.

La reconstruction diffère de la révision en ce qu'elle peut inclure des modifications et/ou améliorations.

L'objectif de la reconstruction est normalement de donner à un bien une vie utile qui peut être plus longue que celle du bien d'origine.

5 – LES TEMPS DE LA MAINTENANCE



5.1. La MTBF

La MTBF est la moyenne des temps de bon fonctionnement (TBF).

Un temps de bon fonctionnement est le temps compris entre deux défaillances.

Remarque : En anglais, MTBF signifie mean time between failures (norme X60-500).

5.2. La MTTR

La MTTR est la moyenne des temps techniques de réparation (TTR).

Le TTR est le temps durant lequel on intervient physiquement sur le système défaillant. Il débute lors de la prise en charge de ce système jusqu'après les contrôles et essais avant la remise en service.

Remarque : En anglais, MTTR signifie mean time to restoration (norme X60-500).

5.3. La MTTA

La MTTA est la moyenne des temps techniques d'arrêt (TTA).

Les temps techniques d'arrêt sont une partie des temps d'arrêt que peut connaître un système de production en exploitation. Ils ont pour cause une raison technique et, ce faisant, sont à distinguer des arrêts inhérents à la production (attente de pièce, de matière, d'énergie, changement de production, etc.).

6 – NIVEAUX ET ECHELONS DE MAINTENANCE

6.1. Les niveaux de maintenance (norme FD X 60-000)

La maintenance et l'exploitation d'un bien s'exercent à travers de nombreuses opérations, parfois répétitives, parfois occasionnelles, communément définies jusqu'alors en cinq niveaux de maintenance. Le tableau de la page suivante définit les cinq niveaux de maintenance.

6.2. Les échelons de maintenance (norme FD X 60-000)

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 trois 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). Si cela se vérifie fréquemment (dans le domaine militaire par exemple), il convient cependant de ne pas en faire une généralité. On peut rencontrer en milieu industriel des tâches de niveau 5 effectuées directement sur site.

Les cinq niveaux de maintenance (norme FD X 60-000)

Niveau 1	<p>Définition : Actions simples nécessaires à l'exploitation et réalisées sur des éléments facilement accessibles en toute sécurité à l'aide d'équipements de soutien intégrés au bien.</p> <p>Intervenant : L'utilisateur du bien</p> <p>Exemples en préventif : Ronde de surveillance d'état ; Graissages journaliers ; Manœuvre manuelle d'organes mécaniques ; Relevés de valeurs d'état ou d'unités d'usage ; Test de lampes sur pupitre ; Purge d'éléments filtrants ; Contrôle d'encrassement des filtres.</p> <p>Exemples en correctif : Remplacement des ampoules ; Ajustage, remplacement d'éléments d'usure ou détériorés, sur des éléments ou composants simples et accessibles.</p>
Niveau 2	<p>Définition : Actions qui nécessitent des procédures simples et/ou des équipements de soutien (intégrés au bien ou extérieurs) d'utilisation ou de mise en œuvre simple.</p> <p>Intervenant : Personnel qualifié</p> <p>Un personnel est qualifié lorsqu'il a reçu une formation lui permettant de travailler en sécurité sur un bien présentant certains risques potentiels, et est reconnu apte pour l'exécution des travaux qui lui sont confiés, compte tenu de ses connaissances et de ses aptitudes.</p> <p>Exemples en préventif : Contrôle de paramètres sur équipements en fonctionnement, à l'aide de moyens de mesure intégrés au bien ; Réglages simples (alignement de poulies, alignement pompe-moteur, etc.) ; Contrôle des organes de coupure (capteurs, disjoncteurs, fusibles), de sécurité, etc. ; Détartrage de surface de ruissellement (tour aëroréfrigérante) ; Graissage à faible périodicité (hebdomadaire, mensuelle) ; Remplacement de filtres difficiles d'accès.</p> <p>Exemples en correctif : Remplacement par échange standard de pièces : fusibles, courroies, filtres à air, etc. ; Remplacement de tresses, de presse-étoupe, etc. ; Lecture de logigrammes de dépannage pour remise en cycle ; Remplacement de composants individuels d'usure ou détériorés par échange standard (rail, glissière, galet, rouleaux, chaîne, fusible, courroie,...).</p>
Niveau 3	<p>Définition : Opérations qui nécessitent des procédures complexes et/ou des équipements de soutien portatifs, d'utilisation ou de mise en œuvre complexes.</p> <p>Intervenant : Technicien qualifié</p> <p>Exemples en préventif : Contrôle et réglages impliquant l'utilisation d'appareils de mesure externes aux biens ; Visite de maintenance préventive sur les équipements complexes ; Contrôle d'allumage et de combustion (chaudières) ; Intervention de maintenance préventive intrusive ; Relevé de paramètres techniques d'état de biens à l'aide de mesures effectuées d'équipements de mesure individuels (prélèvement de fluides ou de matière,...).</p> <p>Exemples en correctif : Diagnostic ; Réparation d'une fuite de fluide frigorigène (groupe de froid) ; Reprise de calorifuge ; Diagnostic d'état avec usage d'équipements de soutien portatifs et individuels (pocket automate, multimètre) ; Remplacement d'organes et de composants par échange standard de technicité générale, sans usage de moyens de soutien communs ou spécialisés (carte automate, vérin, pompe, moteurs, engrenage, roulement,...) ; Dépannage de moyens de production par usage de moyens de mesure et de diagnostics individuels.</p>
Niveau 4	<p>Définition : Opérations dont les procédures impliquent la maîtrise d'une technique ou technologie particulière et/ou la mise en œuvre d'équipements de soutien spécialisés.</p> <p>Intervenant : Technicien ou équipe spécialisée</p> <p>Exemples en préventif : Révisions partielles ou générales ne nécessitant pas le démontage complet de la machine ; Analyse vibratoire ; Analyse des lubrifiants ; Thermographie infrarouge (installations électriques, mécanique, thermique,...) ; Relevé de paramètres techniques nécessitant des moyens de mesure collectifs (oscilloscope, collecteur de données vibratoires) avec analyse des données ; Révision d'une pompe en atelier, suite à dépose préventive.</p> <p>Exemples en correctif : Remplacement de clapets de compresseur ; Remplacement de tête de câble en BTA ; Révision d'une pompe en atelier spécialisé suite à dépose préventive ; Réparation d'une pompe sur site, suite à une défaillance ; Dépannage de moyens de production par usage de moyens de mesure ou de diagnostics collectifs et/ou de forte complexité (valise de programmation automate, système de régulation et de contrôle des commandes numériques, variateurs,...) ; Reprise de clôture extérieure ; Remplacement d'une porte et mise en peinture ; Réparations de fissures et défauts d'étanchéité ; Reprise de fuite de toiture.</p>
Niveau 5	<p>Définition : Opérations dont les procédures impliquent un savoir-faire, faisant appel à des techniques ou technologies particulières, des processus et/ou des équipements de soutien industriels. Ce sont des opérations de rénovation, reconstruction, etc.</p> <p>Intervenant : Constructeur ou société spécialisée</p> <p>Exemples : Révisions générales avec le démontage complet de la machine ; Reprise dimensionnelle et géométrique ; Réparations importantes réalisées par le constructeur ou le reconditionnement de ses biens ; Remplacement de biens obsolètes ou en limite d'usure.</p>

Chapitre 2 LES DEFAILLANCES



1 – DEFAILLANCES ET PANNES : QUELQUES DEFINITIONS (norme NF EN 13306)

La défaillance

Cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise.

La panne

État d'un bien inapte à accomplir une fonction requise, excluant l'inaptitude due à la maintenance préventive ou à d'autres actions programmées ou à un manque de ressources extérieures.

Remarque : Après une défaillance, le bien est en panne, totale ou partielle. Une défaillance est un événement à distinguer d'une panne qui est un état.

Les causes de défaillance

Ce sont les raisons de la défaillance. Les raisons peuvent résulter d'au moins un des facteurs suivants : défaillance due à la conception, à la fabrication, à l'installation, à un mauvais emploi, par fausse manœuvre, à la maintenance.

Les modes de pannes

Un mode de panne est la façon par laquelle est constatée l'incapacité d'un bien à remplir une fonction requise.

Remarque : L'emploi du terme "mode de défaillance" dans ce sens est déconseillé par la norme.

Le mécanisme de défaillance

Le mécanisme de défaillance correspond aux processus physiques, chimiques ou autres qui conduisent ou ont conduit à une défaillance.

2 – CLASSIFICATION DES DEFAILLANCES

La classification d'une défaillance peut se faire en fonction des critères suivants (norme X60-500) :

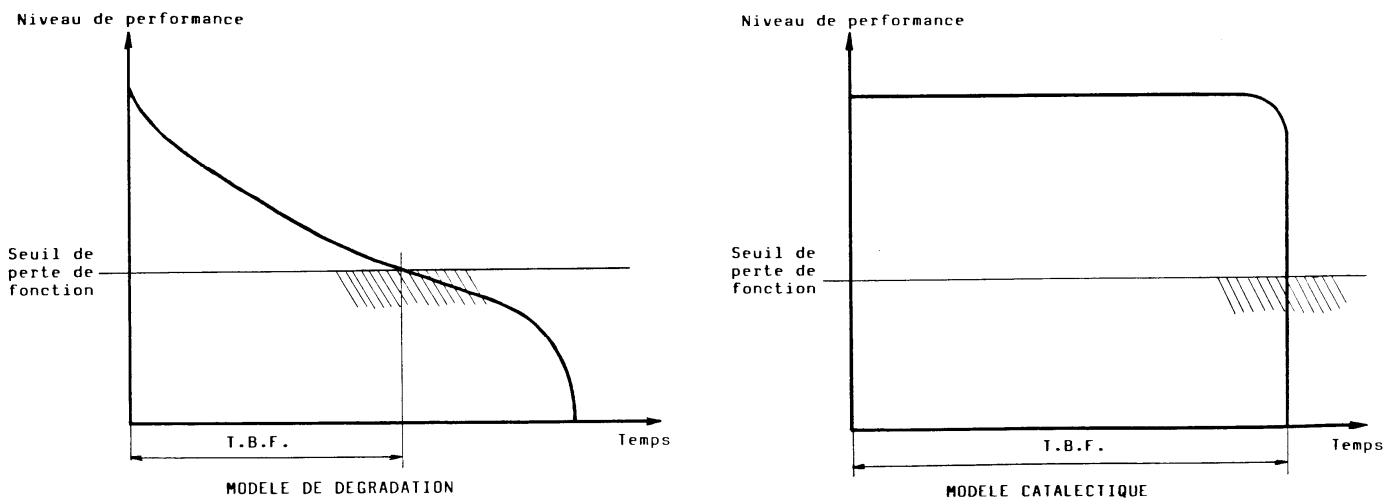
DEFAILLANCE	En fonction de la vitesse d'apparition	Défaillance progressive	Evolution dans le temps de certaines caractéristiques d'une entité
		Défaillance soudaine	Evolution quasi instantanée des caractéristiques d'une entité
	En fonction de l' instant d'apparition	Défaillance en fonctionnement	Se produit sur l'entité alors que la fonction requise est utilisée
		Défaillance à l'arrêt	Se produit sur l'entité alors que la fonction requise n'est pas utilisée
		Défaillance à la sollicitation	Se produit au moment où la fonction requise est sollicitée
	En fonction du degré d'importance	Défaillance partielle	Entraîne l'inaptitude d'une entité à accomplir certaines fonctions requises
		Défaillance totale	Entraîne l'inaptitude totale d'une entité à accomplir la fonction requise
	En fonction de la vitesse d'apparition et du degré d'importance	Défaillance par dégradation	Qui est à la fois progressive et partielle
		Défaillance catalectique	Qui est à la fois soudaine et complète
	En fonction des causes	Défaillance par faiblesse inhérente	Due à la conception ou à la fabrication de l'entité
		Défaillance par emploi inapproprié	Les contraintes appliquées dépassent les possibilités de l'entité
		Défaillance par fausse manoeuvre	Opération incorrecte dans l'utilisation de l'entité
Défaillance par vieillissement		Dégradation dans le temps des caractéristiques de l'entité	

DEFAILLANCE	En fonction de son origine	Défaillance interne à l'entité	L'origine est attribuée à l'entité elle-même.
		Défaillance externe à l'entité	L'origine est attribuée à des facteurs externes à l'entité elle-même.
	En fonction des conséquences	Défaillance critique	Susceptible de causer des dommages (aux personnes, biens, environnement)
		Défaillance majeure	Affecte une fonction majeure de l'entité
		Défaillance mineure	N'affecte pas une fonction majeure de l'entité
	En fonction de leur caractère	Défaillance systématique	Liée d'une manière certaine à une cause
		Défaillance reproductible	Peut être provoquée à volonté en simulant ou reproduisant la cause
		Défaillance non reproductible	La cause ne reproduit jamais la défaillance

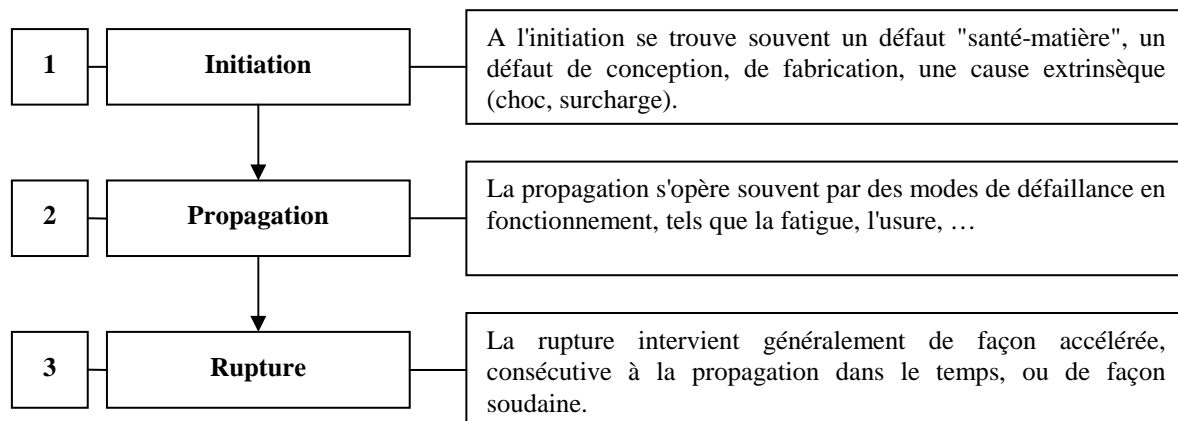
3 – EVOLUTION DES DEFAILLANCES

3.1. Evolution de la défaillance dans le temps

Deux modèles de défaillance peuvent être envisagés selon leur type d'apparition :



3.2. Processus d'évolution d'une défaillance mécanique



4 – MECANISMES DE DEFAILLANCE

4.1. Les défaillances mécaniques

4.1.1 – Défaillance par usure

Le mode de défaillance par usure est présent dès que deux surfaces en contact ont un mouvement relatif (plan/plan ou cylindre/cylindre).

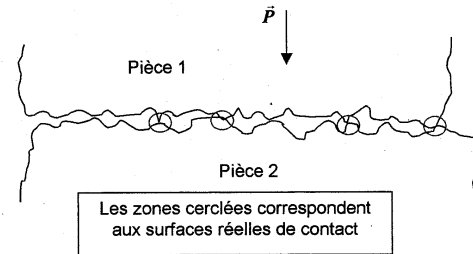
Remarque : Les usures mécaniques provoquent plus de 50% des coûts de maintenance.

a) Définition de l'usure

L'usure est une conséquence du phénomène de frottement entraînant un échauffement puis une production de débris avec perte de dimensions, forme et poids.

b) Mécanisme de l'usure

La surface théorique de contact se limite en fait à de petites aires de contact entre les aspérités plastiquement déformées de chaque surface. Les pressions de contact entre aspérités et la chaleur dissipée créent des microsoudures instantanées constituées d'un composé dépendant de la nature des matériaux en contact. La force de "frottement" est la résultante des efforts de cisaillement qui rompent toutes ces liaisons avec transfert ou libération des particules du composé formé.

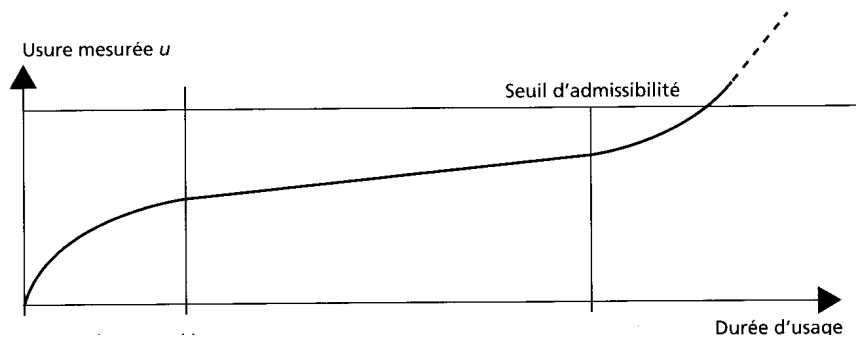


c) Différence entre usure et rodage

Le **rodage** correspond au cas où les déformations de contact sont permanentes mais sans détachement de grains de matière. Il y a adoucissement des aspérités (et augmentation de la zone de contact).

L'**usure** correspond au cas où des grains se détachent.

d) Les lois d'usure



- Phase I : **période de rodage** → C'est l'abrasion des principales aspérités.
- Phase II : **usure stable** → L'usure est linéaire et reportée principalement sur l'une des surfaces de contact.
- Phase III : **usure catastrophique** → Il y a émission de particules qui créent un "labourage" de la surface la plus tendre et une dégradation rapide.

e) Prévention de l'usure : les paramètres à prendre en compte :

- importance du choix des matériaux (coefficients de frottement)
- importance des éléments de maintenabilité (report d'usure sur la pièce voulue, pièces d'usure, détection des seuils d'usure,...)
- importance du mode d'obtention des pièces (la rectification augmente l'écrouissage des sous-couches par exemple), de leurs traitements thermiques, de leurs traitements de surface (cémentation, nitruration,...) ou de leurs revêtements de surface (céramiques, oxydes métalliques,...)
- importance des éléments de lubrification (choix des lubrifiants, fréquence des vidanges,...)
- importance de l'expertise, c'est-à-dire de la compréhension des mécanismes de dégradation observés en exploitation industrielle, pour trouver des solutions amélioratrices.

f) Paramètres d'usure : les paramètres mesurables significatifs permettant le tracé d'une courbe d'usure :

paramètres directs	paramètres induits
dimensions (cotes)	vibrations
rugosité	température
dureté superficielle	taux de compression
masse,...	chute de pression
	perte de débit
	rendement,...

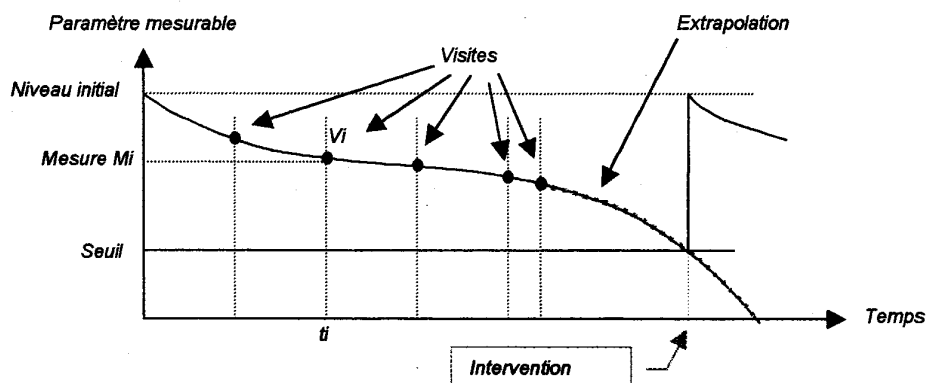
Remarque : Dans de nombreux cas, la mesure et l'enregistrement des paramètres induits ne nécessite pas l'arrêt de l'installation ou un démontage, ce qui n'est pas le cas des paramètres directs. C'est pourquoi, en maintenance préventive conditionnelle, on mesure souvent des paramètres induits.

g) Exploitation des lois d'usure : Connaître une loi d'usure, c'est pouvoir anticiper cette usure et donc mettre en place des solutions préventives.

Pour s'approprier cette connaissance, il faudra :

- Identifier et sélectionner un paramètre significatif (direct ou induit)
- Déterminer expérimentalement ou en fonction de données constructeur une performance minimale admissible (seuil)
- Effectuer des relevés (mesures) à des périodicités à définir
- Tracer la loi d'usure à partir des valeurs relevées
- Extrapoler la courbe pour déterminer la date d'intervention
- Préparer et programmer l'intervention

Remarque : Un retour d'expérience est souhaitable pour affiner les valeurs du seuil et des périodicités de visites.



4.1.2 – Défaillances mécaniques par déformation plastique

a) Les différentes déformations

L'essai de traction met en évidence, suivant la sollicitation appliquée à l'éprouvette, une zone de déformation élastique et réversible, puis plastique et non réversible.

La déformation élastique sous contrainte de fonctionnement n'est pas une défaillance en soi, de par sa réversibilité, sauf cas d'application particulier : un allongement peut par exemple créer une perte d'étanchéité.

Par contre, les déformations plastiques permanentes sont des défaillances en elles-mêmes, puisque irréversibles. De plus, elles constituent un risque de rupture ultérieure de nature catalectique, donc dangereux.

b) Déformation plastique sous contrainte mécanique

Ces déformations dues à un dépassement de la limite élastique R_e (à cause d'un choc, d'une surcharge) peuvent être locales (marquage, empreintes sur engrenage) ou étendues à un profil ou une section. Une inspection à ce stade d'apparition d'une striction (zone de diminution de la section) peut prévenir le risque d'une rupture prochaine.

c) Déformation plastique sous contrainte thermique : le fluage

Le fluage est une déformation apparaissant sous contrainte mécanique associée à une température de service supérieure à $0.4 T_f$ (température de fusion), soit à partir de 450°C pour les aciers. La vitesse de fluage peut être rapide (contrainte forte à température faible) ou lente (contrainte faible à température forte).

4.1.3 – Défaillances mécaniques par fatigue

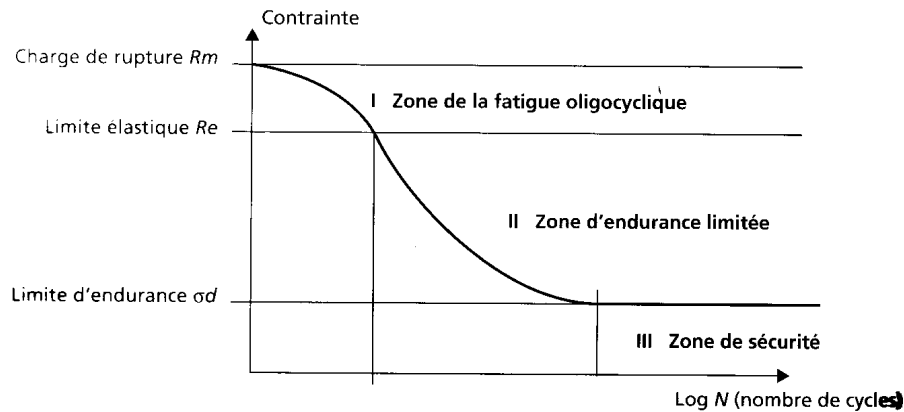
On entend par fatigue, la modification des propriétés des matériaux consécutive à l'application de cycles d'efforts, cycles dont la répétition conduit à la rupture des pièces constituées avec ces matériaux.

Le phénomène de fatigue peut apparaître pour des contraintes inférieures à la limite élastique du matériau.

L'origine de la rupture est due à une fissuration progressive qui s'étend jusqu'à ce que la section transversale ne puisse plus supporter l'effort appliqué.

La courbe de Wöhler (ci-dessous) illustre les phénomènes de fatigue sous différentes contraintes.

- Zone I : Zone de la fatigue oligocyclique (ou plastique) → La contrainte est supérieure à la limite élastique R_e et ne peut être appliquée qu'un nombre limité de cycles.
- Zone II : Zone d'endurance limitée → La sollicitation est inférieure à la limite élastique et est répétée un certain nombre de cycles.
- Zone III : Zone de sécurité → Un nombre illimité de cycle peut être appliqué.



Les trois zones de la courbe de Wöhler

4.2. Les défaillances par corrosion

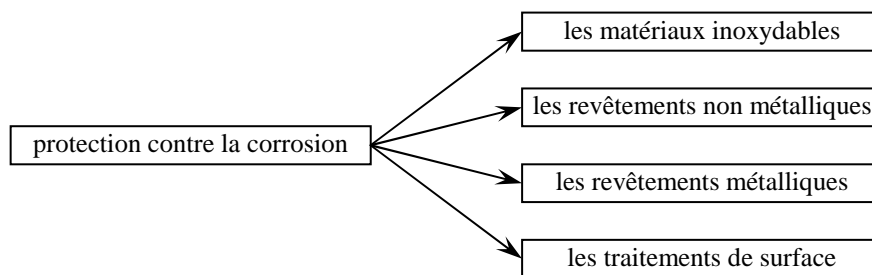
La corrosion est l'ensemble des phénomènes chimiques et électrochimiques sur les matériaux métalliques résultant du milieu ambiant. L'influence du milieu ambiant conduit un métal à passer de son état métallique à l'état de sels (oxydes, sulfures, carbonates,...).

Il est à noter que la corrosion ne fait que conduire à l'état originel du métal, celui-ci existant dans la nature sous forme d'oxydes, de sulfures ou de carbonates (à l'exception de l'or ou du platine que l'on peut trouver à l'état métallique).

4.2.1 – Les causes de la corrosion

- Les facteurs climatiques et géographiques
 - Degré hygrométrique de l'atmosphère, précipitations
 - Variations de la température et de la pression qui provoquent de la condensation
 - Vents transportant des matières abrasives
 - Degré de salinité de l'air
 - Taux de produits chimiques en suspension dans l'atmosphère
- Les assemblages hétérogènes
 - le contact de deux matériaux différents, même non corrodables, peut conduire à la corrosion électrolytique ou chimique.
- Les contraintes mécaniques
 - La corrosion se propage et pénètre plus facilement dans un métal sous tensions internes.
 - Un métal écroui est capable de céder des électrons plus facilement qu'un métal recristallisé.
- La circulation de courants électriques
 - En présence d'humidité, la circulation de courant dans les assemblages conduit à des phénomènes d'oxydation.
- Les traitements thermiques
 - En modifiant la structure d'un métal, un traitement thermique peut faire apparaître une dissymétrie entre les grains et leur voisinage immédiat, et être à l'origine d'une corrosion intergranulaire localisée aux joints des grains.

4.2.2 – Protection contre la corrosion



4.3. Modes de défaillance des pièces plastiques et composites

Les pièces à base de polymères, généralement associées au sein des systèmes à des pièces métalliques, ont des modes de défaillance semblables : usure, fatigue, rupture statique, fluage,...

Par contre, elles sont plus sensibles à l'influence du milieu ambiant : température, rayons ultraviolets, atmosphère,...

4.3.1 – Rupture mécanique des plastiques

Comme pour les métaux, l'initiation provient d'un défaut matière ou d'une zone faible à partir de laquelle une fissuration va se propager sous contrainte et sous influence de l'environnement.

Les thermoplastiques, formés de chaînes macromoléculaires non liées, se déformeront, évoluant vers une rupture plus ou moins ductile.

Les thermodurcissables, formés de réseaux tridimensionnels, donc peu déformables, évoluent vers une rupture "fragile".

4.3.2 – Vieillesse des composites

Le vieillissement est l'altération des propriétés des matériaux au cours du temps. Il est caractérisé par une modification structurelle par rupture de chaînes de polymères. Il s'agit en général d'un vieillissement "combiné" sous des actions thermiques, photochimiques, atmosphériques, chimiques, mécaniques, ou biologiques.

4.4. Modes de défaillance des parties commandées

4.4.1 – Modes de défaillance relatifs à la logique câblée

a) relais électromagnétiques

Les modes de défaillance les plus fréquents sont :

- bobine de commande coupée, ou en court-circuit
- contacts soudés, collés fermés, érodés, corrodés ou "rebondissants"
- armature mobile bloquée
- défaut d'isolement d'un contact avec la carcasse métallique

b) composants électroniques passifs

Les résistances ne s'usent pas, mais peuvent subir des surintensités qui créent des coupures ou des courts-circuits. Leur valeur peut être affectée par des variations thermiques.

Les condensateurs s'usent sous tension et ils sèchent hors tension (gare à l'allumage après arrêt prolongé). Les surcharges provoquent la rupture du diélectrique.

c) composants électroniques actifs

Ce sont les transistors et les circuits intégrés, mais aussi les thyristors et les triacs pour les circuits de puissance. De par l'intégration de plus en plus poussée des technologies SSI, MSI, LSI, VLSI contenant des milliers de portes, la fiabilité d'un circuit est plus à considérer collectivement qu'au niveau du composant.

Des tests de détection permettent de dire si le circuit est correct ou non. La localisation permet de situer le défaut au sein du composant.

Les mécanismes de défaillance concernent surtout les jonctions électroniques (semi-conducteurs thermosensibles) et se manifestent par des collages à 0 ou à 1.

Les causes potentielles de défaillance peuvent être :

- les surcharges
- les décharges électrostatiques
- les chocs thermiques
- le fonctionnement à basse température

d) Conducteurs et connexions

La connectique est la source de bien des défaillances intermittentes ou fugitives qu'il faut suspecter et vérifier avant de chercher à localiser des défauts internes. La fiabilité des connecteurs (cosses, soudures,...) devrait être au moins de même valeur que celle des technologies associées, en logique câblée ou programmée.

La fiabilité opérationnelle de la connectique est dépendante des conditions de l'environnement (corrosion et vibrations principalement).

4.4.2 – Modes de défaillance relatifs à la logique programmée

La logique programmée est par nature sensible aux perturbations énergétiques (surtension d'entrée), thermiques et surtout électromagnétiques de l'environnement. Dans un système programmable, se retrouvent les composants actifs et passifs précédents, mais également des composants électroniques programmables, de fonction paramétrable et modifiable.

a) Défaillance des automates programmables

Un automate est plus vulnérable par son intégration à son environnement et par son utilisation que par ses faiblesses intrinsèques.

90% des défaillances proviennent des cartes d'entrée-sortie et sont dues principalement à des surtensions en entrée.

b) Défaillances logicielles

Les défaillances logicielles sont dues principalement à des erreurs humaines ayant pour cause un manque de rigueur (syntaxe), de logique ou d'attention (oublis).

4.4.3 – Modes de défaillance par incompatibilité électromagnétique

La compatibilité électromagnétique est l'aptitude d'un équipement à bien fonctionner dans son environnement électromagnétique, et sans produire lui-même de perturbations à cet environnement (pollution électromagnétique).

Les perturbations se matérialisent sous forme de pannes fugitives ou de perte de mémoire.

Exemple d'appareils perturbateurs : téléphones portables, radars

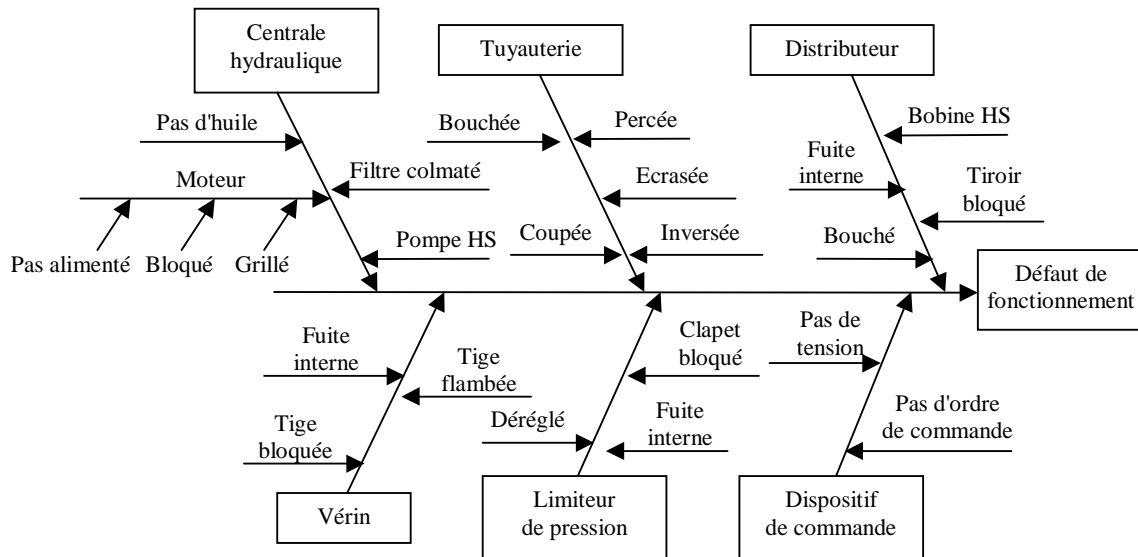
5 – OUTILS D'ANALYSE DES DEFAILLANCES

Outil	Intérêt
diagramme causes-effet = Ishikawa = arête de poisson	recherche des causes d'une défaillance
Q-Q-O-Q-C-P & 5 Pourquoi	analyse de défaillance
graphe de Pareto ou méthode ABC	mise en évidence des actions prioritaires
AMDEC	analyse prévisionnelle des défaillances

6 – DIAGRAMME CAUSES-EFFET (ou ISHIKAWA ou en ARETE DE POISSON)

Il s'agit d'une représentation arborescente des liaisons significatives entre un résultat, l'effet, et les multiples causes susceptibles d'en être à l'origine.

Exemple : analyse du défaut de fonctionnement d'une pompe hydraulique



Remarque : En production, il est très courant de limiter les causes à 5 familles : Matière, Matériel, Main d'œuvre, Méthode, Milieu. C'est la **méthode des 5 M**.

7 – Q-Q-O-Q-C-P

Quoi ? Qui ? Où ? Quand ? Comment ? et à chaque fois Pourquoi ?

Qu'il s'agisse d'analyser une défaillance, d'organiser un poste de travail, la logistique des flux, la conduite d'une réunion, une procédure administrative, ... l'emploi rigoureux de cette démarche contribue incontestablement à mettre en œuvre les conditions optimales de performance.

Simplicité et rigueur sont des conditions essentielles à la réussite.

- ① **Quoi ? Pourquoi ?**
- ② **Qui ? Pourquoi ?**
- ③ **Où ? Pourquoi ?**
- ④ **Quand ? Pourquoi ?**
- ⑤ **Comment ? Pourquoi ?**

La méthode des 5 pourquoi

Les **"5 pourquoi"** postulent que la répétition de la question permet l'analyse exhaustive d'une situation jusqu'à conduire aux meilleurs choix de solutions. La question est reposée jusqu'à ce que la réponse ne permette plus de relancer la recherche des causes.

8 – GRAPHE DE PARETO ou METHODE ABC

La méthode ABC permet de dégager l'important d'une masse d'informations, de faire apparaître objectivement ce qui est confusément perçu.

Il s'agit d'une méthode de choix qui permet de déceler entre plusieurs problèmes, ceux qui doivent être abordés en priorité. La courbe ABC permet donc de distinguer de façon claire les éléments important de ceux qui le sont moins et ceci sous la forme d'une représentation graphique. Cette règle de répartition a été définie par Wilfredo PARETO (socio-économiste italien, 1848-1923) on l'appelle aussi la règle des 80-20.

Intérêt de la méthode : Elle permet de ne pas se laisser influencer par des travaux certes utiles, mais de très faible importance par rapport au volume des autres travaux.

- Les 2 règles d'or de Pareto :
- ① "Ne pas utiliser un éléphant pour écraser une mouche."
 - ② "Ne pas utiliser une petite cuillère là où une louche est nécessaire."

Exemple :

Soit une entreprise de sous-traitance de circuits électroniques.

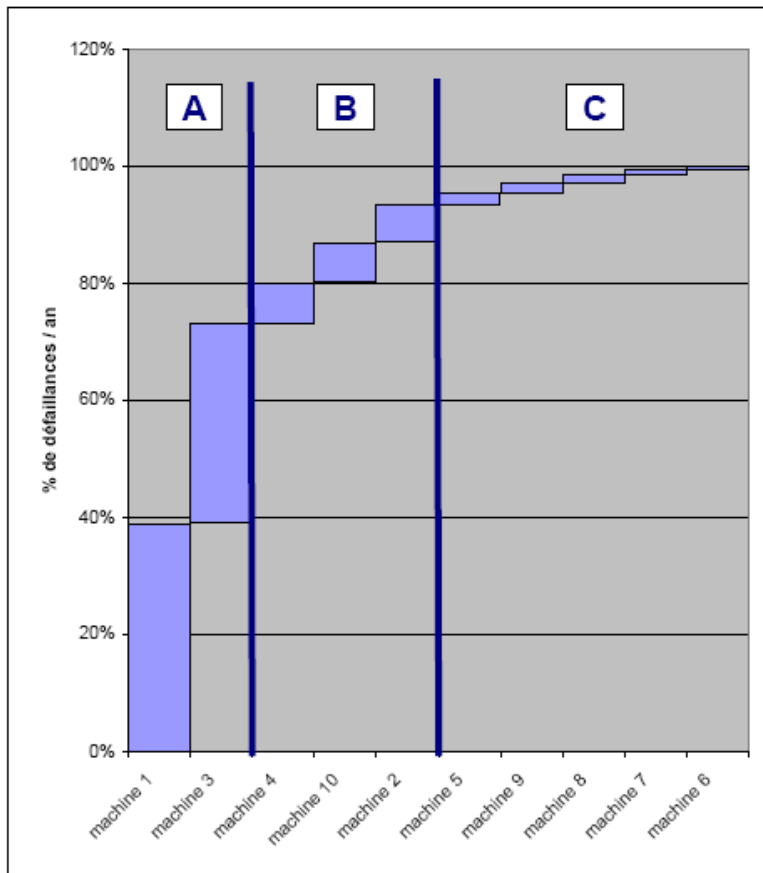
Un atelier d'assemblage de composants CMS comporte un parc de 10 machines.

Une étude réalisée à partir de l'historique des défaillances de l'année passée permet d'établir le nombre de défaillances par machine :

machines	nb de défaillances / an
machine 1	176
machine 2	29
machine 3	154
machine 4	32
machine 5	9
machine 6	3
machine 7	4
machine 8	6
machine 9	8
machine 10	31

Le responsable du service maintenance vous demande de traduire ces chiffres en un graphe de Pareto.

Solution :



Les machines 1 et 3 sont donc responsables de 73% des défaillances sur l'ensemble du parc.

9 – AMDEC (= ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCE, DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITE)

9.1. Objectifs de l'AMDEC

L'AMDEC est une procédure d'analyse des modes de défaillance et de leurs effets.

On distingue 2 types d'AMDEC :

- AMDEC de conception : Analyse prévisionnelle des défaillances → Amélioration de la conception
Définition de la maintenance
- AMDEC de maintenance : Analyse des défaillances observées → Amélioration de la maintenance
Modification ponctuelle de la conception

9.2. Méthodologie d'une AMDEC

- ① Constitution d'un groupe de travail
- ② Décomposition fonctionnelle du système
- ③ Evaluation des défaillances potentielles
- ④ Détermination des modes de défaillance, de leurs effets et de leurs causes
- ⑤ Evaluation et notation de chaque cause de défaillance
 - D : probabilité de non détection de la cause de la défaillance
 - O : probabilité d'apparition ou d'occurrence de la cause de la défaillance
 - G : gravité de la défaillance
- ⑥ Calcul de criticité et hiérarchisation

L'indice de criticité C est obtenu par : $C = D \times O \times G$.
- ⑦ Déduction des actions correctives à mener

9.3. Exemple d'AMDEC : ANALYSE DU SYSTEME "GASTON"

Niveau 1 : SOCIETE / CLIENT Niveau 2 : SERVICE Niveau 3 : INDIVIDU		Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets			Date : Version : Page :
REF.	DESCRIPTION	MODE	EFFET		CAUSE
			Effet Niveau 2	Effet Niveau 1	
GASTON	Individu pourvu des fonctions marche, mémoire, écriture, parole, ...	• Dégradation fonction marche	• Absence au travail	• Pas de réponse au téléphone → client mécontent	• Chute • Accident
		• Perte fonction parole	• Perte efficacité par manque de communication orale	• Perte de temps dans transmission informations car pas de communications avec le client	• Chute • Accident
		• Perte fonction mémoire	• Non réalisation du travail	• Non avancement de l'étude → client non satisfait	• Chute • Accident

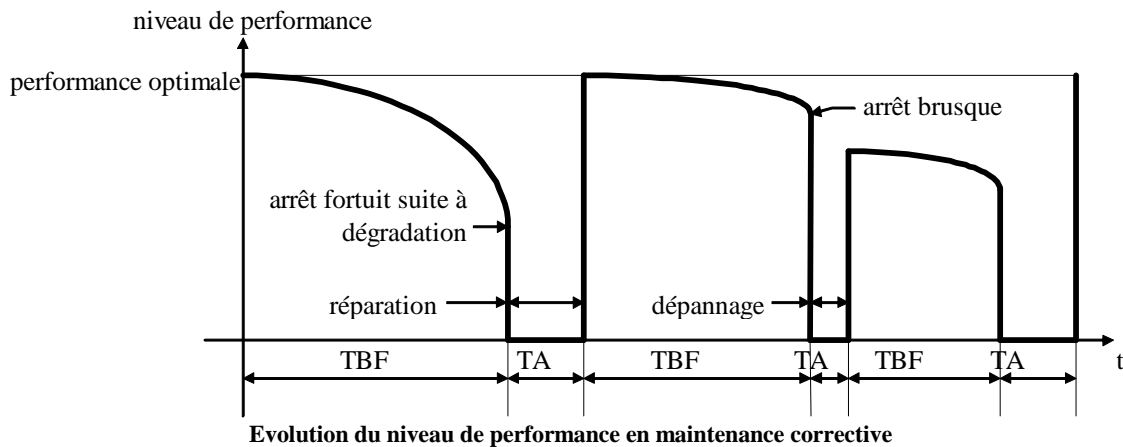
Chapitre 3

LA MAINTENANCE CORRECTIVE



1 – DEFINITION (norme NF EN 13306)

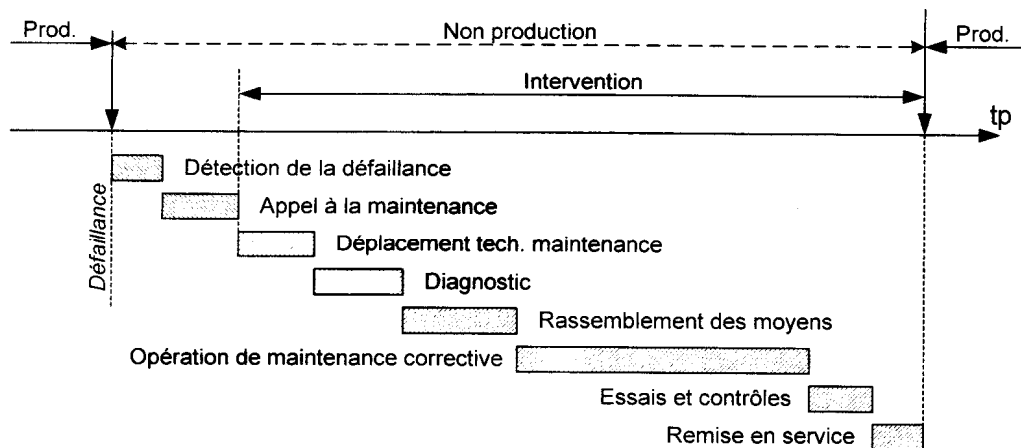
La maintenance corrective est la maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise.



2 – LES PHASES D'UNE INTERVENTION DE MAINTENANCE CORRECTIVE

La maintenance corrective vise à rétablir le bien considéré dans l'état d'accomplir une fonction requise, au moins provisoirement et/ou partiellement.

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



Les phases d'une opération de maintenance corrective

Phase 1 : **Détection de la défaillance** = Temps mis par l'utilisateur du système pour constater une dérive de fonctionnement.

Phase 2 : **Appel à la maintenance** = Temps utilisé pour informer le service maintenance avec un minimum de détails (localisation, conséquences, premiers symptômes, ...).

Phase 3 : **Déplacement des intervenants** = Temps nécessaire aux techniciens pour se rendre sur le lieu de la défaillance.

Phase 4 : **Diagnostic** = Temps nécessaire aux techniciens de maintenance pour identifier la cause de la défaillance et organiser l'intervention (détection, localisation, analyse).

Phase 5 : **Rassemblement des moyens** = Temps nécessaire aux techniciens de maintenance pour se fournir en outillages et pièces de rechanges.

Phase 6 : **Opération de maintenance corrective** (dépannage ou réparation) = Temps nécessaire aux techniciens de maintenance pour remettre le système en état d'accomplir sa mission.

Phase 7 : **Essais et contrôles** = Temps nécessaire aux techniciens de maintenance pour valider la remise à niveau de compétence du système.

Phase 8 : **Remise en service** = Temps nécessaire aux techniciens de maintenance éventuellement associés à l'utilisateur pour permettre au système d'atteindre sa cadence nominale.

3 – LES TYPES DE MAINTENANCE CORRECTIVE *(norme FD X 60-000)*

La maintenance corrective n'est pas forcément celle qui est la moins coûteuse, d'abord parce que, pour une même intervention elle peut forcer à engager des moyens exceptionnels justifiés par la criticité de la défaillance, d'autre part parce que l'interruption non programmée du service ou de la production, peut avoir des conséquences préjudiciables pour l'entreprise.

La maintenance corrective est, par définition, imprévisible mais pas forcément imprévue :

a) Maintenance corrective «acceptée»

La recherche permanente du meilleur rapport, usage/coût, peut conduire à accepter la défaillance d'un équipement avant d'envisager des actions de maintenance.

b) Maintenance corrective «palliative»

Action de maintenance corrective destinée à permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou partie d'une fonction requise.

Appelée couramment «dépannage», la maintenance palliative est principalement constituée d'actions à caractère provisoire qui doivent être suivies d'actions curatives.

c) Maintenance corrective «curative»

Action de maintenance corrective ayant pour objet de rétablir un bien dans un état spécifié pour lui permettre d'accomplir une fonction requise.

4 – PREPARATION DES ACTIONS DE MAINTENANCE CORRECTIVE

La préparation est une tâche d'anticipation des difficultés rencontrées sur le terrain, effectuée par un technicien qui connaît le terrain. Elle consiste à prévoir les paramètres d'exécution d'une tâche, à identifier les problèmes potentiels, à définir les besoins puis à rédiger les documents de préparation.

La préparation d'une tâche corrective peut se faire avant la défaillance (cas d'une défaillance attendue avec préparation anticipée) ou après la défaillance (cas d'une défaillance non prévue avec préparation "à chaud").

Qu'est ce qu'une bonne préparation ?

C'est une préparation "minimale" en temps passé et en volume rédigé qui aura servi sur le terrain :

- à assurer la sécurité des intervenants
- à les guider sans ambiguïté lors des opérations successives
- à anticiper leurs difficultés, réduisant la part d'improvisation
- à éviter la majorité des temps improductifs (attentes, déplacements inutiles, démontages sans intérêt, ...).

5 – DIAGNOSTIC APRES DEFAILLANCE

5.1. Méthodologie du diagnostic

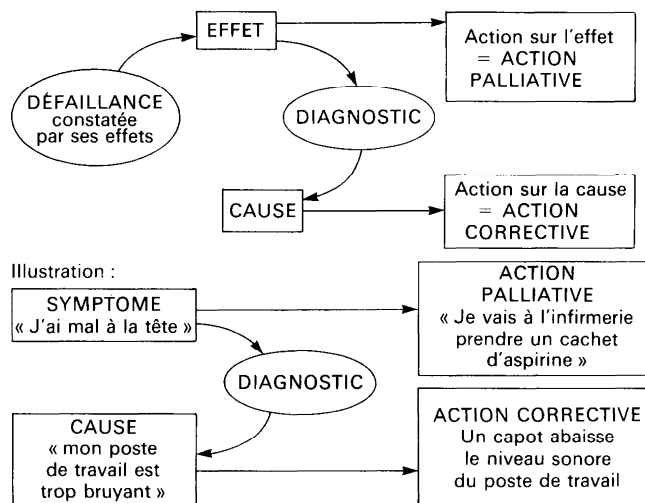
La méthodologie suivante est celle présentée dans le programme officiel de BTS maintenance industrielle.

METHODOLOGIE DU DIAGNOSTIC	
Démarche de localisation.	① Constaté la défaillance ; ② Identifier la fonction défaillante ; ③ Identifier et répertorier les composants liés à la non réalisation de la fonction et susceptibles d’être défaillants ; ④ Définir et hiérarchiser les hypothèses ; ⑤ Définir et réaliser les tests, mesures et contrôles permettant de valider ou non les hypothèses ; ⑥ En déduire l’élément défaillant.
Recherche des causes.	⑦ Analyser le mécanisme de défaillance ; ⑧ Identifier la cause de défaillance ; ⑨ Proposer un plan d’action (remède immédiat, préconisations ...).

5.2. Quelques définitions

Diagnostic : " C'est la recherche de la cause de la défaillance à partir d'observations de symptômes et à l'aide d'un raisonnement logique."

Symptôme : "phénomène, caractère perceptible ou observable lié à un état ou une évolution".

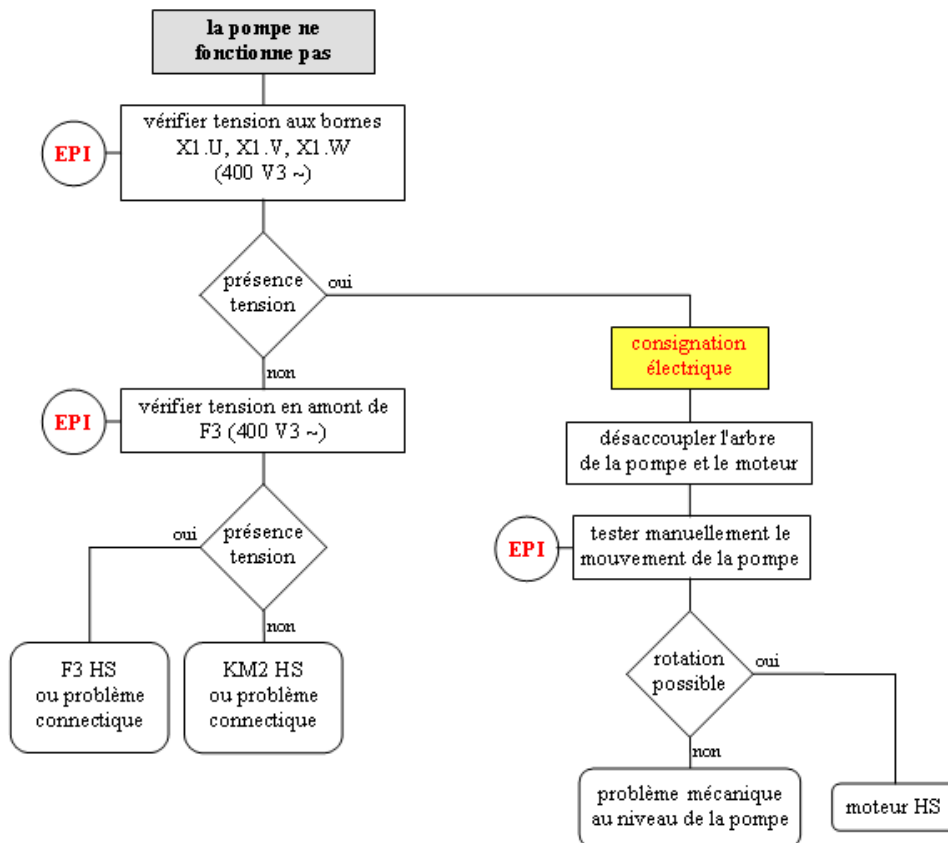


6 – OUTILS D'AIDE AU DIAGNOSTIC

Outil	Intérêt
organigramme de diagnostic	aide à la mise en œuvre des tests et mesures
tableau "effet-causes-remèdes"	recherche des causes d'une défaillance + remède correspondant
gamme de démontage	aide à une intervention de démontage

7 – ORGANIGRAMME DE DIAGNOSTIC

L'organigramme de diagnostic permet la vérification des hypothèses émises pendant la démarche de localisation de la défaillance.



8 – TABLEAU "EFFET-CAUSES-REMEDES"

Ce type de tableau présent régulièrement dans les notices de produits de grande consommation permet une première intervention de maintenance de l'utilisateur.

Message	Causes possibles	Actions correctives possibles
Erreur SIM	Aucune carte SIM n'est insérée dans le téléphone ou la carte a été mal insérée.	Vérifiez que la carte SIM est correctement insérée.
Connexion au réseau impossible	Signal faible Vous êtes en dehors du réseau GSM.	Adoptez une position plus en hauteur, près d'une fenêtre ou d'un espace ouvert. Consultez la carte de couverture de votre fournisseur de services.
Codes non concordants	Lorsque vous changez de code de sécurité, vous devez confirmer le nouveau code en le saisissant une deuxième fois. Les deux codes entrés ne sont pas les mêmes.	Contactez votre fournisseur de services.
Impossible d'activer la fonction	Fonction non prise en charge par votre fournisseur de services ou requérant un abonnement.	Contactez votre fournisseur de services.
Appels indisponibles	Erreur de numérotation Vous avez inséré une nouvelle carte SIM. Limite de facturation atteinte.	Nouveau réseau non autorisé. Vérifiez les nouvelles restrictions. Contactez votre fournisseur de services ou redéfinissez votre limite de facturation à l'aide du code PIN 2.

Exemple de tableau effet-causes-remèdes pour un téléphone portable

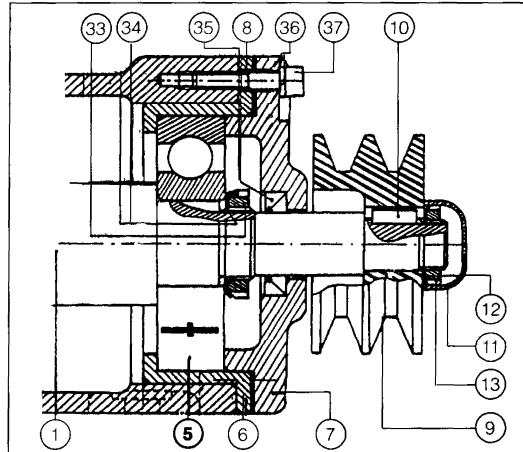
9 – GAMME DE DEMONTAGE

La gamme de démontage permet de préparer l'intervention, elle fait apparaître l'ordre chronologique des opérations de démontage et les outillages nécessaires. Elle permet de déterminer à l'avance l'emploi d'outillages spécifiques.

Pour le remontage, l'ordre des opérations est souvent l'inverse de celui du démontage. Il est bon, malgré tout, de préciser les opérations de graissage et de réglage à réaliser pendant le remontage.

Exemple : Remplacement d'un roulement

- **Nature des travaux :** Il s'agit de remplacer le roulement repère 5 du palier de broche (voir dessin d'ensemble ci-dessous).



• **Identification des sous-ensembles.** Il est possible de considérer 3 sous-ensembles :

- **A :** entraînement de la broche avec 9, 10, 11, 12 et 13.
- **B :** palier, avec , par rapport à l'arbre 5, 6, 33 et 34.
- **C :** chapeau et réglage du jeu avec 7, 8, 35, 36 et 37.

Le « râteau » tient compte de la possibilité de démontage d'un bloc de pièces et de leurs antériorités réciproques.

SOUS-ENSEMBLES	ORDRE DE DÉMONTAGE DES PIÈCES	OUTILLAGE	PRÉCAUTIONS
A	11 → 13 → 12 → 9 → 10	chasse goupille clé à ergot	Relever les languettes du frein d'écrou
C	37 → 36 → 7 → 35 → 8	clé mâle 5	Prévoir remplacement du joint.
B	33 → 34 → 5 → 6	chasse goupille clé à ergot	Relever les languettes du frein d'écrou. Démontage du roulement par la bague intérieure.

Le chaînage des différents sous-ensembles est déterminé par la matrice des antériorités.

Liste de l'outillage nécessaire au démontage d'une pièce ou d'un bloc de pièces.

Conseils techniques en fonction du constructeur ou de l'expérience.

Chapitre 4

LA MAINTENANCE PREVENTIVE



1 – DEFINITIONS (norme NF EN 13306)

La maintenance préventive

C'est la 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.

La maintenance préventive systématique

C'est la 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.

La maintenance préventive conditionnelle

C'est la 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 maintenance préventive prévisionnelle

C'est la maintenance préventive conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien.

2 – LES AVANTAGES DE LA MAINTENANCE PREVENTIVE

La mise en place d'une pratique de maintenance préventive présente un certain nombre d'avantages :

- Une amélioration de la productivité de l'entreprise
- Un coût de réparation moins élevé
- La diminution des stocks de production
- La limitation des pièces de rechange
- Une meilleure crédibilité du service maintenance
- Une plus grande motivation du personnel de maintenance

La maintenance préventive : une amélioration de la sécurité

La première personne à subir les conséquences d'un bris ou d'une panne inopinée est le travailleur qui utilise l'équipement ou opère sur la machine. L'opérateur compense souvent pour les irrégularités de fonctionnement de la machine et il court ainsi de grands risques.

Un bon programme d'entretien préventif sur les machines et les équipements dangereux pourrait permettre de détecter les anomalies avant l'accident afin de l'éviter ou d'en diminuer les conséquences.

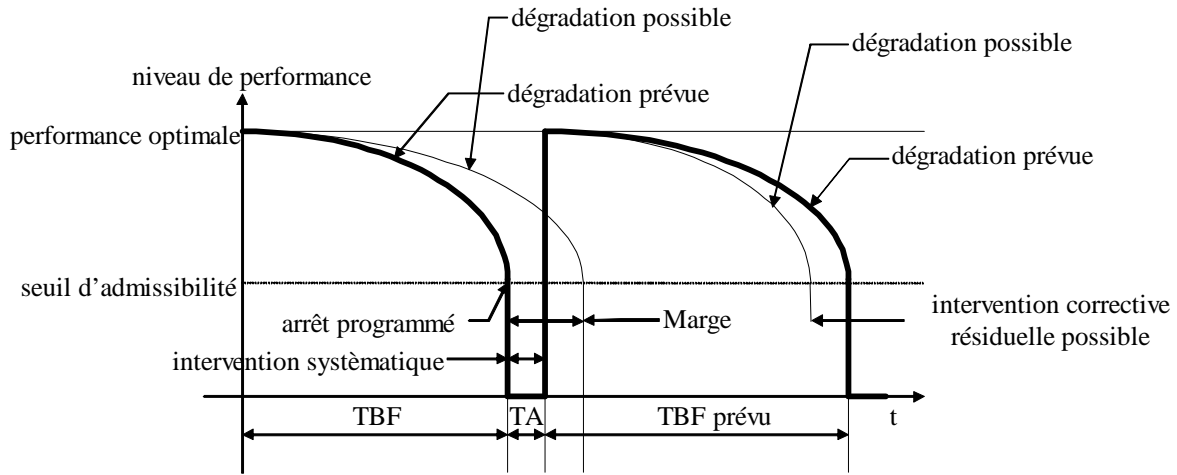
3 – LA MAINTENANCE PREVENTIVE SYSTEMATIQUE

La maintenance préventive systématique inclut les actions de maintenance requises par les dispositions légales et/ou réglementaires. Elle inclut au minimum la planification formelle, la description claire et précise du travail à effectuer (lubrification, changement de filtres, remplacement des roulements, etc.) et l'enregistrement du travail accompli.

La maintenance préventive systématique s'applique à des mécanismes de dégradation dont l'évolution est globalement connue. Ceci explique qu'elle n'inclut pas d'observation préalable de l'état du bien.

La maintenance préventive systématique se fera suivant un échancier.

Echancier : C'est l'échelonnement à priori de l'ensemble des actions de maintenance des matériels et équipements d'un site, à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre d'unités d'usage prévu.



Evolution du niveau de performance en maintenance préventive systématique

Détermination de la période d'intervention en maintenance préventive systématique

Les périodes d'intervention T se déterminent à partir :

- des préconisations du constructeur.
- de l'expérience acquise lors d'un fonctionnement en "correctif".
- de l'exploitation fiabiliste réalisée à partir d'un historique, d'essais, ou des résultats fournis par des visites préventives initiales.
- d'une analyse prévisionnelle de fiabilité.
- du "niveau de préventif" déterminé, à partir de critères techniques et économiques, par la politique de maintenance choisie pour l'ensemble concerné (choix de k pour $T = k.MTBF$).

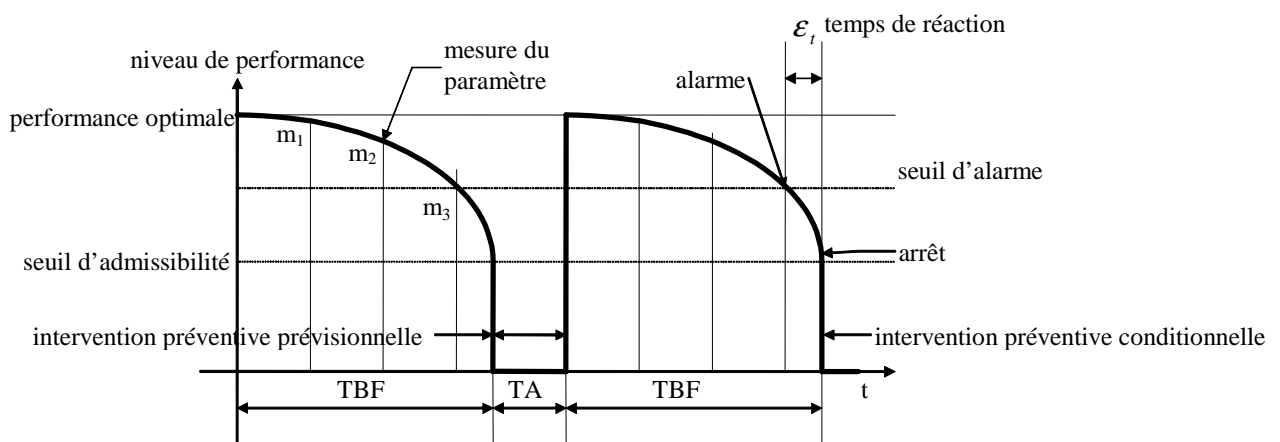
Incidence économique du choix de k :

Le plus souvent $0.5 < k < 1$.

Plus on choisit k petit, moins il y a de correctif résiduel, donc de coût de défaillance (arrêts fortuits). Par contre, on intervient plus souvent, donc on augmente les coûts directs (main d'œuvre, consommation de pièces en échange standard...) et le gaspillage de potentiel.

4 – LA MAINTENANCE PREVENTIVE CONDITIONNELLE OU PREVISIONNELLE

La maintenance conditionnelle ou prévisionnelle représente une démarche d'optimisation de la maintenance préventive systématique, basée sur la mesure objective de paramètres de la dégradation du bien. Elle repose sur l'extrapolation de mesures et courbes de tendance en fonction de l'usage du bien. Les courbes sont issues de mesures successives comparées à celle du retour d'expérience.



Evolution du niveau de performance en maintenance préventive conditionnelle ou prévisionnelle

Méthodologie de mise en œuvre d'une maintenance préventive conditionnelle

- ① Sélection des défaillances à prévenir (à partir des historiques ou d'une AMDEC)
- ② Sélection d'un paramètre physique
- ③ Choix des capteurs
- ④ Choix du mode de collecte des informations (par ronde ou par télésurveillance)
- ⑤ Détermination des seuils (seuil d'admissibilité + seuil d'alarme)
- ⑥ Définition des procédures après alarme
- ⑦ Organisation de l'intervention conditionnelle

5 – LE PLAN DE MAINTENANCE PREVENTIVE

Chaque matériel ou équipement est constitué d'un certain nombre d'éléments pour lesquels sont définis des actions de maintenance préventive systématique ou préventive conditionnelle à réaliser. Il convient de prendre en considération, si elles existent, les recommandations des constructeurs, complétées des données de retour d'expérience du site ou d'autres sites utilisateurs de mêmes équipements.

Le regroupement de ces actions constitue le plan de maintenance.

L'élaboration d'un plan de maintenance préventive a pour but de définir :

- sur quel bien effectuer la maintenance ;
- quelles sont les interventions à prévoir ;
- quand et comment elles doivent être réalisées.

JH2m		MAINTENANCE PRÉVENTIVE						Unité de production : FILTRATION			
		PLAN DE MAINTENANCE						Unité de maintenance : CENTRIFUGEUSE CE470			
GAMMES OPÉRATOIRES			Type	Spécialité responsable					Durée	Périodicité	OBSERVATIONS
Codification	ind	Description	BT	MEC	ELC	INS	FAB	EXP	heure	en jours	
F11088	A	Ronde mensuelle - Filtration	MPS	1						30	
F11089	A	Suivi des vibrations - Filtration	MPS	1						90	
F11090	A	Suivi des intensités moteurs - Filtration	MPS		1					90	
F11091	A	Campagne de mesures d'épaisseur - Filtration	MPS	1						360	Organisme extérieur
CE1103	A	Visite type M1 - Centrifugeuse CE470	MPS	1					1,00	30	
CE1104	A	Visite type M2 - Centrifugeuse CE470	MPS	1					1,50	90	
CE1105	A	Visite type M3 - Centrifugeuse CE470	MPS	1					4,00	180	
CE1106	A	Visite type M4 - Centrifugeuse CE470	MPS	2					12,00	360	* Assistance spécialiste
CE1107	A	Visite type M5 - Centrifugeuse CE470	MPS	2					40,00	1080	
CE1108	A	Visite type E0 - Centrifugeuse CE470	MPS		1				2,00	360	
		* Tâche assurée par la Fabrication :									
		. Remplacement du filtre PF475									
		. Contrôle de l'état de joint gonflable									
Date	Ind	Rédacteur	Visa Maintenance			Visa Production			Visa Qualité		Visa Sécurité
8/11/00	A	J. HENG									

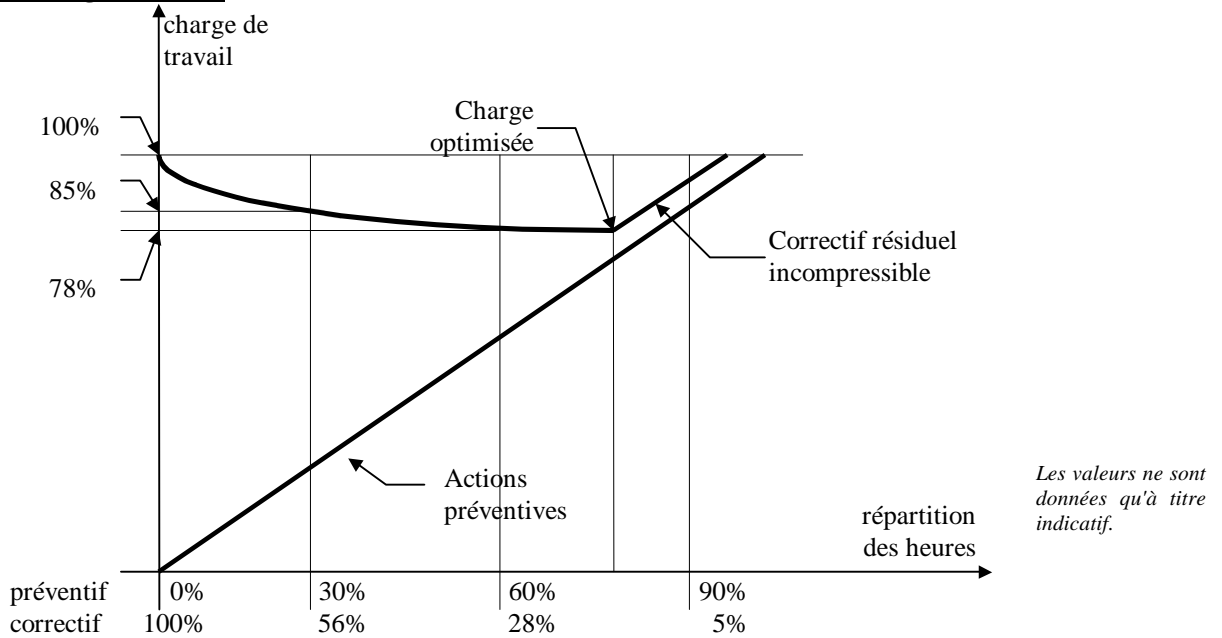
Exemple de plan de maintenance préventive

6 – LA COMPLEMENTARITE ENTRE MAINTENANCE PREVENTIVE ET MAINTENANCE CORRECTIVE

Quoique l'on fasse il restera toujours des défaillances résiduelles et il est préférable de concevoir la maintenance corrective non pas comme un échec de la maintenance préventive mais comme un type d'intervention complémentaire.

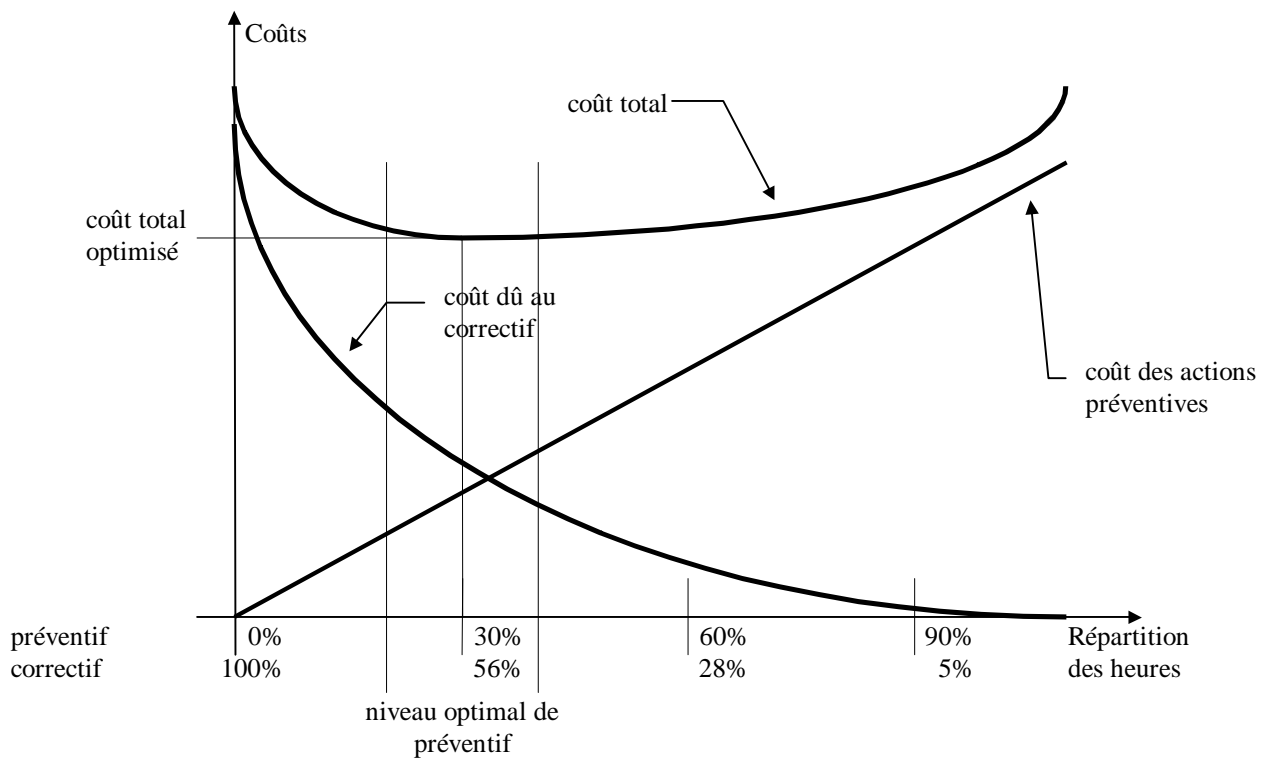
Le responsable de maintenance doit choisir la maintenance préventive qu'il effectuera et, autant que possible, la part qu'il laissera à la maintenance corrective.

6.1. Influence sur la charge de travail



Les 5% de correctif dit résiduel sont inévitables. La charge globale de travail décroît quand la part d'heures consacrées au préventif augmente.

6.2. Aspect économique



Ce graphe montre l'existence d'un optimum économique du niveau préventif à mettre en œuvre. Il prouve surtout que faire de la maintenance, ce n'est pas du préventif à tout prix.

7 – PREPARATION DES ACTIONS DE MAINTENANCE PREVENTIVE

La vocation de la maintenance préventive est évidemment de prévenir un certain nombre de défaillances, mais surtout **d'apprendre à connaître le comportement d'une machine de façon à pouvoir lui appliquer à terme du systématique et/ou du conditionnel**. Les visites préventives seront préparées dans ce double objectif.

7.1. Conditions de mise en oeuvre

A l'inverse de la maintenance corrective, qui intervient en marge de la production, la maintenance préventive, qu'elle soit systématique, conditionnelle, ou prévisionnelle travaille avec les utilisateurs des systèmes.

Ces maintenances préventives sont prioritairement conditionnées par une bonne connaissance des matériels et de leur comportement.

Elle suppose aussi la participation des techniciens pour le renseignement des documents de suivi, d'inspection, de contrôle et pour les rapports d'intervention, d'expertises ou encore les historiques. Leur responsabilité accrue induit un niveau supérieur de compétence et de formation ainsi qu'une revalorisation de la tâche.

7.2. Démarche de la préparation

① Nous devons **effectuer le choix des machines à visiter, en fonction de leur criticité**. Nous établirons ainsi une liste de priorités de prises en charge successives, dans le cas d'une nouvelle politique de mise en oeuvre de maintenance préventive.

② Nous décomposerons ensuite chaque machine en modules et nous chercherons quels sont les "points clés" (éléments supposés fragiles, ou sensibles) de ces modules.

③ Il nous faut ensuite fixer pour chaque point clé une fréquence de visite à priori. Le cumul des résultats de ces visites mettra en évidence l'éventuel besoin de les rapprocher ou de les espacer.

④ Échéancier des visites : il constitue le plan de maintenance préventive de la machine, après avoir homogénéisé les différentes fréquences.

⑤ Établissement des fiches de visites, relatives à une machine donnée.

⑥ Exploitation de ces fiches, qui, complétées par les défaillances résiduelles portées sur l'historique de la machine, permettra de **faire évoluer la maintenance préventive vers une maintenance systématique simple à gérer, et vers une maintenance conditionnelle pour les éléments qui s'y prêtent**.

8 – MAINTENANCE PREVENTIVE ET GRAISSAGE

Le graissage et la lubrification sont trop souvent considérés, à tort, comme des opérations marginales en maintenance.

Ce sont en fait, des opérations fondamentales pour la mécanique et l'hydraulique.

Négliger le graissage et la lubrification conduit inéluctablement à plus de défaillances totales ou partielles, voire des casses de matériel.

Le graissage et la lubrification doivent être rigoureusement bien faits :

→ en quantité : fréquences des appoints

→ en qualité :

- qualité des lubrifiants

- qualité des modes opératoires (par exemple, un roulement ne devrait pas être rempli de graisse à plus de 50 % de son volume)

8.1. La lubrification

La fonction d'un lubrifiant est de favoriser le mouvement ou le glissement entre deux surfaces frottantes. D'une manière générale, les lubrifiants :

- réduisent les frottements et l'usure;
- évitent le grippage;
- participent au refroidissement;
- évacuent les impuretés (poussières, débris d'usure...);
- protègent contre la corrosion;
- peuvent avoir une fonction nettoyante (détergente);
- participent parfois à l'étanchéité.

Chacune de ces fonctions peut être plus ou moins développée selon l'application. De tous les lubrifiants, enrichis ou non, les huiles et les graisses minérales à base de pétrole sont les plus utilisés.

Les produits de synthèse occupent une place grandissante.

a) Principaux lubrifiants

	LIQUIDES	PATEUX	SOLIDES
Lubrifiants minéraux	Huiles minérales (parafine, naphte) obtenues par distillation du pétrole	- Graisses à base d'huile de pétrole - Pâtes lubrifiantes - Lanoline	- Graphite - Bisulfure de molybdène - Biséléniures - Cires, résines
Lubrifiants de synthèse	Huiles synthétiques (polyglycols, esters...) obtenues à partir de produits simples issus de la pétrochimie	Graisses de synthèse (silicone)	- Plastiques fluorés (PTFE...) - Polyamides - Vernis de glissement

Les graisses sont obtenues par dispersion d'un agent gélifiant dans une huile. L'agent gélifiant est un savon métallique obtenu par la réaction d'un acide gras ou d'un corps gras sur une base. Les principaux savons sont à base de calcium, de sodium, d'aluminium ou de lithium.

Des additifs permettent d'améliorer certaines propriétés déjà existantes ou d'octroyer des propriétés nouvelles à une huile ou une graisse (anti-usure, antioxydants, nettoyants...).

b) Principales utilisations industrielles

Application	Lubrifiant utilisé	Qualités requises
Paliers lisses	Huile	Vitesses rapides
	Graisse	Charges excessives ; Vitesses lentes
Roulements	Huile	Températures élevées ; Vitesses élevées
	Graisse	Entretien réduit ; Etanchéité ; Anticorrosif ; Anti-chocs
Engrenages	Huile	Graissage par barbotage
	Graisse	Petits engrenages
Circuits hydrauliques	Huile	Multigrade ; Anticorrosif ; Anti-usure
Turbines	Huile	Anticorrosif ; Evacuation thermique
Compresseurs	Huile	Antioxydant ; Fluidité
Usinage	Huile de coupe	Anticorrosif ; Fluidité ; Evacuation thermique
	Huile soluble (à l'eau)	Fluidité ; Evacuation thermique
Transformateurs électriques	Huile	Isolant électrique ; Evacuation thermique

8.2. Périodicité du graissage

A cours du fonctionnement, le lubrifiant s'use et se détériore, il doit donc être remplacé à intervalles de temps réguliers et bien définis. L'apport est indispensable pour que la machine ait constamment du lubrifiant en quantité suffisante et en bon état.

La périodicité de graissage est déterminée en fonction :

- du type de matériel
- des conditions de fonctionnement
- des systèmes de lubrification

8.3. Plan de graissage

C'est la liste des points de graissage, avec la désignation des articles consommables, la fréquence et certaines consignes d'exécution ou observations.

Il s'agit d'abord d'identifier les points de graissage ; sur plan, mais aussi (et obligatoirement) sur le terrain.

Il s'agit ensuite de déterminer le graissage à faire.

Le plan de graissage peut être établi sous forme de :

- tableaux
- schémas de machines ou parties de machines

Désign. Machine	INSTRUCTION DE GRAISSAGE										
 Heures de marche	2400	3	4	9	1	8	2	5	10	6	13
	100										
	20	11	7	12							
Attention , nettoyer soigneusement tous les points avant lubrification											
ORGANE MACHINE	Groupe Hydraulique			Trainard chariot contre poutres		Réfrigération Graissage Poutres			Poulie	Mandrin	
Numéro de Point symbole	3	11	4 9	7	1 8	2	12	5 10	6	13	
Nature intervention											
Contrôler											
Contrôler et mettre à niveau		20		20			20				
Actionner									100	100	
Refaire le plein											
Nettoyer ou remplacer	2400					2400					
Changer			2400		2400			2400		* Suivant analyse.	
Référence du lubrifiant		DTE 13		Voctra 2			Vélocite 6		Mobilplex 47	Mobilplex 47	
Capacité du Réservoir		100L		4 L			50L				

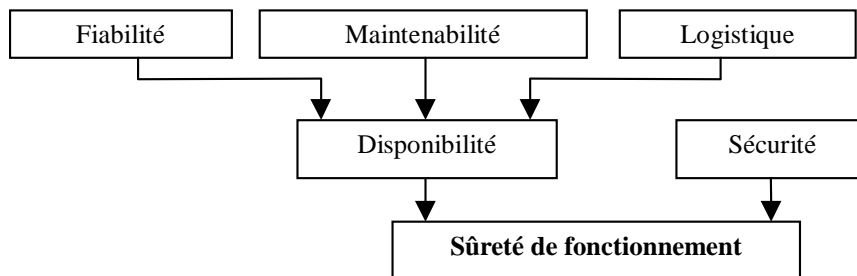
Exemple de schéma de graissage

Chapitre 5

LA SURETE DE FONCTIONNEMENT



1 – DÉFINITIONS



1.1. Sûreté de fonctionnement

Ensemble des propriétés qui décrivent la disponibilité et les facteurs qui la conditionnent : fiabilité, maintenabilité, et logistique de maintenance. (norme NF EN 13306)

1.2. Disponibilité

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 nécessaires est assurée. (norme NF EN 13306)

La disponibilité se calcule par la formule suivante :

$$\text{Disponibilité} = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR})$$

(norme NF EN 60706-2 ou X60-503)

Remarque : En anglais, MTTR correspond à "mean time to restoration" (norme X60-500), il serait donc plus rigoureux d'utiliser MMTA dans le calcul de la disponibilité. Cependant, la grandeur de MTTR (ou MTTA) étant petite devant MTBF, l'erreur engendrée par cette imprécision de traduction est tout de même acceptable.

1.3. Fiabilité

Aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, durant un intervalle de temps donné. (norme NF EN 13306)

1.4. Maintenabilité

Dans des conditions données d'utilisation, 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. (norme NF EN 13306)

1.5. Logistique de maintenance

Ressources, services, et moyens de gestion nécessaire à l'exécution de la maintenance. (norme NF EN 13306)

2 – LE TAUX DE DEFAILLANCE

2.1. Définition

Le taux de défaillance est un indicateur de fiabilité qui représente :

- soit le nombre de défaillances par unité d'usage : c'est le **taux de défaillance moyen** :

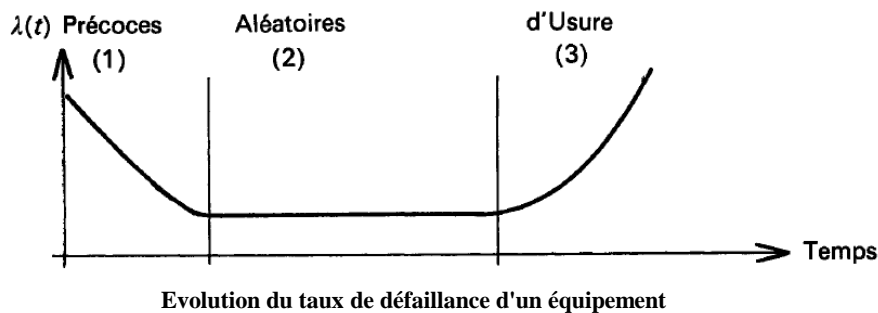
$$\lambda = \frac{\text{Nombre de défaillances}}{\text{Durée d'usage}}$$

- soit la fonction $\lambda(t)$ qui représente la probabilité d'apparition d'une défaillance d'un équipement à l'instant t : c'est le **taux de défaillance instantané**. Par conséquent, l'appareil considéré est encore en fonctionnement à l'instant t .

Le taux de défaillance s'exprime le plus souvent en pannes / heure.

2.2. La courbe en baignoire

L'allure générale des variations de la fonction $\lambda(t)$ d'un équipement au long de sa durée de vie est une courbe en forme de baignoire. Cette évolution est fréquemment vérifiée sur les systèmes industriels.



La courbe met en évidence 3 périodes distinctes :

- ① la période de jeunesse, caractérisée par des défaillances précoces
- ② la période de maturité, caractérisée par des défaillances aléatoires et un taux de défaillance sensiblement constant
- ③ la période de vieillesse, ou d'usure, caractérisée par un taux de défaillance croissant jusqu'à obsolescence

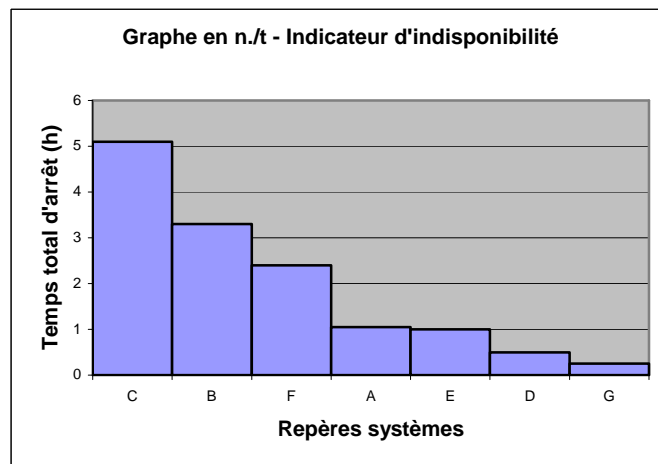
3 – ANALYSE FMD D'UN HISTORIQUE

Le concept de **FMD** correspond à la prise en compte et l'analyse des 3 indicateurs "fiabilité – maintenabilité – disponibilité".

3.1. Analyse de la non disponibilité

La non disponibilité (ou indisponibilité) d'un système est le résultat de la combinaison de deux facteurs : le nombre de défaillances et la durée moyenne de réparation (ou de dépannage).

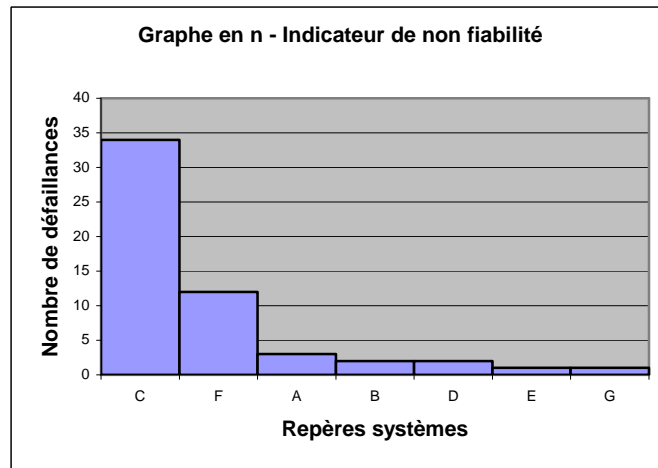
Si on note "n" le nombre de défaillances sur une période donnée et " \bar{t} " le temps moyen des interventions sur cette période, on peut caractériser le temps d'indisponibilité du système sur cette période en effectuant le produit $n \cdot \bar{t}$.



Ce type de graphique permet de déterminer quel système est à étudier prioritairement pour améliorer la disponibilité.

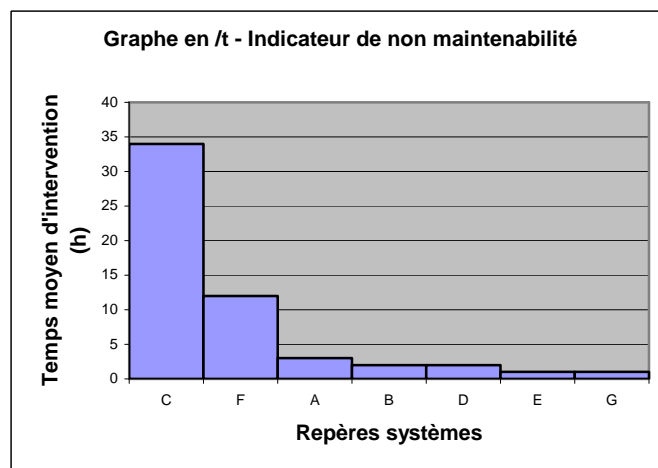
3.2. Analyse de la non fiabilité

Un graphique en n permet de déterminer quel système est à étudier prioritairement pour améliorer la fiabilité.



3.3. Analyse de la non maintenabilité

Un graphique en \bar{t} permet de déterminer quel système est à étudier prioritairement pour améliorer la maintenabilité.



4 – ETUDE DE LA FIABILITE

4.1. Intérêt de l'étude de la fiabilité

L'analyse de la fiabilité d'un système permet de modéliser et de prévoir sa durée de vie (dans le cas d'un système non réparable) ou son temps de bon fonctionnement (dans le cas d'un système réparable).

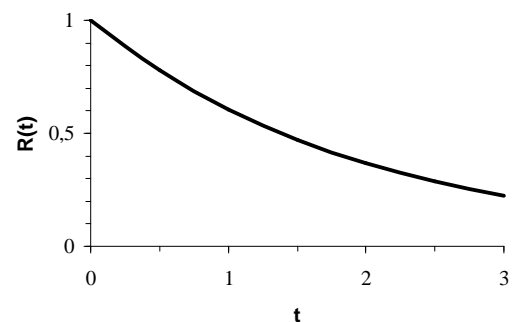
La connaissance de la durée de vie d'un système ou d'un composant permet de déterminer par exemple les périodicités dans le cas d'une maintenance préventive systématique.

4.2. Calcul de la fiabilité

La fiabilité R(t) représente la probabilité pour qu'une entité accomplisse une fonction requise, dans des conditions données, pendant un intervalle de temps donné.

Remarque : On peut être amené à utiliser aussi la fonction de répartition F(t) qui est la fonction complémentaire de R(t) :

$$F(t) + R(t) = 1$$



Deux méthodes permettent de faire une étude de fiabilité :

- le modèle exponentiel
- le modèle de Weibull

5 – LE MODELE EXPONENTIEL

Il s'applique lorsque le taux de défaillance λ est considéré **constant**. C'est le cas de la période de maturité. Les pannes sont peu nombreuses et imprévisibles (aléatoires).

Les équations suivantes sont donc utilisables :

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

- **MTBF** : $MTBF = \frac{1}{\lambda}$

Remarque : Le modèle exponentiel ne fonctionne que si λ est considéré constant. Il ne pourra donc pas être utilisé dans les périodes de jeunesse ni de vieillesse du matériel.

6 – LE MODELE DE WEIBULL

La loi de Weibull est un modèle couramment employé pour modéliser la durée vie d'un matériel.

Cela permet de déterminer par exemple les périodicités dans le cas d'une maintenance préventive systématique.

La loi de Weibull est très souple d'utilisation, ce qui lui permet de s'ajuster à un grand nombre d'échantillons prélevés au long de la vie d'un équipement. Elle couvre les cas de taux de défaillance variables, décroissants (périodes de jeunesse), ou croissant (période de vieillesse).

Elle permet d'ailleurs, à partir des résultats obtenus de déterminer dans quelle période de sa vie se trouve le système étudié.

6.1. Définitions des paramètres utilisés

- **Paramètres de Weibull** : β est le paramètre de forme.
 η est le paramètre d'échelle.
 γ est le paramètre de position.

- **Fiabilité R(t)** : $R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right]$

$\exp = 2,71828$
base du logarithme népérien

- **Taux de défaillance $\lambda(t)$** : $\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \times \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}$

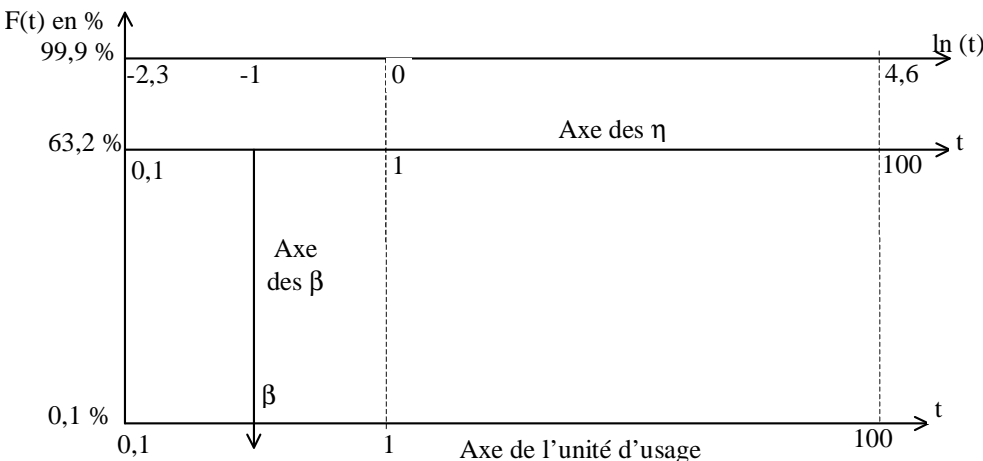
- **MTBF** : $MTBF = \eta \times A + \gamma$

Le paramètre A est déterminé par la lecture des tables de Weibull en fonction du paramètre β .

6.2. Détermination graphique des paramètres de la loi de Weibull :

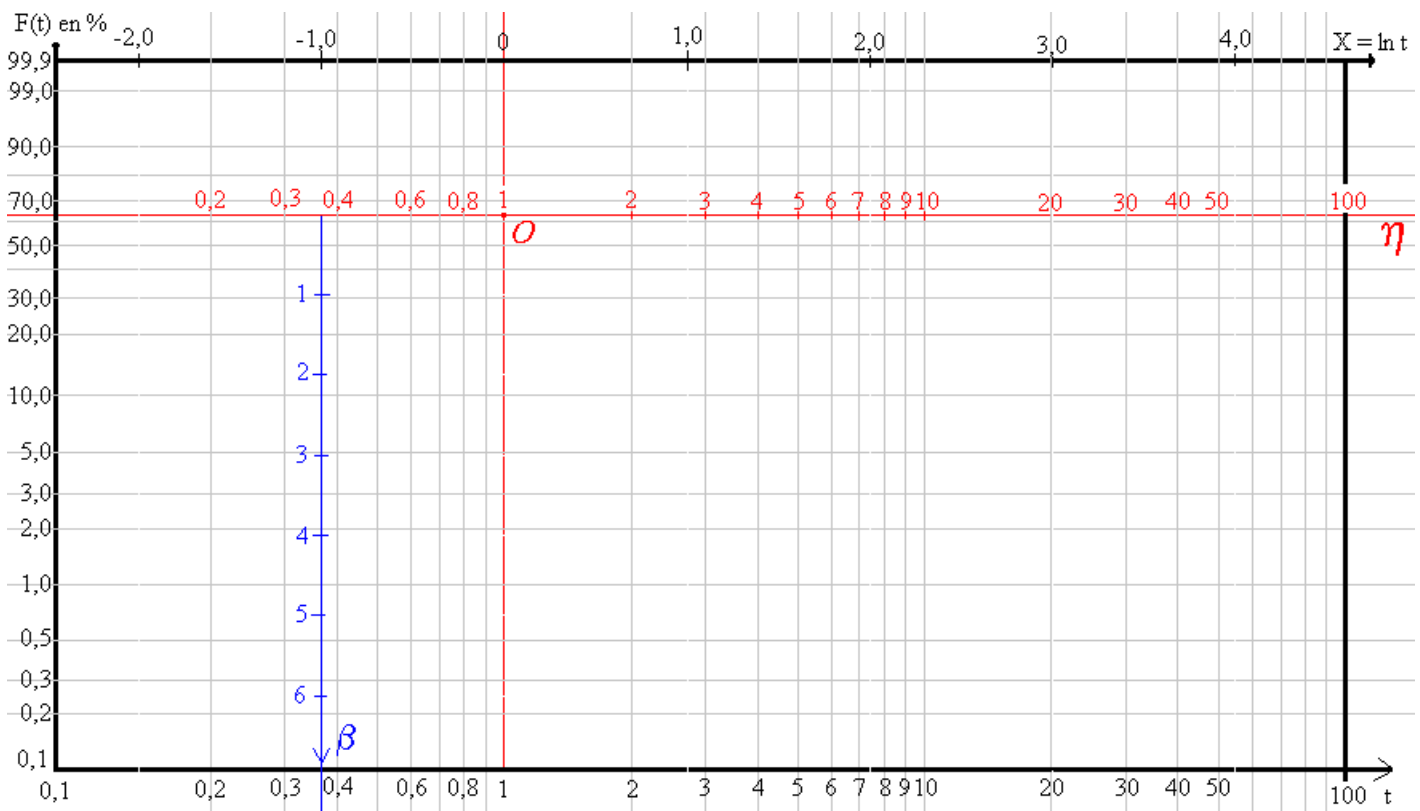
La courbe est tracée sur un papier spécial appelé papier de Weibull ou d'Allen Plait, ce qui permet de tracer une droite et de simplifier les calculs.

a) Schématisation des axes



L'axe des abscisses est gradué en logarithme décimal ($\log t$) et l'axe des ordonnées est gradué en logarithme népérien de logarithme népérien ($\ln(\ln(1/(1-F(t))))$).

b) Aspect du papier de Weibull



6.3. Méthodologie de Weibull

- ① Consulter les historiques de pannes et dresser la liste des temps de bon fonctionnement entre deux défaillances.
- ② Classer ces temps par ordre croissant.
- ③ Cumuler le nombre de défaillances (rang). Au premier temps il y a 1 avarie, au deuxième temps, il y en a 2, etc.
- ④ Calculer les fréquences des avaries $F(i)$, en fonction de la taille N de l'échantillon :

$N \leq 20$ méthode des rangs médians	$N > 20$ et $N < 50$ formule des rangs moyens	$N \geq 50$ groupement par classes
$F(i) = \frac{i - 0,3}{N + 0,4}$	$F(i) = \frac{i}{N + 1}$	nombre de classes : $K \approx \sqrt{N}$ avec $X_M = \text{TBF}_{\text{maxi}}$, $X_m = \text{TBF}_{\text{mini}}$ $F(i)$ est alors calculé pour la limite supérieure de chacune des classes, en utilisant les rangs moyens.

⑤ Reporter les points ainsi trouvés sur le papier de Weibull en plaçant les TBF en abscisse et les $F(i)$ en ordonnée.

⑥ Tracer la droite passant au mieux par les points obtenus.

Si les points sont alignés sur une droite, on a $\gamma = 0$.

⑦ Détermination des paramètres η et β :

- Le paramètre η est obtenu par l'intersection de la droite tracée avec l'axe des η lue sur ce dernier axe. L'échelle utilisée pour la lecture devra être la même que celle choisie pour l'axe de t .

- Le paramètre β est obtenu en traçant une parallèle à la droite précédente et passant par la valeur 1 de l'axe des η . La valeur de β se lit sur l'axe des β , à l'intersection avec la droite parallèle tracée ci-dessus.

⑧ Interpréter les résultats

6.4. Exemple d'utilisation de Weibull

Problématique :

Soit une entreprise fabricant des systèmes de freinage automobiles. Une machine à commande numérique permet la fabrication de cylindres de roues en aluminium.

Cette machine est en service depuis 1 an et demi. La machine est utilisée 7 jours sur 7 en 3 x 8.

On souhaite connaître la probabilité de fonctionnement sans défaillance sur une période de 2 semaines.

L'étude de l'historique de la machine a permis de relever les temps de bon fonctionnement (en heures) depuis sa mise en service :
1423 – 626 – 2296 – 4103 – 1709 – 2707

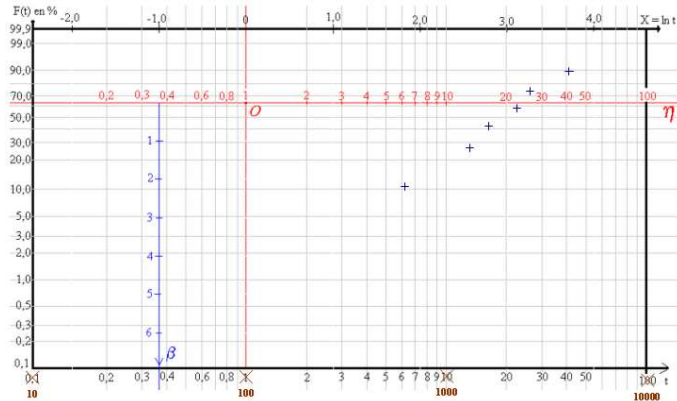
Classement des TBF par ordre croissant + Calcul du rang i + Calcul des fréquences des avaries F(i) :

TBF (h)	rang i	F(i)
626	1	10,9%
1423	2	26,6%
1709	3	42,2%
2296	4	57,8%
2707	5	73,4%
4103	6	89,1%

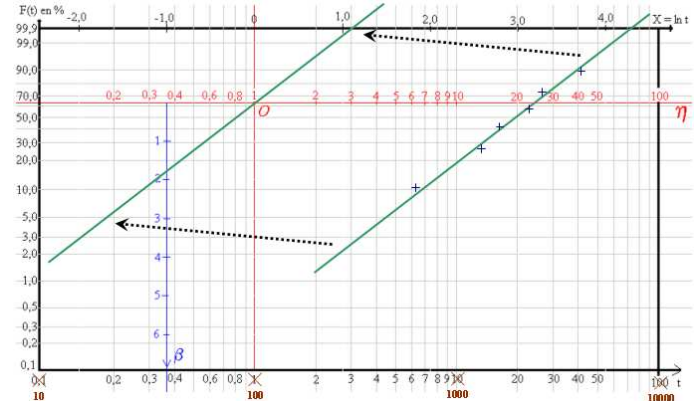
Calcul de F(i) :

$$N = 6 \Rightarrow N \leq 20 \Rightarrow \text{méthode des rangs médians} : F(i) = \frac{i - 0,3}{N + 0,4}$$

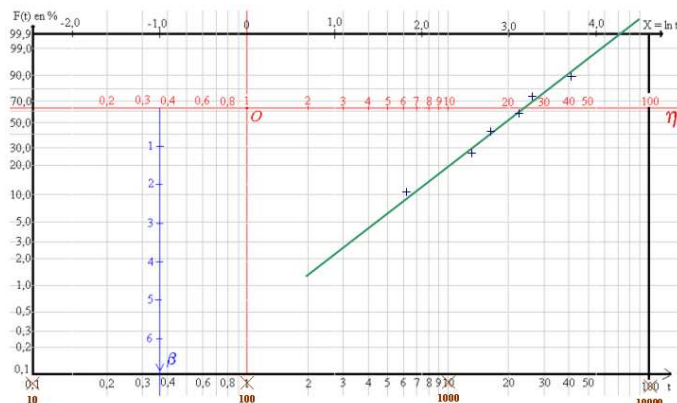
Report des valeurs sur le graphe de Weibull (après avoir modifié l'échelle des abscisses) :



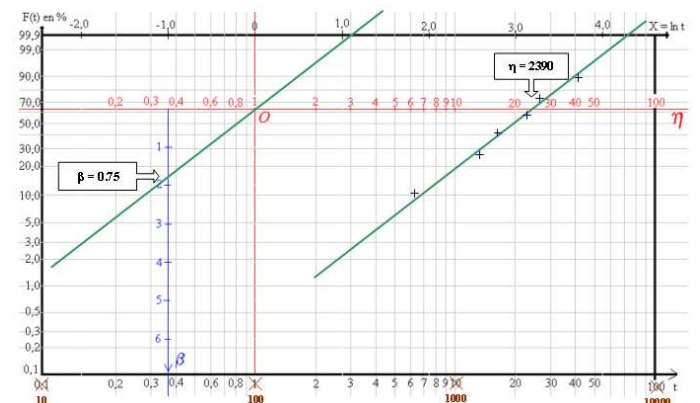
Construction d'une droite parallèle passant par l'origine :



Tracé de la droite passant au mieux par les points obtenus :



Détermination des paramètres η et β



Probabilité de fonctionnement sur une période de 2 semaines :

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right]$$

avec : $t = 2 \text{ semaines} = 2 \times 3 \times 8 \times 7 = 336 \text{ h}$
 $\gamma = 0$
 $\eta = 2390 \text{ h}$
 $\beta = 0,75$

Soit $R(336) = 79,5 \%$

On a donc 79,5 % de chances que la machine fonctionne sans défaillance pendant 2 semaines.

Formulaire - Loi de Weibull

Coefficients pour la détermination des données statistiques

Moyenne : $MTBF = A \times \eta + \gamma$

Ecart-type : $\sigma = B \times \eta$

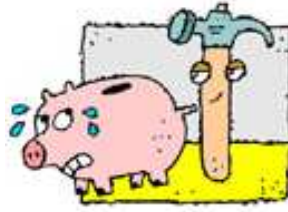
$$A = \Gamma\left(\frac{\beta + 1}{\beta}\right)$$

$$B = \sqrt{\Gamma\left(\frac{\beta + 2}{\beta}\right) - \Gamma^2\left(\frac{\beta + 1}{\beta}\right)}$$

β	A	B	β	A	B	β	A	B
0,2	120	1901	1,5	0,9027	0,613	4	0,9064	0,254
0,25	24	199	1,55	0,8994	0,593	4,1	0,9077	0,249
0,3	9,2605	50,08	1,6	0,8966	0,574	4,2	0,9089	0,244
0,35	5,0291	19,98	1,65	0,8942	0,556	4,3	0,9102	0,239
0,4	3,3234	10,44	1,7	0,8922	0,54	4,4	0,9114	0,235
0,45	2,4786	6,46	1,75	0,8906	0,525	4,5	0,9126	0,23
0,5	2	4,47	1,8	0,8893	0,511	4,6	0,9137	0,226
0,55	1,7024	3,35	1,85	0,8882	0,498	4,7	0,9149	0,222
0,6	1,5046	2,65	1,9	0,8874	0,486	4,8	0,916	0,218
0,65	1,3663	2,18	1,95	0,8867	0,474	4,9	0,9171	0,214
0,7	1,2638	1,85	2	0,8862	0,463	5	0,9182	0,21
0,75	1,1906	1,61	2,1	0,8857	0,443	5,1	0,9192	0,207
0,8	1,133	1,43	2,2	0,8856	0,425	5,2	0,9202	0,203
0,85	1,088	1,29	2,3	0,8859	0,409	5,3	0,9213	0,2
0,9	1,0522	1,77	2,4	0,8865	0,393	5,4	0,9222	0,197
0,95	1,0234	1,08	2,5	0,8873	0,38	5,5	0,9232	0,194
1	1	1	2,6	0,8882	0,367	5,6	0,9241	0,191
1,05	0,9803	0,934	2,7	0,8893	0,355	5,7	0,9251	0,186
1,1	0,9649	0,878	2,8	0,8905	0,344	5,8	0,926	0,185
1,15	0,9517	0,83	2,9	0,8917	0,334	5,9	0,9269	0,183
1,2	0,9407	0,787	3	0,893	0,325	6	0,9277	0,18
1,25	0,9314	0,75	3,1	0,8943	0,316	6,1	0,9286	0,177
1,3	0,9236	0,716	3,2	0,8957	0,307	6,2	0,9294	0,175
1,35	0,917	0,687	3,3	0,897	0,299	6,3	0,9302	0,172
1,4	0,9114	0,66	3,4	0,8984	0,292	6,4	0,931	0,17
1,45	0,9067	0,635	3,5	0,8997	0,285	6,5	0,9318	0,168
			3,6	0,9011	0,278	6,6	0,9325	0,166
			3,7	0,9025	0,272	6,7	0,9333	0,163
			3,8	0,9038	0,266	6,8	0,934	0,161
			3,9	0,9051	0,26	6,9	0,9347	0,16

Chapitre 6

LES COÛTS ET INDICATEURS



1 – LES COÛTS LIES A LA MAINTENANCE

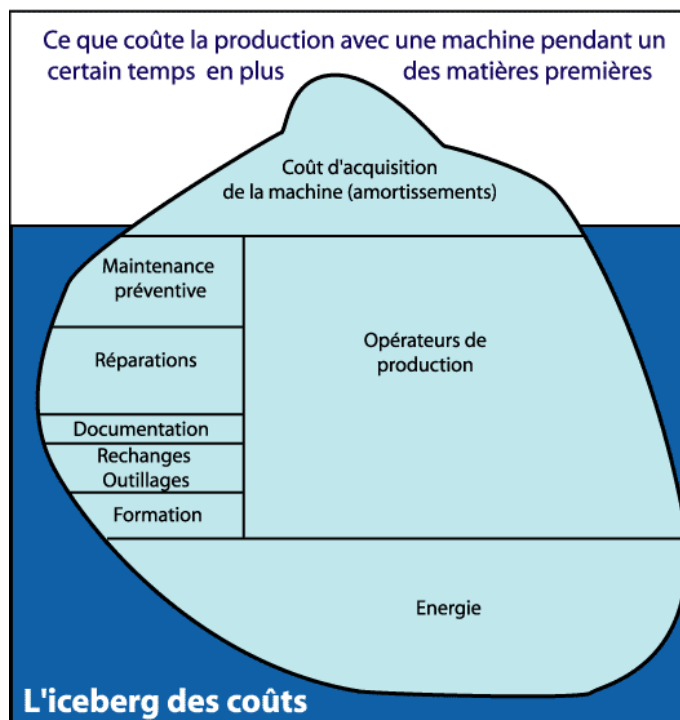
1.1. Introduction

Les conséquences d'une maintenance insuffisamment performante peuvent être particulièrement importantes dans le fonctionnement d'une entreprise. Il est donc primordial de s'y intéresser afin de réduire au maximum les coûts de production.

Le problème majeur est celui de la justification à priori d'une politique de maintenance préventive puisqu'il n'est pas toujours aisé de prévoir combien va coûter une défaillance d'équipement à l'entreprise.

Remarque : analogie avec le coût d'une action publicitaire

- On sait ce qu'elle coûte (coûts directs).
- On ignore ce qu'elle rapporte.
- Il est indispensable de mesurer son impact.



1.2. Le coût de défaillance

Nous adopterons le modèle suivant :

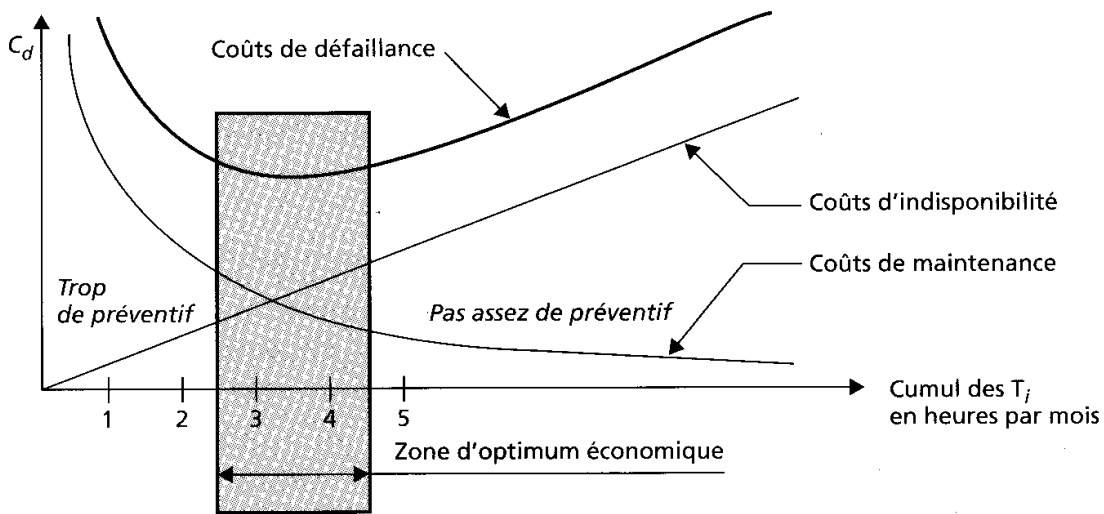
$$C_d = C_m + C_i$$

Avec :

- C_d : coût de défaillance d'un équipement
- C_m : coût direct de maintenance (pièces et main d'œuvre)
- C_i : coût indirect d'indisponibilité

Optimisation des coûts de défaillance C_d

C_m et C_i varient en sens inverse, dans la mesure où la réduction des temps d'indisponibilité est le résultat d'une maintenance préventive plus efficace.



1.3. Les coûts directs de maintenance (C_m)

Ils peuvent se rapporter à une intervention corrective, préventive, ou externalisée.

Il est possible de regrouper les coûts de maintenance sous quatre rubriques :

$$C_m = C_{mo} + C_f + C_c + C_e$$

Avec :

- C_{mo} : dépenses de main d'œuvre (c'est le produit "TTR" x "taux horaire")
- C_f : dépenses fixes du service maintenance (salaires, loyers, assurances, éclairage, reprographie, ...)
- C_c : dépenses de consommables (coûts des pièces, frais de transport, de stockage, ...)
- C_e : dépenses externalisées (c'est la facture du prestataire de service)

1.4. Les coûts indirects d'indisponibilité (C_i)

Ils intègrent toutes les conséquences économiques induites par un arrêt propre d'un équipement. Ils sont parfois nommés coûts de perte de production ou coûts de non-maintenance.

Les coûts d'indisponibilité prennent en compte :

- les coûts de pertes de production incluant les coûts de non-production (dépenses fixes non couvertes et dépenses variables non réincorporées), et la non-qualité de production provoquée par la défaillance des équipements productifs (coûts des rebuts et retouches),
- le surcoût de production (personnel, coûts des moyens de remplacement mis en œuvre, stock supplémentaire de pièces en attente en cas de défaillance),
- le manque à gagner de production (mévente et baisse du chiffre d'affaires),
- les pénalités commerciales,
- et les conséquences sur l'image de marque de l'entreprise (non chiffrables directement).

2 – INVESTISSEMENT EN MAINTENANCE

2.1. Introduction

Des outils efficaces du suivi d'un équipement permettent de prendre une décision quant à l'opportunité de poursuivre l'exploitation de l'équipement étudié ou de le remplacer :

- le coût moyen annuel de fonctionnement (C_{mf});
- la courbe LCC (Life Cycle Cost);
- la durabilité.

2.2. Coût moyen annuel de fonctionnement (C_{mf})

2.2.1. Définition

A tout instant un équipement possède :

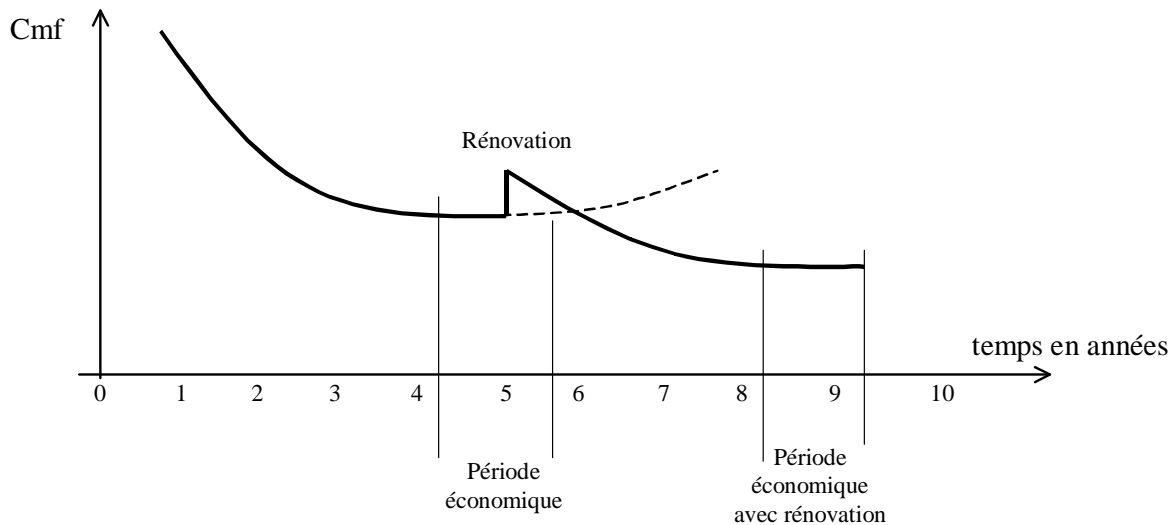
- V_a** : une valeur d'investissement (étude + achat + transport + installation);
- C_d** : un cumul de ses coûts de défaillance C_d;
- C_e** : un cumul des coûts d'exploitation (main d'œuvre, énergie, consommables...) C_e;
- R_v** : une éventuelle valeur de revente.

2.2.2. Expression

Sur une durée T déterminée, l'expression du coût moyen annuel de fonctionnement est :

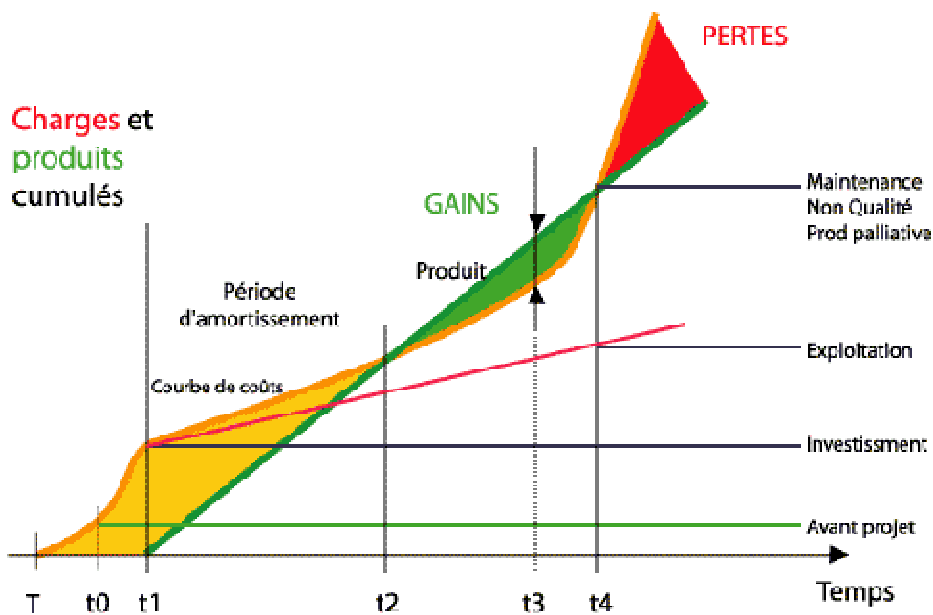
$$C_{mf} = \frac{V_a + C_d + C_e - R_v}{T}$$

2.2.3. Evolution du C_{mf} dans le temps



2.3. Courbe LCC (Life Cycle Cost)

Le coût de cycle de vie d'un équipement (LCC) est le cumul de toutes les dépenses relatives à la possession d'un équipement jusqu'à son démantèlement.



La courbe LCC (Life Cycle Cost)

Le coût de la Maintenance ne doit pas dépasser le bénéfice retiré par la disponibilité des moyens.

Les limites de rentabilité peuvent se présenter de la manière suivante :

- à T, l'étude de rentabilité est approuvée et déclenche les dépenses d'étude.
- à t0 l'achat est effectif
- à t1 l'installation est mise en service.
- à t2 l'amortissement du matériel est effectif
- à t3 c'est la période optimale où l'installation produit avec le maximum de rentabilité
- à t4 les frais de maintenance équilibrent la rentabilité de l'exploitation
- au delà de t4, l'acharnement thérapeutique peut conduire à des dépenses non rentables.

C'est dès t3 qu'il faut se poser la question d'un éventuel nouvel investissement en se demandant si un nouvel investissement ne permettrait pas d'améliorer la rentabilité et quand, sachant que les gains cumulés vont désormais diminuer jusqu'à compromettre la rentabilité de l'investissement initial à partir de t4.

2.4. Durabilité

Définition : Durée de vie ou durée de fonctionnement potentielle d'un bien pour la fonction qui lui a été assignée dans des conditions d'utilisation et de maintenance données.

La durabilité est étudiée dès la conception (probabilité de qualité), puis au niveau de l'utilisation, dans l'objectif d'une durée d'usage, enfin au niveau de la maintenance. Il faut donc rechercher la durée probable pendant laquelle il sera économique d'appliquer une maintenance rationnelle.

3 – BUDGET DE MAINTENANCE

3.1. Le principe de base du budget

Il y a deux manières d'établir un budget en maintenance :

- **budget de type historique** : dans ce cas, les résultats de l'exercice précédent sont reconduits en les minorant ou majorant selon divers éléments financiers ou techniques : on appelle cela travailler en utilisant « l'expérience » ;
- **Budget de type planification et anticipation** : dans ce second cas on détaille les besoins par équipement. Cette méthode nécessite un travail important quand il faut l'initialiser. Ce type de budget est le seul qui soit réellement fiable, même s'il nécessite un effort important pour être mis en œuvre.

3.2. L'absence de politique de maintenance

Afin d'accroître la fiabilité des équipements et réduire les coûts de maintenance, il est nécessaire de mettre en place des méthodes et des moyens importants. L'absence d'une politique de maintenance entraîne une soumission aux aléas des pannes et aux événements. Les conséquences de ce genre d'organisation sur les coûts sont les suivantes :

- non-identification des pannes répétitives noyées dans les préoccupations quotidiennes
- insensibilité aux signes annonciateurs des défaillances
- démotivation des techniciens
- pertes de production plus importantes
- vieillissement prématuré des équipements

Pour éviter ce type de situation, il faut mettre en place une politique de maintenance précise, qui permet un suivi plus précis des coûts. Si l'on constate des écarts trop importants entre les coûts accumulés et le budget prévu, il est intéressant d'effectuer une révision de la politique de maintenance ou du budget.

3.3. Coût horaire de la main d'œuvre (M.O.)

Une estimation précise du budget passe avant tout par la connaissance des équipements, mais aussi par la détermination du coût horaire de la MO. Cette MO peut être interne (assurée par les techniciens propres à l'entreprise) ou externe (Service après vente des équipements, sous-traitance). Généralement le coût de la MO externe est plus bas que le coût de la MO interne, car il est négociable.

Le coût horaire ne comprend pas seulement le salaire des techniciens. Il doit comprendre : les salaires des techniciens, les salaires de l'encadrement de maintenance, les coûts de documentation, de formation, les dépenses de fonctionnement (énergie, consommables non imputés aux équipements), les salaires et les coûts de fonctionnement des administratifs au prorata du temps qu'ils consacrent au service maintenance, les coûts de structure, d'outillage...

L'ensemble de ces coûts annuels est divisé par le nombre d'heures consacrées annuellement aux installations à maintenir. Ces temps sont issus des comptes rendus d'intervention. On obtiendra ainsi le coût horaire standard de la maintenance qui peut être de quelques dizaines d'euros. En France, pour un technicien de maintenance, le coût horaire de la main d'œuvre est compris entre 20 et 50 euros par heure.

4 – LES INDICATEURS DE MAINTENANCE

4.1. Intérêt

Les indicateurs servent à :

- mesurer une réalité avec clarté
- contrôler la réalisation des objectifs fixés
- comparer des unités distinctes, entreprises ou secteurs d'activité
- prendre des décisions adaptées (politique d'investissement, politique de maintenance, gestion du personnel,...).

L'étude des indicateurs peut s'appréhender à différents niveaux :

- au niveau d'un secteur d'activité
- au niveau de l'entreprise face à son secteur d'activité
- de l'évolution de l'entreprise elle-même
- de la fonction maintenance au sein de l'entreprise
- de l'évolution de la fonction maintenance elle-même
- au niveau relations client-fournisseur pour mesurer les performances de ce dernier face aux obligations de résultats définies contractuellement.

4.2. Exemples d'indicateurs (extraits de la norme NF X 60-020)

Efficacité de la maintenance

Indicateur Quantité d'interventions	Iq	nombre pannes par mois
Indicateur de Maintenance préventive	Imp	$(\Sigma \text{ heures de maintenance préventive}) / (\Sigma \text{ heures de maintenance})$
Indicateur de maintenance corrective	Imc	$(\Sigma \text{ heures de maintenance corrective}) / (\Sigma \text{ heures de maintenance})$

Activité du service maintenance

Indicateur de réactivité	I réac	Temps d'intervention / Temps d'arrêt machine
Indicateur de fiabilisation	MTBF	Mean Time Between Failure, correspond à la moyenne des temps entre 2 défaillances d'un système réparable. $(\Sigma \text{ Temps de bon fonctionnement}) / \text{Nbre de pannes}$
Indicateur de compétence (Maintenabilité des équipements)	MTTR	Mean Time To Repair, correspond à la durée moyenne d'attente de la réparation du système MTTR Opérationnel : correspond au temps moyen d'une action de maintenance corrective $(\Sigma \text{ Temps technique de réparation}) / \text{Nbre de pannes}$
Indicateur d'indisponibilité	$d - 1 = 1 - D$	$\text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR})$

Coûts et budget de maintenance

Indicateur de coûts de maintenance par équipement	lcm	$\Sigma \text{ coûts de maintenance sur 1 équipement}$
Indicateur de cotraitance	lco	coût de cotraitance / coût de maintenance
Indicateur d'incidence de la maintenance	IT cm	$(\Sigma \text{ coûts de maintenance}) / \text{chiffre d'affaire}$

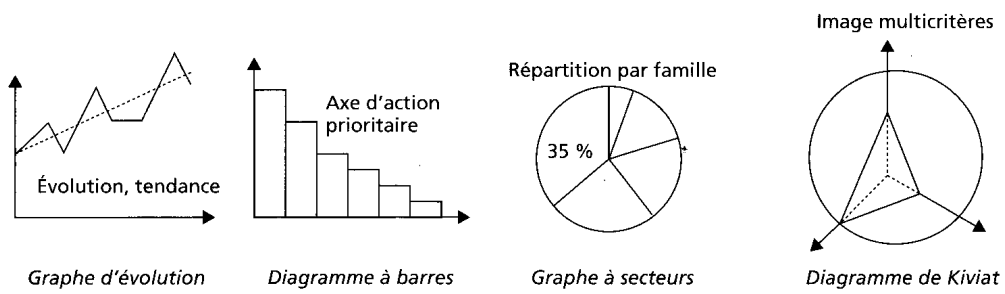
5 – LE TABLEAU DE BORD

Le management de la maintenance nécessite, pour son responsable, la mise en œuvre de tableaux de bord appropriés construits à partir d'indicateurs et de ratios pertinents. Ces tableaux de bord seront des outils :

- de mesure de l'efficacité technique et économique de la fonction ;
- de diagnostic de dysfonctionnements éventuels (organisation, fonctionnement, etc.) ;
- d'aide à la décision ;
- de communication à destination de la Direction (dans l'objectif de la sensibiliser et de l'impliquer dans la définition de la politique de maintenance)
- de communication à destination des personnels de maintenance (pour leur communiquer les résultats de leurs actions et les sensibiliser à l'aspect économique de leur activité)

- de communication à destination des personnels de production (pour les inciter au respect des procédures d'exploitation et d'auto maintenance et les sensibiliser aux nécessaires relations de coopération entre production et maintenance)

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 justifie ainsi la mise en place de la maintenance préventive. C'est un outil de synthèse qui peut se présenter sous plusieurs formes :



Chapitre 7

ORGANISATION ET LOGISTIQUE DE MAINTENANCE



1 – INTRODUCTION

La complexité d'un service maintenance et l'extrême variété des tâches qui le caractérisent (en nature, en durée, en urgence, en criticité) débouchent sur une organisation particulièrement rigoureuse.

Le service maintenance devra en particulier gérer les contraintes logistiques qui peuvent avoir des origines diverses.

Définition de la logistique de maintenance (norme NF EN 13306)

Ressources, services, et moyens de gestion nécessaire à l'exécution de la maintenance.

La logistique de maintenance peut inclure par exemple le personnel, les équipements d'essai, les ateliers, les pièces de rechange, la documentation, les outils, etc.

Les contraintes logistiques en maintenance sont dépendantes de :

- ① La politique de maintenance
 - Organisation des interventions
 - Niveau de préventif/correctif
 - Externalisation
 - Stratégie d'approvisionnement
- ② La logistique de maintenance
 - Documentation
 - Personnel : compétences, formation
 - Moyens matériels
 - Pièces de rechange

2 – LA FONCTION DOCUMENTATION

En maintenance industrielle, aucune action technique de qualité ne peut se faire sans référence documentaire.

La documentation permet :

- la préparation d'interventions plus efficaces et plus sûres
- l'aide aux techniciens d'intervention
- la traçabilité des activités de terrain, ce qui permet l'amélioration de l'organisation
- l'analyse du comportement des matériels, ce qui permet des améliorations techniques et une optimisation économique

Tout système qualité implique la gestion de sa documentation suivant le principe :

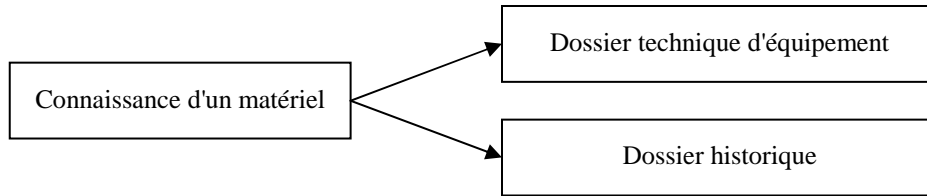
"*Ecrire ce que l'on va faire*" → préparation du travail

"*Faire ce que l'on a écrit*" → intervention encadrée

"*Ecrire ce que l'on a fait*" → traçabilité

L'efficacité du travail du B.M. s'appuie sur une connaissance exhaustive du matériel et de sa "santé". Le dossier technique d'équipement est la référence permettant la connaissance intime d'un équipement, son origine, ses technologies et ses performances.

La documentation relative à la connaissance "individualisée" d'une machine, de ses défaillances, de sa santé, est appelée "dossier historique".



2.1. Le dossier technique d'équipement DTE (appelé aussi dossier machine)

Le dossier technique d'équipement se compose généralement de trois dossiers : **Dossier constructeur, Dossier interne, Plan de maintenance.**

- **le dossier constructeur** établi lors de l'étude et la réalisation des matériels, il est constitué des plans d'ensemble et de définition, des schémas fonctionnels, des plans de montage et d'installations.

- **le dossier interne** qui permet l'utilisation du matériel, il est constitué de synoptique des modes de marche, des documents d'utilisation, d'éléments de réglage, maintenance de 1^{er} niveau.

- **le plan de maintenance** qui permet de maintenir, réparer, démonter, remonter tout ou partie du système. Il est constitué de documents de maintenance, d'un catalogue de pièces détachées, des documents des modifications, des procédures spécifiques.

2.2. Le dossier historique

Le dossier historique est un document relatif à chaque machine inventoriée, décrivant **chronologiquement** toutes les interventions correctives subies par la machine depuis sa mise en service. Il représente le "carnet de santé" de la machine, complémentaire du dossier machine.

Ce dossier comprend tous les renseignements relatifs à la vie d'une machine :

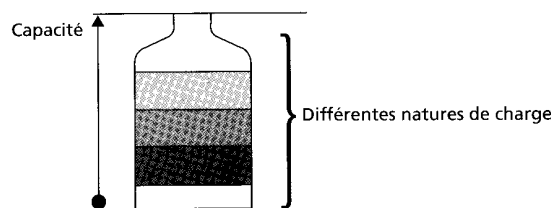
- modifications incluant les améliorations en vue de faciliter la maintenabilité.
- les commandes extérieures.
- les ordres de travaux.
- les rapports d'intervention en correctif.
- les relevés de surveillance.
- la fiche historique (document fondamental).

3 – ORDONNANCEMENT

3.1. Terminologie de l'ordonnancement

L'ordonnancement utilise un vocabulaire spécifique qu'il est indispensable de définir avant d'aborder les méthodes à utiliser pour gérer les activités de maintenance.

Notions de charges et capacité



Capacité

Elle est illustrée par la notion de "contenant", estimée par le potentiel d'heures qu'une équipe représente, dans les horaires normaux de travail. C'est une valeur facile à estimer et sensiblement constante.

Charge

C'est la notion de "contenu" matérialisée par le cumul des temps prévus affectés à une équipe (ou un technicien) pour une période de temps de référence nommée "unité d'ordonnancement". Ce contenu est constitué de strates de travaux de natures différentes que l'on peut gérer : c'est une des missions de l'ordonnancement d'arriver à équilibrer les charges et les capacités.

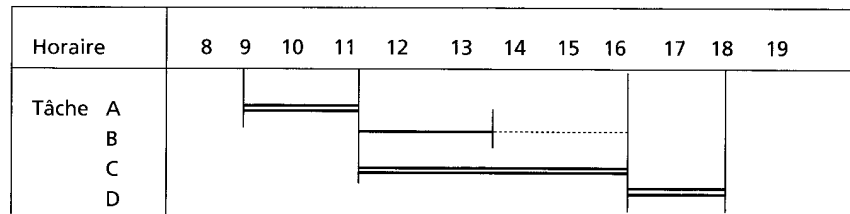
Surcharge

Elle se manifeste évidemment lorsque la charge est supérieure à la capacité, en supposant le temps "incompressible". Comme 1,5 litre ne rentre pas dans une bouteille d'un litre, il faut trouver des solutions après analyse des causes et estimation du pourcentage de surcharge.

3.2. Les outils de l'ordonnancement

3.2.1. Le diagramme de Gantt

Le diagramme de Gantt est structuré à partir d'une échelle des temps nommée "unité d'ordonnancement" : jour décomposé en heures, semaine décomposée en jours, année décomposée en semaines, etc. Chaque tâche est représentée par une barre de longueur proportionnelle au temps prévu, et elle est positionnée à priori "au plus tôt".

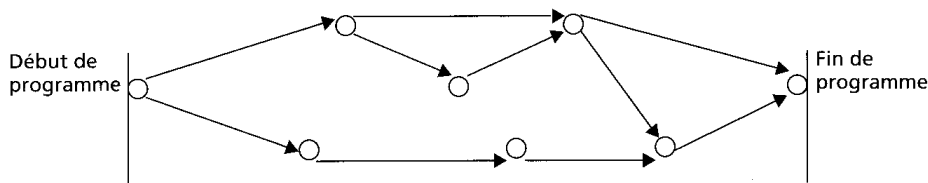


Structure d'un diagramme de Gantt

3.2.2. Le réseau PERT

La maintenance doit parfois mettre en œuvre un certain nombre de "travaux lourds" caractérisés par le nombre et la durée des opérations constitutives.

Les arrêts annuels d'unités, certaines révisions générales pluriannuelles, les projets de rénovation et de travaux neufs mobilisent plusieurs équipes et entreprises extérieures sur des périodes allant d'une semaine à plusieurs mois. Se superposant aux activités habituelles, ces travaux doivent être pilotés en ordonnancement avec des méthodes spécifiques déduites de la théorie des graphes. En effet, les graphes de Gantt atteignent leurs limites au delà de $N > 50$. Ayant l'avantage d'être très visuels, ils seront malgré tout édités en "sous-programmes" du PERT général.



Structure d'un réseau de PERT

4 – GMAO (Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur)

4.1. Fonctionnalités d'un logiciel de GMAO

La mise sous informatique de la gestion d'un service maintenance de PME apparaît aujourd'hui incontournable dans la plupart des secteurs d'activité.

Dès lors qu'un service maintenance est structuré et a fait la preuve de l'efficacité de son organisation, l'outil GMAO se révèle indispensable par sa capacité de mise en mémoire, par ses possibilités de traitement d'informations, par ses interfaces et par sa réactivité.

Il appartient à chaque service maintenance de déterminer ses besoins internes en matière d'informatisation, mais également ses besoins de communication externes, présents et à venir.

Le choix d'un outil GMAO passe par son adéquation :

- à la stratégie globale du système informatique de l'entreprise (problème d'intégration)
- aux besoins exprimés par le service maintenance

4.2. Les différents modules fonctionnels d'une GMAO

Tous les logiciels de GMAO ont en commun la même structure modulaire proposant les mêmes fonctions. Mais, selon les logiciels, les fonctions remplies sont diversement dénommées, diversement réparties et diversement organisées.

Dans les bureaux techniques d'une entreprise (méthodes, ordonnancement, logistique et travaux neufs), on pourra effectuer la gestion par exploitation des 10 modules suivants :

① Module "gestion des équipements"

Il s'agit de décrire et de coder l'arborescence du découpage allant de l'ensemble du parc à maintenir aux équipements identifiés et caractérisés par leur DTE (dossier technique d'équipement) et leur historique, puis à leur propre découpage fonctionnel.

② Module "gestion du suivi opérationnel des équipements"

Ce module permettra de suivre les performances d'un équipement à partir des indicateurs de fiabilité, de maintenabilité, de disponibilité.

③ Module "gestion des interventions"

Ce module doit permettre un enregistrement rapide de la durée, de la localisation, et de la nature d'une intervention.

④ Module "gestion du préventif"

Ce module doit permettre de gérer la maintenance systématique à travers un planning calendaire par équipement, les dates étant prédéterminées ou déterminées à partir d'un relevé de compteur (ou d'une mesure dans le cas de la maintenance conditionnelle). Le déclenchement sera automatique, par listing hebdomadaire des opérations prévues dans la semaine. Chaque opération sera prévue par sa gamme préventive.

⑤ Module "gestion des stocks"

Le système repose sur le fichier des articles en magasin comprenant les "lots de maintenance" par équipement et sur les mouvements entrées/sorties du magasin.

⑥ Module "gestion des approvisionnements et des achats"

Caractéristiques de la fonction maintenance : beaucoup de références et de fournisseurs pour des quantités faibles et des délais courts. Ce module doit permettre la gestion des achats.

⑦ Module "analyse des défaillances"

La base de ce module est constituée des historiques automatiquement alimentés par chaque saisie de BT (bons de travaux) ou OT (ordre de travaux). Ce module doit permettre une analyse quantitative ou qualitative des défaillances.

⑧ Module "budget et suivi des dépenses"

L'objectif de ce module est le suivi de l'évolution des dépenses par activité dans un budget donné.

⑨ Module "gestion des ressources humaines"

Spécifiquement adapté au service maintenance, ce module sera principalement une aide à l'ordonnancement.

⑩ Module "tableaux de bord et statistiques"

Les tableaux de bord concernent la mise en forme de tous les indicateurs techniques, économiques, et sociaux sélectionnés pour assurer la gestion et le management du service maintenance.

4.3. La conduite d'un projet GMAO

Le projet GMAO est pour le service maintenance un projet "structurant" remettant en cause des habitudes de travail, donc susceptible de modifier en profondeur l'état d'esprit et la motivation des acteurs. C'est une opportunité pour réorganiser un secteur, pour optimiser des procédures, pour élever le niveau de sensibilité à la gestion de tous les acteurs, pour en promouvoir certains.

Il ne faut pas négliger ni sous-estimer le poids de la formation dans le coût du projet : l'acceptation de l'outil est la condition incontournable de réussite du projet, son refus la cause majoritaire d'échec.

Les étapes d'un projet GMAO :

① Etude de faisabilité

Elle passe par le dimensionnement du projet en termes de ressources matérielles, humaines et financières, menée à l'aide d'un consultant expérimenté en GMAO.

② Rédaction du cahier des charges de consultation

L'idée du "juste nécessaire" doit éviter d'investir dans des fonctions inutiles, inadaptées, superflues et coûteuses.

③ Choix de l'outil GMAO et de ses modules nécessaires

A partir d'un problème bien posé, la réponse est supposée aisée. Le choix du logiciel se fera après appel d'offre détaillé et essais sur les produits sélectionnés.

④ Implantation, plan de formation et démarrage

Le moment de l'implantation doit être bien choisi, en dehors d'une période de forte activité, et doit être précédé d'une forte information, la crainte "à priori de l'informatique" étant toujours forte. Cette information doit porter à la fois sur les objectifs généraux de l'informatisation, sur les caractéristiques de l'outil sélectionné et sur le rôle de chaque secteur. Vient ensuite le moment de la formation.

5 – STOCKS

5.1. Définitions

Stock :

Un stock est une quantité d'articles gardée en réserve pour usage ultérieur. Il sert aussi à rendre indépendantes les opérations successives dans le processus de fabrication ou dans la distribution de cet article vers le client. Les stocks peuvent être constitués de produits finis prêts à la vente, mais aussi de pièces, d'articles intermédiaires, d'en-cours, ou de matières premières.

Gestion des stocks :

Activités et techniques destinées à maintenir le stock d'articles à un niveau souhaité, que ce soit des matières premières, des en-cours ou des produits finis. Les stocks ne se traitent pas de façon indépendante des opérations de production. L'investissement que représente la constitution d'un stock doit être traité en concurrence avec les autres investissements possibles. On a toujours intérêt à gérer les stocks au plus bas niveau acceptable compte tenu des objectifs et des niveaux de maîtrise du processus. Il faudra déterminer à quel moment et en quelle quantité un article devra être renouvelé. On cherchera le meilleur équilibre entre les coûts entraînés par les stocks et les coûts de pénurie.

Gestion du stock de maintenance :

Le stock de maintenance est l'ensemble des biens stockés, nécessaires à la réalisation optimale de la maintenance en termes de délais, de disponibilité, coûts, qualité, sécurité.

Il est constitué d'articles appartenant à la nomenclature des biens à maintenir et de matériels ou outils nécessaires à la réalisation des actions de maintenance selon la politique et les niveaux de maintenance définis.

On peut classer les biens constituant le stock maintenance en cinq catégories :

- consommables
- pièces à remplacement programmé
- pièces à remplacement non programmé ;
- pièces à remplacement exceptionnel ;
- matériels et outillages dédiés à la maintenance.

5.2. Les coûts en gestion des stocks

Coût de passation de commande (ou coût d'acquisition) : C_a

Le coût de passation de commande comprend tous les frais inhérents à la préparation, au traitement et au paiement de la commande. Ce coût varie beaucoup selon les articles. Dans le cas d'une commande interne, on désigne par coût de passation de commande, le coût de préparation et de mise en route, c'est-à-dire l'ensemble des frais relatifs au réglage de l'équipement utilisé pour produire le bien requis.

Coût de possession (ou coût de stockage) : C_p

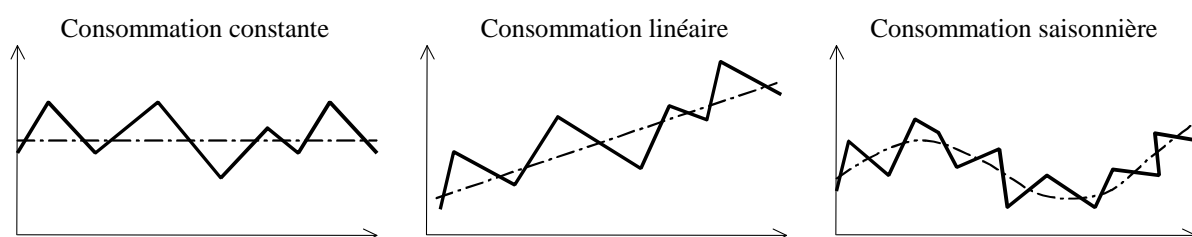
Le coût de stockage comprend, lui, trois catégories de coûts : le coût de renonciation, le coût d'entreposage et le coût lié aux pertes sur les stocks. Sur une année, le coût de stockage est substantiel : il peut représenter entre 20 % et 50 % du coût d'achat ou de production selon les articles.

- Coût de renonciation : coût sur le capital emprunté ; taux de rendement sur les investissements autres que les stocks.
- Coût d'entreposage : taxes foncières ; assurances sur l'entrepôt ou le magasin ; énergies consommées ; manutention ; réparations à l'entrepôt.
- Coût de détention : assurances sur les stocks ; désuétude ; détérioration ; conditionnement ; feu, vol et bris.

5.3. La prévision pour la gestion des stocks

Connaissance de base pour une bonne gestion, la prévision de la consommation peut s'effectuer suivant plusieurs méthodes : à partir de l'historique ou à partir de données extérieures (enquête).

Un grand nombre de méthodes sont applicables aux prévisions sur historique. Les modèles de consommation applicables sont les suivants.



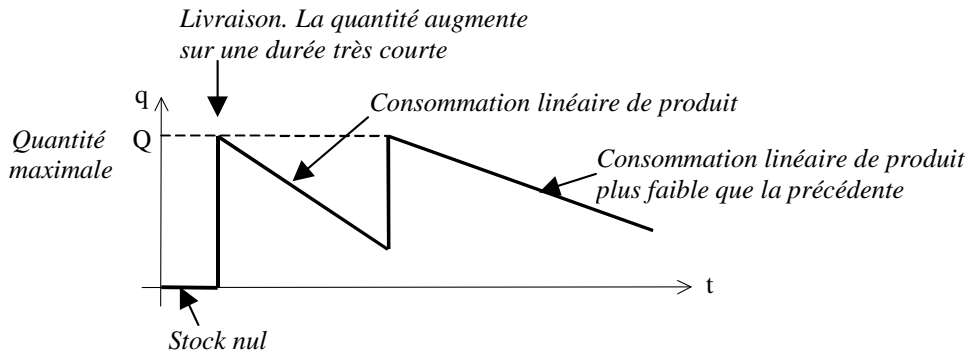
5.4. Principes de gestion des stocks

L'investissement que représente la constitution d'un stock doit être traité en concurrence avec les autres investissements possibles. D'une manière générale, les stocks doivent être gérés au plus bas niveau acceptable.

Les activités de la gestion des stocks consistent à répondre aux deux problèmes suivants :

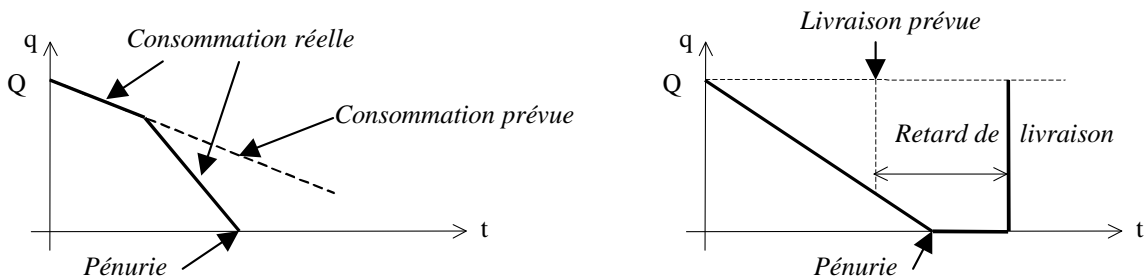
- à quel moment commander un article ?
- en quelle quantité le commander ?

Représentation graphique du stock :



Niveau de service :

Lorsque la demande est connue à l'avance, il en découle une certitude dans les prévisions et il n'y a généralement pas de pénurie. Mais lorsqu'il y a des variations aléatoires dans la demande ou dans les délais de livraison ou les deux, on doit se prémunir contre les risques de pénurie.



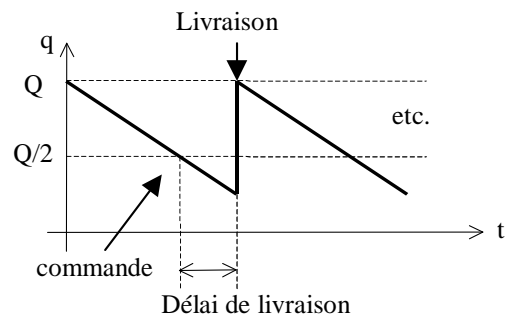
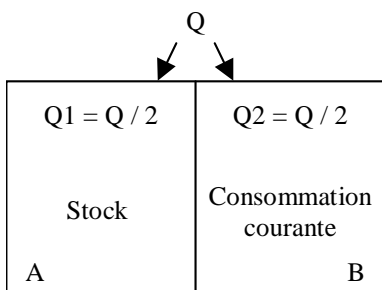
Il faut alors se demander, compte tenu de la distribution de probabilité de la demande, de la distribution de probabilité des délais de livraison et du rapport entre coût de pénurie et coût de stockage, quel niveau de service on veut offrir, c'est-à-dire quelle probabilité de pénurie on est prêt à tolérer. Un niveau de service à 95 % signifie que la demande sera satisfaite dans 95 % des cas.

5.5. Méthodes de gestion des stocks

5.5.1. Méthode dite des deux tiroirs

C'est une méthode empirique qui permet de gérer des stocks de consommables ayant un faible coût et une consommation très régulière.

Soit Q la quantité totale en stock. On divise cette quantité en deux parties égales.



Quand $Q_2 = 0$, alors on transfère Q_1 dans B et on commande la quantité $Q/2$ que l'on replace dans A.

5.5.2. Lot économique

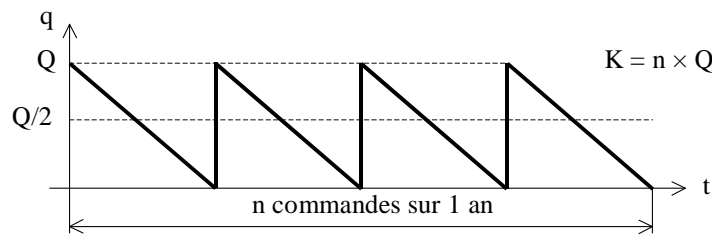
La méthode du lot économique permet de déterminer quelle quantité il est économique de prévoir à chaque passation de commande, si l'on veut minimiser le coût de gestion du stock (coûts de passation de commande et coûts de stockage). La quantité ainsi obtenue est notée Q_e (quantité économique à commander).

Pour présenter cette méthode, il faut partir du modèle de base, simplifié à l'extrême et qui sera par la suite complété de conditions qui le rapprocheront des situations réelles (remises sur quantité, stock de sécurité, etc.).

a) Coût annuel de passation de commande

Il est lié aux frais administratifs engendrés par la passation d'une commande. Il augmente avec la fréquence des commandes passées.

$Cat = Ca \times n = Ca \times \frac{K}{Q}$	Cat	Coût annuel de passation de commande
	Ca	Coût de passation d'une commande
	n	Nombre de commandes par an
	K	Consommation annuelle prévisionnelle
	Q	Quantité commandée



b) Coût de possession

Le coût total de stockage dépend du coût unitaire de stockage et de la quantité moyenne annuelle du stock.

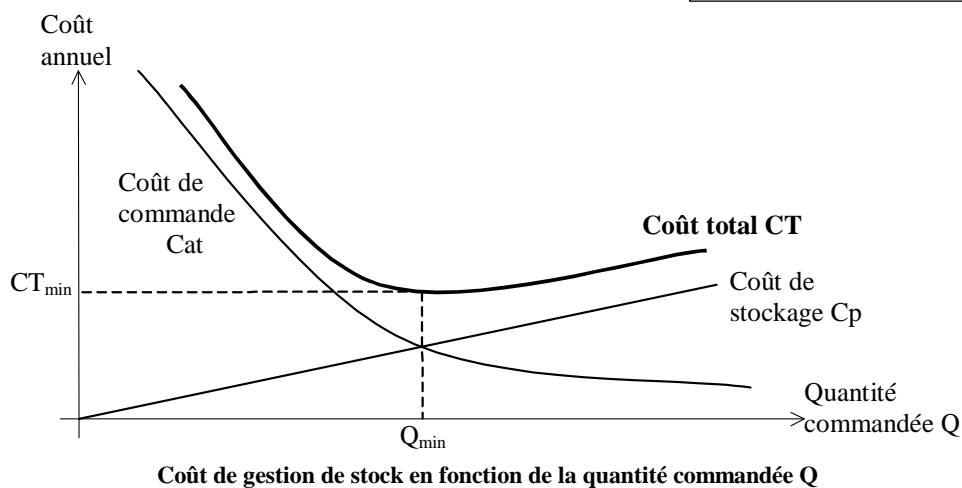
En sachant que : $Q = K / n$, le stock moyen correspond à : $Q / 2$ ou $K / 2n$. Le coût de possession est donc :

$Cp = \frac{Q}{2} \times Pu \times i$	Cp	Coût de possession
	Q	Quantité commandée
	Pu	Prix unitaire
	i	Taux de possession

c) Coût de gestion de stock

Le coût de gestion de stock correspond à la somme des deux coûts précédents :

$$CT = Cat + Cp = Ca \times \frac{K}{Q} + \frac{Q}{2} \times Pu \times i$$



d) Quantité économique - Formule de Wilson

$Q_e = \sqrt{\frac{2 \times Ca \times K}{Pu \times i}}$	Qe	Quantité économique à commander
	Ca	Coût de passation d'une commande
	K	Consommation annuelle prévisionnelle
	Pu	Prix unitaire
	i	Taux de possession

6 – TPM (Total Productive Maintenance)

6.1. Introduction à la TPM

Comme son nom l'indique, la Total Productive Maintenance est une activité de maintenance à participation globalisée inscrite dans une dynamique productive.

Elle implique tous les acteurs et composantes de l'entreprise dans la recherche de la marche optimale des systèmes. La maintenance détient donc un rôle déterminant puisqu'il ne peut y avoir de fonctionnement global optimal sans le souci constant d'un outil de production dans un état irréprochable.

La disponibilité n'est pas, là, le critère de référence, c'est le rendement global qui devient l'objectif premier. Celui-ci implique la chasse aux pertes et gaspillages dans tous les domaines : temps, énergies, matières d'œuvre, éléments de rechange ...

Ainsi, la fonction maintenance n'est plus physiquement concentrée et isolée en un seul service mais elle est l'affaire d'un plus grand nombre, des utilisateurs aux responsables des investissements.

Dans ce cadre, pour motiver la participation et l'implication de tous les acteurs, le management se fait par cercles de réflexion composés d'agents directement concernés par la notion de missions et par les orientations à prendre.

Pour ce qui concerne la maintenance en particulier, le caractère participatif de la TPM s'exprime de manière la plus visible par la délégation des tâches les plus simples (niveaux I et II) vers les opérateurs de conduite des machines.

"En TPM, on cherche à aller vers une évolution, et non pas vers une révolution."

6.2. Conditions de mise en place de la TPM

L'adoption d'une politique de TPM crée un changement sensible dans les habitudes de travail, principalement dans les ateliers.

Un certain nombre de conditions sont donc nécessaires pour envisager la mise en place d'une TPM :

- Avoir un système de management participatif
- Le travail de groupe doit être très développé
- Les postes de travail doivent être stables
- Le parc de documentation doit être existant et utilisable facilement
- La communication entre la production et la maintenance doit être bonne
- Le personnel de fabrication doit être intéressé (et formé)

6.3. Les étapes de la TPM

- ① Constitution des groupes de progrès (par machine)
- ② Formation du personnel
- ③ Nettoyage, rangement (démarche 5S)
- ④ Mesures de TRS
- ⑤ Auto-inspection : c'est le début de l'automaintenance (l'opérateur prévient la maintenance)
- ⑥ Automaintenance

6.4. Les tâches de l'automaintenance

La délégation de certaines tâches vers les opérateurs se fait progressivement et l'organisation est bâtie collectivement, par l'ensemble des acteurs, lors d'échanges au cours de ce que l'on peut nommer des cercles TPM :

• Le nettoyage

Il permet de repérer des anomalies dans tous les domaines :

- mécanique : desserrage, début de rupture, usure de pièces, blocage ou point dur, corrosion, fissure, rayures, ...
- électrique : fil desserré, isolant endommagé, surchauffe locale, ...
- pneumatique, hydraulique : fuite (huile ou air), pincement de tuyau, vérin endommagé, ...

• Le graissage

Pour les systèmes à dominante mécanique, un graissage convenablement pratiqué est une garantie de bon fonctionnement.

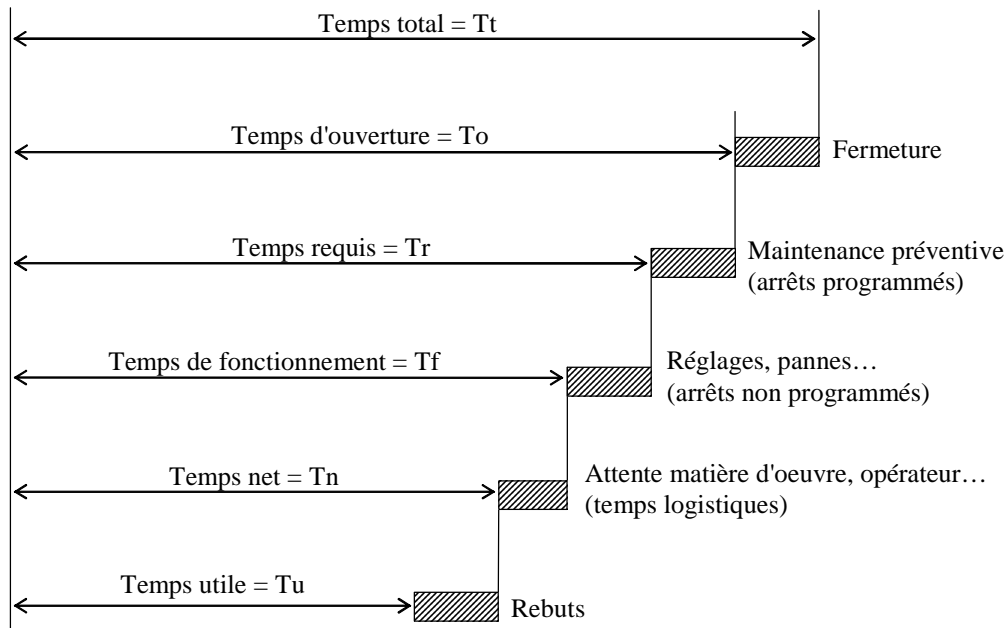
• Les resserrages

Jugés nécessaires lors d'inspections, de nettoyages ou en marche normale, ils sont effectués dès le constat. Les desserrages, par les vibrations qu'ils permettent, sont souvent en cause dans des dérives de qualité ou l'apparition de défauts fortuits inexplicables.

• Les inspections quotidiennes

Elles sont de préférence pratiquées, s'il y a lieu, avant la mise en œuvre. A partir d'une liste d'opérations précisément décrites, l'opérateur procède à une série de contrôles visuels, manuels avec ou sans outillage ou appareillage. Leur but est de déceler l'apparition d'un paramètre non conforme et donc potentiellement source d'incident.

6.5. Les indicateurs de la TPM : TRS, TRG, et TRE (norme NF E60-182)



TRS = Taux de Rendement Synthétique

Le TRS est un outil qui permet d'évaluer la qualité de l'ensemble du processus de production. On montre, par le calcul de divers indicateurs, les points à améliorer et leur influence sur le processus complet.

$$\boxed{\text{TRS} = T_u / T_r} \quad \text{avec} \quad \begin{array}{l} T_u : \text{Temps utile} \\ T_r : \text{Temps requis} \end{array}$$

ou

$$\boxed{\text{TRS} = T_{DO} \times T_P \times T_Q} \quad \text{avec} \quad \begin{array}{l} T_{DO} = \text{Taux de disponibilité opérationnelle} (T_{DO} = T_f / T_r) \\ T_P = \text{Taux de performance} (T_P = T_n / T_f) \\ T_Q = \text{Taux de qualité} (T_Q = T_u / T_n) \end{array}$$

TRG = Taux de Rendement Global

Le TRG est un indicateur de productivité de l'organisation industrielle.

$$\boxed{\text{TRG} = T_u / T_o} \quad \text{avec} \quad \begin{array}{l} T_u : \text{Temps utile} \\ T_o : \text{Temps d'ouverture} \end{array}$$

TRE = Taux de Rendement Economique

Le TRE est l'indicateur d'engagement des moyens de production et permet au dirigeant d'affiner la stratégie d'organisation de l'entreprise.

$$\boxed{\text{TRE} = T_u / T_t} \quad \text{avec} \quad \begin{array}{l} T_u : \text{Temps utile} \\ T_t : \text{Temps total} \end{array}$$

6.6. Les 5 S : un outil de la TPM

a) Principe des 5 S

Un travail efficace et de qualité nécessite un environnement propre, de la sécurité, et de la rigueur. Les **5 S** permettent de construire un environnement de travail fonctionnel, régi par des règles simples, précises et efficaces.

Les **5 S** sont la fondation sur laquelle bâtir une démarche de progrès, déployer les outils et méthodes du lean manufacturing et sont un levier du management du changement.

Les **5 S**, règles de base de l'ordre et de la discipline, sont les préliminaires incontournables pour tout projet d'amélioration. Partant du principe que *Les pertes sont des bénéfices potentiels*, éliminer les pertes constitue un gain. Il n'y a pas d'amélioration réelle de productivité ou de qualité si par ailleurs subsistent des gaspillages.

Les cinq **S** représentent les cinq premières lettres des mots japonais :

	Traduction littérale	Traduction "utile"
Seiri	Ranger	Supprimer l'inutile
Seiton	Ordre, arrangement	Situer les choses
Seiso	Nettoyage	Scintiller
Seiketsu	Propre, net	Standardiser
Shitsuke	Education	Suivre

b) Définition des 5 S

Seiri - Supprimer l'inutile

Trier, garder le strict nécessaire sur le poste et se débarrasser du reste. La manie d'accumuler et de garder "parce que cela peut servir" ne favorise pas la propreté et l'efficacité d'une recherche. Le Seiri c'est trier, séparer l'utile de l'inutile, éliminer tout ce qui est inutile sur le poste de travail et dans son environnement.

Seiton – Situer les choses

Arranger pour situer, c'est un moyen pour réduire les recherches inutiles. L'exemple typique du Seiton est le panneau d'outils.

Disposer les objets utiles de manière fonctionnelle, s'astreindre à remettre en place les objets, donner un nom et une place bien définie aux outils, réaliser des accessoires et supports permettant de trouver les outils rapidement et plus largement, définir les règles de rangement.

"Une place pour chaque chose et chaque chose à sa place".

Seiso – Scintiller

Le **nettoyage régulier**. Dans un environnement propre, une fuite ou toute autre anomalie se détecte plus facilement et plus rapidement.

Après le premier grand nettoyage, étape obligée de l'introduction des **5 S**, il faut en assurer la continuité. Le nettoyage régulier est une forme d'inspection.

Seiketsu – Standardiser

Standardiser, respecter les **3 S** précédents.

Les 3 premiers **S** sont des actions à mener. Elles sont le plus souvent exécutées sous la contrainte (hiérarchique).

Afin que le maintien de la propreté et l'élimination des causes de désordre deviennent normal, naturel, il est indispensable de les inscrire comme des règles ordinaires, des standards.

Le Seiketsu aide à combattre la tendance naturelle au laisser-aller et le retour aux vieilles habitudes.

Shitsuke - Suivre (et faire évoluer)

Finalement, pour faire vivre les 4 premiers **S**, il faut surveiller régulièrement l'application des règles, les remettre en mémoire, en corriger les dérives.

En instituant un système de suivi avec affichage d'indicateurs, les désormais **5 S** sont assurés de continuer à vivre, mais aussi de graduellement repousser leurs limites initiales, dans une démarche d'amélioration continue.

Shitsuke, le suivi, c'est aussi l'implication. Réaliser des autoévaluations, promouvoir l'esprit d'équipe, instituer des règles de comportement, mettre en place une bonne communication et... valoriser les résultats obtenus, car chaque étape est une petite victoire.

6.7. Lean maintenance et TPM

"lean" = mince, léger

La Lean Maintenance est une démarche TPM optimisée et axée sur la réduction, voire l'élimination du gaspillage relié aux équipements et à leur utilisation.

Le but de la Lean Maintenance est d'obtenir le meilleur rendement des équipements, à moindre coût.

Quelques domaines d'améliorations de la Lean maintenance :

- Optimiser la gestion des pièces détachées afin qu'elles soient disponibles pour les maintenances préventives et correctives
- Faciliter la maintenance préventive pour les activités et équipements critiques
- Mettre en place des formations polyvalentes des équipes
- Encourager et permettre à tous les intervenants d'avoir des initiatives d'améliorations

Chapitre 8

LES OUTILS DE CONTROLE



1 – ANALYSE VIBRATOIRE

1.1. Principe

Cette méthode s'applique à tous les matériaux. Elle consiste à analyser en fonction du temps les oscillations mécaniques d'un système autour d'une position de référence au moyen d'un ou de plusieurs capteurs. Les oscillations ou vibrations mécaniques sont produites soit par le système en fonctionnement (un moteur par exemple) soit sont induites par des sollicitations externes (par impact ou en sollicitation forcée).

1.2. Les vibrations

Le suivi des paramètres vibratoires est particulièrement bien adapté aux machines tournantes. L'analyse vibratoire fournit un nombre important de renseignements sur l'état de l'équipement.

Avantages de la méthode

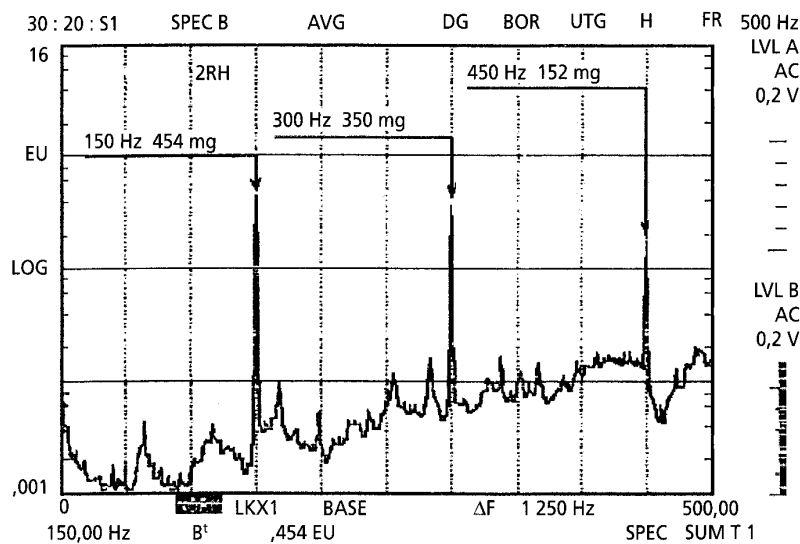
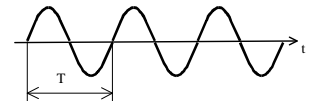
- Détection de défauts à un stade précoce
- Possibilité de réaliser un diagnostic approfondi
- Autorise une surveillance continue
- Permet de surveiller l'équipement à distance

Inconvénients

- Spectres parfois difficiles à interpréter
- Dans le cas de surveillance continue, installations relativement coûteuses

Une vibration correspond à des variations périodiques d'un milieu matériel (gazeux, liquide ou solide) qui se transmettent de proche en proche. On parle souvent de son lorsque la vibration a lieu dans l'air alors que dans un milieu solide, on parle simplement de vibration.

Une onde sonore est caractérisée par une fréquence f (en Hz) et une période T (en s). $T = \frac{1}{f}$



Exemple de spectre obtenu par une mesure d'analyse vibratoire

1.3. Phénomènes mis en évidence par l'analyse vibratoire

a) Principe de mesure

Lorsque la machine est neuve, on réalise des mesures dont on enregistre les spectres. C'est la signature des vibrations. Il suffit ensuite de comparer les mesures effectuées régulièrement à la signature d'origine.

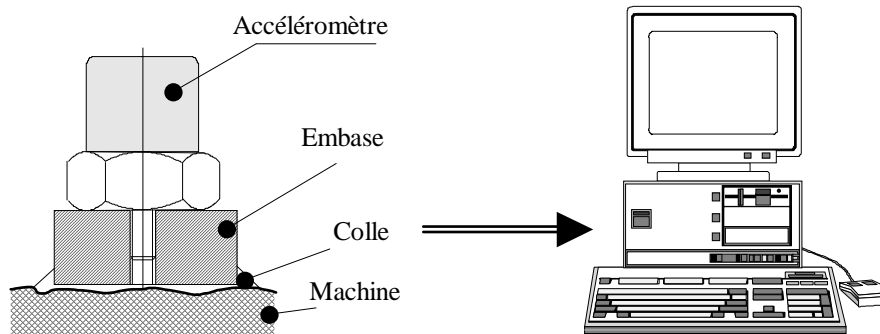
b) Réalisation des mesures

Les capteurs utilisés pour mesurer les vibrations sont généralement des accéléromètres piézo-électriques.

On colle des embases aux endroits stratégiques, c'est-à-dire près des éléments à surveiller (paliers, turbines, rotors...).

L'accéléromètre est vissé sur l'embase au moment des mesures ou laissé à demeure en cas de mesures continues.

Le signal de mesure est enregistré sur un collecteur puis transféré sur ordinateur ou enregistré directement à travers une carte d'acquisition.



Le diagnostic est réalisé après analyse spectrale et temporelle du signal à travers divers filtres.

c) Défauts obtenus à basse fréquence

Les défauts à basse fréquence caractérisent des phénomènes simples qui apparaissent à moins de 200 Hz. Il s'agit :

- du balourd :

Pour qu'une pièce tournante ne vibre pas trop, il faut qu'elle soit équilibrée, c'est-à-dire que son centre de gravité soit sur l'axe de rotation. Les efforts dus à un balourd peuvent devenir très importants et amener une rupture.

- du délignage :

Le délignage s'observe lorsque deux lignes d'arbres ne sont pas bien alignées. A la rotation, des contraintes apparaissent dans l'accouplement ou dans les paliers, accélérant les usures.

- du desserrage :

Le desserrage d'un élément engendre des chocs qui abîment les pièces et peut déboucher sur une casse.

- du frottement :

Le frottement produit une usure des pièces, de la poussière et augmente la température du mécanisme. Il est cependant souvent difficile à diagnostiquer car il se confond avec les autres défauts BF.

d) Défauts obtenus à moyenne fréquence

Les phénomènes apparaissant entre 200 Hz et 2000 Hz correspondent à des modulations :

- fréquence de compression de pales, d'aubes ou d'ailettes :

Cette fréquence est due aux forces dynamiques induites par le passage des pales d'un ventilateur, d'une turbine ou des palettes d'un compresseur.

- défauts d'engrènement :

Ce sont les défauts observables sur les engrenages.

- défauts de marquage de roulements :

Ce sont des défauts de marquage ou d'écaillage des pistes de roulement. Les fréquences sont données par le constructeur.

e) Défauts obtenus à haute fréquence

Ils concernent particulièrement les défauts généralisés des roulements lors d'usure, manque de lubrification...

2 – THERMOGRAPHIE**2.1. Généralités**

Un corps chaud est caractérisé par sa température. La mesure évidente est celle par contact :

- dilatation de liquide ou de solide;
- thermocouple;
- cristaux liquides.

Mais l'inconvénient majeur est l'impossibilité de faire la mesure d'un grand nombre de points en temps réel. De plus, des problèmes d'accessibilité, de potentiel électrique... peuvent se poser.

La seconde méthode, se fait par la mesure du rayonnement infrarouge. La thermographie infrarouge en temps réel se décompose en deux domaines : l'imagerie (militaire, cinéma, médical) et la mesure (recherche, maintenance préventive conditionnelle).

L'étude de la signature thermique d'un système ou de ses composants permet de déterminer les zones d'échauffement qui sont souvent caractéristiques de la dégradation du système.

Avantages de cette méthode :

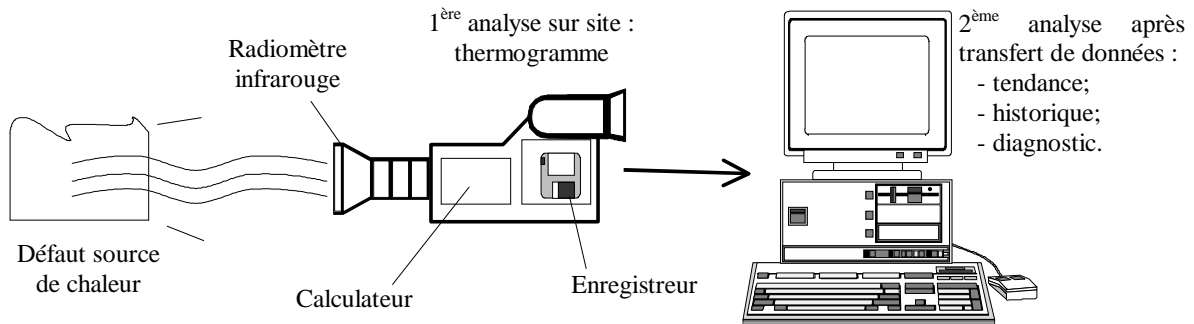
- * rapidité de mise en œuvre des mesures;
- * localisation des points chauds;
- * mesures sans contact sur des objets :
 - en mouvement;
 - sous tension;
 - inaccessibles;
 - polluants;
- * l'accès à des environnements sévères.
- * Interprétation souvent immédiate des résultats

Inconvénients :

- * Détection de défauts à un stade souvent moins précoce que l'analyse vibratoire
- * Contrôle limité à ce que "voit" la caméra (échauffements de surface)
- * Ne permet pas de réaliser un diagnostic approfondi

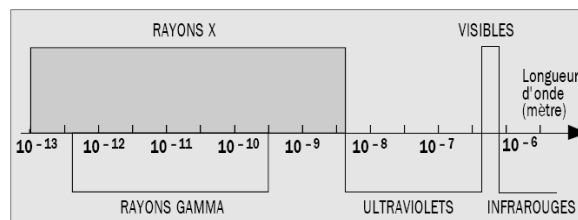
2.2. Principe

Chaque matériau émet naturellement un rayonnement électromagnétique de spectre normalement continu dont le niveau est fonction de sa longueur d'onde et de sa température. L'essentiel de ce rayonnement est émis dans la gamme des infrarouges. Les caméras thermographiques ont été conçues pour fournir une image, appelée thermogramme, de phénomènes statiques ou dynamiques dans le domaine spectral de l'infrarouge.



Une caméra infrarouge est un radiomètre ayant comme signal d'entrée une puissance de rayonnement (W/m²) et comme signal de sortie une tension électrique proportionnelle au signal d'entrée. Cette tension est traduite en indications visuelles et numériques.

Spectre infrarouge



Le spectre électromagnétique est divisé plus ou moins arbitrairement en plages appelées bandes, principalement suivant les méthodes d'émission ou de détection des rayonnements. Il n'y a pas de différence fondamentale entre les rayonnements des différentes bandes du spectre électromagnétique. Ils respectent tous les mêmes lois, avec des nuances résultant des différences de longueur d'onde. La relation entre la longueur d'onde et la fréquence ou la période est la suivante :

λ est la longueur d'onde en m.
 c est la vitesse de propagation du rayonnement magnétique et de la lumière (3×10^8 m/s).
 T est la période en s.
 f est la fréquence en Hz.

$$\lambda = c \times T = \frac{c}{f}$$

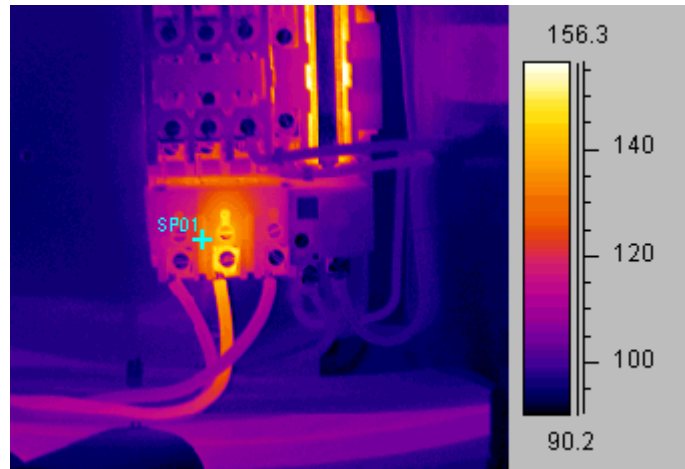
La thermographie utilise la bande spectrale infrarouge.
 Les longueurs d'ondes sont exprimées le plus souvent en μm (micromètres) ou nm (nanomètre).

2.3. Applications de la thermographie

La thermographie infrarouge est un examen pratiqué à distance. Il trouve donc des applications intéressantes lorsque l'accès est délicat ou dangereux. Il a aussi l'avantage de ne pas imposer d'arrêt de production et nécessite rarement un démontage.
 La thermographie infrarouge trouve son utilisation dans les nombreux cas où une différence de température est le signe d'une anomalie de fonctionnement.

Ce phénomène se retrouve pour des éléments comme :

- des pièces tournantes ou de frottement
- des installations électriques sous tension
- des circuits imprimés complexes, composants électroniques
- des éléments réfractaires de fours, isolation d'enceintes thermiques
- des installations de chauffage par le sol
- des canalisations enterrées



Exemple : une image thermique d'une connexion électrique défaillante

3 – ANALYSE D'HUILE

3.1. Principe de l'analyse des huiles en maintenance

Le suivi du niveau de pollution des huiles constitue une source de renseignements précieuse pour un service de maintenance. En déterminant les causes de dégradation des lubrifiants, la maintenance dresse un diagnostic de fonctionnement des machines et peut alors remédier aux problèmes avant que de véritables incidents ne conduisent à des arrêts coûteux. Ce suivi peut être effectué pendant le fonctionnement de l'installation, ce qui en fait une technique de maintenance préventive conditionnelle. Ses avantages principaux sont d'être facile à mettre en œuvre, peu coûteux et adaptable à tous les types de matériels.

Les facteurs responsables de l'évolution d'un lubrifiant en service et conduisant parfois à le remplacer par un fluide neuf afin de protéger les mécanismes lubrifiés sont les suivants :

Pollution :

Un lubrifiant chargé en eau, en solvants, en particules diverses (poussières, matériaux plastiques, écailles de peinture, débris de joints, fibres...) est le reflet du processus industriel dans lequel il est inséré. L'évolution de ces contaminants dépend de l'activité effectuée et du soin apporté au fonctionnement des machines.

Particules métalliques :

Elles sont dues à l'usure ou à la corrosion. Ces particules proviennent des éléments du circuit parcouru au sein de la machine. Si la quantité de particules s'accroît subitement bien après la période de rodage, c'est le signe de dysfonctionnement des pièces mécaniques dont il faut rechercher la cause : dérèglages, présence de produits corrosifs, fuites...

Oxydation :

La présence d'air, de particules métalliques et les élévations de température provoquent l'oxydation des huiles. Au-delà du vieillissement normal d'un lubrifiant, une dégradation trop rapide est signe de conditions anormales de fonctionnement et l'on recherchera notamment les pointes de température sur le circuit d'huile.

Avantages de la méthode :

- Détection d'une pollution anormale du lubrifiant, avant que celle-ci n'entraîne une usure ou un échauffement
- Possibilité de connaître l'origine de l'anomalie par analyse des particules

Inconvénients :

- Ne permet pas de localiser précisément le défaut
- Nécessite de prendre de nombreuses précautions dans le prélèvement de l'échantillon

3.2. Fréquence de suivi

Afin de pouvoir dresser le diagnostic le plus précis possible sur une charge d'huile et sur le matériel qu'elle lubrifie, il convient de suivre régulièrement les évolutions des caractéristiques de l'huile et de comparer les résultats obtenus à chaque analyse d'une fois sur l'autre et par rapport aux caractéristiques de l'huile neuve. Il conviendra d'intervenir si l'on constate une évolution brutale des caractéristiques ou si l'on s'éloigne trop des valeurs initiales. L'intervention se fera au niveau du matériel ou en changeant la charge d'huile.

Application	Fréquence conseillée
Compresseurs d'air	chaque 500 h puis espacer à 1000 h si tout paraît correct
Compresseurs de gaz	chaque 500 h puis espacer à 1000 h si tout paraît correct
Circuits hydrauliques	1000 h
Compresseurs frigorifiques	de 1000 h à 2000 h
Turbines	2000 h
Réducteurs et engrenages	2000 h
Bains d'huiles de trempe	2000 h
Fluides isolants	5000 h
Huiles moteurs	15 000 km ou 250 h
Fluides de coupe aqueux	1 à 4 semaines
Fluides de coupe entiers	2 à 4 mois

3.3. Analyse

Les analyses sont soit visuelles (réalisées par les techniciens de maintenance), soit physico-chimiques (réalisées en laboratoire). Ces analyses permettent de détecter les différentes altérations. Le couplage de plusieurs essais est souvent nécessaire pour un diagnostic complet.

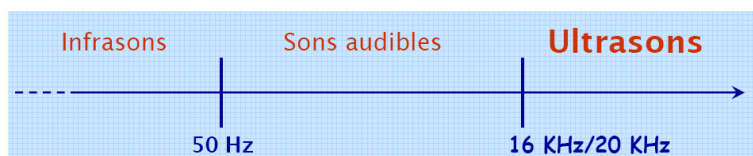
Dans le cas d'une analyse visuelle, l'aspect d'une huile (transparence, couleur, dépôts, odeur) peut renseigner sur le type d'altération correspondant :

Caractéristique	Hypothèse	Conseil de maintenance
Aspect trouble	mélange	Vérifier les possibilités d'introduction d'autres fluides ou d'eau.
	eau	
Aspect laiteux	eau	Vérifier les erreurs de fluides
	désaération	
Aspect brun-roux	oxydation	Examiner les points chauds du circuit

4 – ULTRA-SONS

4.1. Caractéristiques des ultra-sons

Les ondes ultrasonores se situent au-delà du seuil de perception de l'oreille humaine

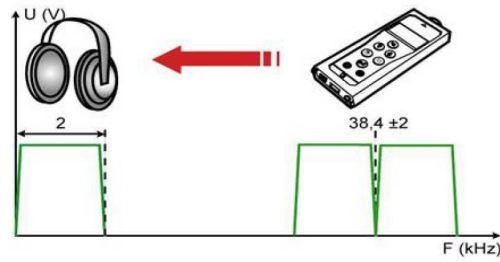


4.2. Origine des ultra-sons

- Origine mécanique : Frictions de machines tournantes (roulements, engrenages, paliers)
- Origine pneumatique ou hydraulique : Turbulences dues aux fuites de pression ou de vide
- Origine électrique : Formations d'arcs, de cheminements électriques, d'effets de couronne, d'interférences radio/TV

4.3. Détection des ultra-sons

Pour les détecter, il faut un équipement ayant la capacité de recevoir les fréquences ultrasonores et les convertir en sons audibles.



4.4. Applications en maintenance industrielle

L'analyse des ultra-sons est utilisée pour :

- La détection de fuites : installations d'air comprimé

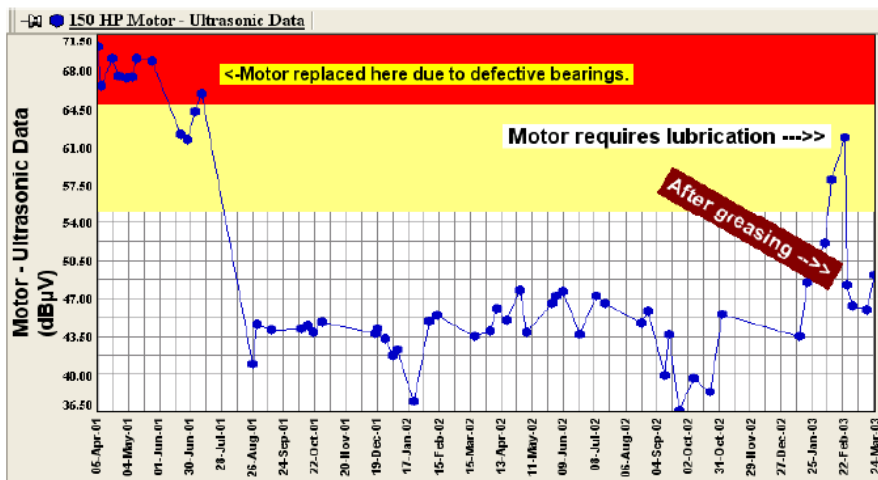
L'air comprimé coûte cher (jusqu'à 0,03 € / m³) et les fuites ne sont pas nécessairement bruyantes.

Répartition des volumes d'air comprimé utilisés en industrie (moyennes internationales)	
Consommation par les équipements	43 %
Fuites dans l'atmosphère	34 %
Utilisations inappropriées	16 %
Air purgé	5 %
Purgeurs automatiques défectueux	2 %

- Le contrôle d'étanchéité : automobile, aéronautique, toits de bâtiments, citernes, réservoirs

- Le monitoring de Vibration Acoustique (AVM™)

Certains contrôleurs par ultra-sons permettent le contrôle mécanique et le suivi de roulements par mesure de l'énergie vibratoire.



- Le contrôle de graissage

L'excès de graisse peut créer des surchauffes de roulement.

L'analyse par ultra-sons associée à une mesure de température permet de contrôler la quantité de graisse à appliquer.

- Les inspections électriques : lignes HT, sous-stations, transformateurs

Chapitre 9

L'EXTERNALISATION DES TRAVAUX



1 – DEFINITIONS

Depuis plusieurs années, les politiques industrielles tendent à un recentrage de leur activité sur leur métier de base. Dans ces conditions, le recours à des entreprises extérieures spécialisées se développe, principalement pour des tâches considérées comme satellites.

La maintenance sous-traitée, appelée également maintenance externalisée, vise à soulager, pour des raisons de politique interne, l'activité du service maintenance en confiant des travaux à des personnels dépendant d'une autre entreprise.

Une telle délégation d'activité met en relation deux parties : le donneur d'ordre (le client) et le prestataire de service. Ils sont liés par les termes d'un contrat précisant les droits et obligations de chacun.

Externalisation (norme FD X 60-008)

C'est le transfert total ou partiel d'une tâche ou d'une fonction de l'entreprise utilisatrice vers une entreprise extérieure

Sous-traitance (norme FD X 60-008)

C'est l'opération par laquelle un entrepreneur confie par un sous-traité, et sous sa responsabilité, à une autre personne appelée sous-traitant tout ou partie de l'exécution du contrat d'entreprise ou du marché public conclu avec le maître de l'ouvrage.

2 – POURQUOI EXTERNALISER ?

L'externalisation des travaux permet :

- de se recentrer sur le métier de base de l'entreprise en évitant la multiplication des activités, des compétences, des équipements
- d'éviter au service maintenance la contrainte de surcharges de travail pénalisantes pour la production
- l'exécution de travaux de haute technicité par des spécialistes équipés de matériels performants et adaptés
- de faire l'économie d'investissements dans des équipements coûteux dont le besoin occasionnel ne peut justifier l'acquisition, le stockage
- d'éviter une provision pléthorique de pièces de rechange à la gestion et au stockage coûteux et compliqué.

Les enjeux du donneur d'ordres

- Réduction des coûts indirects : Sûreté de fonctionnement, Disponibilité du patrimoine, Qualité des services procurés, Sécurité (Biens, personnes, environnement)
- Réduction des coûts directs : Interventions "juste à temps", Méthodologies et réactivité adaptées, Productivité des moyens mis en œuvre, "Juste coût"
- Réduction des coûts fixes
- Modulation des coûts variables : Flexibilité des moyens (sans précarité), Maintenance "juste à temps"

Les enjeux du prestataire

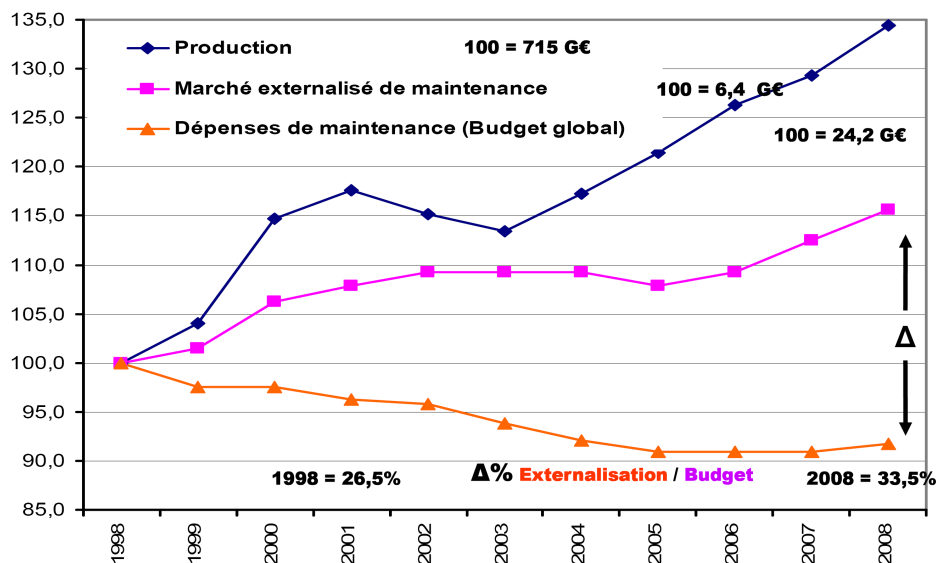
- Augmenter sa part de marché
- Augmenter sa marge = Frais généraux + Profit
- Améliorer son image de marque

3 – LES TACHES A SOUS-TRAITER

De toute évidence, il faudra d'abord sous-traiter les tâches dont la réglementation impose l'intervention d'organismes agréés. Il s'agit des contrôles et inspections périodiques que doivent subir les matériels tels que les ascenseurs, les monte-charge, les appareils sous pression, les appareils présentant un risque particulier, ...

Les autres activités possibles à sous-traiter sont, prioritairement, les moins proches de l'outil de production :

- les travaux d'entretien général (bâtiments, réseaux d'énergie, éclairages, chauffages, ...)
- l'entretien des matériels périphériques (informatique, téléphonie, véhicules, ...)
- la formation du personnel
- les travaux nécessitant des matériels et outillages spécifiques
- l'exécution d'outillages et pièces spécifiques
- les travaux importants (arrêt annuel, rénovation, réorganisation, ...)



Evolution du marché de la maintenance industrielle (source : Observatoire BIPE / AFIM 2008)

Remarque : Selon une étude réalisée en 2005 en France, la maintenance est la fonction la plus sous-traitée dans l'industrie.

4 – LES FORMES DE SOUS-TRAITANCE

Les formes de sous-traitance de la maintenance sont nombreuses. Ce n'est pas la façon d'intervenir qui change, puisque le travail du technicien reste le même, mais c'est le cadre juridique de l'intervention qui va définir la forme de sous-traitance. Aussi, nous pouvons dissocier les interventions en les classant par modes de rémunération :

- Intervention rémunérée au temps passé : mission limitée dans le temps (régie, travail temporaire). La rémunération pourra être de type dépense contrôlée
- Intervention sur devis
- Forfait (peut être partiel : limité à un nombre d'heures, le restant étant de la dépense contrôlée plafonnée ou non)

5 – LE CONTRAT DE MAINTENANCE

5.1. Définition

Un contrat de maintenance est un contrat par lequel un prestataire s'oblige contre rémunération à exécuter de manière indépendante un travail déterminé par le maître de l'ouvrage.

5.2. Les clauses des contrats de maintenance

Les clauses sont des dispositions particulières précisant les termes du contrat sur les plans technique, juridique, financier, d'hygiène et sécurité.

Sans former des parties distinctes, elles doivent figurer clairement dans les différents articles composant le contrat.

Les clauses techniques

Elles définissent le contenu et les modalités de réalisation de l'intervention. Elles formalisent la définition des prestations en indiquant :

- la nature et les limites de travaux
- les modalités d'exécution (jours, horaires, accès, ...)
- la durée des travaux
- la fourniture de pièces de rechange, consommables, lubrifiants, ...
- la fourniture de documentation
- les conditions de contrôle et de réception
- les contraintes environnementales

Les clauses juridiques

Elles présentent les conditions dans lesquelles doivent être conclus les contrats. Entre autres points, les clauses juridiques précisent :

- les identifications des différentes parties
- l'objet du contrat
- la durée du contrat
- les assurances et responsabilités
- les modalités de réalisation du contrat
- les recours en cas de défaillance de l'une des parties

Les clauses financières

Elles présentent les modalités devant apparaître dans les contrats telles que :

- la méthode de calcul de prix
- la révision du prix
- les conditions de facturation et de paiement
- les pénalités de retard, les bonifications
- la prise en compte de l'évolution des taux d'intérêt

Les clauses d'hygiène et de sécurité

Ces clauses sont mentionnées dans un plan de sécurité qui, avec le plan de prévention des risques précise les risques et les procédures à respecter par les deux parties :

- habilitations
- mesures de préventions (protections individuelles, collectives, ...)
- procédures
- identification des zones à risque

Chapitre 10

QUALITE ET MAINTENANCE



1 – LES TERMES LIES A LA QUALITE

Qualité : C'est l'aptitude d'un produit ou d'un service à satisfaire les besoins des clients et/ou des utilisateurs, au meilleur coût.

Fournisseur : Organisme qui fournit un produit (ce peut être un producteur, un distributeur, ...).

Client : Destinataire (consommateur, utilisateur, ...) d'un produit fourni par le fournisseur.

Assurance qualité : Le fournisseur d'un produit ou d'un service apporte à son client la preuve que le processus complet (maintenance incluse) d'élaboration du produit ou du service satisfera ses besoins en lui donnant l'assurance de la qualité.

Certification : Pour mettre en place l'assurance de la qualité, les entreprises s'appuient sur des normes ISO (International Standard Organization). La certification de l'entreprise est la reconnaissance par un organisme tiers et indépendant de la mise en œuvre d'un système qualité conforme aux normes.

Qualité totale (TQM : Total Quality Management) : La qualité totale vise à mobiliser toute l'entreprise pour obtenir une meilleure satisfaction du client, au moindre coût, dans une démarche d'amélioration continue.

2 – LES CERTIFICATIONS ISO 9000

Dans l'union européenne, et en France notamment, les normes ISO 9000 font référence. Ces normes, qui concernent les systèmes qualité et plus particulièrement l'assurance qualité, se sont affirmées comme une base d'échange et de communication entre clients et fournisseurs du monde entier.

Normes	Objet
ISO 9000	Décrit le système de normes et donne des lignes directrices pour leur sélection et leur utilisation
ISO 9003	Porte sur l'identification des exigences de qualité des clients et une organisation des contrôles permettant de montrer de façon appropriée le respect de ces exigences (modèle pour l'assurance de la qualité en contrôle et essais finaux)
ISO 9002	Porte sur la maîtrise des processus principaux permettant de satisfaire les exigences décrites par la norme ISO 9003 (modèle pour l'assurance de la qualité en production, installation et prestations associées)
ISO 9001	Porte sur la maîtrise de la préparation : conception du produit et organisation de la production (modèle pour l'assurance de la qualité en conception, développement, production, installation et prestations associées)
ISO 9004	C'est un guide pour la mise en place et le management d'un système qualité : identification des besoins du client, contrôles, maîtrise des processus, conception, organisation.

3 – LES CERTIFICATIONS ISO 14000

Les normes ISO 14000 sont similaires aux normes ISO 9000 mais se rapportent à la qualité de l'environnement du site industriel. La protection de l'environnement est une obligation pour l'entreprise qui doit donc l'intégrer à son système de management. La responsabilité de la gestion de l'environnement tombe naturellement dans le domaine des services techniques. Suivant la structure de l'entreprise, elle concerne souvent le service maintenance.

4 – FONCTION MAINTENANCE ET QUALITE

Pour qu'une intervention de maintenance soit de "qualité", il faut :

- que l'intervention se fasse dans le respect des réglementations
- que l'intervention se fasse dans le respect des consignes de sécurité concernant le matériel, les personnes et l'environnement
- que le système fonctionne avec les performances requises
- que le temps passé à l'intervention soit acceptable
- que les documents de suivi soient correctement renseignés

Pour qu'une maintenance soit de "qualité", il faut :

- qu'elle soit considérée comme une fonction de production à part entière
- qu'elle soit capable de gérer les équipements
- qu'elle soit capable de prévenir les défaillances plutôt que de les subir
- qu'elle sache gérer les stocks des pièces et des produits de maintenance
- qu'elle soit capable de gérer les travaux importants
- qu'elle établisse, pour chaque équipement, un historique correctement renseigné permettant de mettre en évidence : disponibilité, MTBF, MTTR, fiabilité
- qu'elle soit capable de déterminer les coûts des interventions
- qu'elle possède une base de données : fournisseurs, délais, coûts
- que chaque acteur de la fonction maintenance connaisse les responsabilités qui lui incombent et les limites de son champ d'intervention

5 – LA METHODE KAISEN

La méthode KAISEN signifie l'amélioration continue. Il ne peut pas se passer une journée sans qu'il y ait une amélioration quelque part dans l'entreprise. Elle est constante. La réussite d'une entreprise dépend de la capacité à progresser plus vite que les autres.

Le progrès peut résulter de 2 modes de changement qui sont soit l'amélioration continue, soit l'innovation. Cette dernière consiste en des investissements importants qui génèrent des ruptures et qui nécessitent des adaptations difficiles voire longues à réaliser. Le risque est important au niveau de l'innovation.

L'amélioration continue est peu coûteuse, et ne nécessite pas de grands plans d'investissement. Il n'y a pas trop de risques pris, mais les gains peuvent être très importants. Cette orientation est préférée par son auteur IMAI.

Il considère que cela doit occuper 50% du temps. Cela implique le souci permanent de la standardisation dans tous les domaines de l'entreprise. Elle doit être une véritable culture d'entreprise, un des éléments principaux de la culture.

La culture d'entreprise recouvre le droit à l'erreur, la primauté aux faits réels ou concrets, le travail systématique en groupe transfonctionnel, pyramide inversée reposant sur le client, et primauté à l'étude des processus plutôt qu'à l'étude des résultats.

Il est à noter que ces valeurs étaient déjà présentes dans des entreprises de l'entre 2 guerres : FORD aux U.S.A., et MICHELIN en France.

6 – LES 5 ZEROS

La méthode des 5 zéros est une méthode visant à la qualité totale de l'entreprise. Elle a la particularité d'intégrer la maintenance.

Le zéro défaut	Tous les produits doivent être conformes aux spécifications requises
Le zéro délai	Les produits sont livrés au bon moment, ni trop tôt, ni trop tard
Le zéro stock	On fabrique au bon moment ce dont le client a besoin
Le zéro panne	Les machines sont disponibles chaque fois que l'on en a besoin et les produits fabriqués sont fiables
Le zéro papier	On ne produit pas de "paperasse" inutile

7 – LE BENCHMARKING (ANALYSE COMPARATIVE)

Description : "Processus continu et systématique d'évaluation des produits, des services et des méthodes par rapport à ceux des concurrents".

Le Benchmarking est une méthode qui a été développée au début des années 80 par la société Xerox pour une prise de décision concernant un investissement lourd destiné à moderniser la gestion des stocks.

Xerox s'est intéressé alors aux "meilleures pratiques de la concurrence" mais également aux pratiques dans d'autres secteurs sur le sujet étudié. La comparaison s'est finalement faite avec une firme de vente d'articles de sport par correspondance qui excellait pour la gestion des commandes.

La méthode employée a été formalisée et reconnue par la suite.

Le Benchmarking consistera à "trouver, au niveau mondial, l'entreprise ou les entreprises qui réalisent de la manière la plus performante un processus ou une tâche donnée, d'aller l'étudier ("benchmarker ces entreprises") et d'adapter ensuite ce processus à sa propre entreprise".

Pour une entreprise, il s'agit de se comparer aux "Leaders" qui se positionnent sur le marché, de s'inspirer de leurs idées, de leurs pratiques, de leurs fonctionnements et de leurs expériences afin que les pratiques en interne s'améliorent".

8 – LA DEMARCHE DE RESOLUTION DE PROBLEMES

Une partie importante du travail d'un service maintenance consiste à résoudre des problèmes. Certains d'entre eux sont difficiles à cerner, les causes et les solutions ne sont donc pas toujours évidentes.

Pour arriver à de bons résultats, il est important d'utiliser une démarche structurée qui permet d'élaborer de meilleures solutions grâce au partage des idées émises ou des différents points de vue présentés ainsi qu'à l'expérience et aux connaissances de chaque membres.

1^{re} étape	L'identification du problème Bien définir la situation insatisfaisante.	<ul style="list-style-type: none"> • Qu'est-ce qui ne fonctionne pas? • Quel est le problème?
	Bien définir la situation désirée.	<ul style="list-style-type: none"> • Quel est le changement souhaité? • Comment voudrait-on que ce soit?
2^e étape	L'analyse du problème Explorer toutes les facettes.	<ul style="list-style-type: none"> • Répondre aux questions: Qui? Quand? Où? Comment? Pourquoi?, etc.
3^e étape	La recherche de solutions Trouver toutes les solutions possibles.	<ul style="list-style-type: none"> • Noter toutes les solutions imaginables sans les censurer ni les critiquer.
4^e étape	L'évaluation des solutions Analyser chaque solution.	<ul style="list-style-type: none"> • À partir de critères d'efficacité, de faisabilité, de coûts et d'acceptabilité.
5^e étape	Le choix d'une solution Choisir la meilleure solution.	<ul style="list-style-type: none"> • Celle qui fait consensus.

Les étapes d'une démarche de résolution de problèmes

9 – LA CONDUITE DE PROJET

Les étapes de la conduite d'un projet sont les suivantes :

- ① Définir le besoin
- ② Mesurer l'état actuel
- ③ Fixer un objectif
- ④ Définir les moyens (matériels, humains, financiers, temporels)
- ⑤ Planifier
- ⑥ Rassembler les moyens
- ⑦ Réaliser
- ⑧ Faire un bilan

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Maintenance, méthodes et organisations - François Monchy** - Dunod ; 08/2003
- **Maintenance industrielle** - Génie industriel, de l'entretien de base à l'optimisation de la sûreté - **Jean-Marie Auberville** - Ellipses ; 05/2004
- **Pratique de la maintenance préventive - Jean Heng** - Dunod ; 09/2002
- **Mémotech maintenance industrielle - Denis Cogniel Y. Gangloff François Castellazzi** - Casteilla ; 08/1998
- Cours **Méthodes de maintenance** – **Pierre Salgas** – INSA - Lyon
- **Association française des ingénieurs et responsables de maintenance**
<http://www.afim.asso.fr/>