

Introduction:

Le mot Maintenance est apparu dans le vocabulaire industriel dans les années 1950, par contre les concepts de maintenance, tels que nous les connaissons aujourd'hui, remontent en fait à la plus haute antiquité, depuis le développement de l'homme des premières machines.

Pour souligner l'importance de la maintenance dans le fonctionnement de l'entreprise, elle est nommée « Fonction maintenance ». Il s'agit même d'une fonction vitale puisque, sans maintenance, tout processus industriel cesse, généralement à court terme, de produire les biens ou les services pour lesquels il a été conçu.

La fonction maintenance a été considérée pendant longtemps comme une activité secondaire à l'intérieur de l'entreprise, qui génère des dépenses non productives. Assimilée souvent à l'entretien qui consistait aux réparations subites et aux dépannages des outils de production. L'Association Française de la Normalisation AFNor, définit la maintenance comme étant « L'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé » AFNOR X-60-010. Dans cette définition, l'aspect économique de la fonction maintenance n'apparaît pas, chose qui a été traitée dans le document d'introduction X 60-000 : « bien maintenir, c'est assurer ces opérations au coût global optimal ».

Dans le nouveau contexte industriel, les entreprises sont sujettes de grandes pressions de la part de leurs clients. Ces derniers sont de plus en plus exigeants, demandant des produits et des services de qualité, à moindre coût et dans les délais impartis. Pour cela, les entreprises doivent assurer au coût minimal, la disponibilité et la fiabilité de leurs outils de production, par une bonne gestion de maintenance bien choisie et adaptée. Ce n'est pas une tâche facile. Certes, les concepts de maintenance proposent des façons pour optimiser la performance globale de l'entreprise, mais cela nécessite des ressources

humaines compétentes, des moyens matériels adaptés aux équipements à maintenir, des systèmes de gestion de pièces de rechange et d'informations adéquats.

I. Types et niveaux de maintenance:

I.1 Types de maintenance :

Nous trouvons deux mots-clés dans la définition de la maintenance : maintenir et rétablir. Le mot maintenir fait référence à une action préventive, alors que le deuxième à une action corrective. La figure 1, décrit les différents types de maintenance :

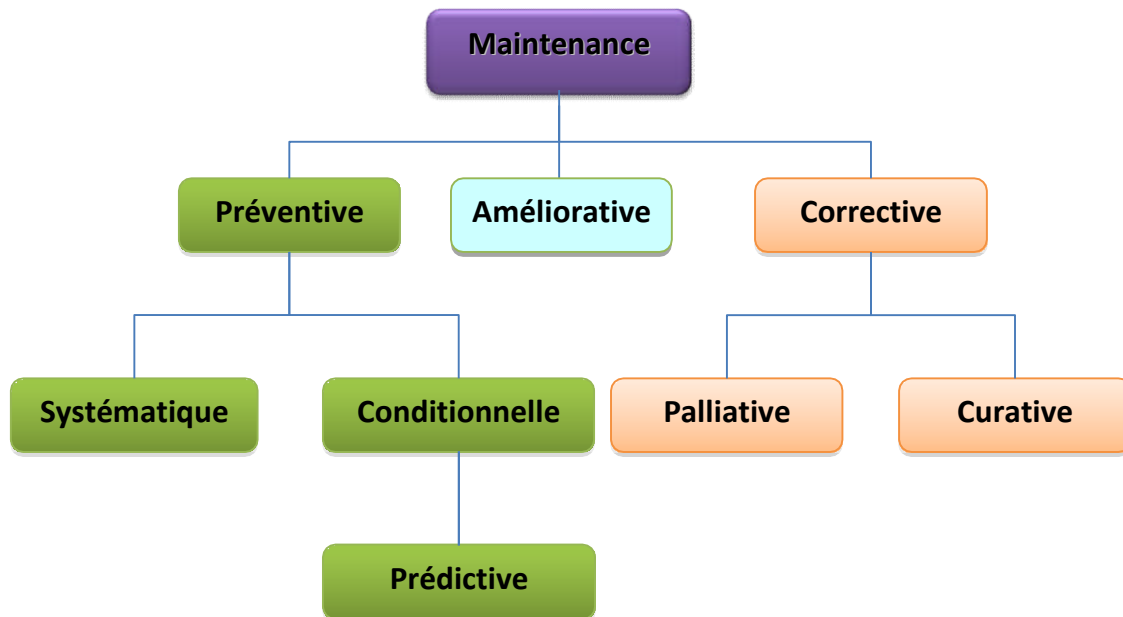


Fig. 1 : les différents types de maintenance.

La maintenance corrective est définie comme une maintenance effectuée après défaillance (AFNor X 60-010). Elle est caractérisée par son caractère aléatoire et requiert des ressources humaines compétentes et des ressources matérielles (Pièces de rechange et outillages) disponibles sur place. Dans la maintenance corrective nous subissons la défaillance, à laquelle nous intervenons de deux façons. La première, est à caractère provisoire (rétablissement provisoire), ce qui caractérise la maintenance palliative. La deuxième est à caractère définitif (rétablissement définitif) ce qui caractérise la maintenance curative.

Quant à **la maintenance préventive**, elle est définie comme une maintenance « effectuée selon des critères prédéterminés, dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou d'un service rendu » AFNor X 60010. Les activités correspondantes sont déclenchées selon un échéancier établi à partir d'un nombre prédéterminé d'unités d'usage (heures de marche, jours calendaires, kilométrage, nombre de démarrages ...etc.) et dans ce cas on parle de maintenance systématique. Si l'échéancier est établi à partir de critères prédéterminés significatifs de l'état de dégradation du bien ou du service, on parle alors de maintenance conditionnelle.

La maintenance préventive systématique « effectuée selon un échéancier établi suivant le temps ou le nombre d'unités d'usage » AFNor X60010. Elle s'applique surtout pour :

- des composants et sous-ensembles dont les durées de vie sont bien connues ;
- des équipements soumis à une législation impérative (le domaine du nucléaire, l'aéronautique, les appareils sous pression, les chaudières, ...etc.)
- des équipements dont une défaillance met en cause la sécurité du personnel.

La maintenance préventive conditionnelle est « une maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé (auto-diagnostic, information donné par un capteur, mesure d'une usure, ...etc.) révélateur de l'état de dégradation d'un bien » AFNor X60010.

Ce type de maintenance permet d'assurer le suivi du matériel pendant son fonctionnement dans le but de prévenir les défaillances attendues. L'intervention n'a lieu que si certains paramètres mesurables atteignent un seuil fixé au préalable et qui est révélateur l'approche certaine de la défaillance.

Pour pouvoir pratiquer la maintenance conditionnelle, il faut que l'équipement sujet de maintenance, s'y prête. Autrement dit, il faut trouver une corrélation entre un paramètre mesurable renseignant sur le phénomène de dégradation de l'équipement et la dégradation réelle de l'équipement. Nous citons, comme exemples de paramètres :

- le degré d'acidité de l'huile de lubrification.
- la teneur en particule solide dans l'huile de lubrification.
- la température (thermographie).
- l'amplitude de déplacement, de vitesse ou d'accélération des vibrations.
- l'analyse vibratoire (analyse spectrale).
- le suivi des longueurs de fissuration (ailes d'avion).
- ...etc.

La maintenance prédictive ou prévisionnelle: est une maintenance préventive conditionnelle permettant de réajuster les prévisions d'opérations de maintenance à effectuer, en estimant la tendance évolutive du dysfonctionnement éventuel détecté sur un équipement et le temps pendant lequel il est possible de continuer à l'utiliser avant la défaillance. Ces estimations se font à partir des analyses périodiques de l'état de chaque équipement obtenues par les méthodes de la maintenance conditionnelle et l'utilisation de modèles d'usures.

La maintenance améliorative, elle consiste à réduire la fréquence d'apparition de la défaillance sinon se débarrasser définitivement d'elle, ceci en déterminant les causes réelles du problème et recherchant les solutions adaptées à leur réduction ou suppression. Les actions visant à réduire la pénibilité, à améliorer le rendement du personnel, à améliorer les performances des installations, à réduire le temps d'intervention ... peuvent être intégrés dans la maintenance améliorative.

I.2 Niveaux de maintenance :

La norme AFNor X 60011, présente 5 niveaux de maintenance selon la complexité du travail à réaliser, la compétence des ressources humaines et les moyens matériels nécessaires à la réalisation du travail (tableau 1) :

Niveaux	Types de travaux	Personnel d'intervention	Moyens
1 ^{er} niveau	réglages simples prévus par le constructeur au moyen d'organes accessibles sans aucun démontage d'équipement, ou échange d'éléments accessibles en toute sécurité.	pilote ou conducteur (exploitant) du système sur place	outillage léger défini dans les instructions d'utilisation.
2 ^{ème} niveau	dépannage par échange standard d'éléments prévus à cet effet, ou d'opérations mineures de maintenance préventive (rondes)	technicien habilité sur place (qualification moyenne)	outillage léger défini dans les instructions d'utilisation et pièces de rechanges disponibles sans délai.
3 ^{ème} niveau	identification et diagnostic de pannes, réparation par échange de composants fonctionnels, réparations mécaniques mineures.	technicien spécialisé sur place ou en local de maintenance.	outillage prévu et appareils de mesure, banc d'essai, contrôle...
4 ^{ème} niveau	travaux importants de maintenance corrective ou préventive	équipe encadrée par un technicien spécialisé en atelier central.	outillage général et spécialisé, matériels d'essais, de contrôle...
5 ^{ème} niveau	travaux de rénovation, de reconstruction ou réparation importantes confiées à un atelier central	équipe complète et polyvalente en atelier central	moyens proches de la fabrication

Tableau 1 : les cinq niveaux de maintenance.

II. Procédures initiales à l'implantation d'un système de maintenance

II.1 les différentes positions de la maintenance à l'intérieur de l'entreprise :

II.1.a Service rattaché au service exploitation :

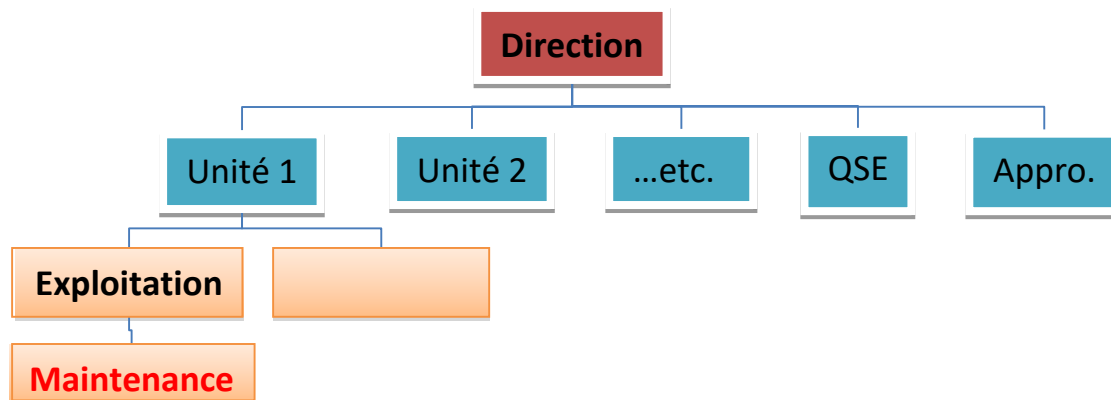


Figure 2 : la maintenance en tant que service rattaché au service exploitation

La fonction exploitation définit la politique, les méthodes et le budget de la fonction maintenance. La maintenance se limite à exécuter ce qui a été défini par l'exploitation. Une telle organisation est valable dans les petites entreprises de transformation, où les coûts de maintenance sont négligeables.

II.1.b Service à part comme l'exploitation :

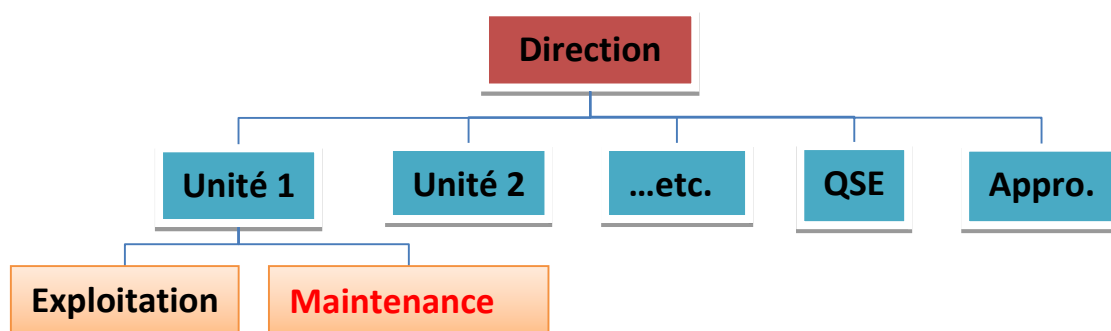


Figure 3 : la maintenance en tant que service à part comme l'exploitation

La fonction maintenance définit la politique, le budget et les méthodes (et est parfaitement autonome). L'inconvénient: l'exploitation n'étant pas impliquée

directement par les problèmes et les coûts de maintenance cette organisation peut mener le personnel exploitant à se désintéresser du matériel.

Une organisation peut être valable pour une entreprise ayant des coûts de maintenance élevés.

II.1.c Service responsable et gestionnaire pour le compte de la fabrication.

Il s'agit de la même configuration que II.1.a, sauf qu'ici l'exploitation se réserve le droit d'optimiser les différents coûts composant le prix de revient, y compris les coûts de maintenance (Les objectifs sont définis par l'exploitation) alors que les méthodes, le programme et le budget sont établis par la maintenance en commun accord avec l'exploitation.

Une telle position apparaît la plus appropriée pour assurer la qualité de la maintenance.

II.1.d Service responsable à la fois de l'exploitation et de la maintenance.

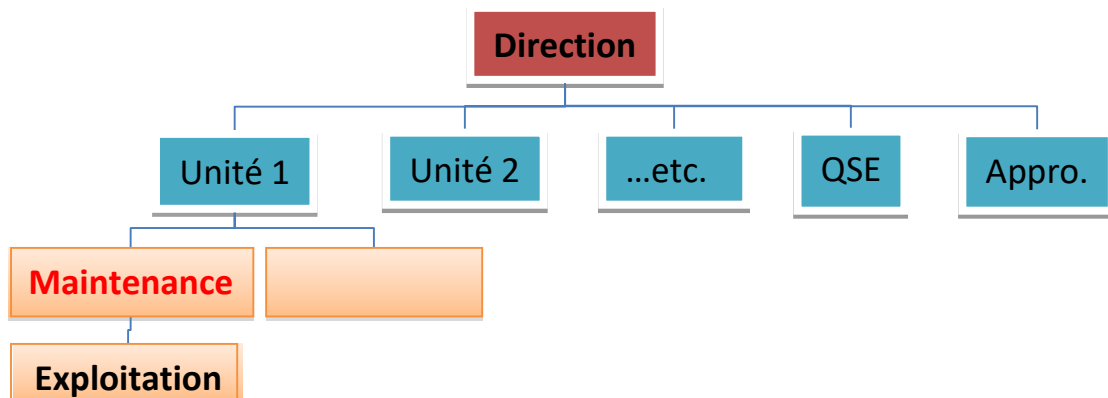


Figure 4 : la maintenance en tant que service responsable de la maintenance et de l'exploitation

Dans cette configuration la maintenance est responsable à la fois de l'exploitation et de la maintenance des machines. Une configuration s'adaptant dans les entreprises fortement robotisée.

II.2 Représentation fonctionnelle de la maintenance :

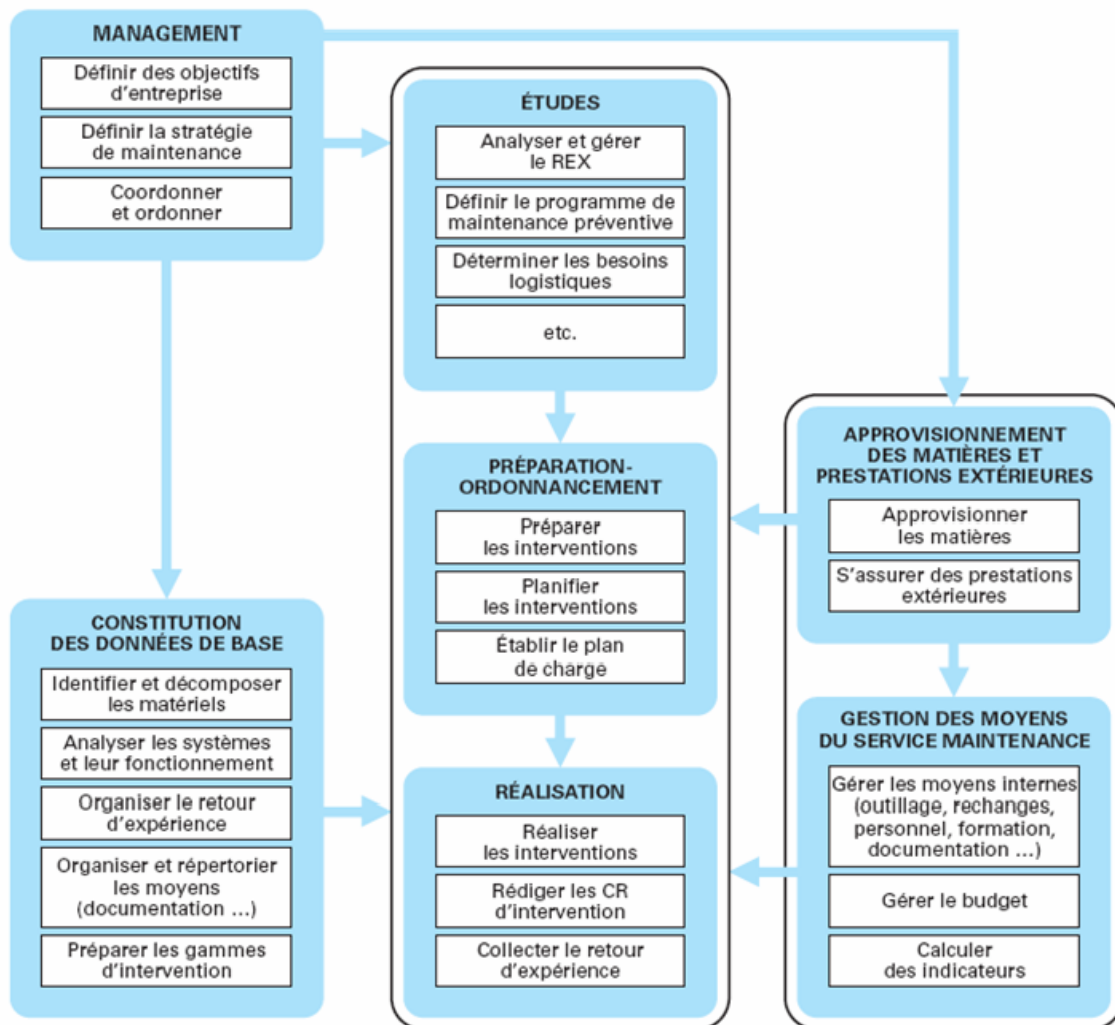


Figure 5 : Décomposition fonctionnelle de la maintenance.

La figure 5 propose une représentation de la fonction maintenance qui s'appuie d'une part sur une chronologie des actions à mener (études, préparation, ordonnancement, réalisation) et d'autre part sur les principales fonctions qui les sous-tendent (approvisionnement, gestion...etc.).

Au centre, les activités à caractère « opérationnel », à commencer par les études qui analysent l'historique pour élaborer les gammes de maintenance préventive et déterminer les ressources nécessaires en moyens logistiques (outillage, rechanges...). La préparation et l'ordonnancement permettent ensuite de décrire et d'organiser les interventions en gérant les temps et en utilisant les moyens les

mieux adaptés. La réalisation des interventions correctives et préventives, accompagnée de la collecte du retour d'expérience, constitue l'aboutissement de cette chaîne d'activités.

Celles-ci s'appuient sur des données de base à caractère générique établies en principe une fois pour toutes comme l'identification des matériels, les analyses de fonctionnement et de dysfonctionnement, l'organisation des ressources. Certaines activités de préparation, décrivant par exemple des démontages de matériels à caractère répétitif, en font également partie.

Dans le domaine du soutien logistique, on trouve la fonction « approvisionnement » qui sert à commander et à distribuer les pièces de rechanges et les matières nécessaires aux interventions ainsi qu'à négocier des prestations extérieures.

Nota : d'un point de vue fonctionnel, on entend ici par approvisionnement l'ensemble des actions qui permettent de se procurer des biens et des prestations à l'extérieur de l'entreprise.

En lien avec l'approvisionnement, les gestions technique et budgétaire permettent de fournir et de surveiller les ressources requises.

Enfin, une fonction de « management » orchestre l'ensemble et détermine la politique et la stratégie de maintenance. Ce schéma est fonctionnel et organisationnel, il met plus en évidence la circulation des informations et paraît mieux adapté pour servir de base à une réflexion sur l'organisation d'un service maintenance. Par contre, il ne fait pas apparaître clairement les objectifs et les interactions avec d'autres fonctions.

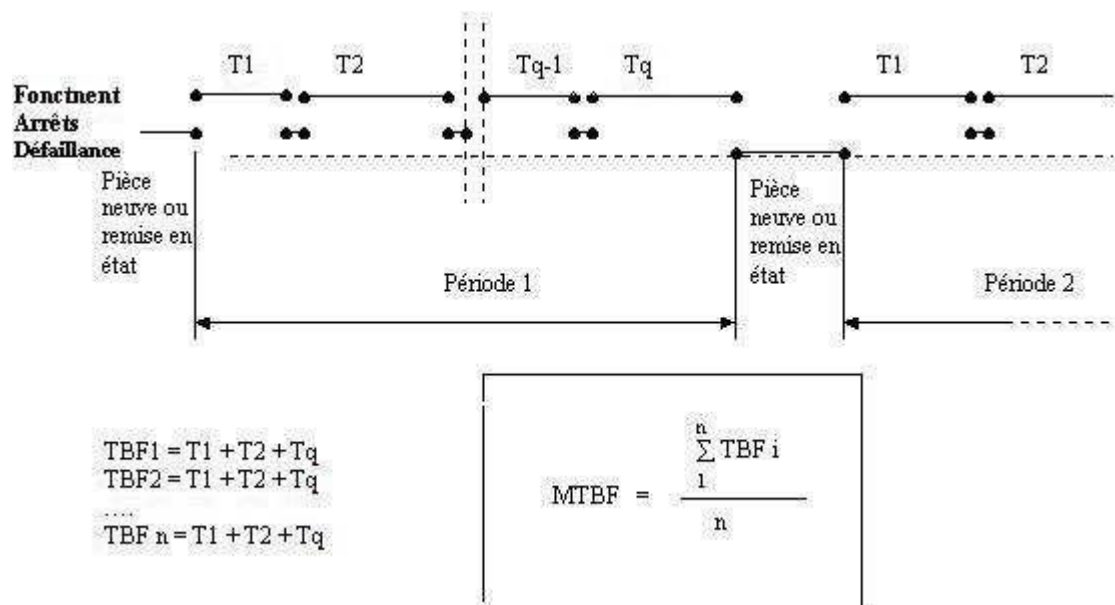
VI. Analyse des performances d'un système de gestion de la maintenance:

Pour évaluer une performance donnée d'un système de maintenance, on doit tout d'abord pouvoir la mesurer (chiffrer) et ensuite la comparer à une référence (un objectif fixé au préalable), pour juger si on est performant ou pas. Ce chapitre propose une présentation de différents indicateurs de performance (constituant un tableau de bord) utiles pour évaluer et prendre des décisions.

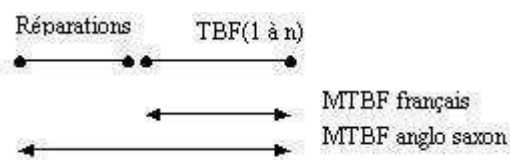
VI.1 indicateurs techniques :

VI.1.1 MTBF :

MTBF : moyenne des TBF (Temps de Bon Fonctionnement)



NB: Mean Time Between Failure (anglais) est différent du MTBF (français)



VI.1.2 MTTR :

MTTR : Moyenne des TTR (Temps Techniques de Réparation)

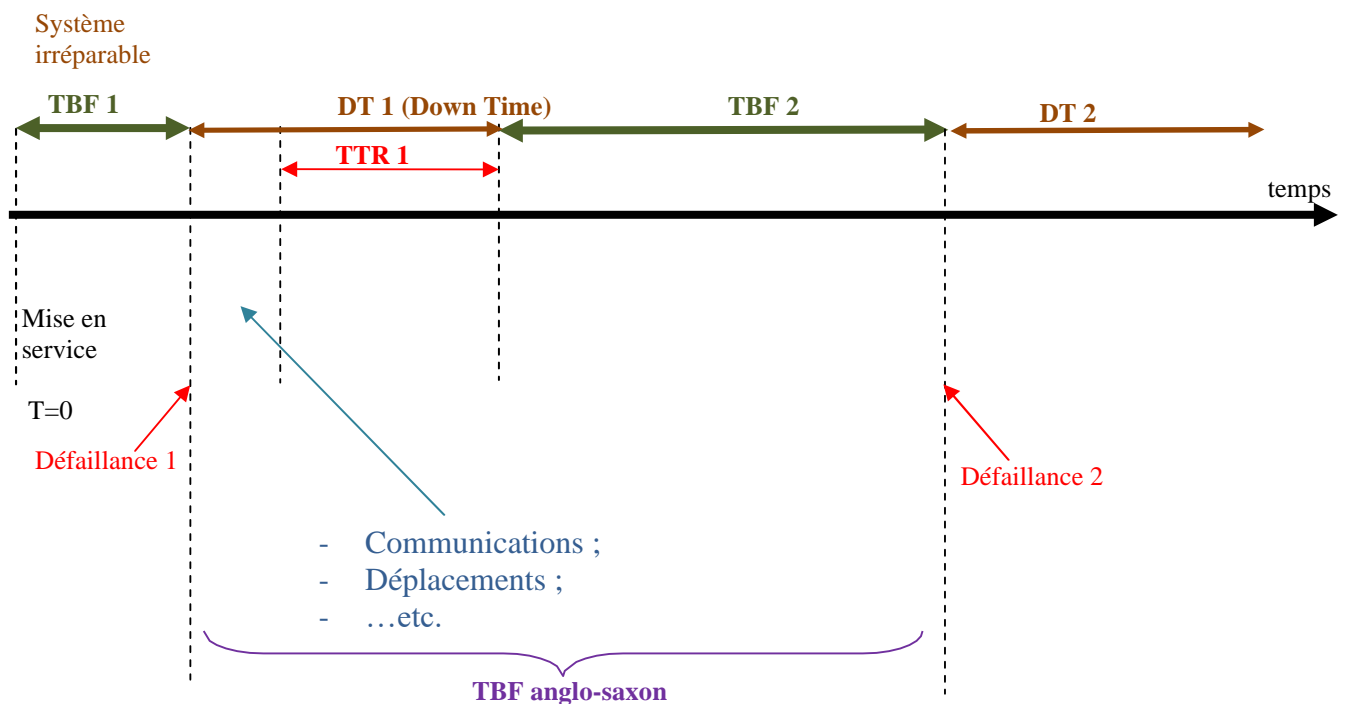
Le TTR d'une intervention se compose en général de la somme des temps suivants :

- 1- temps de vérification de la réalité de la défaillance (quelquefois, il y a de fausses alarmes) ;
- 2- temps de diagnostic ;
- 3- temps d'accès à l'organe défaillant (déposes et démontages) ;
- 4- temps de remplacement ou de réparation ;
- 5- temps de réassemblage ;
- 6- Temps de contrôle et d'essais (remise en service) ;

Les temps « morts » suivants sont à «éliminer » du TTR :

- temps d'attente pour indisponibilité des techniciens, des outils ou des pièces de rechange ;
- arrêts du travail ; etc.

NB : Les TTR sont saisis sur les BT.



VI.1.3 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 »
(*extrait norme NF EN 13306 X 60-319*)

$$A(t) = P \{S \text{ non défaillant à l'instant } t\}$$

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

-a. Disponibilité d'une ligne d'unités sans stockage intermédiaire :
(L'arrêt d'une unité implique l'arrêt total de la ligne)

D_i étant la disponibilité de chaque équipement constituant la ligne :

$$\text{Disponibilité d'une ligne} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{D_i} - (n - 1)}$$

Exemple :

Trois équipements en série (sans stockage intermédiaire) ont les historiques permettant de déterminer les caractéristiques de disponibilité suivantes :

	MTBF	MTTR
Equipement 1	210 heures	3 heures
Equipement 2	350 heures	4 heures
Equipement 3	150 heures	1 heure

En considérant le système composé des 3 équipements, la disponibilité est :

$$D = \frac{1}{\frac{1}{D_1} + \frac{1}{D_2} + \frac{1}{D_3} - (3 - 1)}$$

$$D = \frac{1}{\frac{210 + 3}{210} + \frac{350 + 4}{350} + \frac{150 + 1}{150} - 2}$$

$$D = 0,969$$

Remarque :

Les disponibilités individuelles sont supérieures :

- $D_1 = 0,986$
- $D_2 = 0,989$
- $D_3 = 0,993$

-b. Disponibilité d'une ligne d'équipements avec stockages intermédiaires
(il est possible, en cas d'arrêt d'une unité que la ligne continue à produire pendant cet arrêt, grâce aux stocks intermédiaires)

$$\text{Disponibilité d'une ligne} = \text{mini} (D_1, D_2, \dots, D_n)$$

VI.1.4 Temps de réponse :

Temps moyen entre la panne (l'appel de l'opérateur) et l'intervention.

Ratios de maintenance:

-taux de réalisation de Maintenance Préventive (MP):

$$= (\text{temps de réalisation de MP})/(\text{temps programmé pour MP}).$$

Ou

$$=(\text{nombre d'interventions effectuées MP})/(\text{nombre total d'interventions MP programmées})$$

⇒ Analyse des causes du non-respect du programme de MP.

-ratio de maintenance préventive:

$$= (\text{temps de maintenance préventive})/(\text{temps totale de maintenance})$$

De même pour les ratios de maintenance corrective, améliorative...

VI.2 Indicateurs économiques :

Les coûts de maintenance doivent être sujets de suivi minutieux et optimisation en continue, du fait qu'ils entrent dans le prix de revient du produit fabriqué ou service rendu.

L'observation de ces coûts, permettra au responsable de la politique maintenance d'effectuer ses choix principaux :

- Etablissement d'un budget prévisionnel annuel.
- Suivi des dépenses et respect du budget ;
- Vérifier l'efficacité économique des actions de maintenance.
- Décider du recours ou non à la sous-traitance, à la main-d'œuvre externe.
- Pouvoir décider sur le fait de remplacer ou rénover un matériel.

Un service de maintenance doit maîtriser la connaissance des coûts. En particulier, il est nécessaire de connaître la valeur, l'origine et la périodicité des coûts en les classant par :

- équipements ou familles d'équipements ;
- nature (main-d'œuvre, matière, pièces, sous-traitance, ...etc) ;
- Type de maintenance (corrective, préventive, systématique ...).

Le coût total d'une défaillance, comprend :

➤ **Les coûts directs (ou de maintenance) :**

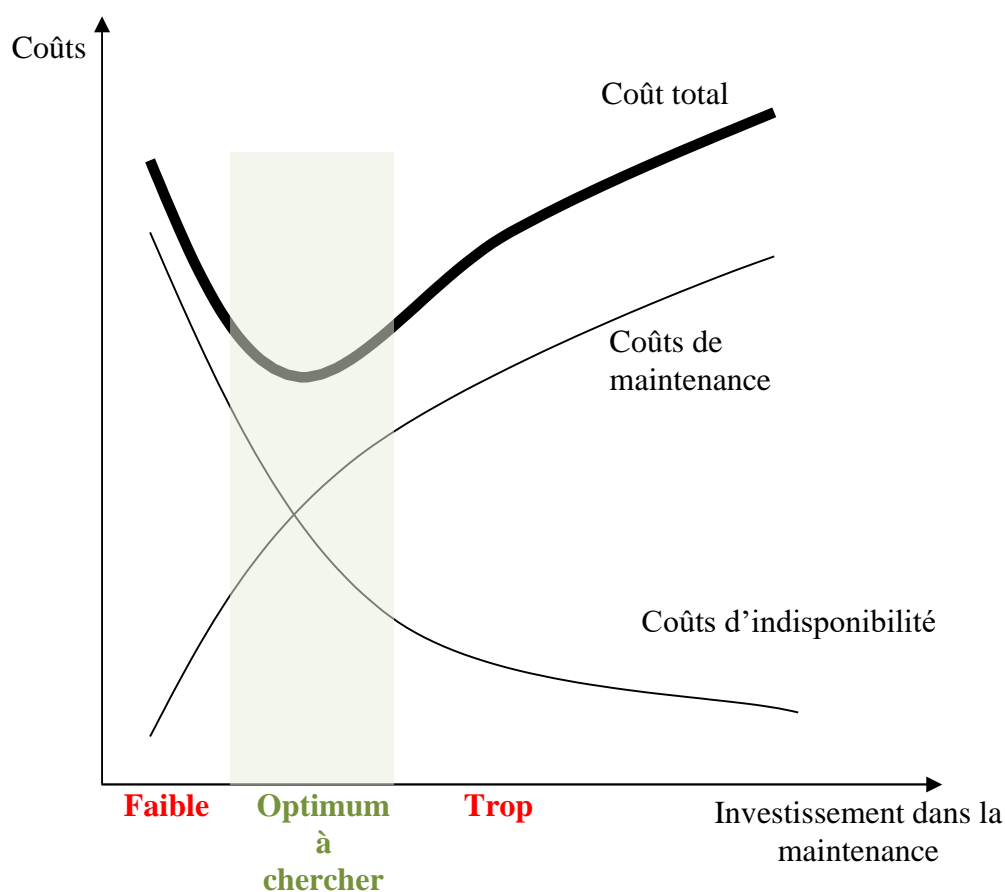
Ils sont directement imputables à la maintenance : coût main-d'œuvre, frais généraux du service maintenance, coût de la matière (PR), coût de possession du stock-maintenance,etc.

➤ **Les coûts indirects (ou d'indisponibilité) :**

Ils constituent les pertes dues aux arrêts de la production, suite aux défaillances des machines de productions. Ils comprennent les pertes suivantes :

- salaires du personnel de production inutilisé pendant l'arrêt des machines,
- coût de l'amortissement du matériel pendant la durée d'inactivité,
- frais induits : délais non honorés (pénalités de retard, perte de client, ...),
- frais de remise en service du procédé de fabrication,
- marges bénéficiaires non réalisées...

Le graphe ci-dessous, montre l'évolution générale des coûts en fonction de l'investissement dans la maintenance :



➤ LCC : Coût du Cycle de Vie (Life Cycle Cost) :

Le LCC correspond au coût global de possession. Pour le déterminer, il faut tenir compte des coûts suivants:

- ❖ l'acquisition
- ❖ l'exploitation
- ❖ la maintenance (y compris coûts indirects)
- ❖ la valeur résiduelle.

le LCC sur une période T est donné par :

$$\text{LCC}(T) = \text{Ca} + \text{Ce}(T) + \text{Cm}(T) - \text{Vr}(T)$$

- Ca = coût d'acquisition initial (frais d'études, coût de passation commande, frais de logistique, coût de l'équipement)

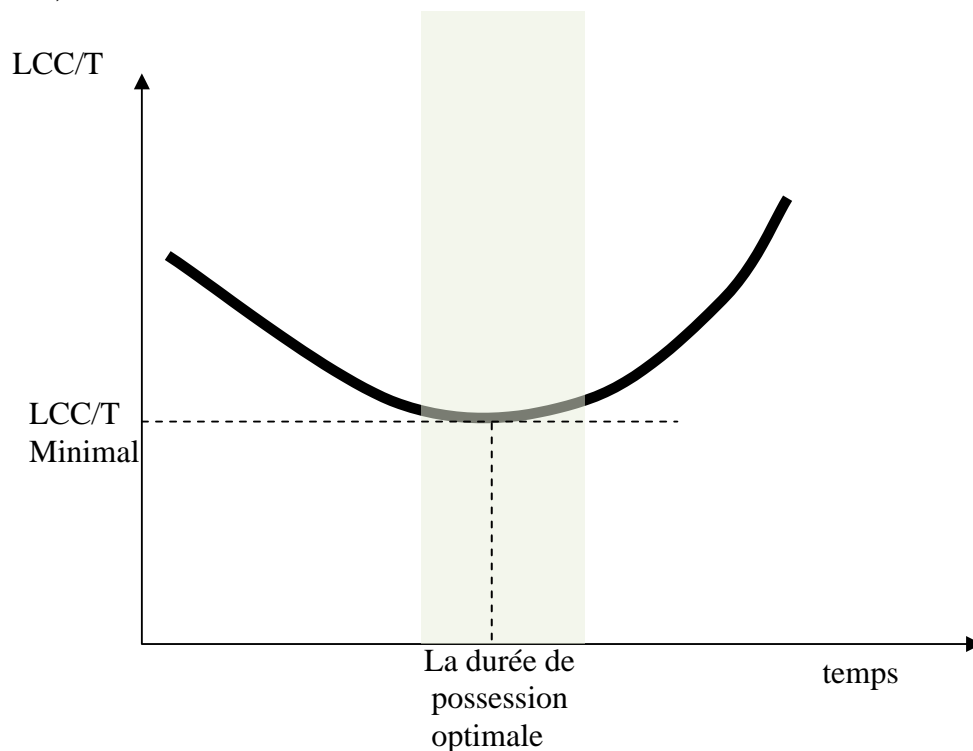
- Ce(T) = dépenses d'exploitation (énergie, consommables, opérateurs ...) sur une période T.

- Cm(T) = coûts de maintenance y compris coûts indirects, sur la période T

- Vr = coût d'élimination : valeur résiduelle à la fin de la période T, (Vr>0 si revente, Vr=0 si rebut et Vr<0 si destruction)

Pour pouvoir exploiter le LCC, il faut tracer la courbe LCC/T, et chercher le minimum :

En général, la tendance du LCC/T est la suivante :



VII Informatisation, GMAO: Gestion Maintenance Assistée par Ordinateur

La Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur est constituée d'une base de données (historique) qui est alimentée par le personnel de maintenance via des formulaires. Les interventions sont mises en mémoire pour certains équipements (date, temps passé, intervenants, matériel remplacé, ...etc.).

La base de l'historique est l'inventaire des équipements: appelé découpage fonctionnel.

Chaque GMAO est personnalisée selon les besoins spécifiques d'exploitation de l'historique ou le fonctionnement d'un site.

Avant de faire l'acquisition d'une GMAO, il est nécessaire de se poser toutes les questions appropriées :

- ⇒ Découpage fonctionnel : jusque sur quelle plus petite partie d'équipement faut-il travailler ?
- ⇒ Historiques : jusqu'à quel niveau de panne faut-il aller? Par exemple, faut-il enrichir la GMAO des « micros-pannes »? Tous les équipements sont-ils concernés ?

Les renseignements fournis à la GMAO seront fonction des informations que l'on souhaite exploiter ultérieurement. Il est donc nécessaire de connaître sa politique de maintenance et plus particulièrement le rôle du service méthode.

Des réponses à toutes les questions (besoins) naîtra la définition de la GMAO, qui sera traduite en cahier des charges destiné à l'acquisition de l'outil approprié.