

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



---

## GESTION DE LA MAINTENANCE INDUSTRIELLE.

« Cours pour Master 1, Mécatronique ».

---

**Dr. Messaoud BENZOUAI.**

Maître de conférences 'B'

Faculté de technologie

Département de Génie Industriel

---

**Contact :** [m.benzouai@univ-batna2.dz](mailto:m.benzouai@univ-batna2.dz)

## **Objectif du cours:**

L'objectif du cours est de faire acquérir les connaissances relatives aux différents types d'organisation de maintenance, aux stratégies de maintenance, aux composantes d'un système de GMAO, aux techniques de gestion des stocks des pièces de rechange. Ce module permet aux étudiants d'acquérir les connaissances essentielles pour appliquer les techniques de gestion de la maintenance. Il vise donc à rendre l'étudiant apte à appliquer ces techniques.

## **Plan de cours**

Ce cours d'une séance par semaine, destiné aux étudiants de Master 1 de spécialité Mécatronique vise cet objectif.

Afin d'aboutir à cet objectif, ce cours est structuré comme suit :

### **1. Introduction et problématique.**

### **2. Concepts et stratégie de maintenance.**

Définitions, Les industries à maintenance industrielle, Courbe de vie d'un système de production, structure d'un système de production automatisé, les objectifs de la maintenance, stratégies de maintenance, choix d'une politique de maintenance, les niveaux de maintenance, ...etc.

Total Productive Maintenance (TPM) : Contexte, définition, objectif, la mise en application de la TPM, amélioration du rendement machine, calcul du taux de rendement global (TRG) et taux de rendement synthétique (TRS) avec application

### **3. Organisation de la maintenance.**

Les interfaces de la fonction maintenance dans l'entreprise, organisation fonctionnelle de la maintenance, système de gestion de la maintenance, les fonctions opérationnelles de la maintenance, le plan de maintenance, communication intra-maintenance, les principaux supports de travail.

### **4. Gestion des stocks de Pièces de Rechange (PdR).**

Problématique, les types de stocks de maintenance, classification des stocks par l'outil ABC, processus d'approvisionnement des PdR, gestion et régulation des stocks, stratégie de réapprovisionnement (méthodes, stock de sécurité, loi de poisson, model de Wilson..)

### **5. Gestion de la Maintenance Assisté par Ordinateur (GMAO).**

Introduction, les objectifs d'une GMAO, les domaines de la GMAO, Les démarches pour la mise en place d'une GMAO et les avantages et les inconvénients d'un GMAO.

## Chapitre I : CONCEPTS ET STRATEGIES DE LA MAINTENANCE.

### 1. Introduction

Ceux qui assurent la fonction maintenance ont pour mission, quelle que soit l'entreprise, d'accomplir toutes les tâches nécessaires pour que l'équipement soit maintenu ou rétabli en l'état et ceci afin de :

- Permettre une exécution normale des activités de maintenance dans les meilleures conditions de sécurité, de coût et de qualité (c'est le cas de la production) ;
- Obtenir un service dans les meilleures conditions de confort et de coût (c'est le cas des services rendus en général mais surtout des transports et des hôpitaux).

Pour remplir cette mission, il faut appréhender les objectifs de fonction maintenance qui touchent par exemple :

- L'organisation,
- Le choix des méthodes de maintenance à appliquer,
- La préparation du travail,
- La planification,
- .....

### 2. Définitions.

Définition 1 : / (AFNOR (NF X 60-010).

« La maintenance industrielle est un ensemble des actions permettant de **maintenir** ou de **rétablir** un bien dans un **état spécifié** ou en mesure d'assurer un **service déterminé** ».

- **Maintenir**: Notion de «prévention» d'un système en fonctionnement.
- **Rétablir** : Notion de «correction» consécutive à une perte de fonction.
- **État spécifié ou service déterminé** : implique la prédétermination d'objectif à atteindre, avec quantification des niveaux,

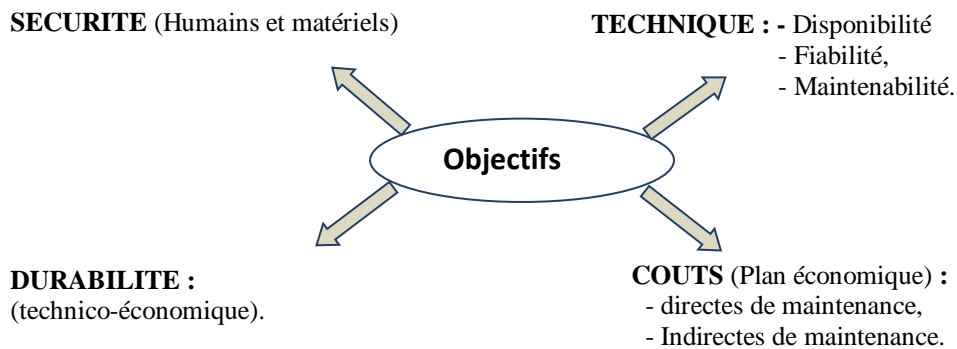
**NB** : Entretien, c'est subir alors que maintenir, c'est prévoir et anticiper

Définition 2 : / (AFNOR, 2001),

« La maintenance industrielle constitue 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 ».

### 3. Objectifs généraux de la maintenance.

Les services de maintenance définissent les objectifs (figure 1.1) qui doivent correspondre à la politique de leur entreprise. Il s'agit des aspects : Financier, Technique et Humain.



**Figure 1.1** : Principaux objectifs de la maintenance

### Exemples d'objectifs :

- Assurer la production prévue (quantité) ;
- Assurer la qualité du produit fabriqué (qualité) ;
- Respecter les délais (temps) ;
- Rechercher les coûts optimaux (rentabilité) ;
- Préserver l'environnement (environnement) ;
- Assurer la sécurité des employés

### 4. Les secteurs d'activités à maintenance :

L'importance de la maintenance diffère selon le secteur d'activité :

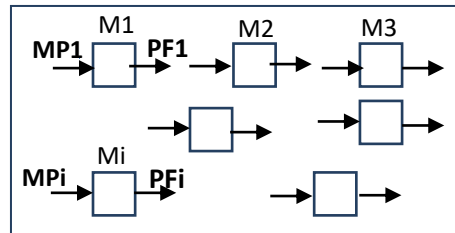
La maintenance sera inévitable et lourde dans les secteurs où la sécurité est capitale. Inversement, les industries manufacturières à faible valeur ajoutée pourront se satisfaire d'un entretien traditionnel et limité.

- Importance fondamentale : nucléaire, pétrochimie, chimie, transports (ferroviaire, aérien, etc.)
- Importance indispensable : entreprises à forte valeur ajoutée, de procès, construction automobile.
- Importance secondaire : entreprises sans production de série, équipements variés

#### 4.1. Entreprises manufacturières :

Ce type d'entreprise se caractérise par (figure 1.2) :

- Grand parc machines (beaucoup de machines),
- Beaucoup de produits finis,
- Les machines sont indépendantes (l'arrêt pour cause de panne d'une machine n'influe pas sur les autres).



Avec : Mi : Machine i ; MPi : Matière Première i ; PFi : Produit Fini i )

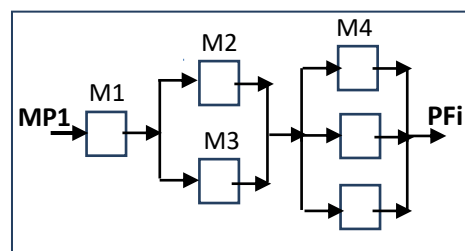
**Figure 1.2 :** Structure générale d'une entreprise manufacturière.

L'objectif recherché par le service maintenance est la « Disponibilité des machines »  
Exemple d'industrie : Chaudronnerie (productions de vis, écrou, rondelle, tige ...etc).

#### 4.2. Entreprises à procès :

Ce type d'entreprise se caractérise par (figure 1.3) :

- Peu de machines,
- Peu de produits finis,
- Postes en série / parallèle (les machines sont dépendantes, l'arrêt pour cause de panne d'une machine influe sur tout le procès).



**Figure 1.3 :** Structure générale d'une entreprise à procès.

L'objectif recherché par le service maintenance est la « Disponibilité des machines et la réduction des Coûts de défaillances ».

Exemple d'industrie : Laiterie, papeterie, raffinerie, produit pharmaceutique, .....etc.

#### 4.3. Entreprises de service :

Ce type d'entreprise se caractérise par (figure 1.4) :

- Equipements très divers,
- Equipements indépendants

- Transports (camion, avion, ..etc)  
- Hôpitaux (scanner, appareil de radiologie, ascenseur ....etc)

L'objectif recherché par le service maintenance est la « La Sécurité des personnes et des biens puis après la disponibilité ».

**Conclusion :**

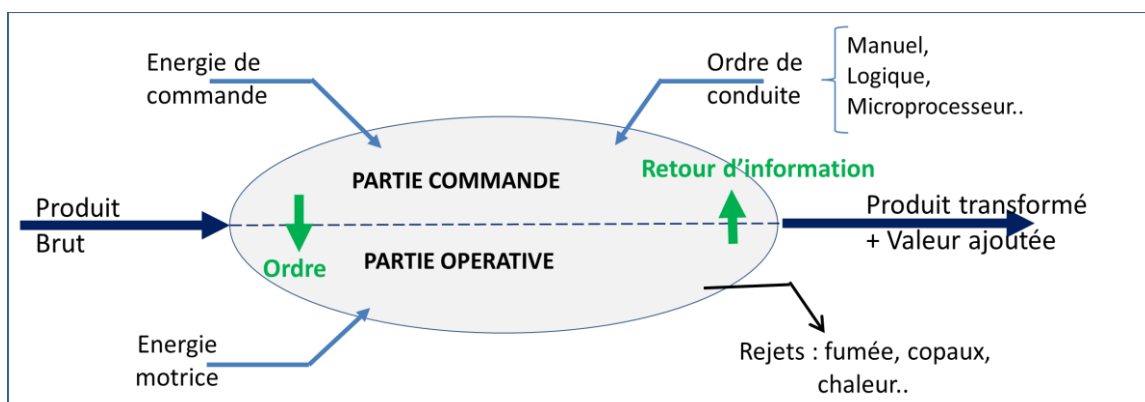
- L'importance de la fonction maintenance est capitale dans les deux derniers types d'entreprises (à procès et de service).
- Plus l'indisponibilité est coûteuse, plus la maintenance est économique.
- Plus la sécurité est en jeu, plus la maintenance devient obligatoire.

**5. Structure d'un système de production.**

Le rôle d'un système de production (machine) est la transformation de matières premières (produit brut) en produit fini ou semi fini en dégageant des rejets tels que les copaux, les eaux usées, la fumée ...etc.

La structure générale d'un système de production (figure 1.4) est composée de :

- La partie opérative (appelée aussi partie puissance ou partie motrice) est composée des actionneurs (moteur, vérin, vanne ...) leurs rôles et de convertir l'énergie d'entrée (électrique par exemple) en énergie utile (rotation d'un moteur ou translation d'un vérin). Cette partie est alimentée par une énergie motrice de courant fort (220/380 Volts), avec une section de câble d'alimentation conséquente.
- La partie commande composée de capteurs (tels que les capteurs de température, de pression, de vibration et autres) et des pré-actionneurs (tels que les contacteurs, distributeurs, et autres). Cette partie est alimentée par une énergie de commande de faible courant (24/48 Volts) avec une faible section de câble. A travers l'interface homme / machine, un ordre de conduite est donné à la partie puissance, cet ordre peut être manuel (bouton poussoir, clé d'une voiture..), par microprocesseur (carte électronique) ou par la logique et autres. Il s'agit donc d'envoyer des consignes à la partie puissance et de recevoir de celle-ci (partie puissance) un retour d'information sur le déroulement du processus.



**Figure 1.4 :** Structure générale d'un système de production

Sur le plan de la maintenance, il est important de savoir que les défaillances peuvent survenir sur la partie commande et aussi sur la partie puissance.

- La partie puissance évolue peu dans le temps. Les technologies de la partie puissance utilisées sont bien connues les moteurs et actionneurs sont éclectiques, hydrauliques, pneumatiques ou mécaniques (moteur électrique, moteur à piston, vérins hydraulique et pneumatique, vanne pneumatique, transmission ...).
- Par contre la partie commande évolue à un rythme rapide, ceci à cause de l'évolution rapides des technologies de l'informatique et de l'électronique, ce qui nécessite de la part des technicien de la maintenance une réactualisation de leurs connaissances à travers des stages des recyclages et autres.

### 5.1. Structure d'un système de production automatisé

La structure d'un système de production automatisé (figure 1.5)

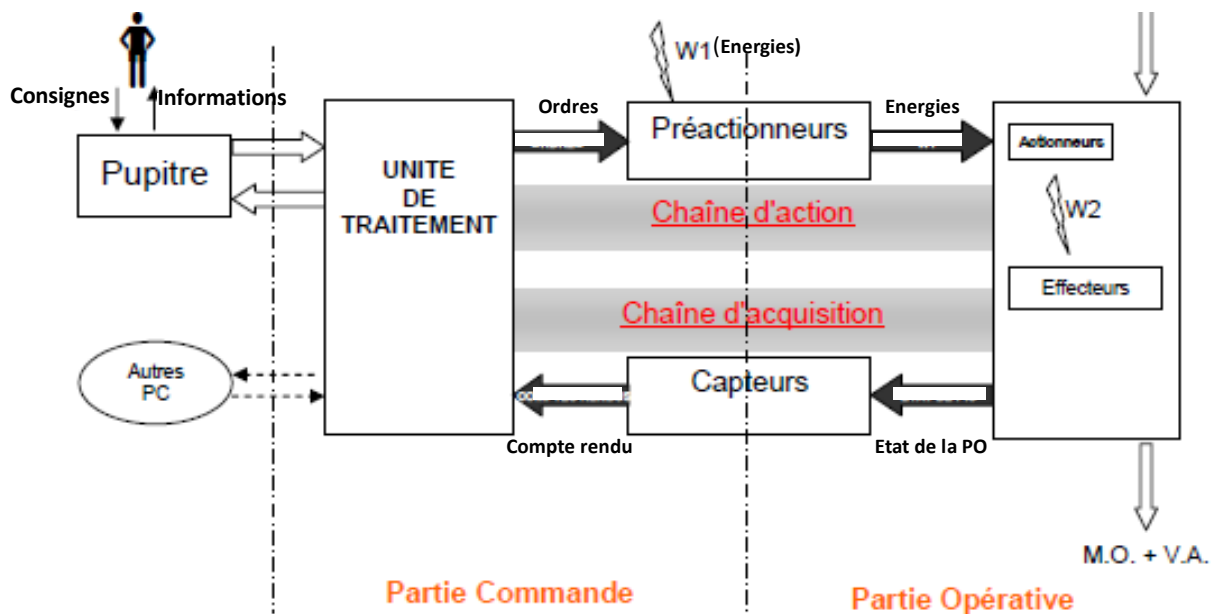


Figure 1.5 : Structure d'un système de production automatisé

- **LA PARTIE OPERATIVE (P.O.)** est la partie du système automatisé qui apporte la VALEUR AJOUTEE à la MATIERE D'OEUVRE.
- **LA CHAINE D'ACTION** est constituée des PREACTIONNEURS qui distribuent la PUISSANCE aux ACTIONNEURS. (Si la puissance de l'actionneur est faible on peut se passer de préactionneur ex : ampoule...)
- **L'EFFECTEUR** est l'élément terminal de la chaîne d'action. Il agit directement sur la MO et concrétise la valeur ajoutée. Il est en général lié à l'actionneur par une chaîne cinématique. (Ex d'effecteurs : Pince, Outil, ...).

- **L'ACTIONNEUR** Convertir une énergie d'entrée (énergie de puissance transmise par le préactionneur) en une énergie de sortie adaptée à l'exécution de la tâche opérative par l'effecteur. (Ex d'actionneurs : Moteur, Verin,...).







- **LA CHAÎNE D'ACQUISITION** est constituée des CAPTEURS qui envoient des COMPTES RENDUS sur l'ÉTAT DE LA P.O à l'UNITÉ DE TRAITEMENT.

- **L'UNITÉ DE TRAITEMENT** est l'organe principal de la PC partie du système automatisé et gère le processus ordonné des tâches de la partie opérative. C'est elle qui renferme le PROGRAMME qui traite les informations reçues de la PO par les capteurs ou du PUPITRE par l'opérateur et qui envoie les ORDRES à la PO (par l'intermédiaire des préactionneurs). (Ex d'unités de traitement : API, Ordinateur, Carte dédiée,...).

- **LE PUPITRE** est l'organe servant d'Interface Homme Machine (HMI). L'opérateur envoie des CONSIGNES à l'unité de traitement et reçoit en retour des INFORMATIONS (Ex d'éléments de pupitre : Bouton, Voyant, Clavier, Ecran,...).



5.2. Eléments de la partie opérative (OP) et de la partie commande (CO)

Diagramme fonctionnel	Exemples	Commentaires
<p><b>EFFECTEUR</b></p> <p>Matière d'oeuvre → <b>AGIR Sur la M.O.</b> → Matière d'oeuvre</p> <p>↓ W2</p>	<p>Fraise, Foret, Mors d'étau, pince de robot....</p> 	<p>Les effecteurs sont multiples et variés et sont souvent conçus spécialement pour s'adapter à l'opération qu'ils ont à réaliser sur la Matière d'oeuvre.</p> <p>Ils reçoivent leur énergie des actionneurs.</p>
<p><b>ACTIONNEUR</b></p> <p>Energie d'entrée (W1) → <b>CONVERTIR L'énergie</b> → Energie utile (W2)</p>		<p>Convertissent l'énergie qu'ils reçoivent des pré-actionneurs en une autre énergie utilisée par les effecteurs. Ils peuvent être Pneumatiques, Hydrauliques ou Electriques</p>
<p><b>PRE-ACTIONNEUR</b></p> <p>Energie du réseau (W1) → <b>DISTRIBUER L'énergie</b> → Energie distribuée à l'actionneur</p> <p>↓ Pilotage</p>	 <p>Variateur      Contacteur      Distributeurs</p>	<p>Distribuent l'énergie aux actionneurs à partir des ordres émis par la PC.</p>
<p><b>CAPTEUR</b></p> <p>Information source → <b>DETECTER MESURER Une grandeur</b> → Information image</p>		<p>Renseignent la PC sur l'état de la PO, Ils peuvent détecter des positions, des pressions, des températures, des débits...</p> <p>Peuvent être électriques ou pneumatiques. Signaux du type TOR, Analogique ou Numérique.</p>
<p><b>TRAITEMENT</b></p> <p>Signal d'entrée (capteurs, consignes...) → <b>TRAITER L'information</b> → Signal de sortie</p> <p>Pilotage des préactionneurs, signalisation...</p>	 <p>Automate      Séquenceur pneumatique      Cellules logiques</p>	<p>Dans les systèmes modernes, l'API assure de plus en plus cette fonction.</p> <p>Certains systèmes purement pneumatiques peuvent être contrôlés par des séquenceurs ou des fonctions logiques.</p>
<p><b>DIALOGUE</b></p> <p>Consignes de l'opérateur, Infos de la PC → <b>FAIRE COMMUNIQUER Homme/machine</b> → Consignes Vers la PC, Infos vers opérateur</p>		<p>L'unité de dialogue permet à l'opérateur d'envoyer des consignes à l'unité de traitement et de recevoir de celle-ci des informations sur le déroulement du processus.</p>

## 6. Les différentes politiques de maintenance,

Dans la définition de la maintenance, nous trouvons deux mots-clés : maintenir et rétablir. Le premier fait référence à une action préventive et le deuxième fait référence à l'aspect correctif (figure 1.6).

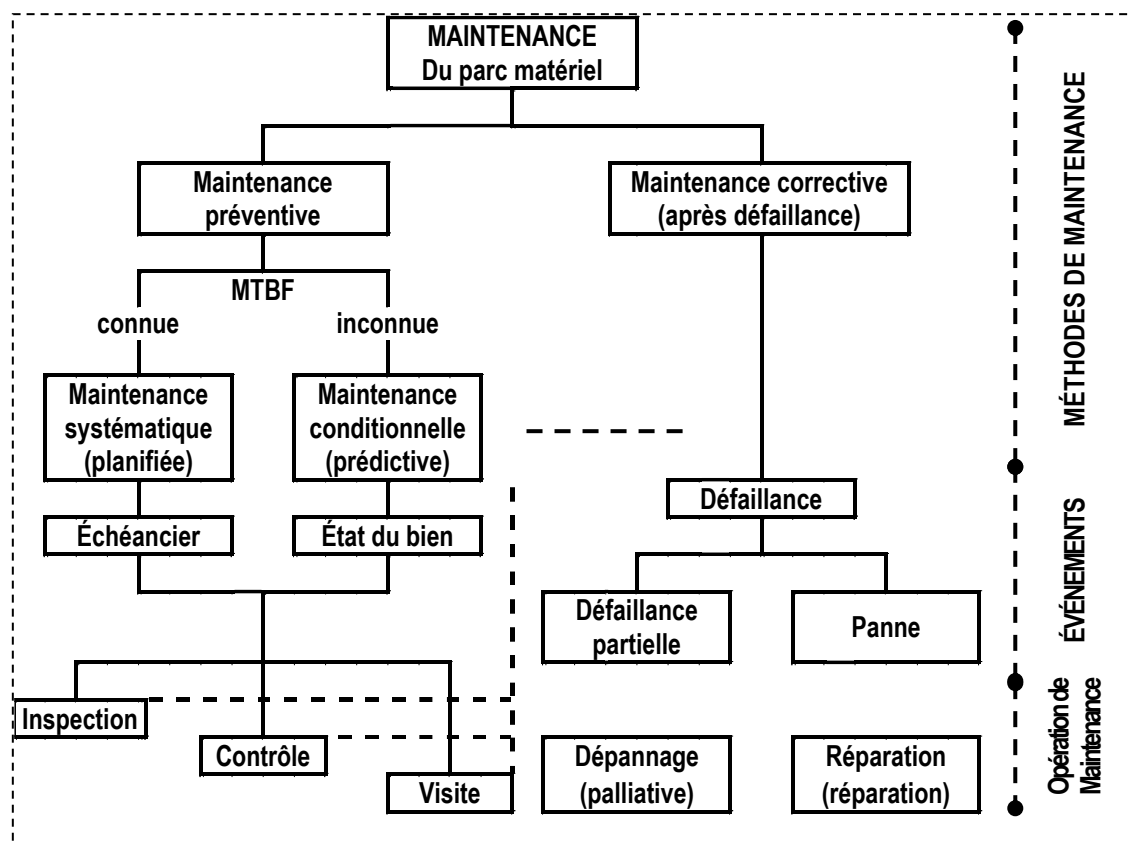


Figure 1.6: Types (Politiques) de maintenance

Nous présentons ci-après les définitions et caractéristiques de chaque type de maintenance :

### 5.1. Maintenance corrective : (Extrait de la norme NF EN 13306 X 60-319 : avril 2001)

**a) Définition :** Exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise.

C'est une maintenance qui intervient après défaillance. Elle est caractérisée par un aspect aléatoire et nécessite des ressources humaines compétentes et une disponibilité de ressources matérielles (pièces de rechange et outillage).

#### b) Les principales opérations de maintenance corrective :

La maintenance corrective débouche sur deux types d'intervention comme le montre le graphe caractéristique (figure 1.7). Le premier type est à caractère provisoire, ce qui caractérise la maintenance palliative (dépannage). Le deuxième type est à caractère définitif, ce qui caractérise la maintenance curative (réparation).

1. **Le dépannage** : Actions physiques provisoires exécutées pour permettre à un bien en panne d'accomplir sa fonction requise pendant une durée limitée jusqu'à ce que la réparation définitive soit exécutée. Lors du dépannage la performance du système n'atteint pas sa valeur optimale (mentionné sur la figure 1.4 par des pointillés) puisqu'il s'agit d'une intervention à caractère provisoire (par exemple : remplacement d'une pièce par une autre moins usée).
2. **La réparation** : Actions physiques exécutées pour rétablir la fonction requise d'un bien en panne. Il s'agit d'une intervention définitive, remettant le système à son état d'origine et par conséquent le système atteint sa performance optimale (exemple : remplacement d'une pièce usée par une autre pièce neuve)

On note que :

3. Le temps d'intervention à caractère provisoire (dépannage) est inférieur à celui de l'intervention définitive (réparation).
4. Le Temps de Bon Fonctionnement ( $TBF1 \neq TBF2$ ) à cause de la différence des conditions d'exploitation.
5. Le temps de réparation est souvent égale au temps d'arrêt machine (TAM).

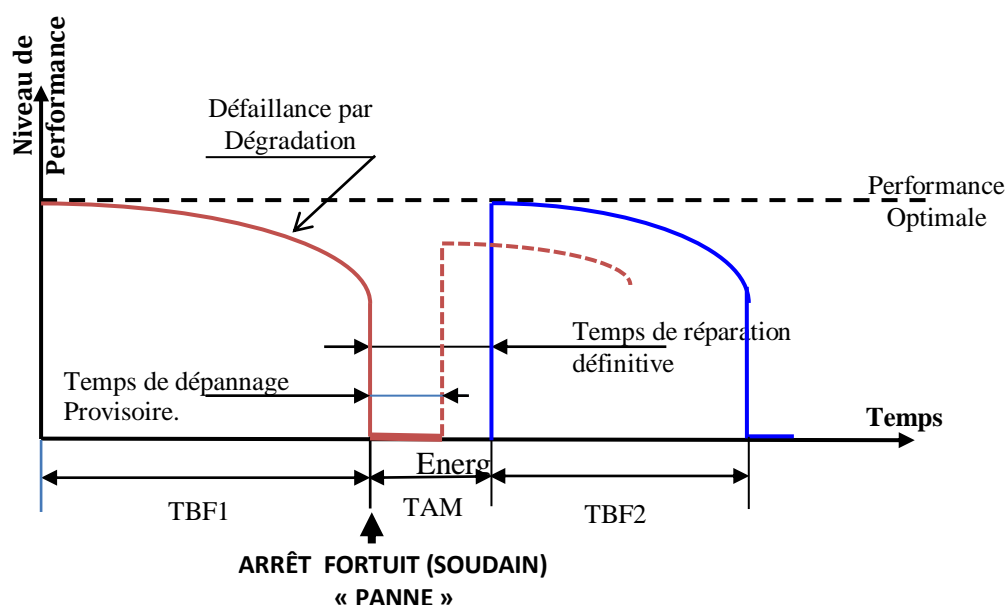


Figure 1.7 : Graphe caractéristique de la maintenance corrective.

## 5.2. Maintenance Préventive :

**Définition** : « C'est une 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. » (Extrait de la norme NF EN 13306 X 60-319)

**Objectif** : effectuée dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou d'un service rendu.

Remarque : trop de maintenance préventive n'est souvent pas économiquement viable. Chaque industrie doit trouver le niveau à atteindre. En moyenne le coût de maintenance préventive ne doit pas dépasser les 25 à 35 % du coût total de la maintenance (coûts directs et indirects).

On distingue deux types de maintenance préventive :

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

### 5.2.1. Maintenance préventive systématique.

a) **Définition** : Exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien (EN 13306 : avril 2001).

La figure 1.8 illustre l'intervention préventive systématique (Ipsi) effectuée après un échancier d'intervention prédéterminée (T) constante.

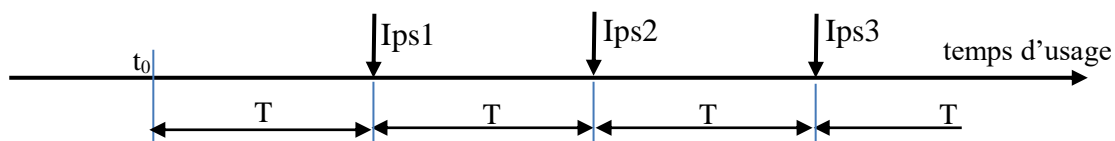


Figure 1.8 : Intervention de la maintenance préventive systématique

Les interventions (Ipsi) consistent le plus souvent en un changement de composant, mais peuvent consister également en visites préventives, réglages, étalonnages, etc.

Les interventions (Ipsi) peuvent se rapporter à :

- une unité de production (remise à niveau par arrêt annuel par exemple),
- un système (révision limitée ou générale),
- un « module » ou sous-ensemble par échange standard (carte électronique, vérin, réducteur, moteur électrique, etc.),
- un composant « sensible » (filtre, lampe, balai de moteur, joint, flexible, courroie, etc.),
- un fluide (lubrifiant dégradé, etc.).

La figure 1.9 illustre le graphe caractéristique de la maintenance préventive systématique et montre que l'intervention est programmée selon un échancier (période) prédéfinie.

Ce type de maintenance se caractérise par :

- Une dégradation théorique probable : Elle représente la durée de vie théorique de l'entité donnée par le constructeur (exemple : la durée de vie théorique d'un roulement est de 2000 heures de fonctionnement).
- Une dégradation prévue : Elle représente la durée de vie estimée par l'exploitant (techniciens de la maintenance) en fonction du retour d'expérience (en prend par exemple 1800 heures). Elle correspond à la périodicité  $TBF_i$  de changement systématique de l'organe.

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

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

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

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

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

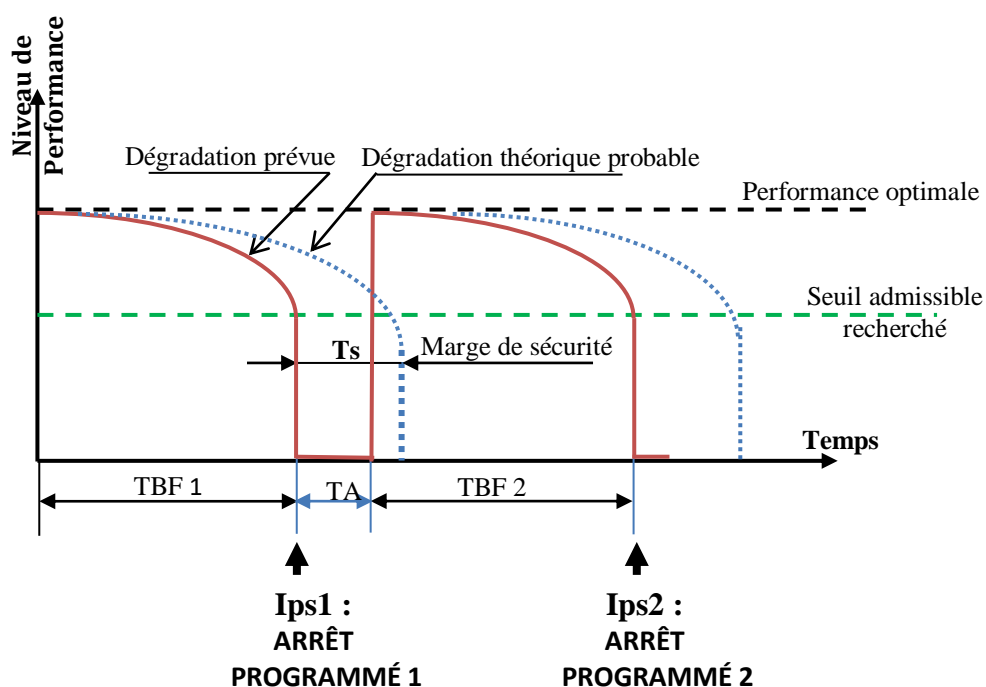
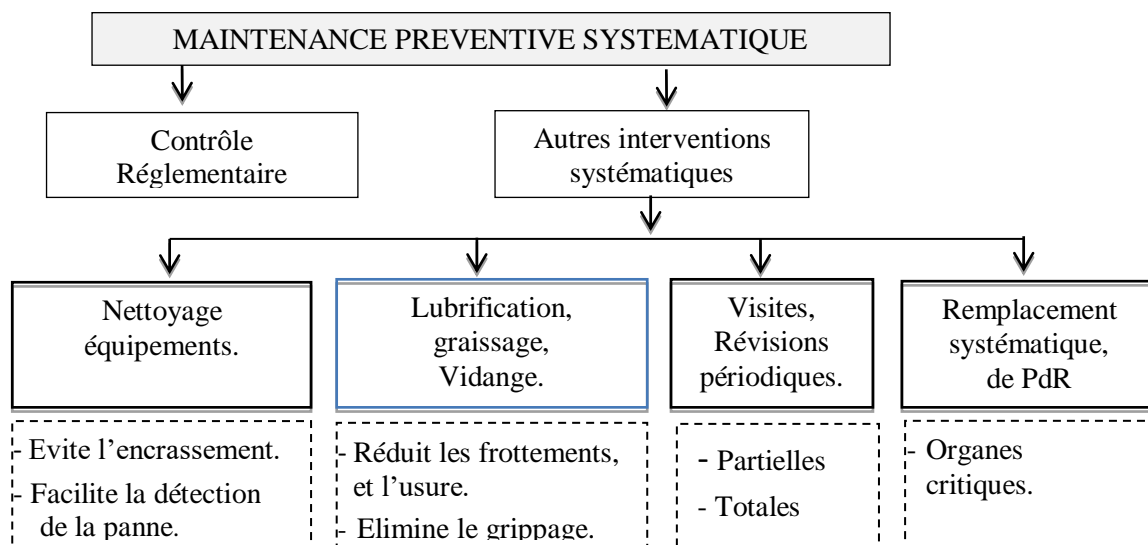


Figure 1.9 : Principe de la maintenance préventive systématique.

**b) Les activités de la maintenance préventive systématique.**

Les activités de la maintenance préventive systématique se résument par la figure 1.10.



**Figure 1.10 :** Activités de la maintenance systématique.

**Avantages :** La maintenance préventive systématique a un grand avantage : elle est facile à gérer par le fait que les activités sont programmées. La charge de travail est ainsi connue à l’avance, ainsi que la nature des travaux préventifs et les consommations s’y rapportant (gestion des stocks). Les arrêts de production sont également « négociables » à l’avance avec la production.

**Inconvénients :** La maintenance préventive systématique génère un inévitable « gaspillage de potentiel » d’utilisation d’un module ou d’un composant. A titre d’exemple, pour une courroie de transmission ou un joint, ce n’est économiquement pas grave. Lorsqu’il s’agit d’un sous-ensemble coûteux, c’est plus discutable. C’est pourquoi la détermination de la période d’intervention optimale (T) est une problématique pour ce type de maintenance.



c) Principaux supports de travail (spécimens) / Maintenance préventive systématique.

- Specimen : Plan d'entretien préventif.

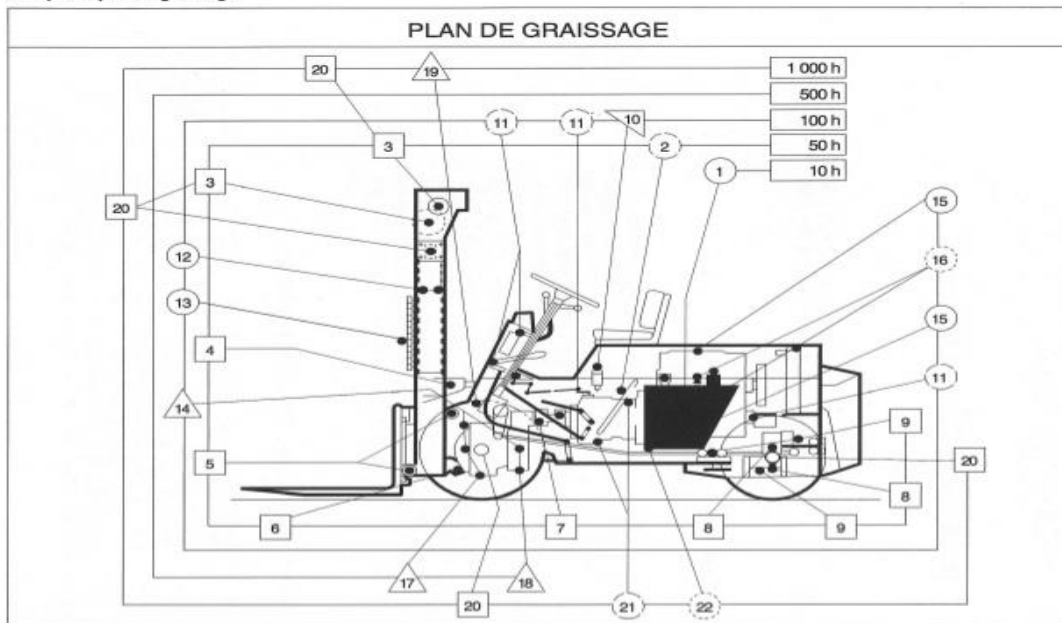
Exemple de plan d'entretien préventif

PLAN D'ENTRETIEN PRÉVENTIF					N° matériel : BA3A71			
Établi le : .....		par : .....		Indice : 0	Modifié le : .....		par : .....	Indice : .....
<b>Désignation matériel :</b>  <b>PRESSE LOIRE 800 T.</b>  Unité d'utilisation : heures de fonctionnement Fonctionnement : 210 jours en 2 postes soit 3 150 h/an					Temps d'arrêt en h :			321 h
					CDM en F/h :			670 F/h
					CDM préventif :			0 F
					Temps annuel exécution :			1 273 h
					Coût annuel main-d'œuvre :			133 000 F
					Coût pièces :			60 000 F
					CIM préventif :			193 000 F
					CSM préventif :			35 000 F
CGM préventif :			218 000 F					
Éléments	Consignes permanentes				3 mois	6 mois	12 mois	
	J	S	Q	M				
Circuit hydraulique	10	40			Gamme A	Gamme B	Gamme C	
Graissage	20							
Manipulateur		30			Gamme A	Gamme B	Gamme C	
Presse		50	60	70 80 90 100	Gamme A	Gamme B	Gamme C	
Temps main-d'œuvre	88 h	178 h	84 h	80 h	180 h	126 h	537 h	
Temps arrêt machine minimal	0 h	42 h	42 h	50 h	50 h	41 h	96 h	
Date et visa technicien Méthodes : .....		Date et visa intervention Maintenance : .....			Date et visa production : .....			

Les nombres 10, 20, 30, etc., correspondent aux n° des phases des consignes permanentes.

▪ **Spécimen : Plan de graissage.**

Exemple de plan de graissage



▪ **Spécimen : Plan de Lubrification.**

Exemple de plan de lubrification

Site :		<b>PLAN DE LUBRIFICATION</b>						Atelier :			
								Unité :		Atelier Blocs	
								Équipement :		Fabrication	
								Sous-ensemble :		Lignes P1, P2, P3	
				Presse P1							
Rp	Nb	Désignation	Mode		Lubrifiant		Quantité	Fréquence	Consignes particulières		
		M/A	Moyen	Huile	Graisse						
<b>Presse</b>											
1	4	Graisseur colonne	A	CdP		EP2		Sem.			
2	1	Lubrificateur AC soufflage et graissage glissières traineau	A	Visuel	Tellus 22			Sem.	Contrôle niveau	Appoint si besoin	
3	2	Palier moteur	M	CdP		EP2		3 000 h.			
4	1	Réservoir groupe hydraulique	A	Visuel	Tellus 32		800 l.	Sem.	Contrôle niveau	Appoint si besoin	
4	1		A		Tellus 32			9 000 h.			Vidange
<b>Peseuse</b>											
5	1	Lubrificateur AC commande déclenchement	A	Visuel	Tellus 22			Sem.	Contrôle niveau	Appoint si besoin	
6	1	Lubrification AC commande impacteurs	A	Visuel	Tellus 22			Sem.	Contrôle niveau	Appoint si besoin	
7	1	Articulations peseuses	A	Burette	Tellus 32 modifiée			Sem.	Graissage après	Nettoyage	
8	1	Graisseur guide rampe de contact	A	CdP		EP2		Sem.			
Établi le : 20/09/96		Modifié le :		Date et visa Maintenance			Date et visa Exploitation			Folio : 1/1	
Par : A. DURAND		Par :									
Indice : 0		Indice :									



## 5.2.2. Maintenance préventive conditionnelle (Extrait norme NF EN 13306 X 60-319)

### a) Définition : Norme AFNOR X 60-000

« Les activités de maintenance conditionnelle sont déclenchées suivant des critères prédéterminés significatifs de l'état de dégradation du bien ou du service. »

Elle est basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement et intégrant les actions / interventions (figure 1.11) qui en découle.

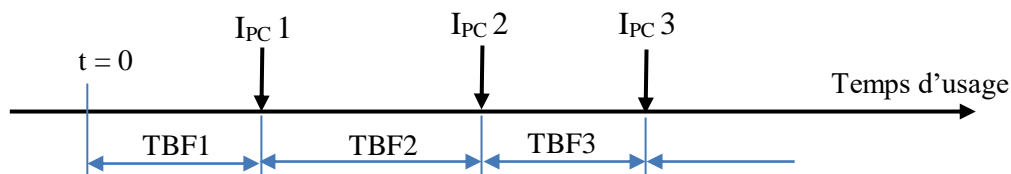


Figure 1.11 : Intervention de la maintenance préventive conditionnelle

Avec :

$I_{PCi}$  : Intervention de maintenance préventive conditionnelle ;

TBF $_i$  : Temps de Bon Fonctionnement avant l'arrêt programmé pour  $I_{PCi}$  .

TBF1  $\neq$  TBF2  $\neq$  TBF3 à cause des conditions d'exploitation qui ne sont pas identiques

### b) Graphe caractéristique de la maintenance préventive conditionnelle

La figure 1.12 illustre le principe de la maintenance préventive conditionnelle. Elle se rapporte au suivi par mesures périodiques (surveillance) ou en temps réel à travers des capteurs d'une dégradation jusqu'au seuil d'alarme qui déclenche une intervention préventive conditionnelle.

L'intervention  $I_{pci}$  sera programmée à partir de l'alarme, suivant un temps de « réaction » du service maintenance à prédéterminer.

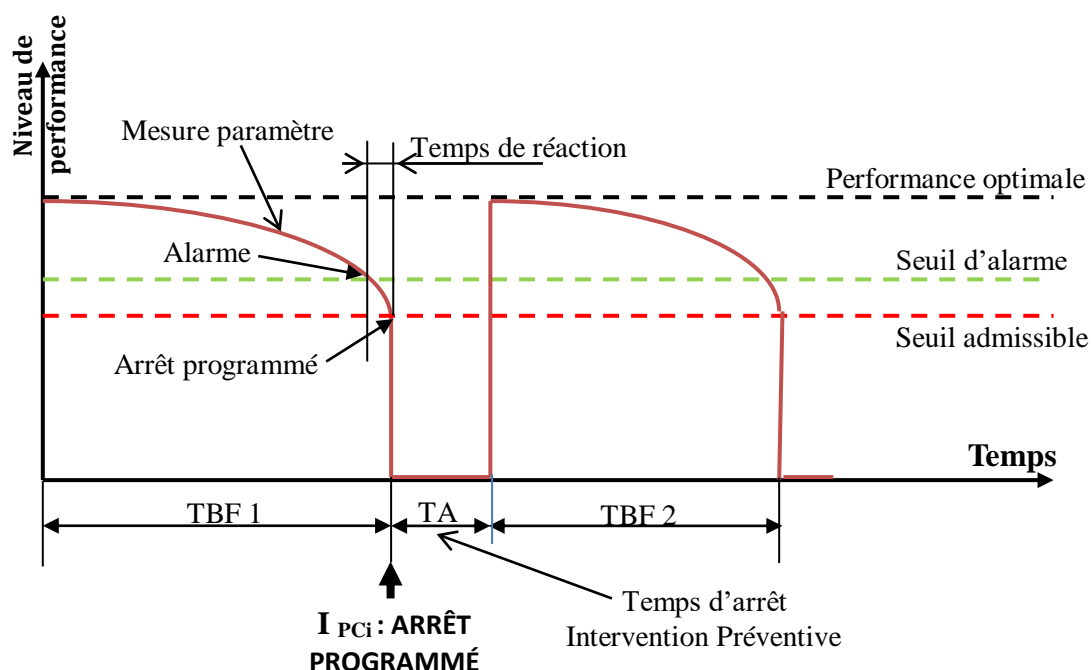
Le temps de réaction est le temps nécessaire pour préparer et programmer l'intervention à savoir : Qui (nom du technicien), Quand (date et heure d'intervention), avec quels moyens (outillages et pièces de rechanges ....etc nécessaires pour l'intervention) et ce sans dépasser le seuil admissible.

TA c'est le temps d'arrêt machine.

Les principaux paramètres mesurés à travers des capteurs peuvent porter par exemple sur :

- Le niveau et la qualité d'une huile ;
- Les températures et les pressions d'un système ;
- La tension et l'intensité du matériel électrique ;
- Les vibrations et les jeux mécaniques ;
- Etc.

De tous les paramètres énumérés, pour les machines tournantes l'analyse vibratoire est de loin la plus riche quant aux informations recueillies. La surveillance peut être soit périodique, soit continue.



**Figure 1.12** : Principe de la maintenance préventive conditionnelle.

- **Seuil admissible** : Il sera choisi en fonction de contraintes réglementaires lorsqu'elles existent. Exemple : le changement conditionnel du pneu usé de votre voiture ! Sinon, il est rare que les constructeurs fournissent des préconisations. La démarche expérimentale est donc souvent utilisée.
- **Seuil d'alarme** : Il sera choisi à partir du seuil d'admissibilité, en prenant en compte :
  - la vitesse de dégradation,
  - le temps de réaction avant l'intervention.

Pour bien comprendre le problème, prenons l'exemple d'un automobiliste, sur autoroute, découvrant l'alarme de jauge à essence : à quelle distance est la prochaine station ? quelle est la réserve d'essence en litres ? quelle est la consommation en l/km (la loi de dégradation) ? Il doit déduire de ces éléments la conduite à tenir pour décider d'un arrêt préventif. Profitons-en pour comparer l' $I_{PCi}$  (faire le plein) et l' $I_c$  correspondante (après la panne d'essence) : perdre du temps, faire du stop, payer une amende, etc. puis payer le plein !

- c) Avantage** : L'un des avantages de la maintenance conditionnelle est de pouvoir vérifier, voire mesurer l'efficacité de l'intervention. En effet, il est possible de comparer les valeurs des paramètres « après » aux valeurs « avant » qui marquaient la normalité (valeurs de référence).

Contrairement à la maintenance systématique, la maintenance conditionnelle ne permet pas de changer des modules ou pièces plus ou moins neufs.

Exemple de techniques de maintenance conditionnelle (figure 1.13).

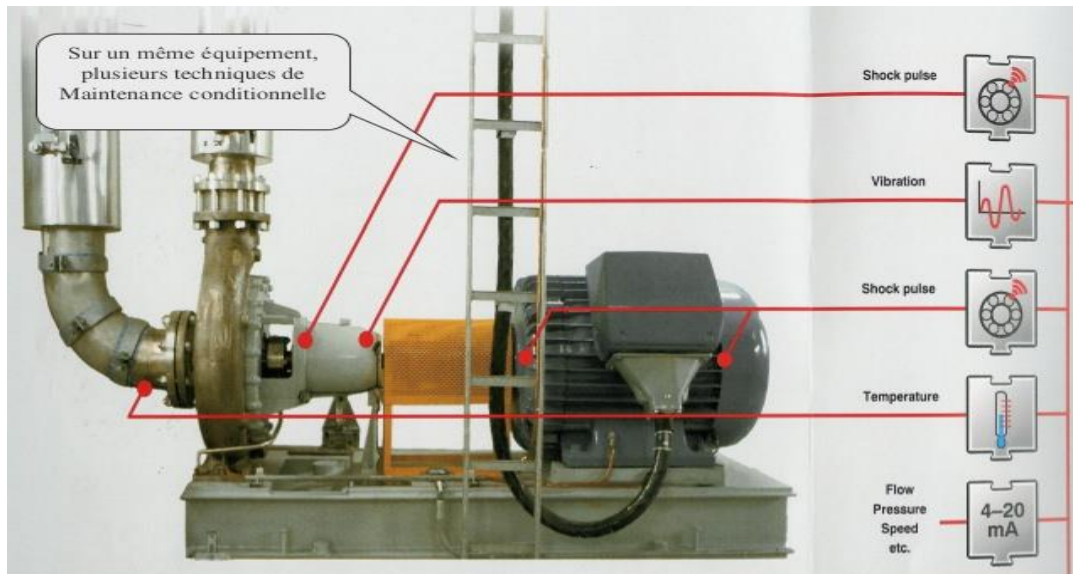


Figure 1.13 : Technique de maintenance conditionnelle (Moto-pompe).

**d) Pratique de la maintenance conditionnelle :**

- Analyse des vibrations : Surveillance des vibrations, La mesure vibratoire, Le diagnostic vibratoire, .....etc
- Analyse des températures : Thermographie infrarouge, ..etc.
- Analyse des huiles : Spectrographie, Ferrographie, Lcontrolé d'huile, .....etc

**6. Autres activités de la maintenance.**

**La maintenance améliorative :** Elle est basée sur l'amélioration des biens d'équipements qui consiste à procéder à des modifications, des changements ou des transformations sur un matériel.

Les améliorations à apporter peuvent avoir comme objectif :

- l'augmentation des performances de production du matériel ;
- l'augmentation de la fiabilité, c'est-à-dire diminuer les fréquences d'interventions ;
- l'amélioration de la maintenabilité (amélioration de l'accessibilité des sous-systèmes et des éléments à haut risque de défaillance) ;
- l'augmentation de la sécurité du personnel ;
- et autres.

On cite les opérations suivantes :

**a) La rénovation :** Elle consiste à :

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

- b) **La reconstruction** : Elle consiste à la remise de l'état de l'équipement comme défini par le cahier des charges initial, qui impose le remplacement de pièces vitales par des pièces d'origine ou des pièces neuves équivalentes.
- c) **La modernisation** : Elle consiste au remplacement d'équipements, accessoires et appareils ou éventuellement de logiciel, grâce à des perfectionnements techniques n'existant pas sur le bien d'origine, ceci à pour objectif l'amélioration de l'aptitude à l'emploi du bien.

### 7. Choix d'une politique de maintenance.

Le choix du type de maintenance le mieux adapté dans chaque cas dépend généralement de :

- type de défaillance : nouveau, cyclique ou aléatoire.
- l'aptitude du personnel de maintenance.
- la connaissance des coûts de maintenance (coûts directs, coûts indirects, investissements).
- de l'organisation du travail (méthode, préparation, planning, pièces de rechange, moyens d'investigation, etc.).

La figure 1.14 illustre le processus du choix du type de maintenance, dont les facteurs prépondérants sont l'incidence de la panne sur la production ou la sécurité en termes de **coûts** de la panne.

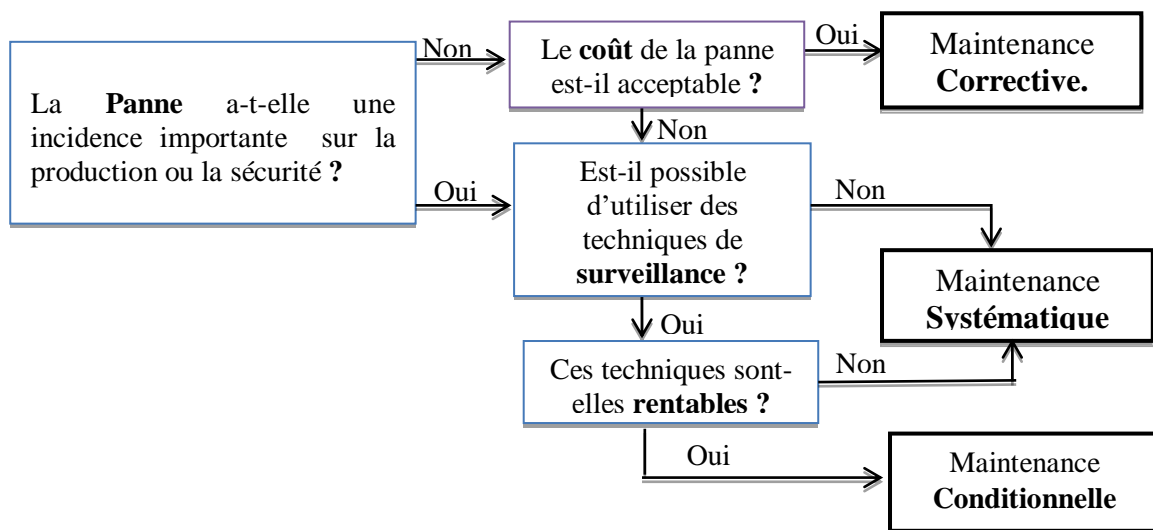


Figure 1.14 : Politique de maintenance.

### 8. Les cinq niveaux de maintenance

Selon norme X60-000, les interventions de maintenance peuvent être donc classées par ordre croissant de complexité (tableau 1.1).

**Tableau 1.1** : Les cinq niveaux de la maintenance.

Niveau	Personnel d'intervention	Nature de l'intervention	Moyens requis
1	Exploitant sur place. (Opérateur machine)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réglage simple d'organes accessibles sans aucun démontage,</li> <li>- Echanges d'éléments en toute sécurité.</li> </ul>	Outillage léger défini dans les consignes de conduite.
2	Technicien habilité (dépanneur) sur place.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dépannage par échange standard d'éléments prévus à cet effet,</li> <li>- Opérations mineures de maintenance préventive</li> </ul>	Outillage standard et rechanges situés à proximité.
3	Technicien spécialisé, sur place ou en atelier de maintenance.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identification et diagnostic de pannes,</li> <li>- Réparations par échange de composants fonctionnels,</li> <li>- Réparations mécaniques mineures.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Outillage prévu,</li> <li>- Appareils de mesure,</li> <li>- Banc d'essai,</li> <li>- Banc de contrôle.</li> </ul>
4	Équipe encadrée par un technicien spécialisé en atelier central.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Travaux importants de maintenance corrective ou préventive.</li> <li>- Révisions</li> </ul>	Outillage général et spécialisé.
5	Équipe complète polyvalente en atelier central.	Travaux (souvent externalisés) de : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rénovation,</li> <li>- Reconstruction,</li> <li>- Réparations importantes confiées à un atelier central.</li> </ul>	Moyens proches de ceux de la fabrication par le constructeur

## 9. Autres approches de la maintenance.

### 9.1. La télémaintenance :

La télémaintenance est une forme évoluée de maintenance. Elle est basée sur le principe suivant : les capteurs, mesurant des grandeurs intimement liées à l'état de la machine, sont reliés à une centrale de surveillance qui enregistre toutes les alarmes et les mesures. Des tableaux synoptiques visualisent la localisation de l'information.

Cette technique permet d'une part, le suivi et l'enregistrement des données sur chaque machine pour des fins de comparaison et d'autres parts, la détection d'aléas de fonctionnement.

L'agent de surveillance qui constate une évolution d'une dégradation ou l'apparition d'un défaut, a la responsabilité de mettre hors service, de consigner la partie lésée de l'installation et d'alerter les agents d'intervention. Cette technique voit son application dans les chaînes de production automatisées ou auto- programmables.

Cette technologie permet de faire le contrôle et le suivi de l'évolution de l'état des machines de production à l'interne ou à l'externe.

## 9.2. La Maintenance Productive Totale (TPM)

### 9.2.1. Définition

Nakajima définit la TPM comme une approche où tous les employés participent à la maintenance préventive par des activités d'équipe. Il ajoute que le terme «Total» de TPM a trois significations : le rendement global des installations, un système global de réalisation et une participation de tout le personnel. La TPM vise à modifier la manière de penser des employés vis-à-vis de la maintenance et à améliorer leur niveau de connaissance. La maintenance est donc l'affaire de tous les employer.

La TPM est définie en cinq points clés :

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

La TPM implique donc un décloisonnement de ces services en faisant participer le personnel de production aux tâches de maintenance. Il est donc nécessaire de former le personnel de production à la maintenance, ainsi que le personnel de maintenance à la conduite des machines. Elle vise ainsi à atteindre le zéro panne, en procédant comme suit :

La TPM fait participer des petits groupes analogiques aux cercles de qualités ayant pour objectif l'amélioration de la maintenance dans l'intérêt de l'entreprise. Les objectifs de la TPM sont :

- Réduction du délai de mise au point des équipements ;
- Augmentation de la disponibilité, et du taux de rendement synthétique (TRS) ;
- Augmentation de la durée de vie des équipements ;
- Participation des utilisateurs à la maintenance appuyés par des spécialistes de maintenance ;
- Pratique de la maintenance préventive systématique et conditionnelle.

### 9.2.2. Nature des pertes de temps de productivité

La démarche TPM cherche à diminuer les 06 pertes de rendement de l'outil de production à savoir celles dues aux :

1. **Pannes durables (pertes de type 1):** Il s'agit des pertes occasionnées par tous les types de pannes, chroniques ou imprévues. Les pannes entraînent du gaspillage de temps de production (arrêt de la production) ainsi que des pertes de matières (par mise au rebut des produits non conformes).

2. **Réglages (pertes de type 2):** Des réglages sont effectués à l'occasion du passage de la fabrication d'un lot à un autre (temps de changement de produit et/ou changement d'outil et/ou modification de la ligne. Généralement, les temps de réglages sont assez courts ; ils entraînent néanmoins des pertes.
3. **Arrêts mineurs (pertes de type 3):** Les arrêts mineurs (appelés micros-arrêts) d'une ligne de production sont causés par des perturbations momentanées telles que la détection d'un trop-plein, d'un bourrage... La ligne est alors arrêtée ou fonctionne à vide.  
Ces perturbations sont différentes des pannes car bien souvent il suffit de débloquent le produit en cours de fabrication ou d'actionner un simple bouton de relance pour que la production du lot reprenne normalement.
4. **Ralentissements des machines (pertes de type 4):** Ce sont des pertes dues aux diminutions d'allure (vitesse) de la ligne de production. La vitesse réelle de la ligne est maintenue inférieure à sa vitesse théorique maximale. Il arrive assez souvent dans l'organisation de la gestion de production que l'on ne fasse pas fonctionner une machine à sa vitesse maximale. Malheureusement, lorsque cette solution est maintenue dans le temps, elle se paye cher au niveau des pertes de rendement.
5. **Défauts de qualité (pertes de type 5):** Les défauts de qualité entraînent des pertes de rendement en cas de mise au rebut, le temps et les matières utilisées sont perdus et aussi en cas de réparation, des temps supplémentaires doivent être consacrés pour arriver à rendre le produit conforme. Si le « zéro défaut » absolu est difficile à atteindre, le pourcentage de produits défectueux doit bien évidemment être aussi réduit que possible (acceptable).
6. **Démarrages (pertes de type 6):** Des pertes de production, inhérentes au procédé de fabrication, peuvent survenir à chaque démarrage en attendant la stabilisation des conditions de fabrication (montée en température, en vitesse...). Tant que le niveau de qualité requis pour les produits n'est pas atteint, les temps et les matières utilisés sont perdus.

### 9.2.3. Principes de la TPM :

La signification de l'expression « Maintenance Productive Totale » est la suivante :

- Maintenance : maintenir en bon état, c'est-à-dire réparer, nettoyer, graisser et accepter d'y consacrer le temps nécessaire.
- Productive : assurer la maintenance tout en produisant, ou en pénalisant le moins possible la production.
- Totale : considérer tous les aspects et y associer tout le monde.

De la signification de l’acronyme ‘TPM’ d’écoule les principes suivants :

**a) Auto-maintenance :**

- Les opérateurs machines (rattachés au service production) sont chargés de tâches de maintenance du 1<sup>er</sup> niveau (tableau 1.1). Ils ont la responsabilité de leur machine ;
- Les techniciens rattachés au service maintenance interviennent comme spécialiste pour des tâches et les activités de maintenance de niveaux plus complexes ;

**b) Amélioration du taux de rendement des machines**

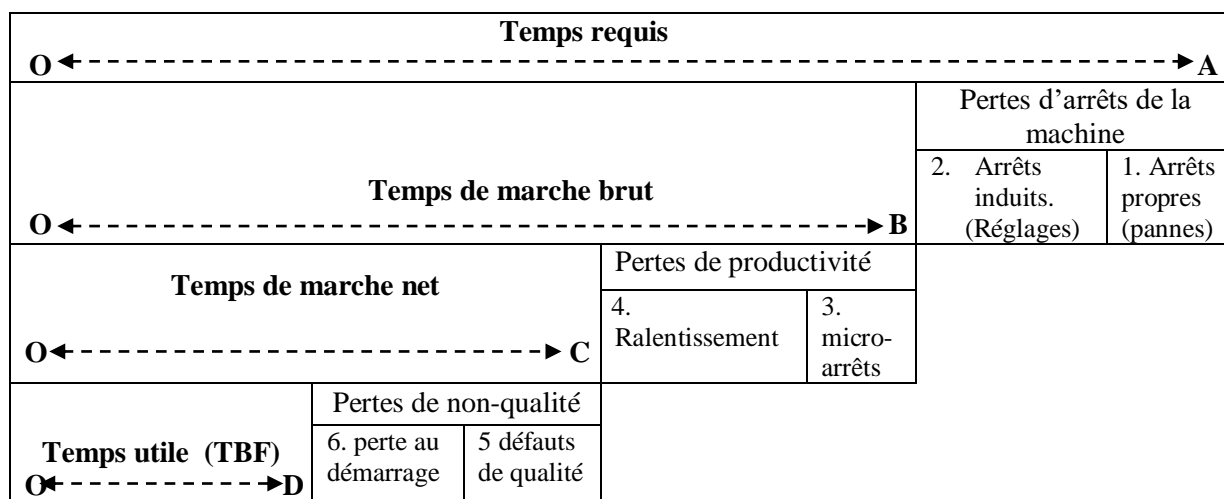
Le rendement d’un outil de production (machine) est mesuré par un pourcentage, appelé « taux de rendement » (TR).

Le principe de la mesure est le suivant : à partir d’un « taux de rendement » de 100%, purement théorique (les machines fonctionneraient en permanence à vitesse maximale, sans panne, sans réglage et sans aucun produit non conforme), les temps des différentes pertes de rendement (classées au paragraphe suivant en 6 catégories) sont mesurés et retranchés à 100% pour obtenir le « taux de rendement » réel de l’installation.

Les termes « taux de rendement global » (TRG) et « taux de rendement synthétique » (TRS) désignent également ce même taux. L’esprit du « taux de rendement » TR, TRG ou TRS reste de toute façon le même.

**b.1) Le taux de rendement synthétique (TRS)**

La figure 1.15 indique la démarche suivie pour le calcul du TRS, ainsi, les six grosses pertes (Paragraphe 9.2.2) ont été classées en trois familles dans une logique TPM, c’est-à-dire sans se soucier des fonctions (production, maintenance ou qualité) responsables ou victimes de ces pertes.



**Figure 1.15 : Démarche de calcul du TRS**

Avec :

Le temps requis = Temps d’ouverture de l’atelier – Le temps des arrêts programmés



- Le temps requis : C'est le temps net de production qui correspond a
- Le temps d'ouverture de l'atelier : Il correspond au volume horaire de travail par poste (généralement 08 heures par poste de travail).
- Le temps des arrêts programmés (planifiés) tels que les temps de changement de tenues vestimentaires, de changement de matières première, de nettoyage de l'atelier, de la pause café ...

C'est ce que le taux de rendement synthétique va mettre en évidence.

$$TRS = \frac{\text{Temps utile}}{\text{Temps requis}} = \frac{\text{Temps requis} - \sum \text{Pertes}}{\text{Temps requis}}$$

Pour mieux réduire les six grosses pertes la TPM a pour vocation de mesurer le TRS. .

### b.2) Calcul de l'indicateur TRS

Le TRS est un indicateur de performance d'un équipement, également nommé taux de rendement global (TRG) ou rendement opérationnel (RO). Sa structure est toujours de la forme  $TRS = \tau_1 \times \tau_2 \times \tau_3$ .

- $\tau_1$  : Pertes dues aux arrêts pour cause de pannes, doit être :  $\tau_1 > 0,90$
- $\tau_2$  : Pertes dues aux ralentissements et micros-arrêts, doit être :  $\tau_2 > 0,95$
- $\tau_3$  : pertes dues à la non qualité, doit être :  $\tau_3 > 0,99$

La formule du taux de rendement synthétique est :

$$TRS = \frac{OD}{OA} = \tau_1 \times \tau_2 \times \tau_3 = \frac{OB}{OA} \times \frac{OC}{OB} \times \frac{OD}{OC}$$

Valeur d'excellence (acceptable) :  $TRS = \tau_1 \times \tau_2 \times \tau_3 > 0,90 \times 0,95 \times 0,99 = \mathbf{0,85}$ .

- **Calcul de  $\tau_1$  : Taux brut de fonctionnement (perte dues aux arrêts durables).**

$$\tau_1 = \frac{OB}{OA} = \frac{\text{Temps requis} - \sum \text{Temps Arrêts}}{\text{Temps requis}} = \frac{\text{Temps de marche brut}}{\text{Temps requis}}$$

Valeur d'excellence :  $\tau_1 > 0,90$  ( $\tau_1$  doit être supérieur à 0,90)

Le temps requis est la durée pendant laquelle l'équipement est censé produire. Les temps d'arrêts doivent être discriminés lors de leur saisie en temps d'arrêt propres (sur pannes) et en temps d'arrêt pour causes externes :

- En temps d'arrêt induits par l'interdépendance des machines,
- En temps d'attente,
- En temps d'arrêt pour changement de production (reformatage) ou d'outillage.

- **Calcul de  $\tau_2$  : Taux net de fonctionnement (pertes dues aux ralentissements et micros-arrêts)**

$$\tau_2 = \frac{OC}{OB} = \frac{\text{Temps de cycle reel} \times \text{quantite produite}}{\text{Temps de marche}} \times \frac{\text{Temps de cycle theorique}}{\text{Temps de cycle reel}}$$

$$= \text{Taux de marche} \times \text{Taux d'allure}$$

Valeur d'excellence :  $\tau_2 > 0,95$  ( $\tau_2$  doit être supérieur à 0,95)

Ce taux d'allure est également nommé le « rendement vitesse ».

- **Calcul de  $\tau_3$  : Taux de qualité (pertes dues aux défauts de qualité)**

$$\tau_3 = \frac{OD}{OC} = \frac{\text{Pieces entrees} - \text{pieces defectueuses}}{\text{pieces entrees}}$$

Valeur d'excellence :  $\tau_3 > 0,99$  ( $\tau_3$  doit être supérieur à 0,99)

L'amélioration du taux de qualité passe par les techniques de la TQC (total quality control) et spécifiquement par la MSP (maîtrise statistique des procédés). Sur certains proces, la part des « pertes au démarrage » peut n'être pas négligeable, cette perte étant accentuée par la tendance à plus de flexibilité et la réalisation de séries courtes.

## CHAPITRE II : Organisation de la maintenance.

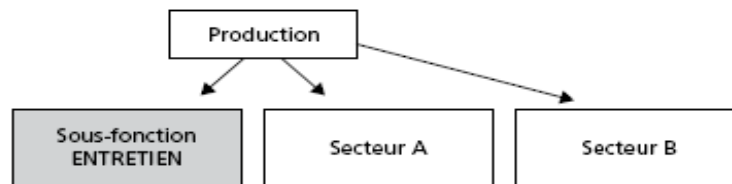
### 1. Introduction :

Le processus maintenance doit donc être soigneusement géré pour rester en permanence aussi proche que possible de l'optimum qui évolue sous l'influence de multiples facteurs externes (variations : de la demande et donc de la production, du coût du travail, du coût des matières premières et de l'énergie, etc.). Plus il est efficace pour maintenir l'outil de production dans l'état requis avec un minimum de dépenses et plus l'entreprise est concurrentielle et profitable.

### 2. Les interfaces de la maintenance.

#### 2.1. Interface maintenance / production.

- **Organigramme : la maintenance dépendante.** (figure 2.1)

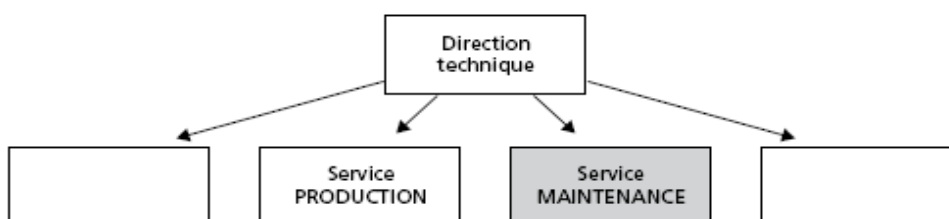


**Figure 2.1 :** La maintenance dépendante.

**Remarque :** C'est l'interface la plus délicate par son rôle stratégique au cœur du système de production. Il s'agit d'un seul et unique responsable des deux fonctions (production et maintenance).

C'est la subordination des services « entretien traditionnel » à la « production ». Dans ce cas, le responsable de production risque d'imposer sa vision de l'utilisation des matériels au détriment du préventif.

- **Organigramme : la maintenance indépendante** (figure 2.2)



**Figure 2.2 :** La maintenance indépendante.

**Remarque :** Cette organisation résout les problèmes précédents liés à la subordination de l'entretien (maintenance), par contre ne résout pas les problèmes situés au niveau opérationnel (la prise de décision « qui prend ? » en charge les actions entre les techniciens, les opérateurs, les régleurs...etc), devient une source de conflits.

La **TPM** (total productive maintenance) apporte une réponse à ce problème de partage des tâches dites de « premier niveau ». Il sera développé dans le « chapitre 1, paragraphe 9.2 ».

## **2.2. Autres interfaces de la maintenance.**

### **En interne :**

- La Direction technique : politique et grands projets à mettre en œuvre,
- La Direction financière : budgets de fonctionnement et d'investissement,
- La Direction du personnel (DRH) : personnel interne et renforts, sécurité,
- Les Achats : approvisionnements, contrats externes,
- Les Études : implantations, améliorations « lourdes », travaux neufs lorsqu'ils ne sont pas regroupés au sein du service,
- Le Magasin (lorsqu'il est centralisé) : fournitures des rechanges et consommables,
- Le Service qualité, s'il est séparé de la production.

### **En externe :**

- Les fournisseurs,
- Les prestataires de services
- Les fournisseurs d'équipements techniques (commerciaux et Service Après Vente).

## **3. Organigramme fonctionnel de la maintenance.**

Il existe :

- La maintenance centralisée :
- La maintenance décentralisée,
- La maintenance mixte.

Pour l'organigramme (figure 2.3), on constate que les fonctions Méthodes et ordonnancement sont centralisées, par contre la fonction réalisation possède un atelier central et des antennes d'interventions (équipe polyvalente) décentralisées.

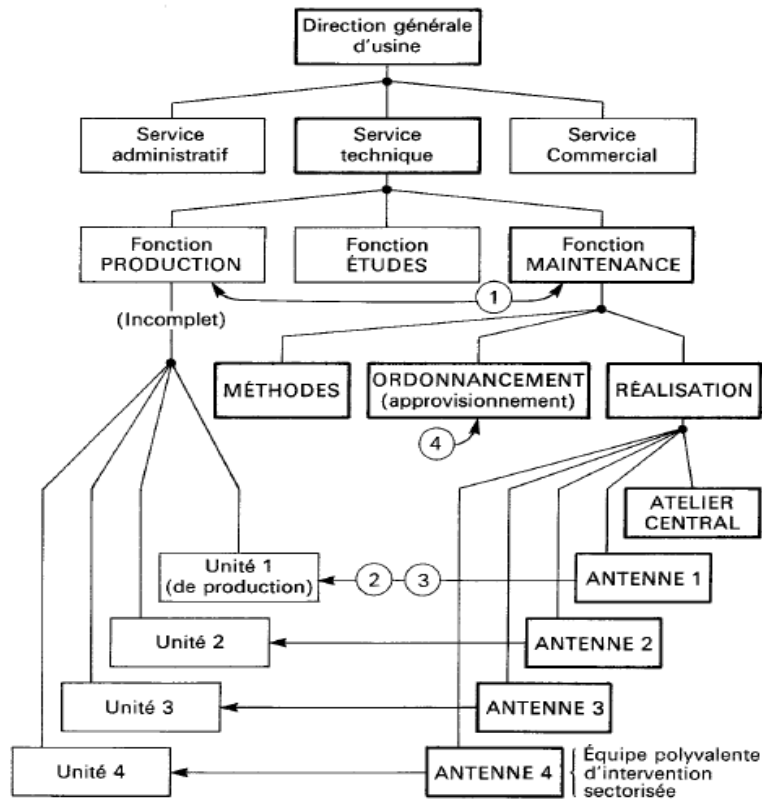


Figure 2.3 : Exemple d'organigramme fonctionnel de la maintenance.

4. Système de gestion de la maintenance (figure 2.4).

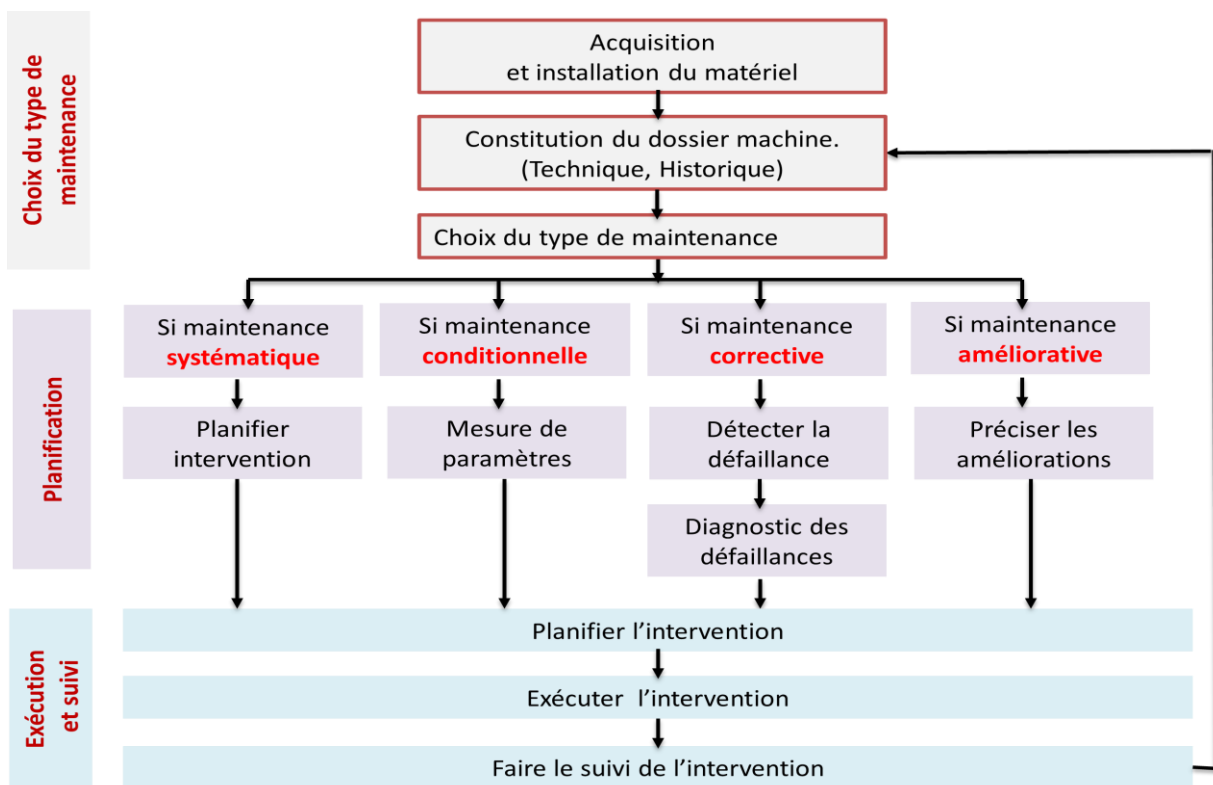
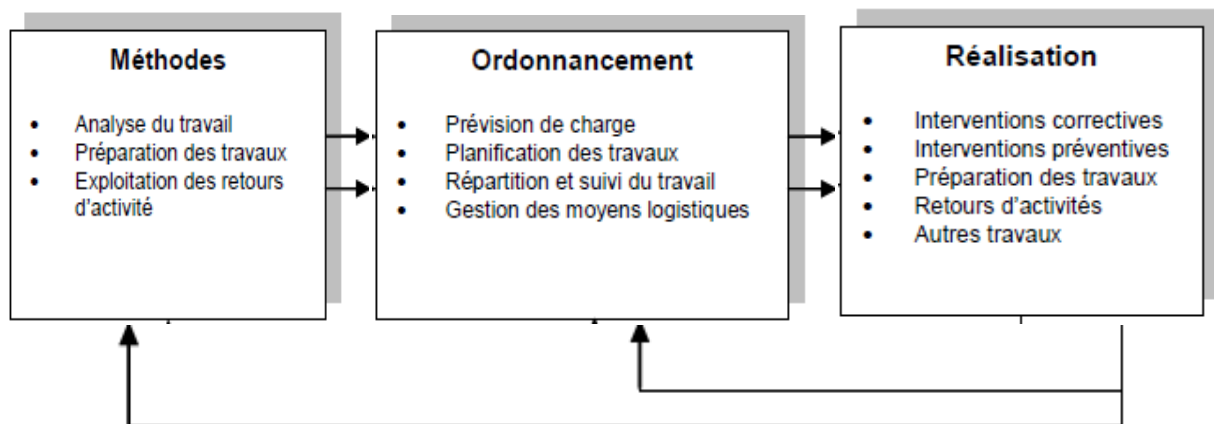


Figure 2.4 : Processus de gestion de la maintenance industrielle

## 5. Les fonctions opérationnelles de la maintenance

Il existe trois fonctions opérationnelles de la maintenance (figure 2.4) :



**Figure 2.4 :** Les fonctions opérationnelles de la maintenance.

### a) La fonction méthodes : Améliorer la maintenance c'est développer les méthodes.

- C'est l'interface des politiques et stratégies, des orientations et des projets mis en oeuvre.
- C'est le centre des ressources documentaires.
- C'est la plaque tournante des sorties et entrées des flux d'information du service maintenance.
- C'est le centre de gestion des activités techniques.
- Il propose des actions d'amélioration.

La base du travail de préparation du bureau des méthodes repose sur la documentation :

- **Le Dossier Technique Equipement (DTE) :** L'efficacité du travail de préparation du bureau des méthodes maintenance et des équipes d'intervention repose sur une bonne connaissance des équipements à maintenir. Connaissance exhaustive du matériel (origine, technologies et performances, constituant, schéma électrique, etc ).

Le DTE (appelé aussi le dossier machine) a pour vocation de mettre à disposition des préparateurs et des intervenants toutes les informations relatives à l'équipement susceptibles de les aider. Il comprendra deux ou trois parties :

- le dossier constructeur, avec toutes les informations d'origine, négociées et fournies par le constructeur ;
- le dossier interne, établi et tenu à jour par le bureau des méthodes de maintenance (Il appartient au bureau des méthodes d'établir des DTE de forme standardisée en interne et classés à partir du code de l'inventaire;
- le plan de maintenance (planning d'entretien préventive et autres).

- **Le dossier historique équipement** : appelé aussi « fichier historique d'un équipement », c'est le recensement chronologique de toutes les défaillances ou des interventions correctives relatives à cet équipement, pendant une période significative. L'historique représente le « carnet de santé » de la machine, depuis sa mise en route ou la date de début de suivi organisé, ou une date de prise de référence jusqu'à la date d'exploitation. Le recensement des défaillances oriente vers une exploitation qualitative et quantitative des défaillances aux fins d'amélioration par action sur les causes.

**b) La fonction ordonnancement lancement:**

Consiste à organiser dans le temps des interventions de la maintenance.

- Gérer les demandes de travaux correctifs,
- Gérer les plans des travaux préventifs,
- Planifier et optimiser les charges,
- Réserver les ressources humaines et matérielles,
- Répartir les travaux et en déclencher l'exécution,
- Assurer le suivi de l'exécution des travaux,
- Coordonner avec les autres fonctions de maintenance

L'action d'ordonnancement s'exprime sous la forme : Prévoir un instant « **t** » et un endroit « **x** » où un personnel « **p** » muni d'un outillage « **o** » et des matières « **m** » exécutera la tâche « **M** » en harmonie avec les autres travaux.

**c) La fonction réalisation.**

C'est la réalisation effective des travaux planifiés par les méthodes et ordonnés par la fonction ordonnancement.

Les personnels d'exécution couvrent de nombreuses spécialités techniques, comme :

- Mécanicien,
- Electrotechnicien,
- Electronicien,
- Automaticien,
- Hydraulicien,
- Autres.

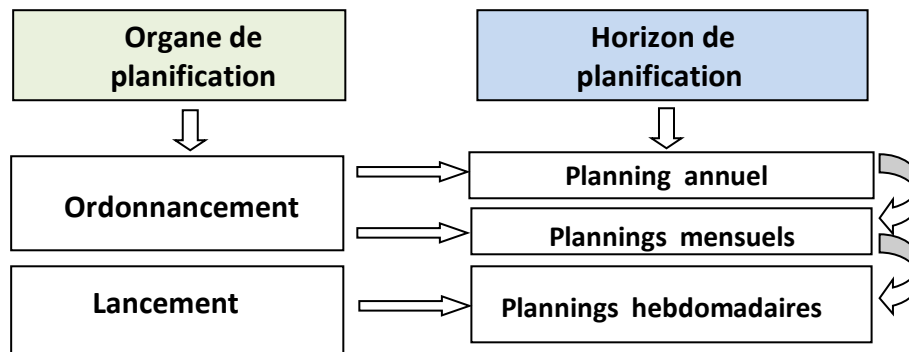
**6. Planification des travaux de maintenance.**

Les travaux de maintenance sont planifiés à travers trois horizons :

- Un planning annuel : Ensemble des travaux de maintenance à réaliser pour un équipement d'un atelier sur l'année.

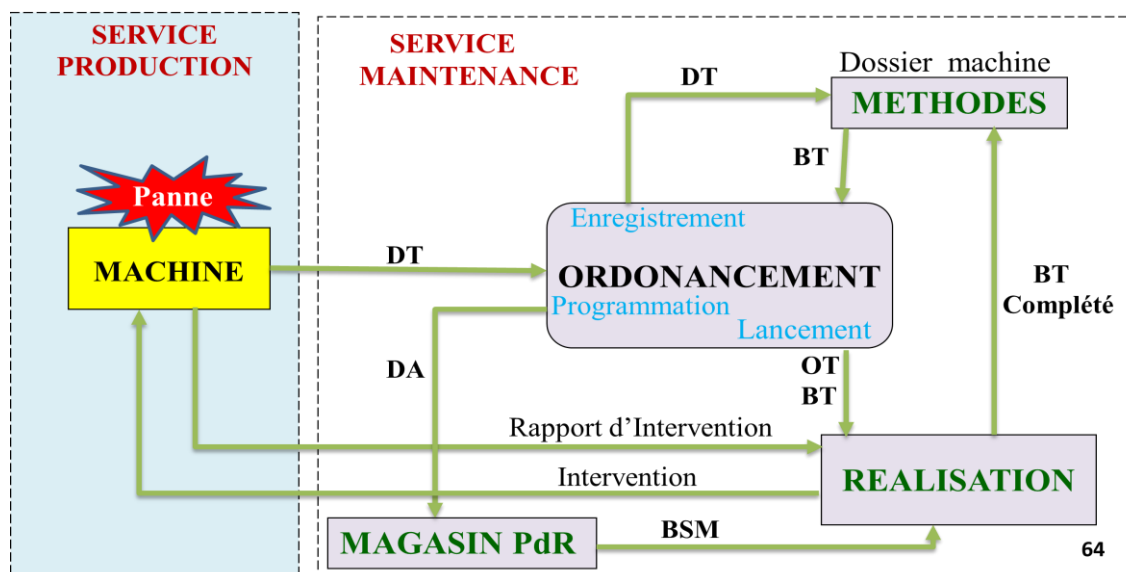
- Un planning mensuels : Ensemble des travaux de maintenance à réaliser pour un équipement d'un atelier sur le mois.
- Un planning hebdomadaires: Ensemble des travaux de maintenance à réaliser pour un équipement d'un atelier sur la semaine.

Chaque horizons est pris en charge par un organe (fonction) comme le montre la **figure 2.5**.



**Figure 2.5** : Planification des travaux de maintenance.

### 7. Communication intra-maintenance / action corrective





8. Principaux supports de la maintenance.

Specimen : Demande de travail (DT)

		<b>DEMANDE DE TRAVAIL</b>			<b>DT</b>			
Demandeur :		Date d'intervention souhaitée :		Date souhaitée de remise en état :		Urgence :		
Date :						+	++	+++
Lieu d'intervention :		Machine/ensemble :		Spécialités demandées :			Centre d'imputation :	
				ME	EL	SC	CR	EG
Symptômes et/ou dégâts constatés							Etat de la machine	
							Arrêt	
							Marche	
Travaux demandés								
Visa du bureau d'OPL :		Visa du chef de département de maintenance :		Visa du chef de service :		ME : Mécanique EL : Electrique SC : Soudage-Chaudronnerie CR : Contrôle-Régulation EG : Entretien Général		
Date :		Date :		Date :				

Specimen : Bon de Sortie Magasin (BSM)

Specimen : Bon de Reservation (BRV)

<b>BON DE SORTIE</b>		Numéro : BS				
Visa :		Service :				
Date :		Machine :				
Symbole	Désignation	Unité	Prix Unitaire	Quantité livrée	Centre d'imputation	Observations
Comptabilité-matière :		Fichiste :		Chef du SGS :		
Date :		Date :		Date :		

<b>BON DE RESERVATION</b>		Numéro DE BRV BRV				
Demandeur :		Service :				
Date :		Machine :				
Symbole	Désignation	Unité	Quantité	Numéro du BS	Date de sortie prévue	Quantité disponible
Fichiste :		Chef du SGS :				
Date :		Date :		Date :		

**Exemple : Mode opératoire d'intervention**

MODE OPÉRATEUR D'INTERVENTION	
INSTALLATION : ENCAISSEUSE SAVOYE	Code document : CO 1600 31
Objet : Échange standard tapis d'entrée	Page : 1/5
Temps estimé : 110 min	Indice : E
<p><b>1 - PRÉPARATION D'INTERVENTION</b></p> <p><b>1.1 Moyens nécessaires</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• L'installation doit être disponible pendant la durée totale de l'intervention.</li> <li>• Le personnel nécessaire est constitué d'un technicien de maintenance (électrotechnicien de préférence) et d'une autre personne sans compétence particulière pour les manipulations du convoyeur.</li> <li>• Outillage spécifique : deux tréteaux.</li> <li>• Pièces de rechange, consommables :             <ul style="list-style-type: none"> <li>- un tapis de rechange référence 40 287 12 ;</li> <li>- graisse Essox unirex N2 ;</li> <li>- solvant, chiffons.</li> </ul> </li> </ul> <p><b>1.2 Planning de l'intervention</b></p>	

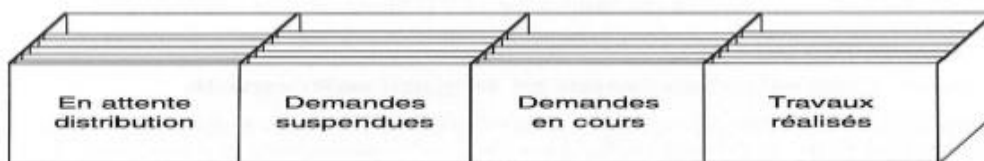
MODE OPÉRATEUR D'INTERVENTION	
INSTALLATION : ENCAISSEUSE SAVOYE	Code document : CO 1600 31
Objet : Échange standard tapis d'entrée	Page : 2/5
Temps estimé : 110 min	Indice : E

**Exemple : Planning de distribution hebdomadaire de travaux (par agents)**

*Planning de distribution hebdomadaire de travaux*

TABLEAU DE DISTRIBUTION DES TRAVAUX								
Équipe centrale mécanique								
Professionnels	Lundi		Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Demandes en réserve	Demandes suspendues
MARTIN	875	965	965				125 823 254	Resp. 253
DURAND	Resp. 1145	PT	Congé	Congé			387	
JACQUES	1145	956	956					
DUPONT	RC						852	253
LAURENT	432	825	654				387	
BERNARD	779		779			Congé		1254

*Les bacs de rangement des dossiers (casiers)*



## CHAPITRE III : Gestion des stocks de pièces de rechange

### 1. Introduction et problématique.

Nous introduisons le chapitre par la comparaison entre un stock de matières premières et un stock de pièces de rechanges

➤ **Stock matières premières :**

- Peu de références,
- Consommation plus régulière,
- Consommation significative.

➤ **Stock pièces de rechanges :**

- Nombre de référence important,
- Consommation irrégulière, et faible,
- 80% du stock est quasi-dormant.

Le stock des pièces de rechange d'un équipement dépend essentiellement de :

- Sa consommation lors d'une intervention de maintenance préventive, consommation régulière donc connue.
- Sa consommation lors d'une intervention de maintenance corrective, consommation aléatoire.
- Sa consommation courante.

**Problématique :** La gestion des stocks consiste principalement à déterminer à quel moment et en quelle quantité un article devra être renouvelé. Il s'agit de répondre à la question suivante : quand et combien commander ?

Constats :

➤ **Un sous stock ?** Entraîne des « Coûts de rupture de stock » à savoir :

**a) Coûts internes :**

- Main d'œuvre inoccupée ;
- Equipements arrêtés ;
- Coûts des procédures d'urgences pour accélérer les livraisons ;
- Coûts occasionnés par les changements dans le programme.

**b) Coûts externes :**

- Perte de réputation ;
- Pertes de commandes ;
- Coûts de procédure d'urgence pour accélérer les livraisons ;
- Coûts supplémentaires de sous-traitance pour respecter les délais.

➤ **Un sur stock ?** Entraîne des « Coûts de possession de stocks »

Il s'agit de coûts internes :

- Coût du capital immobilisé sous forme de stocks,
- Coût d'utilisation de l'espace d'entreposage (location, électricité, assurance, manutention...),
- Coût de détention des articles (assurances pour les produits, vols, surveillance...),

**Conclusion :** La solution est d'avoir « Juste un stock optimal »

## 2. Les stocks de maintenance.

Le magasin des stocks de maintenance industrielle détient les familles d'articles suivantes :

- Produits techniques et consommables (quincaillerie » :** visserie, joints roulements, baguettes de soudure, produits de nettoyage....etc.
- Matières premières :** tubes, tôles, barres pour réfection et fabrications diverses.
- Lubrifiants :** huiles, graisse,...etc.
- Pièces et modules de rechange :** spécifique à un équipement ou standard. Huiles. Il appartient aux méthodes de préconiser la nomenclature des pièces d'usure à chaque équipement,

**Constat :**

- Jusqu'à 80% des PdR tenues en stock sont rarement utilisées (pas de mouvement sur plusieurs années)
- 50% des surstocks seront obsolètes dans un délai de 4 ans
- 40% des surstocks sont liés aux achats initiaux et donc à une surestimation des besoins

### 2.1. Classification des articles en stocks par la méthode ABC.

La méthode ABC amène à une gestion sélective des stocks en fonction de leur valeur de consommation de chaque article stocké. Ce mode de classement ne fait que reprendre la « distribution de Pareto » et nous conduit à constater que :

- Famille A :** 10 % des articles en stock représentent 75 % des consommations.
- Famille B :** 25 % des articles en stocks représentent 20 % des consommations.
- Famille C :** 65 % des articles en stocks représentent 5 % des consommations.
- Stock de pièces de consommation courante,
- Stock de pièces de consommation sur entretien programmé,
- Stock des pièces qui font l'objet de défaillances aléatoires a un dimensionnement plus complexe à réaliser.

### 3. Processus d'approvisionnement en Pièce de Rechange (PdR).

La maintenance a la responsabilité de la gestion de son ou de ses magasins propres, centralisés ou décentralisés. À ce titre, le besoin d'approvisionnement des stocks de maintenance implique un regard sur la fonction achat.

À partir du besoin d'approvisionnement, le rôle de la maintenance se limite à établir les spécifications, à participer à l'évaluation des propositions d'achat de pièces de rechange et autres consommables. D'où un rôle à dominante technique, mais la maintenance a en plus la responsabilité de la gestion de ses stocks.

### 4. Gestion et régulation d'un stock.

#### 4.1. Le niveau de stock

La régulation d'un niveau de stock d'un article donné (figure 3.1) se fait par le flux entrant, en soustrayant les sorties qui caractérisent la loi de consommation.

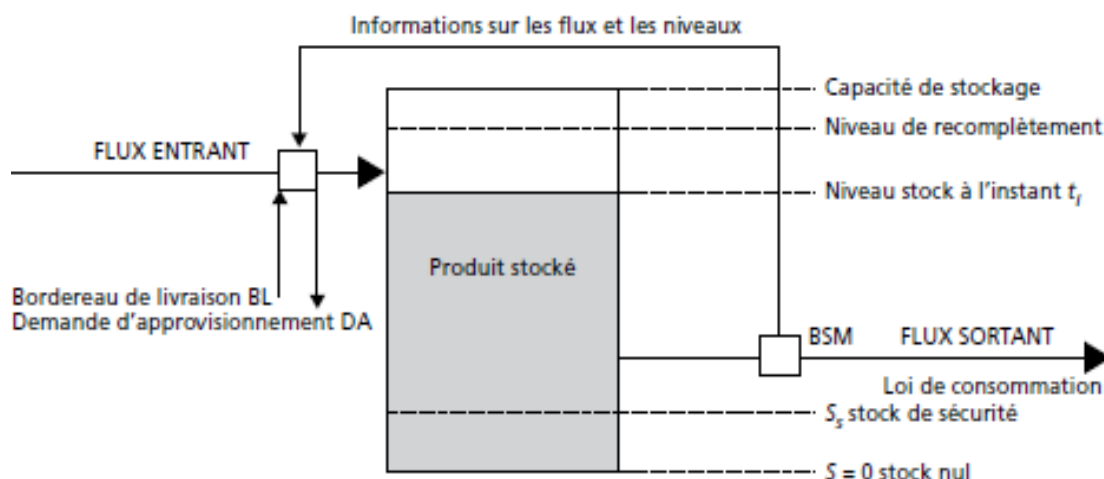


Figure 3.1 : Model de régulation d'un niveau de stock.

- **Le stock à  $t_0$**  : est connu par un inventaire annuel, réalisé par le magasinier dans le cadre de l'inventaire des stocks requise par l'établissement du bilan annuel.
- **Les entrées et sorties** : Par analogie hydraulique, les entrées et les sorties sont caractérisées par des débits (en quantités/unités de temps) dont la vanne de régulation serait à l'entrée de la capacité.

Le niveau de stock à un instant  $t_i$  :

$$N_i(\text{stock à } t_i) = N_0(\text{stock à } t_0) + \sum_{t_0}^{t_i} Q_e(\text{entrées}) - \sum_{t_0}^{t_i} Q_s(\text{sorties})$$

#### 4.2. Représentation graphique des variations d'un stock.

Le graphe (figure 3.2) illustre la succession des réapprovisionnements, paramétrés par les quantités économiques  $Q_e$ , des sorties caractérisant la loi de consommation et des passations de commande, déclenchées par le stock de couverture  $S_c$  et conditionnées par le stock de sécurité  $S_s$ .

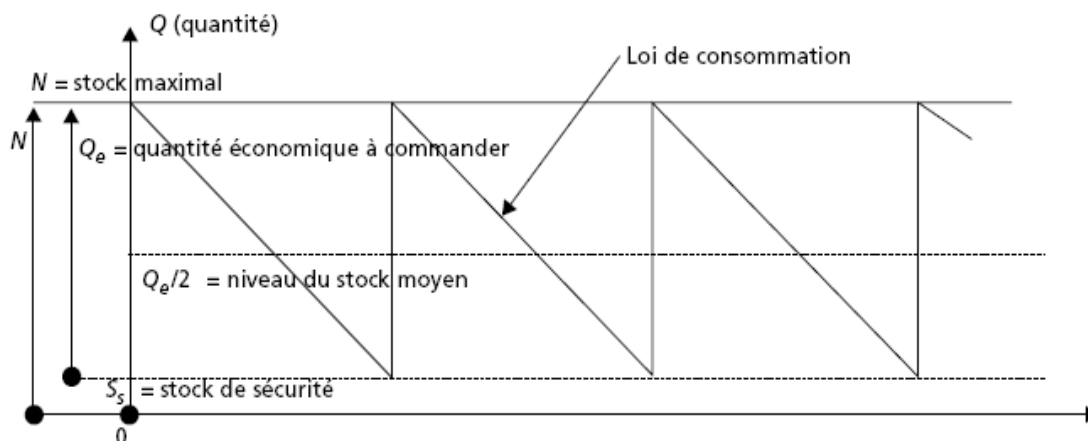


Figure 3.2 : Model de réapprovisionnement de stock.

Les réapprovisionnements, paramétrés par les  $Q_e$ , des sorties caractérisant la loi de consommation et des passations de commande, conditionnées par le  $S_s$

#### 4.3. Stratégie de réapprovisionnement.

Pour réapprovisionner un stock, les deux problèmes à résoudre sont :

- A quelle date faut-il commander ?
- Combien d'articles faut-il commander?

Quatre méthodes sont possibles, à choisir en fonction des types d'articles :

Date	Quantité	
	Fixe	Variable
Fixe	1	2
Variable	3	4

- **Méthode 1** : Articles de faibles valeurs (catégorie C) et de consommation régulière, parfois mis en libre service. (boulonnerie standard). La quantité à commander peut être déterminée par le calcul de quantité économique.
- **Méthode 2** : Gestion par calendrier ou « reconstituer ». Adaptée à des pièces peu coûteuses dont la consommation est régulière (stable) ; facile à gérer à partir d'un calcul de « quantité économique »  $Q_e$  obtenue par la formule de Wilson. Cette méthode tient compte des commandes et des transports (optimisation de la durée entre deux commandes).

$$Q_e = \sqrt{\frac{2KC_a}{iC_u}}$$

**K** : consommation annuelle prévue ;  
**Ca** : coût de passation de commande;  
**Cu** : coût unitaire de l'article ;  
**i** : taux de possession (frais de stockage, locaux, assurances, impôts,...).  
 évalué : à 15 % ou 20 % du coût de référence.

La durée optimale entre deux commandes est donnée par  $T_o$  :

$$T_o \text{ (en mois)} = Q_e / K \times 12$$

➤ **Méthode 3** : (Gestion par point de commande).

- Applicable aux articles (catégorie A)
- Demande fluctuante,
- Implique : Un suivi régulier de l'état des stocks.

Le calcul du niveau de réapprovisionnement est fonction du :

- Délai de livraison,
- Quantité moyenne consommée.

L'atteinte de ce niveau prédéfini ( $S_s + S_c$ ) déclenche le « point de commande ».

#### 4.4. Le Principe de la détermination du stock de sécurité $S_s$ (sans écart de délai)

À partir du déclenchement de la commande (figure 3.3), deux facteurs influencent la prévision :

- l'incertitude sur les consommations ;
- l'incertitude sur le délai de mise à disposition (les délais administratifs (passation de la commande) et le délai de livraison).

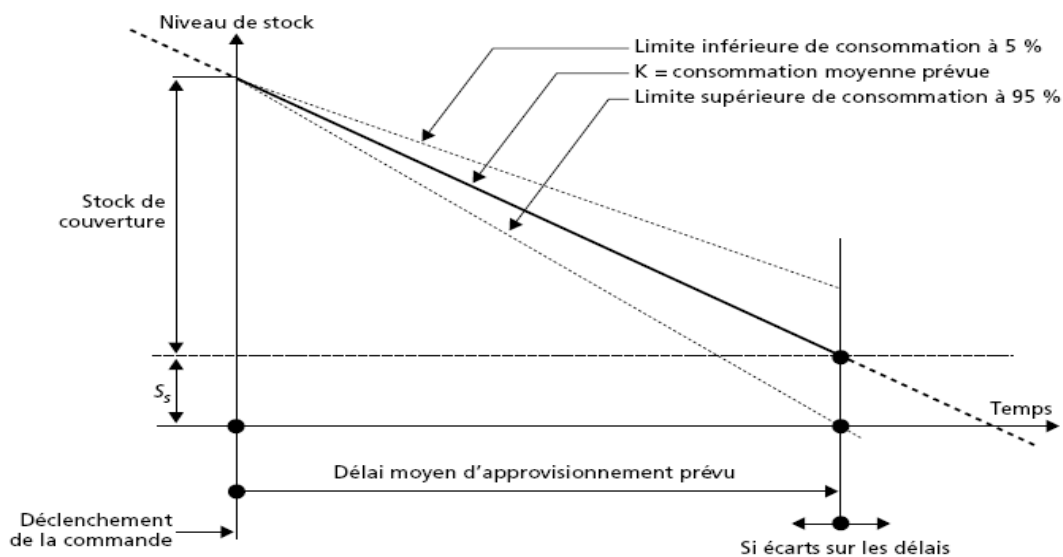


Figure 3.3 : Model de détermination du stock de sécurité..



Avec :

- **Stock de couverture (Sc)** : C'est un Stock vivant, il couvre les besoins moyens pendant la période de réapprovisionnement.
- **Stock de sécurité (Ss)** : C'est un Stock dormant, il génère un surcoût de stockage.

➤ **Méthode 4** : Le modèle « Poissonien ». Cette méthode est adaptée à la (catégorie A) des pièces de rechange coûteuses à prix variables, consommées à partir de « casse » imprévisible.

**Problématique de choix** : Le problème à résoudre par l'agent des méthodes de maintenance est double :

- Qualitatif : Quelles sont les pièces à posséder pour un équipement ?
  - Quantitatif : Combien doit-on en mettre en stock ?
- a) Choix qualitatif : Préconisation de la liste de PdR à mettre en stocks à partir du dossier technique équipement (DTE) (dossier constructeur), complété par l'expérience des techniciens, puis optimisé par l'historique des consommations.
- b) Choix quantitatif : Il s'appuie sur l'analyse à partir d'un « modèle poissonien » de la gestion d'un stock de pièces de rechange. Ce modèle est limité aux pièces de rechanges coûteuses).

Caractéristiques :

- Une demande faible et aléatoire (liée au taux ( $\lambda$ ) supposé constant) ;
- Mis en stock en quantité réduite (de 0 à 10) dont la probabilité de consommation annuelle n'est pas nulle ;
- Le coût de rupture de stock est important (lié au coût d'indisponibilité).

### Loi de Poisson :

La probabilité d'avoir  $x$  pièces consommées pendant le délai de réapprovisionnement est donnée par :

$$\text{Prob}(X) = e^{-\lambda} \cdot \frac{\lambda^X}{X!}$$

Avec :

$X$  : est une variable aléatoire discrète (peut prendre les valeurs 0, 1, 2, 3... 10).

$E(x) = m$  : l'espérance mathématique.

$\lambda$  : le taux de défaillance moyen pendant le délai de réapprovisionnement.

## CHAPITRE IV : La gestion de la maintenance assistée par ordinateur (GMAO)

### 1. Introduction

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 un formulaire. Des pannes sont mises en mémoire pour certains équipements (date, temps passé, intervenant, 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.

L'informatisation de la fonction maintenance est un système informatique spécifique à la fonction maintenance, lui permet d'accéder plus rapidement à des informations, à jour, indispensables à son fonctionnement (documentation technique, pièce de rechange, travaux, etc), de disposer de procédures automatisées permettant l'utilisation optimales des ressources disponibles, et en fin d'avoir une approche plus opérationnelle qu'administrative, grâce à la disponibilité d'indicateurs qui conduisent à la mise en place immédiate d'actions correctives.

Il offre ainsi au personnel d'accroître son efficacité, et aux responsables les outils d'aide à la décision.

### 2. Les objectifs d'une GMAO

La GMAO peut être un outil d'aide à la décision permettant de :

- Maîtriser les coûts des installations à maintenir.
- Assurer la pérennité du patrimoine.
- Optimiser les moyens techniques et humains de maintenance.
- Maîtriser la préparation des interventions, leur planification et leurs coûts.
- Optimiser la gestion du stock de pièces de rechange afin de diminuer la valeur de ce stock.
- Tout en maintenant une disponibilité satisfaisante des installations :
- Inventorier les installations techniques et les documenter.
- Fiabiliser les installations par l'analyse du retour d'expérience formalisé et capitalisé, par la décision et l'argumentation de plans d'actions.

### 3. Domaines de la GMAO

La GMAO vise avant tout à améliorer la fiabilité des équipements et à optimiser le budget affecté à la maintenance. En règle générale, les applicatifs couvrent les besoins suivants :

**a) Gestion des équipements** : inventaire, localisation, gestion d'information dédiée par type d'équipement (production, bâtiments, véhicules, réseaux, ordinateurs, etc.)

Pour un suivi adéquat des équipements en général et des machines en particulier les informations suivantes sont à saisir :

- Le classement "suivant l'état" de la machine;
- Le relevé des "unités d'usage" (compteur individuel) ;
- La mesure de la dérive des performances;
- Les résultats des rondes de surveillance ;
- L'historique des défaillances ;
- La liste des rechanges consommés ;
- Les consommations de lubrifiant et d'énergie.

**b) Gestion des activités de la maintenance :** Elle consiste en la gestion des interventions pour raison de maintenance. Elle comprend donc la gestion des opérations Préventives et des opérations Curatives. Pour les opérations préventives, il s'agit, du nettoyage, du graissage, de la lubrification, des contrôles, et des visites. Pour les opérations curatives, il s'agit essentiellement, des dépannages et des réparations. Elle comprend aussi la gestion des autres opérations à savoir: la révision, la rénovation, la reconstruction et la modification.

Chacune des interventions fait l'objet d'un Ordre de Travail (OT). Après intervention et valorisation des Bons de Travaux (BT) où sont saisis les coûts des pièces, des fournitures et de la main-d'œuvre, les analyses de gestion permettront :

- La répartition et l'évolution des activités en temps (heures) ;
  - La répartition et l'évolution des dépenses.
- c) Gestion des stocks :** magasins, quantités minimum ou maximum de réapprovisionnement, listes de sélection, référencement et recherche, articles de rechange, catalogue fournisseurs, etc.
- d) Gestion des achats :** de pièces détachées ou de services (sous-traitance, forfait ou régie), cycle devis / demande d'achat / commande / réception & retour fournisseur, facturation, etc.
- e) Gestion du personnel et planning :** activités, métiers, planning de charge, prévisionnel, pointage des heures, etc.
- f) Gestion des coûts et budget :** de main d'œuvre, de stocks, d'achat, de location de matériel, etc., préparation des budgets, suivi périodique, rapports d'écart, etc.

#### **4. Les démarches pour la mise en place d'une GMAO:**

##### **4.1. Réalisation du cahier des charges (surtout définir le besoin)**

- Volume de l'inventaire Matériels à maintenir et documents d'équipement à informatiser
- Degré de sophistication du logiciel (plus il est performant plus il est complexe à utiliser)

- Statistiques : calculs à réaliser, niveau de diagnostic souhaité, exportation du fichier vers Excel par exemple, etc.
- Personnes qui sont appelées à l'utiliser : situation géographique, niveau en informatique, service de rattachement
- Définir les éditions que l'on souhaite réaliser
- Niveau de complexité de l'environnement industriel: simple ou multi-site, un ou plusieurs magasins, etc.
- Mise en réseau souhaitée (SQL, SAP, etc.)
- Définir le budget à allouer (hard –matériel- et soft –logiciel-, formation, maintenance)
- Définir le temps alloué à la mise en place (installation, formation, soutien extérieur)
- Définir le préventif à suivre (plan de maintenance)
- Définir le suivi Magasin à réaliser
- Définir les documents (et leurs contenus) utiles au déroulement du processus de maintenance (Avis, DT, AT, etc.), y compris sécurité (permis de feu, consignations CO2, etc.)
- Recenser les outils en place (GMAO existante, saisie papier ou Excel des interventions), définir s'il faut les exploiter
- Définir le suivi informatique pour la bonne exploitation du logiciel (mise en place, maintenance hard et soft)
- Définir les moyens de sauvegarde et d'archivage.

#### 4.2. Choix du logiciel

- Développement spécifique ou achat d'un logiciel
- Orientation vers un logiciel ou un ensemble de logiciels (GMAO, graissage, gestion stock) avec les interfaces nécessaires
- Choisir un prestataire de services informatiques si pas de compétences informatiques en interne

#### 4.3. Mise en place

- Installation hard et soft
- Essais

#### 4.4. Formation du personnel

Les formations à prendre en compte sont les suivantes :

- Formation générale à l'informatique (système d'exploitation Windows par exemple)
- Formation spécifique au logiciel
- Remise d'un cours à chaque personne (Veiller à ce que les personnes exploitent leurs nouvelles connaissances très rapidement après la formation, prévoir période d'accompagnement).

#### **4.5. Utilisation / Exploitation de la GMAO**

- Saisie de l'inventaire COMPLET du matériel
- Utilisation de la GMAO :
  - Saisie des Demandes d'Intervention et des Ordres de Travaux
  - Saisie des comptes rendus d'intervention et clôture
  - Saisie des alarmes pour les interventions préventives
  - Autres saisies
  - Réalisation / éditions des statistiques (indicateurs, Pareto, etc...)
  - Archivages/sauvegardes

#### **5. Les avantages et les inconvénients**

##### **a) Les avantages principaux**

- Conserver toutes les informations techniques définissant le matériel de production.
- Conserver et accéder rapidement à tout l'historique des interventions.
- Organiser et faciliter des pièces en stock, connaître leurs caractéristiques savoir sur quels équipements elles sont installées.
- Faciliter la gestion des achats de pièces et leur connaissance (caractéristiques techniques).
- Suivre les dépenses du service.
- Archiver et accéder immédiatement à toute la documentation technique maintenance.

##### **b) Les inconvénients en général**

- Difficultés d'assimilation du programme (temps de fonction).
- Mise en route longue et progressive.
- Temps perdu en saisie (nécessite une grande rigueur dans la saisie quotidienne des informations).
- Participation réelle incompatible avec les exigences de l'informatique (rapidité de réaction, codification, volume d'information à saisir).
- Coût d'investissement élevé et le gain économique incertain.

## Bibliographie

- [1] F. Monchy et J.P. Vernier, maintenance méthodes et organisations, 3<sup>ème</sup> édition. Dunod, Paris, 2010.
  - [2] D. Boitel, et C. Hazard, Guide de la maintenance, Editions NATHAN, 1987.
  - [3] H. Harnoux, Pièces de rechange en maintenance. Editions, Techniques de l'ingénieur (MT 9320), 2004.
  - [4] A. Despujols, Approche fonctionnelle de la maintenance. Editions Techniques de l'ingénieur (h 6610), 2005.
  - [5] J.N. Cuvelette, Maintenance assistée par ordinateur. Editions, Techniques de l'ingénieur (h 6610), 87.
-