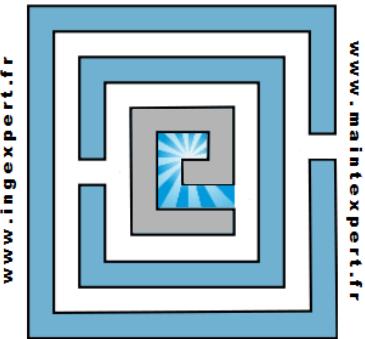


INGEXPERT



Conseil pour le **management** de la **maintenance**

*Conseil, Accompagnement du Management de la
Maintenance industrielle, tertiaire, BTP, transport et biomédicale*

Fiabilisation des équipements

-

Faire évoluer votre maintenance

Ingexpert vous accompagne dans le dédale d'un projet jusqu'à sa réussite :

- le labyrinthe symbolise sa complexité
- au centre se trouve la lumière qui symbolise l'atteinte du résultat



Ce document est téléchargeable sur www.ingexpert.com



Contact :

INGEXPERT INTERNATIONAL

ingexpert.com maroc.ingexpert.com

Tél : +33 (0)4 65 23 01 07

Tél et whatsapp : +33 (0)6 63 32 23 55

Tél Maroc +wp : +212(0)6 19 30 27 51

secretariat@ingexpert.com

SARL au capital de 7.622 euros RCS450502455

N° TVA intracommunautaire : FR 72450502455 0014 Agrément

formation continue N° 93131265913

Ed. : Mai 2013

Table des matières

AVANT PROPOS	6
DEFINITIONS	7
1. Maintenance.....	7
Les types de maintenance	7
2. Maintenance corrective.....	7
3. Maintenance préventive.....	8
3.1 La maintenance systématique.....	8
3.2 La maintenance programmée	9
3.3 Le matériel sous surveillance	9
3.4 Définir et appliquer la maintenance préventive	10
4. Maintenabilité.....	13
5. Fiabilité.....	13
6. Disponibilité	13
Exemple :	14
7. Objectifs de maintenance.....	15
LES INDICATEURS	16
A - Exemple d'indicateurs techniques	16
B - Les indicateurs financiers et de gestion.....	17
Coût de la maintenance.....	17
Coût de la maintenance dans le coût ajouté du site	17
Comparaison économique et sociale	17
C - Tableau de bord	17
MANAGEMENT - LES HOMMES DE LA MAINTENANCE	18
A - La maintenance requiert de la polyvalence	18
B - Maintenance dans l'organigramme	18
C - Motivation du personnel	19
Mise en place d'un cahier d'idée à l'atelier.....	19
Motivation par l'argent.....	19
D - Mauvaises habitudes	19
E - Management du personnel.....	20
PROCESSUS MAINTENANCE	21
A - Préparation	21
B - Ordonnancement.....	21
C - Méthodes	22
D - Les étapes de l'intervention de maintenance.....	22
PROCESSUS TOURNE VERS L'AMELIORATION	24
A - La mission de progrès de la maintenance.....	24
LES 5 NIVEAUX DE LA MAINTENANCE	26
1er niveau de maintenance	26
2ème niveau de maintenance.....	26
3ème niveau de maintenance.....	26
4ème niveau de maintenance.....	26

5ème niveau de maintenance	26
GMAO	28
A - Des questions à se poser :	28
B - Le plan de maintenance	28
C - Les démarches pour la mise en place d'une GMAO:.....	29
I - Réalisation du cahier des charges (surtout définir le besoin)	29
II - Choix du logiciel	29
III - Mise en place.....	29
IV - Formation du personnel	30
V - Utilisation / Exploitation de la GMAO	30
LES EQUIPEMENTS	31
A - DTE : Dossier Technique Equipement	31
B - Comment localiser les équipements critiques ?	31
I - Le diagramme de Pareto.....	33
II - Criticité des équipements	34
C - Analyse des défaillances	35
1 - Les causes des défaillances :	35
2 - Les modes de défaillance	36
D - Plan de fiabilité.....	37
DEMARCHES, METHODES ET OUTILS	38
A – Présentation	38
B – Cas particulier de la TPM	41
1 – Auto-maintenance :	41
2 - TRS :	41
3 - 5S :	42
C – Cas particulier de l'AMDEC	42
D – Critiques des démarches et méthodes	44
D - Outils et techniques évoluées	45
FIABILITE - COMPORTEMENT DU MATERIEL, DEFAILLANCE, PROBABILITES	46
A - MTBF.....	46
B - Taux de défaillance	47
C - Fiabilité	48
D - Disponibilité.....	49
E - La maîtrise de l'efficience	50
F - Sûreté de fonctionnement.....	50
CONTRATS DE SOUS-TRAITANCE, EXTERNALISATION	51
A - Pourquoi sous-traiter ?	51
B - Les différentes formes de sous-traitance et leurs rémunérations	51
I - Les formes de sous-traitance	51
II - Contrat de moyen ou de résultat ?	52
III - Un exemple de rémunération "mixte", le cas du "cost and fee" :	52
C - Cas particulier: le contrat de maintenance au forfait	52
I - Le contenu du contrat.....	53
II - Eviter certains pièges lors de la rédaction.....	53
III - Les étapes de l'élaboration d'un contrat.....	53
IV - Planification de la rédaction d'un contrat et démarrage du contrat	54
V - Les lacunes d'un encadrement par une société de conseil.....	54
D - Jusqu' "où" sous-traiter l'activité de maintenance ?	54
D - Le nombre de contrats de sous-traitance la globalisation	55
E - Le démarrage d'un contrat : période délicate	55

GESTION DE STOCK	57
A - Choix d'une méthode d'approvisionnement :	57
B - Liste des équipements	57
C - Stock minimum / réapprovisionnement	58
1. Loi de poisson	58
2. Méthode du point de commande	58
D - Choix d'un fournisseur :	58
E - Coût d'un équipement	58
F - Quantité économique de commande	59
G - Magasin.....	59
H - Valorisation du stock :.....	60
I - Inventaire	60
J - Les ratios en rapport avec la gestion de stock	60
LES EQUILIBRES DE LA MAINTENANCE	62
A - Equilibre maintenance préventive / corrective	62
B - Equilibre en matière de préparation des travaux	62
C - Niveau de stock.....	63
LCC.....	64
A - Définition	64
B - Programme de maintenance basée sur le LCC	65
C - Quelques chiffres	65
PLAN DE MAINTENANCE	66
A - Définition selon la norme NF EN 13306	66
B - Application pratique	66

AVANT PROPOS

Ce recueil a pour but d'aider les interlocuteurs de la maintenance dans la mission de maintien de leurs équipements dans un état souhaité.

Il représente une première approche de la conceptualisation de leur métier en vue de la rationalisation souhaitée.

Des exemples simples agrémentent des présentations succinctes.

La société Ingexpert est à votre disposition pour approfondir chacun des sujets en les appliquant au cas particulier de chaque contexte industriel et tertiaire.

Toute reproduction, même partielle, doit être soumise à l'autorisation d'INGEXPERT

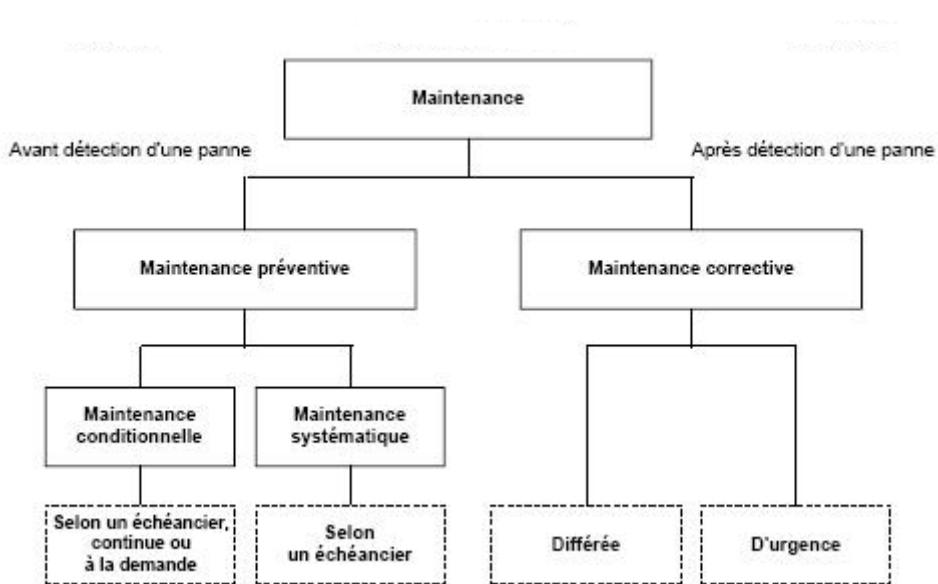
DEFINITIONS

1. Maintenance

(extraits de la norme européenne NF EN 13306 X 60-319 de 2010)

« 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 »

Les types de maintenance



Attention, la norme NFX 60-010 n'existe plus puisque la terminologie est maintenant européenne. Certaines définitions, non reprises au niveau européen, comme les 5 niveaux de maintenance par exemple jusqu'en 2010, se retrouvent dans la norme FD X60-000 de mai 2002.

2. Maintenance corrective

(extrait norme NF EN 13306 X 60-319)

« Maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise »

3. Maintenance préventive

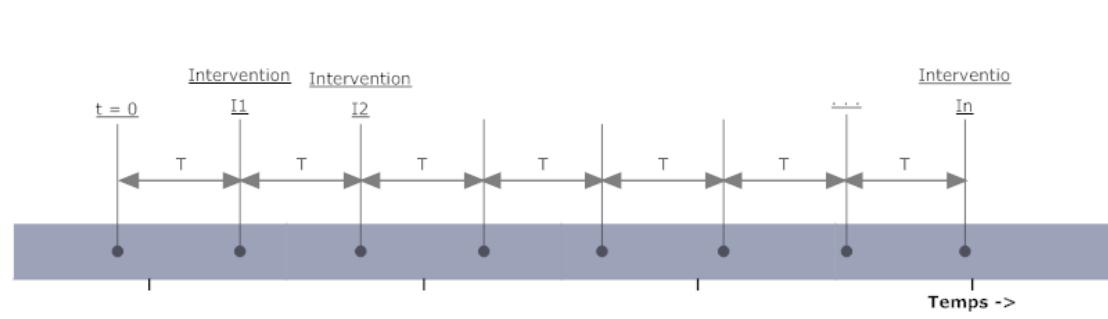
(extraits norme NF EN 13306 X 60-319)

« 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 »

Cette définition est générale : l'objectif de la maintenance préventive est d'éviter les pannes.

3.1 La maintenance systématique

« Maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien »



Problématique

Tout le problème est de déterminer T. La période T doit être définie en fonction du risque de panne MTBF = Moyenne des temps de bon fonctionnement.

On a Intervalle de maintenance :

$$I(n) - I(n-1) = k \cdot MTBF \quad (k \text{ étant } < 0)$$

Aides à la détermination de T

- Simulation économique
- Loi de Weibull et abaque d'optimisation

Approche modulaire des équipements

Un équipement est modélisé par des modules. Il est ainsi constitué de plusieurs modules.

On a :

$$MTBF(\text{module}) = MTBF(\text{composant le plus fragile})$$

Pour augmenter T, il faut que les MTBF de tous les composants soient identiques : homogénéisation des durées de vie (fiabiliser les composants les plus fragiles) et éventuellement réduire la durée de vie

d'autres composants pour faire des économies). Tous les T on remplace ainsi le module tout entier et non juste un composant qui « possède un T inférieur ». De plus, pour changer un module complet il faut moins de compétences que pour changer un composant du module.

3.2 La maintenance programmée

« Maintenance préventive exécutée selon un calendrier préétabli ou selon un nombre défini d'unités d'usage »

3.3 Le matériel sous surveillance

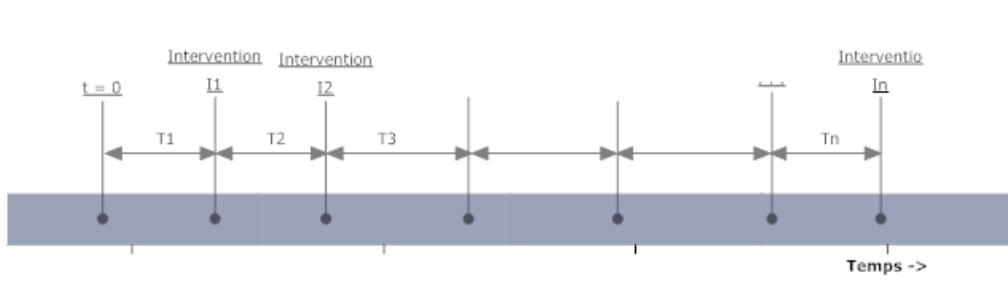
Par observation visuelle, contact mécanique (vibration, qualité de l'huile, analyse non destructive...) ou par retour d'information électronique (alarmes, électronique, retour défauts sur régime de neutre, etc.) vous pouvez anticiper une intervention de maintenance. Vous intervenez afin d'éviter de subir une panne.

Exemples :

- Analyse vibratoire - pour machines tournantes ;
- Analyse thermique - pour les armoires électriques ;
- Mesure de débit - pour remplacement de filtres ;
- Rondes - contrôles visuels ou techniques simples.

3.3.1 Maintenance conditionnelle

« Maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent »



3.3.2 Maintenance prévisionnelle

« Maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien »

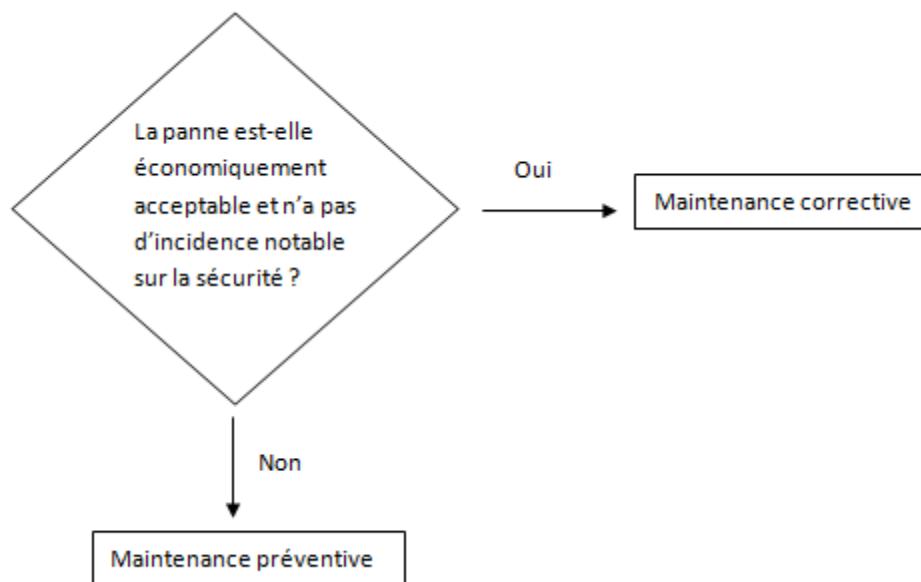
3.4 Définir et appliquer la maintenance préventive

3.4.1 Pourquoi développer un programme de maintenance préventive ?

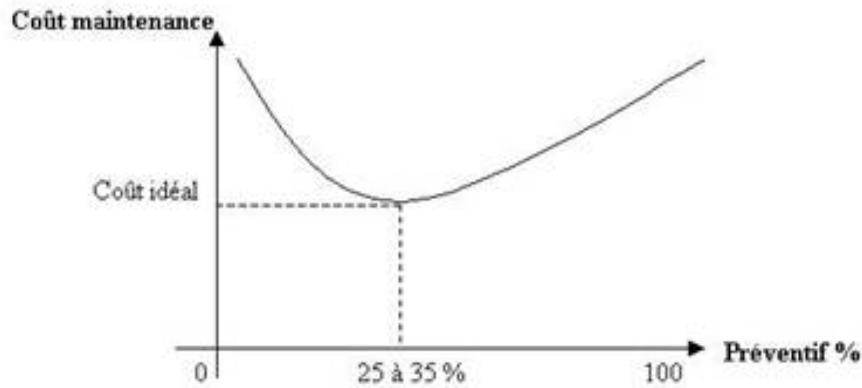
Pour respecter des objectifs :

- de fiabilité et de disponibilité ;
- de sécurité, d'hygiène ;
- d'environnement ;
- de contraintes réglementaires ;
- de coûts ;
- etc.

Cas de la maintenance préventive définie pour maîtriser les coûts d'exploitation et de maintenance tout en respectant la sécurité :



- o Vulgarisation : Coût défaillance > Coût intervention préventive
 - Mais attention aux pertes liées à l'arrêt du bien.
- o Equilibre financier maintenance préventive / maintenance corrective d'un ensemble de biens :



Attention: trop de maintenance préventive n'est souvent pas économiquement viable. Chaque service maintenance doit trouver le niveau à atteindre (par exemple 30%).

On étudiera en premier les biens jugés critiques pour savoir s'il faut leur appliquer de la maintenance préventive.

3.4.2 Comment définir la maintenance préventive ?

La maintenance préventive est définie à partir :

- Des historiques de maintenance (voir GMAO) ;
- Des données des constructeurs ;
- De la connaissance des techniciens ;
- De raisonnements structurés (AMDEC, ingénierie, 5 pourquoi, ...) ;
- De façon empirique, par tâtonnements ;
- Des redondances d'équipements ;
- Etc..

3.4.3 Plan de maintenance préventive

La mise en place de la maintenance préventive est concrétisée par le « Plan de maintenance »*, saisi le plus souvent dans la GMAO*.

*Voir définitions à la suite

3.4.4 Interventions de maintenance préventive

Elle peut se faire équipements à l'arrêt ou en marche.

Attention à ce que la maintenance préventive soit bien comprise et qu'ainsi les équipements soient mis à disposition comme programmé.

Automaintenance : maintenance préventive faite par les utilisateurs des équipements.

La maintenance préventive s'appuie idéalement sur des modes opératoires.

La maintenance préventive se sous-traite très facilement.

4. Maintenabilité

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

(*extrait norme NF EN 13306 X 60-319*)

C'est la probabilité que la maintenance d'un système S accomplie dans des conditions données, soit effectué sur l'intervalle $[0, t]$ sachant qu'il est défaillant à l'instant $t = 0$.

$$M(t) = P \{ S \text{ est réparé sur l'intervalle } [0, t] \}$$

La maintenabilité est conditionnée par la conception de l'équipement :

- Outils nécessaires au diagnostic de la panne incorporés ou non et à la réparation (dont dispositif de Maintenance conditionnelle)
- Contrôle du bon fonctionnement (points de mesure, afficheurs, etc.)
- Documentation appropriée (dont modes opératoires)
- Réparation ou mesure en marche (isoler certains circuits, etc.)
- Accessibilité, démontabilité (détrompeur, repérage, outils communs), interchangeabilité
- Manutention simple (potence intégrée, rails, etc.)
- etc.

5. Fiabilité

« Aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, durant un intervalle de temps donné »

(*extrait norme NF EN 13306 X 60-319*)

$$R(t) = P \{ S \text{ non défaillant sur l'intervalle } [0, t] \}$$

6. 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*)

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

$$\text{Disponibilité} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

L'AMDEC est sûrement la méthodologie la plus directe pour augmenter la disponibilité d'une ligne d'équipements.

1. Disponibilité d'une ligne d'équipements sans stockage intermédiaire

Di étant la disponibilité de chaque équipement constituant la ligne :

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

Exemple :

Trois équipements en série ont les historiques permettant de déterminer les caractéristiques de disponibilité suivantes :

	MTBF	MTTR
Equipement 1	210 h	3 h
Equipement 2	350 h	4 h
Equipement 3	150 h	1 h

Le système composé des trois équipements a une disponibilité :

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

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

$$D = 0,969$$

Remarque :

Les disponibilités individuelles sont supérieures :

- D1 = 0,986
- D2 = 0,989
- D3 = 0,993

2. Disponibilité d'une ligne d'équipements avec stockage intermédiaire

Di étant la disponibilité de chaque équipement constituant la ligne :

Disponibilité d'une ligne = mini (D1, D2, ..., Dn)

7. Objectifs de maintenance

Les services de maintenance doivent définir leurs objectifs qui doivent correspondre à la politique de leur entreprise. Les objectifs peuvent toucher tous les aspects du management avec les précisions d'échéance :

- Financier
- Technique
- Humain

LES INDICATEURS

Il existe un nombre sans fin d'indicateurs. Vous trouverez ici quelques-uns d'entre eux mais attention ils ne sont pas assurément représentatifs des indicateurs primordiaux. Il n'existe pas d'indicateur à tout faire ou encore d'indicateurs miracles. Chaque service Maintenance doit trouver les indicateurs qui lui conviennent.

Pour qu'un indicateur soit significatif et exploitable, il faut que les valeurs utilisées qui le composent soient mesurables, définies avec précision, et qu'elles aient des bases homogènes (ex : périodes de référence).

Le choix de l'indicateur dépend de l'utilisation que l'on veut faire des informations, et appartient à chaque responsable.

Il doit permettre de contrôler et de vérifier :

- l'atteinte des objectifs
- le bon fonctionnement du processus

Pourquoi ne pas mettre en place ponctuellement et pour une période limitée, des indicateurs spécifiques destinés à mesurer un aspect particulier du processus Maintenance.

Bien souvent on s'aperçoit qu'un seul indicateur n'est pas suffisant pour interpréter une situation : il faut qu'il soit complété d'indicateurs complémentaires.

Enfin, bien souvent, plus que la valeur nette de l'indicateur, c'est la variation de celui-ci au travers du temps qui est intéressante.

Il existe une norme française traitant des indicateurs : XP X 60 020. Une norme européenne tarde à venir.

A - Exemple d'indicateurs techniques

Voici quelques indicateurs techniques de premier plan.

- TRS ;
- MTBF ;
- MTTR ;
- Taux de maintenance préventive ;
- Taux de rupture de stock.

B - Les indicateurs financiers et de gestion

Les indicateurs financiers d'un service Maintenance sont fonction des objectifs ou éventuellement destinés au benchmark avec d'autres sites de la même société par exemple.

Coût de la maintenance

Le suivi du coût de maintenance peut être très utile. La principale difficulté étant de déterminer les coûts qui vont constituer le coût global. Aussi, une fois la règle définie, il est surtout intéressant de suivre l'évolution du coût de Maintenance à moins qu'il ne soit surtout destiné à comparer des maintenances de sites entre eux.

Coût de la maintenance dans le coût ajouté du site

Si l'on estime que l'analyse du coût de maintenance seul n'est pas assez révélatrice de son activité, car par exemple trop variable en fonction de l'activité des équipements qu'elle doit maintenir, il peut être intéressant de suivre le coût de la maintenance dans le coût ajouté du site. C'est assurément un bon outil de benchmark, pour des maintenances comparables.

Comparaison économique et sociale

Il peut également être intéressant de suivre l'écart entre les implications économiques et sociales. Mais attention à bien affecter les dépenses au bon indicateur, comme par exemple, il ne faut pas comptabiliser les heures de main d'œuvre traitées en coût mais bien en effectif.

C - Tableau de bord

Un tableau de bord reprend les valeurs réelles d'indicateurs et les compare à des références. Cet outil est particulièrement adapté au travail en groupe. Les écarts mesurés par le tableau de bord seront analysés et sources de la démarche Amélioration.

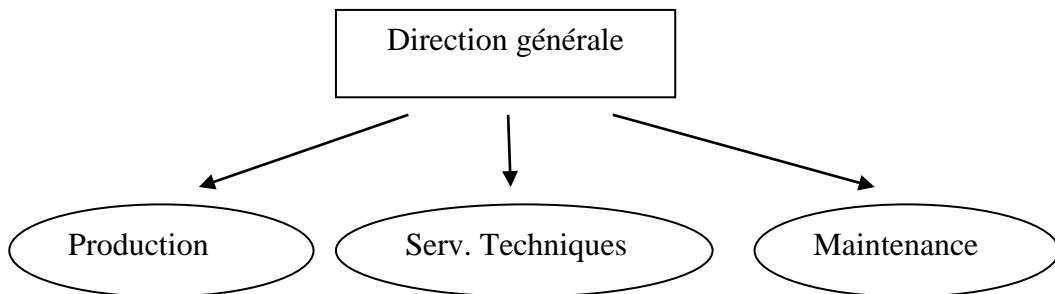
MANAGEMENT - LES HOMMES DE LA MAINTENANCE

A - La maintenance requiert de la polyvalence

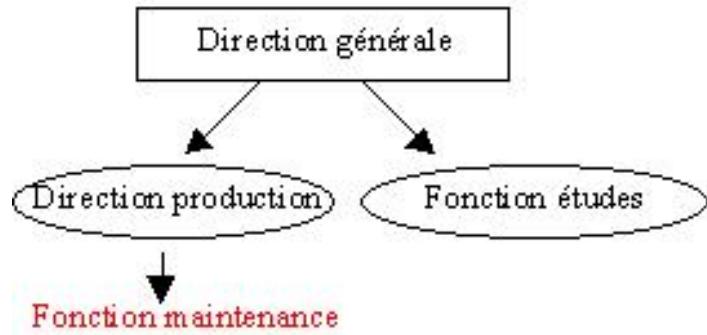
Le groupe constituant le service Maintenance a des compétences techniques diverses, la complémentarité permet de résoudre des problèmes d'origines diverses.

Métier « ingrat » : la panne évitée par la maintenance ne vaudra pas de remerciements puisqu'elle n'a pas existée, par contre la panne réelle vaudra des critiques.

B - Maintenance dans l'organigramme



Il n'y a pas d'organigramme type, toutefois cet organigramme est peut-être à privilégier par rapport à celui qui suit. Il est peut-être plus adapté aux petites sociétés (permet d'avoir une personne forte "généraliste"), mais ne permet pas de suivre une maintenance efficace. Production et maintenance ont des intérêts totalement différents, il faut bien souvent un arbitre pour séparer les budgets, les ressources humaines (la production et la maintenance ont deux façons différentes de vivre l'entreprise). Mais bien entendu tout dépend des hommes en place.



C - Motivation du personnel

Mise en place d'un cahier d'idée à l'atelier

Demander aux intervenants Maintenance de retranscrire leurs idées afin de rendre ces derniers « moteurs » d'une démarche de progrès.

Date	Nom	Matériel	Idée	Suite donnée

Le responsable Maintenance veillera à ce que la colonne « Suite donnée » soit bien remplie afin que la motivation entoure le cahier.

Motivation par l'argent

A éviter car une prime risque de devenir « normale » et perd de son effet : le pourquoi est vite oublié.

D - Mauvaises habitudes

L'opérateur de maintenance qui a de l'expérience mais manque de méthodologie à tendance à faire correspondre à un symptôme une cause de panne connue. Cette association le gênera dans l'identification de nouvelles pannes : il risque de faire de mauvais diagnostics.

E - Management du personnel

Il faut définir le profil de chaque intervenant Maintenance. Pour cela, s'appuyer sur une schématisation du type :

Niveaux d'intervention					
Domaine technique	Mécanique	Electricité	Pneumatique	Automatisme	Régulation

Le plan de formation sera déduit des objectifs fixés à la lecture de cette schématisation.

Rem. : cette démarche minimale est obligatoire dans le cadre de l'ISO.

PROCESSUS MAINTENANCE

Le processus Maintenance est constitué de différentes fonctions qui peuvent être :

- Préparation
- Réalisation travaux maintenance
- Ordonnancement
- Méthodes
- Achats
- Gestion de stock - Magasin

Nous abordons certaines fonctions à la suite.

A - Préparation

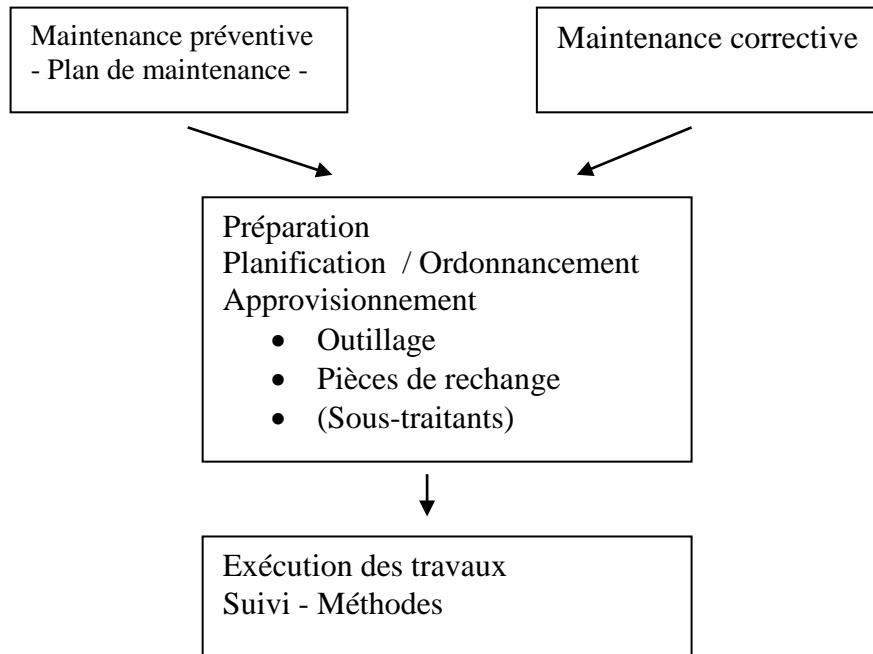
La préparation des travaux nécessite le plus de rigueur possible dans la collecte des informations pour définir le triplet « symptôme, cause et remède de panne ». Les informations peuvent être collectées par plusieurs intervenants avec pour support la GMAO mais nécessitent toujours rigueur et objectivité.

Analyse de panne : l'application d'une méthodologie d'analyse de panne est conseillée pour diminuer le temps de réparation : une procédure basée éventuellement sur une méthodologie (5 pourquoi, QQOQCCP) est préconisée.

B - Ordonnancement

La fonction d'ordonnancement permet d'organiser le travail à réaliser :

- prévoir la chronologie du déroulement des différentes tâches de maintenance,
- optimiser les moyens nécessaires en fonction des délais,
- ajuster la charge,
- contrôler l'avancement et la fin des travaux,
- analyser les écarts entre les prévisions et les réalisations,
- avoir une vision à long terme (plan de charge annuel), à moyen terme et à court terme.



C - Méthodes

Le service méthodes assure la réflexion du fonctionnement du service maintenance sur la base de ses résultats de fonctionnement (documents, actions de maintenance). Le but est d'assurer l'efficience de la maintenance, son amélioration en pérennisant les outils et les démarches et en mettant au point des améliorations:

- les mesurer ;
- les analyser ;
- les critiquer ;
- les améliorer.

D - Les étapes de l'intervention de maintenance

Documents jalonnant le processus d'intervention de maintenance :

Emis par	Type de document	Noms constatés
Fabrication	Technique	Avis / DI
Agent de maintenance	Technique	OT / DT
Agent de maintenance	Sécurité	AT / BT
Méthodiste / Préparateur	Magasin	BSM
Méthodiste / Préparateur	Achat	DA

Glossaire :

DT	Demande de Travail
OT	Ordre de Travail
BT	Bon de Travail
DA	Demande d'Achat
BSM	Bon de Sortie Magasin
BOP	BOrdereau Point

PROCESSUS TOURNE VERS L'AMELIORATION

Il est très important d'orienter le processus vers le progrès. Cette terminologie de progrès, spécifique à la maintenance, revêt l'obligation d'amélioration au sens de la norme ISO 9001.

Il existe un cheminement très général pour assurer le progrès de la maintenance. La mise à jour du processus de maintenance fait d'ailleurs partie de cette mission.

Le but de ce chapitre n'est pas de fournir un processus universel de maintenance, ni même d'être exhaustif dans la définition des missions.

A - La mission de progrès de la maintenance

Vous trouverez à la suite une bonne partie des missions qui doivent jalonner votre processus de maintenance. Générer une dynamique de progrès, c'est aborder les points suivants et les remettre en question en permanence.

Méthodes - Documentation de base	
<ul style="list-style-type: none"> • Documentation technique (DTE) • Equipements critiques • Performances requises • Disponibilités requises • Schémas installations 	
Politique	
<ul style="list-style-type: none"> • Plan de maintenance • Gammes, BOP, Préparation • Atelier • Motivation • GMAO • Valeur indicateurs • Actions sécurité • Fiches de fonction 	
Ordonnancement / Préparation	
<ul style="list-style-type: none"> • Planning – plan de charge (Prestataire) • Moyens internes, externes et matériels • Diagnostic des pannes • Préparation des travaux • Programmation des arrêts 	Progrès
Gestion matériel et PdR	<ul style="list-style-type: none"> • Achat • Gestion de stock • Magasin • Outilage
Travaux	<ul style="list-style-type: none"> • Améliorations • Modifications
Suivi des contrats de sous-traitance	<ul style="list-style-type: none"> • Lancement travaux • Réalisation travaux correctifs • Réalisation travaux préventifs • Heures supplémentaires - Astreintes
Retour d'expérience - Méthodes	<ul style="list-style-type: none"> • Pointage / paiement • Comptabilité / gestion • Plan qualité • Rapports techniques • Suivi des délais

LES 5 NIVEAUX DE LA MAINTENANCE

Les interventions de maintenance peuvent être classées par ordre croissant de complexité (selon norme X60-000 de 2002) :

1er niveau de maintenance

Actions simples nécessaires à l'exploitation et réalisées sur des éléments facilement accessibles en toute sécurité à l'aide d'équipements de soutien intégrés au bien. Ce type d'opération peut être effectué par l'utilisateur du bien avec, le cas échéant, les équipements de soutien intégrés au bien et à l'aide des instructions d'utilisation.

2ème niveau de maintenance

Actions qui nécessitent des procédures simples et/ou des équipements de soutien (intégrés au bien ou extérieurs) d'utilisation ou de mise en œuvre simple.

Ce type d'actions de maintenance est effectué par un personnel qualifié avec les procédures détaillées et les équipements de soutien définis dans les instructions de maintenance.

Un personnel est qualifié lorsqu'il a reçu une formation lui permettant de travailler en sécurité sur un bien présentant certains risques potentiels, et est reconnu apte pour l'exécution des travaux qui lui sont confiés, compte tenu de ses connaissances et de ses aptitudes.

3ème niveau de maintenance

Opérations qui nécessitent des procédures complexes et/ou des équipements de soutien portatifs, d'utilisation ou de mise en œuvre complexes.

Ce type d'opération de maintenance peut être effectué par un technicien qualifié, à l'aide de procédures détaillées et des équipements de soutien prévus dans les instructions de maintenance.

4ème niveau de maintenance

Opérations dont les procédures impliquent la maîtrise d'une technique ou technologie particulière et/ou la mise en œuvre d'équipements de soutien spécialisés.

Ce type d'opération de maintenance est effectué par un technicien ou une équipe spécialisée à l'aide de toutes instructions de maintenance générales ou particulières.

5ème niveau de maintenance

Opérations dont les procédures impliquent un savoir-faire, faisant appel à des techniques ou technologies particulières, des processus et/ou des équipements de soutien industriels.

Par définition, ce type d'opérations de maintenance (rénovation, reconstruction, etc.) est effectué par le constructeur ou par un service ou société spécialisée avec des équipements de soutien définis par le constructeur et donc proches de la fabrication du bien concerné.

GMAO

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.

A - Des questions à se poser :

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 ?
- Etc.

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 naîtront la définition de la GMAO, qui sera traduite en cahier des charges destiné à l'acquisition de l'outil approprié.

B - Le plan de maintenance

Le plan de maintenance regroupe les intentions d'intervention de maintenance préventive (et non corrective au sens de la normalisation). Il est maintenant couramment intégré à la GMAO. Ainsi ce qui est planifié est rappelé par la GMAO (alarmes). Aux opérateurs ensuite de renseigner la GMAO de ce qui a été découvert sur le terrain et de ce qui a été réellement fait.

C - Les démarches pour la mise en place d'une GMAO:

I - 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

II - 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

III - Mise en place

- Installation hard et soft
- Essais

IV - 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

V - Utilisation / Exploitation de la GMAO

Au préalable:

- 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

LES EQUIPEMENTS

A - DTE : Dossier Technique Equipment

Dossier destiné aux intervenants techniques dans le cadre de leur métier (maintenance, méthodes, BE, etc.)

Dossier papier qui est toutefois de plus en plus informatisé (schémas type PID - Autocad, dossier constructeur - pdf, plan de maintenance dans la GMAO). On y retrouve principalement :

- Dossier technique (caractéristiques de l'équipement)
 - Dossier constructeur
 - documents achats dont cahier des charges,
 - caractéristiques techniques,
 - factures pour la garantie,
 - coordonnées SAV,
 - catalogue des pièces détachées
 - liste des pièces critiques avec référence et leur coût,
 - plans de toutes sortes (ensemble, détail, montage/installation, vues éclatées) et schémas (fonctionnels, techniques)
 - le mode d'emploi,
 - les notes d'entretien,
 - matériel de maintenance préconisé
 - équipements d'intervention et de mesure
 - liste des outillages spéciaux
 - listings des programmes
 - automates
 - informatiques
 - Gammes et modes opératoires
 - Check-lists
- Dossier historique (carnet de santé de l'équipement)
 - Dossier interne tenu à jour par la maintenance (historique des modifications, OT, rapports d'expertise, etc)
 - Plan de maintenance

Le dossier sera établi et classé selon les procédures en vigueur. Il est tenu à jour.

Rappel : il est intéressant de faire une approche modulaire des équipements pour monter le dossier.

B - Comment localiser les équipements critiques ?

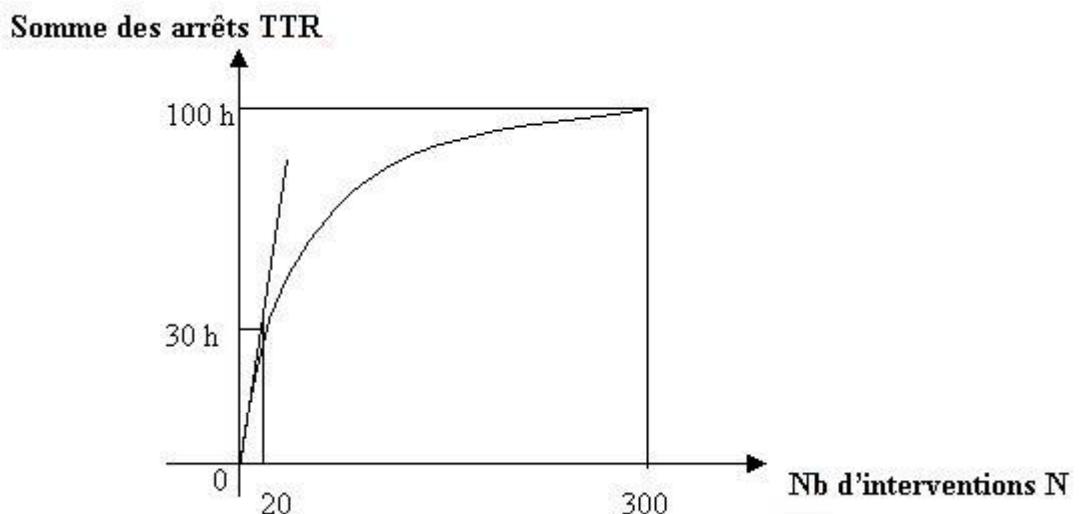
La notion d'équipement critique est primordiale dans l'activité de maintenance. C'est un critère très puissant qui sera utilisé très souvent, puisqu'une attention toute particulière sera accordée à ces équipements.

Pour déterminer la criticité d'un équipement, un certain nombre d'outils sont à votre disposition. Tous partent de l'exploitation de l'historique de maintenance (voir GMAO).

I - Le diagramme de Pareto

Le diagramme de Pareto permet de localiser rapidement les équipements qui tombent le plus souvent en panne. L'analyse est réalisée en exploitant directement les temps de panne des équipements qui peuvent être issus de la GMAO.

Le diagramme de Pareto appliqué à la maintenance peut par exemple correspondre à la courbe du total des temps d'arrêts en fonction du nombre d'interventions. Les interventions les plus longues sont représentées les premières.



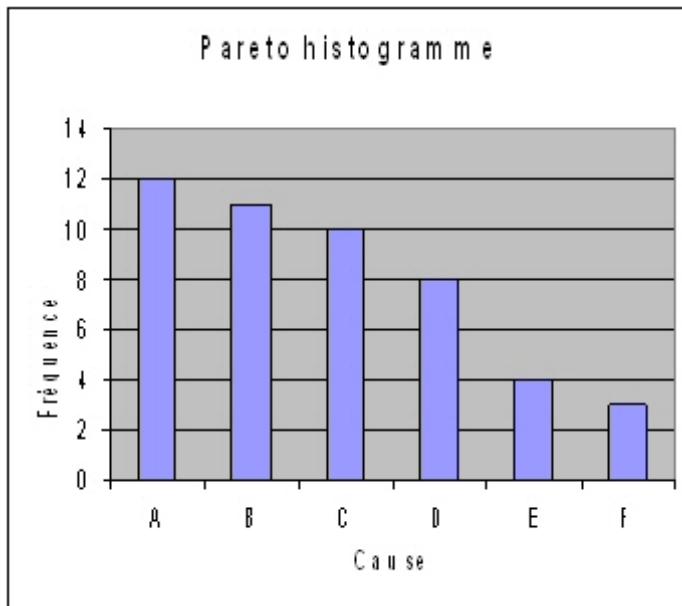
Cela permet de s'apercevoir que 6,7% des interventions représentent 30% des heures d'arrêt.

La méthode ABC de Pareto

Exploitez votre historique de maintenance pour dégager des valeurs du type :

- A : 20% des temps d'arrêts de maintenance sont dus à des casses garnitures
- B : 12% des temps d'arrêts de maintenance sont dus à des arrêts d'électrovannes
- C : 7% des temps d'arrêts de maintenance sont dus à des arrêts d'automates

Exemple d'histogramme de Pareto



II - Criticité des équipements

La criticité des équipements peut être définie précisément par notation. La méthode est longue puisqu'il faut énumérer chaque équipement. Elle peut s'avérer nécessaire quand les historiques de panne ne sont pas disponibles.

Le groupe de travail chargé de la notation doit avoir la même composition (pour que la notation demeure homogène) et sera idéalement composé de personnes issues de services différents mais concernés par les arrêts (maintenance, production, méthodes, achats, etc.)

Le groupe de travail pourra utiliser la grille de notation suivante :

Critères		Poids				
		0	1	2	3	4
	P – Incidence panne	Répercussions graves sur la qualité et/ou l'environnement	Répercussions sur la qualité avec génération de rebuts	Retouches possibles	-	Aucune répercussion sur la sécurité et qualité
	I – Importance	Stratégie par le délestage sur une autre machine, pas de sous-traitance possible	Important : pas de délestage sur autre machine mais sous-traitance possible	Primaire : délestage sur autre machine et sous-traitance possible	Secondaire	De secours
	E – Etat	A réformer	A rénover	Mauvais état	Bon état	Neuf
	U – Taux d'utilisation	Saturé (100%)	Fort	Moyen	Fiable	Très faible

La criticité CR va se déterminer équipement par équipement en multipliant entre elles les valeurs de critère :

$$CR = P \times I \times E \times U$$

C - Analyse des défaillances

Après localisation des équipements critiques, il peut être judicieux d'entreprendre une analyse des défaillances de ses équipements. Cette démarche nous fait accéder à une maintenance « proactive » : démarche de progrès, les défaillances deviennent source de profit si elles sont correctement exploitées. Pour cela on entreprend un diagnostic dont on définit l'étendue (équipement étudié). Cette étude se fait au calme loin de la maintenance journalière. Elle va regrouper les personnes susceptibles d'apporter des informations sur la défaillance traitée (fabricants, BE, opérateurs, experts, etc.) via une AMDEC par exemple.

La norme X60-011 propose des familles pour regrouper les défaillances.

1 - Les causes des défaillances :

Les causes de défaillance sont intrinsèques (inhérentes) ou extrinsèques :

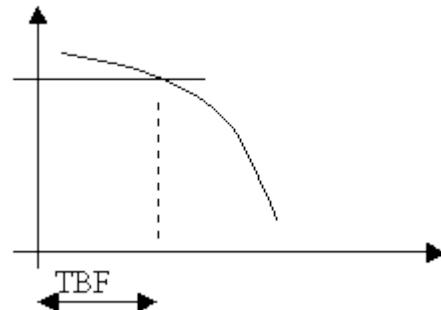
- Défaillance de conception
- Défaillance des composants

- Défaillance de fabrication
- Défaillance de montage
- Défaillance à l'utilisation

2 - Les modes de défaillance

Les modes de défaillance sont de deux types:

Défaillance progressive

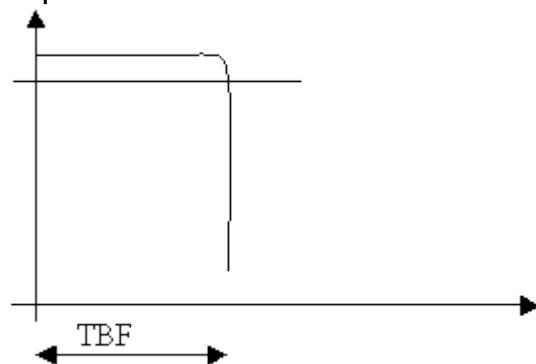


Le TBF s'arrête dès que l'on passe en dessous du « Seuil de la perte de la fonction requise ».

Exemple : appareil qui rouille.

Maintenance appliquée : maintenance conditionnelle ou prévisionnelle (surveillance d'un paramètre).

Défaillance brusque



Exemple : soupape.

Maintenance appliquée : maintenance systématique (bien connaître le TBF)

Remarque

Le mode de défaillance est exploité dans les études AMDEC et à cette occasion on utilise les modes de défaillance suivants :

- perte de la fonction
- fonctionnement intempestif
- refus de s'arrêter
- refus de démarrer
- fonctionnement dégradé

D - Plan de fiabilité

L'étude des défaillances doit déboucher sur la mise à jour (ou la création) d'un plan de fiabilité : il se traduira dans le plan de maintenance. Ce plan doit permettre de faire coïncider « Fiabilité prévisionnelle » et « Fiabilité opérationnelle ».

On notera que l'être humain est considéré comme environ deux fois moins fiable qu'un équipement mécanique.

DEMARCHES, METHODES ET OUTILS

Il est parfois difficile de se mettre d'accord sur le partage des méthodes et outils. Voici une proposition de classement des méthodes, outils et démarches pouvant être utilisés en maintenance ou ayant un lien direct avec la maintenance.

Démarche de management	Méthodes	Outils
TPM (dont automaintenance)	PDCA (Roue de Deming)	5 M ou arbre des causes d'Ishikawa ou arêtes de poisson
5S	MBF	QOQCCP
Kaizen	Kanban	Poka Yoke (détrompeur)
	Ingénierie	Pareto ou analyse ABC
	Hoshin	5 pourquoi
	Benchmarking	AMDEC
	MERIDE	Brainstorming

Par exemple la méthode SMED n'est pas abordée ici. C'est notamment parce que son application est quasiment réservée à la gestion de la production.

A – Présentation

- **AMDEC** : Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité
- **MBF** : Maintenance Basée sur la Fiabilité. Correspond à l'application en France de la RCM Reliability Centered Maintenance développée aux Etats-Unis.
 - MBF = AMDEC + Organisation de la maintenance
- **Benchmarking** : Moyen de comparaison quantitatif et/ou qualitatif de performances avec un référentiel (les définitions rencontrées sont très variables, elles se veulent très restrictives ou très ouvertes selon les ouvrages). Le but est clair: le benchmarking permet de mettre en perspective des axes d'améliorations.
- **PDCA** (dite Roue de Deming) : C'est une démarche d'anticipation et un moyen de piloter efficacement des projets importants pour l'entreprise.
 - Plan/Prévoir
 - Do/Faire
 - Check/Vérifier
 - Act/Réagir
- **HOSHIN** : système de management qui permet de concentrer tous ses efforts et toutes ses ressources dans la réalisation rapide d'un objectif.

- **Brainstorming** (remue-méninges) : a pour but de produire un grand nombre d'idées sur un thème donné. Il favorise la créativité des participants et permet de faire surgir des idées nouvelles.
- **Diagramme de Pareto ou analyse ABC** (exploitation des relevés de défaillance) : permet d'orienter la politique de maintenance à mettre en œuvre. Le but est de faire apparaître les priorités, de faire le tour d'un problème ou d'une situation (résolution de problème en groupe de travail).
- **Diagramme d'Ishikawa** (diagramme causes/effets) encore appelé « Diagramme en arêtes de poisson » ou « Méthodes des 5 M »
 - o Méthodes,
 - o Milieu,
 - o Matière,
 - o Maintenance ou Main d'œuvre,
 - o Moyens ou Machines »

dont le but est de formuler collectivement les causes d'un problème, de déterminer avec précision les situations à problèmes, puis de lister toutes les causes pour ensuite les classer en famille afin de les positionner sur le diagramme.

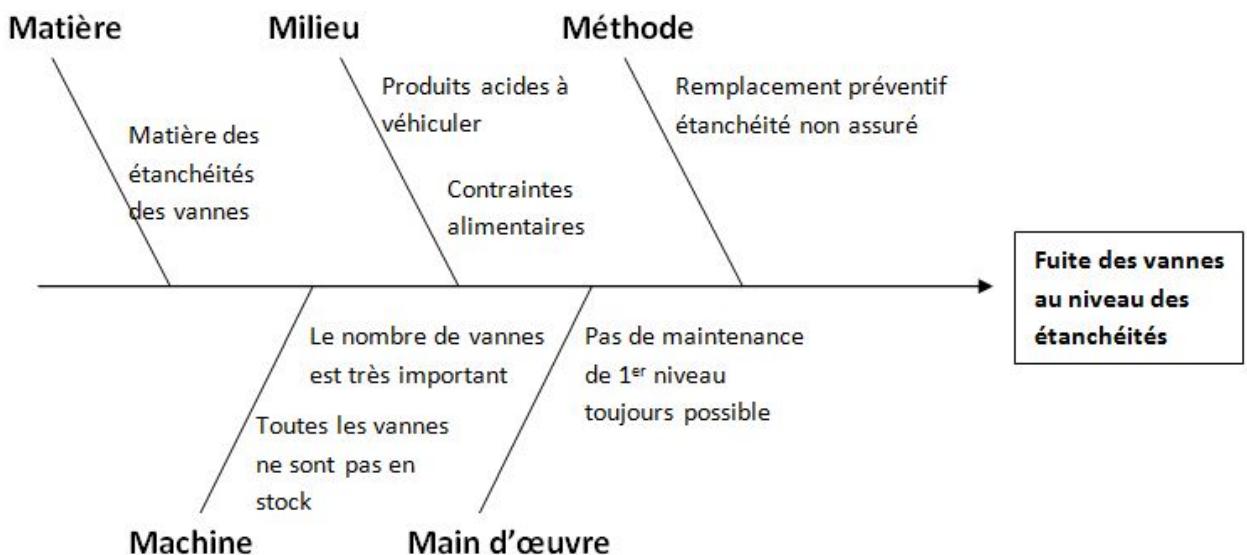


Fig.: 5M

Pour arriver au 6M ou 7M, on ajoute:

- **QQOQCCP** : technique de recherche des informations, pour faire le tour d'un problème ou d'une situation en se posant tour à tour les 7 questions.
 - o **Qui** :
 - o qui a le problème ?
 - o qui est intéressé par le résultat ?
 - o qui est concerné par la mise en œuvre ?
 - o **Quoi** :
 - o De quoi s'agit-il ?
 - o Quel est l'état de la situation ?
 - o Quelles sont les caractéristiques ?
 - o Quelles sont les conséquences ?
 - o **Où** :
 - o Où le problème apparaît-il ?
 - o Dans quel lieu ?
 - o Sur quelle machine ?

- **Quand :**
 - Quand le problème a-t-il été découvert ?
 - Quelle est sa fréquence ?
- **Comment :**
 - Comment mettre en œuvre les moyens nécessaires ?
 - De quelle manière ?
 - Avec quelles procédures ?
 - De quelle manière intervient le problème ?
- **Combien :**
 - Combien de fois cela s'est-il produit ?
 - Combien ça coûte ?
 - Combien coûte la non résolution du problème ?
- **Pourquoi :**
 - Pourquoi réaliser de telles actions ?
 - Pourquoi respecter telles procédures ?
- **Kaizen** : cette démarche japonaise repose sur des petites améliorations faites au quotidien, constamment.
- **MERIDE** : évaluation des risques des défaillances des équipements en termes de quantité, délais et qualité des produits, ainsi que leurs conséquences sur la sécurité et l'environnement.
- **TPM** (Total Productive Maintenance) : système de recherche du rendement global maximum. Deux points sont inclus dans la TPM :
 - TRS
 - 5S (Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke) se traduit du japonais en français par :
 - Ordonner (ou plus littéralement ôter l'inutile),
 - Ranger,
 - Dépoussiérer, Découvrir des anomalies,
 - Rendre évident,
 - Etre rigoureux.
 - Auto-maintenance : maintenance élémentaire (souvent niveau 1) réalisée par les agents de production qui ont à disposition les procédures et les moyens techniques.
- **5 pourquoi** : à partir d'un problème énoncé, on se pose 5 fois la question « Pourquoi » pour déterminer la cause première. Exemple :

Le compresseur d'air est à l'arrêt (le problème)

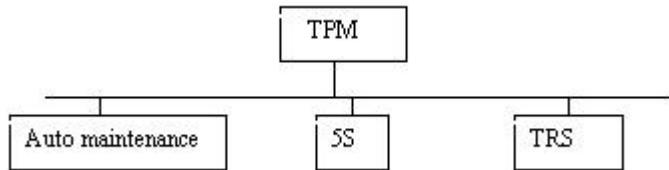
- Pourquoi ? - Il s'est mis en défaut ;
- Pourquoi ? - Parce qu'il manque d'huile ;
- Pourquoi ? - Il y a une fuite d'huile ;
- Pourquoi ? - Je n'ai pas vérifié le niveau d'huile ;
- Pourquoi ? - Je n'ai pas respecté le plan de graissage (la cause première).

Remarque : il peut y avoir plusieurs causes possibles à un problème donné, la méthode devrait être répétée pour être systématique, ce qui revient à faire une AMDEC.

- **Poka Yoke** : un détrompeur (ou anti-erreur, poka-yoke en japonais), est un dispositif, généralement mécanique, permettant d'éviter les erreurs d'assemblage, de montage ou de branchement.
- **Kanban** : Le Kanban est une étiquette qui sert à matérialiser la commande que passe un poste client à un poste fournisseur dans un système de production ou d'approvisionnement par flux tendu.

B – Cas particulier de la TPM

La TPM (Total Productive Maintenance) est un système global de maintenance industrielle fondé sur le respect des facultés humaines et la volonté participative de l'ensemble du personnel pour rentabiliser au maximum les installations.



1 – Auto-maintenance :

Maintenance de premier niveau réalisée par les opérateurs.

Avantages :

- Gain en efficacité : plus rapide = système pompier
- Maintenance mieux faite car interventions avant la vraie panne

Inconvénients :

- La fabrication ne voit pas les choses de la même façon
- Risque de vouloir en faire trop
- REX (Retour d'Expérience) difficile (de petites pannes répétitives non remontées peuvent générer une grosse panne)
- Mal accepté par la maintenance qui voit sa profession partir

Les UAP (Unités Autonomes de Production) ont été, pour la maintenance, une version renforcée de la « dilution » de la maintenance, abandonnée par le passé. Aujourd'hui l'automaintenance revient au devant de la scène mais de façon plus mesurée.

L'auto-maintenance se définit très bien :

- sous forme de logigramme afin de définir les rôles de chacun

L'auto-maintenance nécessite :

- un investissement de la part du responsable de fabrication

2 - TRS :

Analyse de l'efficience.

Somme de 3 coefficients dont 1 concerne directement la maintenance : B / A

Temps d'ouverture		
A = Temps de charge (temps requis)		Arrêts programmés
B = Temps brut de fonctionnement	Arrêts	
C = Temps net de fonctionnement	Ralentissements	
D = Temps utile de fonctionnement	Défauts	

$$\text{TRS} = D / A$$

$$B / A = \text{taux de disponibilité}$$

$$C / B = \text{taux de performance}$$

$$D / C = \text{taux de qualité}$$

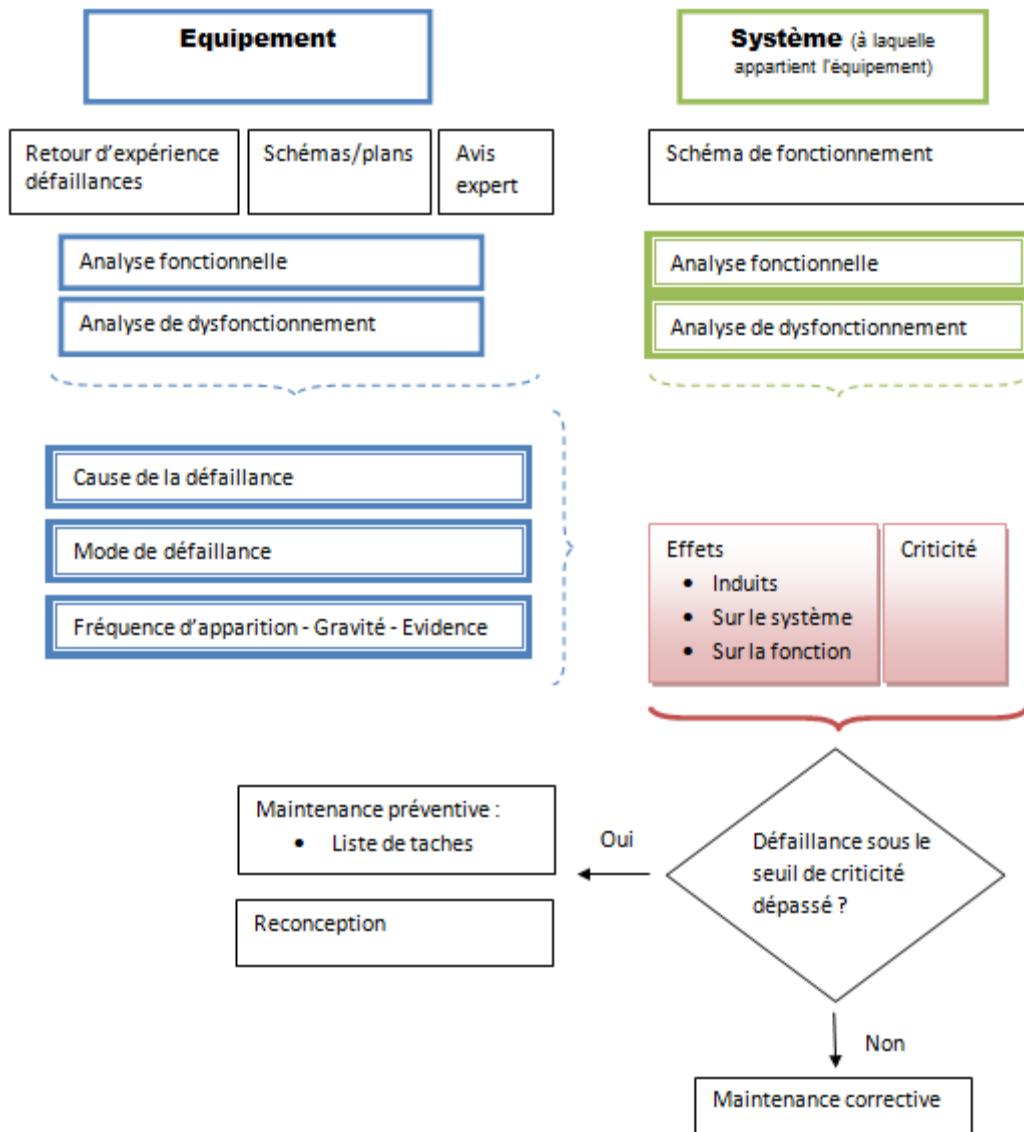
3 - 5S :

Usine bien tenue (ordonnée, propre). Important pour :

- la qualité du travail
- l'image de marque Engagement de la Direction qui commence à donner l'exemple mais très difficile à mettre en place car remise en question de chacun.

C – Cas particulier de l'AMDEC

L'AMDEC est une méthodologie d'analyse en profondeur des pannes et des équipements permettant de prendre des décisions telles que la mise à jour du plan de maintenance ou la modification de la conception de l'équipement.



La méthodologie à suivre est la suivante :

1. Une fonction est décomposée éventuellement en systèmes
2. On réalise :
 - Une analyse fonctionnelle pour chaque système
 - Une analyse de dysfonctionnement des systèmes tout en faisant apparaître les équipements concernés.
3. On réalise alors une AMDEC pour chaque équipement concerné*
4. On en déduit les effets et leur criticité

* Exemple de support AMDEC :

Défaillance		Effets				Criticité FxGxE			
Mode	Cause	Sur le système	Sur la fonction	Dommage induit	Nb de pannes	Fréquence F	Gravité G	Evidence E	Obs.

D – Critiques des démarches et méthodes

1 - Remarques à propos des démarches et méthodes

La clef de voûte de bon nombre de démarches et méthodes « imposées par les managers » est l'implication et la participation. Or la participation des acteurs n'est pas évidente à obtenir. Si la participation est formalisée (fiches documentées, plan de progrès), les promesses d'implication ne sont pas assurément respectées. La participation est assurément décrétée (engagement de la direction) mais il faut veiller à ce que cela ne demeure pas formel. Le formalisme peut engendrer un excès de contrôle, freinant la valorisation -pourtant décrété également- des acteurs. Une réorganisation formelle n'est pas assurément la façon la plus efficace d'évoluer. Dans le cadre de la TPM par exemple, rien n'empêche un opérateur de remonter des informations fausses pour donner l'apparence d'adhérer à la démarche.

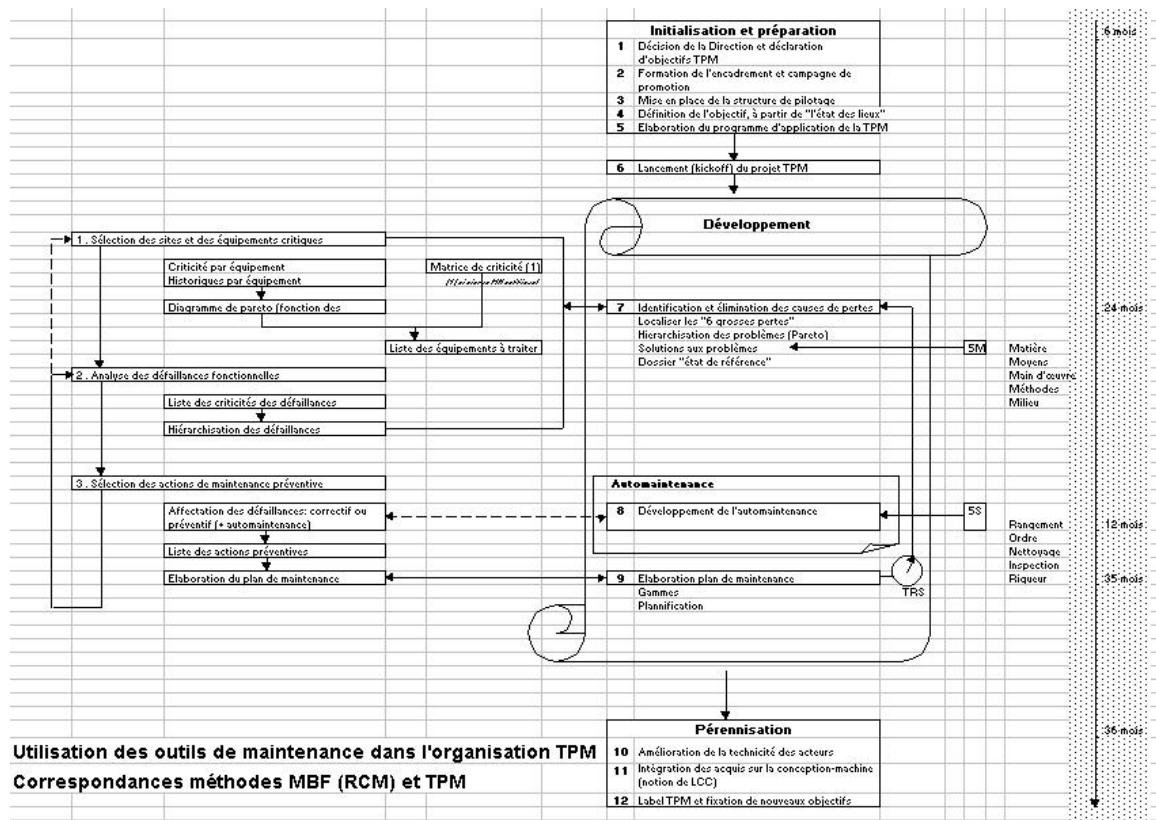
2 - Cas particulier de la TPM

La TPM met en avant l'opérateur qui reprend une partie du travail de la maintenance. La maintenance se trouve ainsi partiellement dépouillée au profit de la production. Par contre dans le cadre de sa maintenance préventive, elle doit souvent négocier la disponibilité des installations. Sur ce point la maintenance se retrouve en position de force : la fabrication doit rendre les installations disponibles. La démarche TPM n'a à priori de sens que si la maintenance est rattachée à la production. Dans le cadre de la mise en place de la démarche, on voit que le rôle, la répartition du pouvoir à l'intérieur de l'entreprise se trouve profondément modifié.

3 - Problème

On remarque que les différents méthodes et outils se superposent et/ou se complètent. Cela complexifie la compréhension.

Sur la figure suivante on retrouve une imbrication des outils et des différentes méthodes de maintenance.



4 - Conclusion

En vertu du changement, on assiste souvent au déploiement de méthodes qui ne sont en fait que de fausses images cachant une réalité complexe. La méconnaissance de certains managers des pratiques concrètes de fonctionnement est souvent constatée.

D - Outils et techniques évoluées

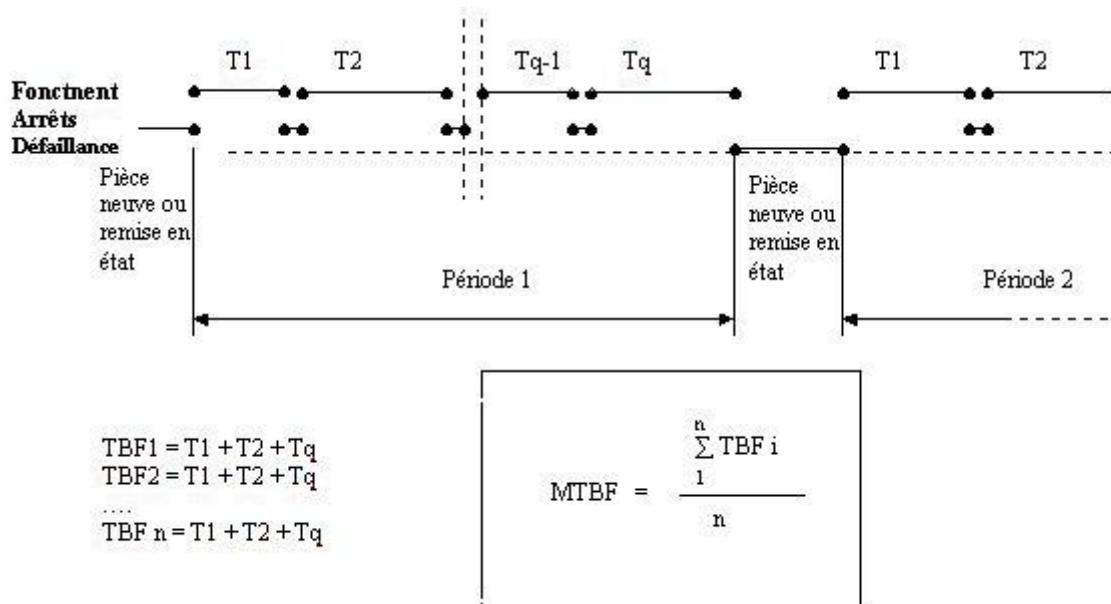
Les outils informatiques prennent de plus en plus de place dans la gestion de la maintenance.

- GMAO : Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur
- Applicatifs pour réaliser de la maintenance conditionnelle
- Systèmes experts
- Etc.

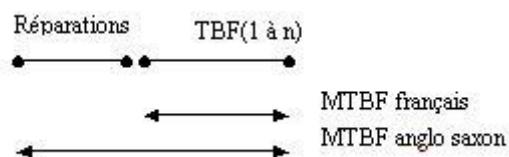
FIABILITE - COMPORTEMENT DU MATERIEL, DEFAILLANCE, PROBABILITES

A - MTBF

MTBF : moyenne des TBF (temps de bon fonctionnement)



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



B - Taux de défaillance

Taux de défaillance (lambda) : $\lambda(t)$

Taux de défaillance : $\lambda(t)$

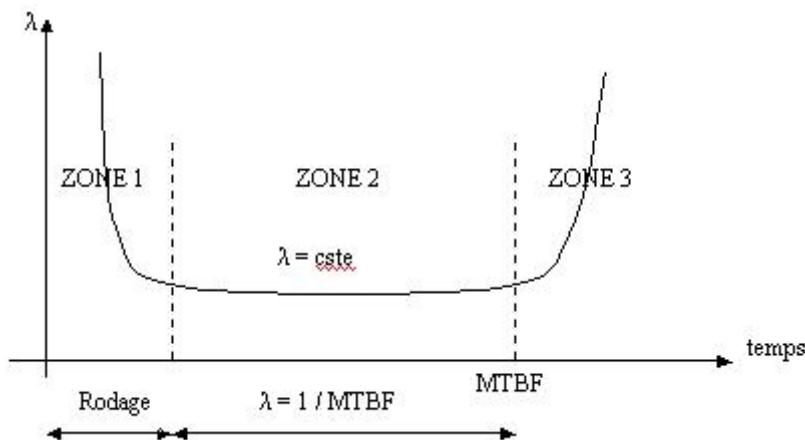
Unité = pannes / heure

Le taux de défaillance est fourni par les constructeurs mais vous pouvez le définir par exploitation des historiques de pannes.

$$\lambda = \frac{\text{nombre de pannes}}{\text{nombre d'heures de fonctionnement}}$$

Evolution du cycle de vie des équipements :

- Zone 1 : période de rodage, les pannes nombreuses au début diminuent
- Zone 2 : période durant laquelle le nombre de pannes est le plus faible
- Zone 3 : période de vieillissement accéléré, le nombre de pannes augmente sans cesse



Cette courbe est appelée « Courbe en baignoire ».

Durant la période où λ est constant il est opportun de faire de la maintenance conditionnelle. On veille à ne pas « en faire trop ».

Diagramme de Weibull

Permet de savoir dans quelle zone de la courbe du cycle de vie on se trouve: Zone 1, 2 ou 3.

$$R(t) = e^{-(t - \gamma)^{\beta} / \eta}$$

L'utilisation d'abaques est nécessaire.

Exemple d'application :

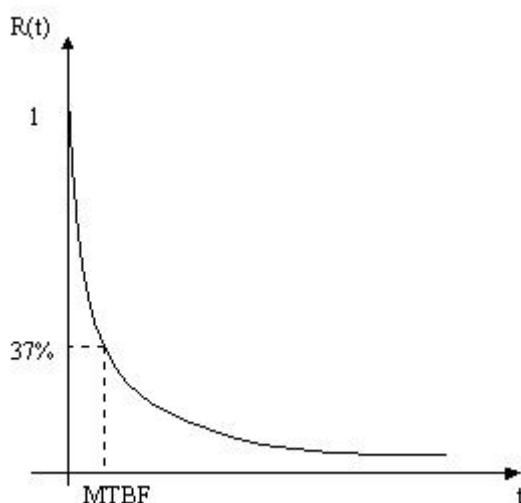
Les historiques de maintenance de vingt emboutisseuses pour 1.000 heures de fonctionnement ont révélé 50 pannes.

Le taux de défaillance est : $\lambda = \frac{50}{20 \times 1000} = 0,0025$ panne / heure

MTBF = 400 heures

C - Fiabilité

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



Exemple de calcul :

Quelle est la probabilité de fonctionnement d'une pompe donnée durant 1 an (8760 heures) ?

Pompe, taux de défaillance : $\lambda = 2 \cdot 10^{-5}$ pannes / h

$$R(8760) = e^{-2 \cdot 10^{-5} \times 8760} = 0,84$$

R = 84 %

Remarque :

- $MTBF = 1 / \lambda$
- $MTTR = 1 / \mu$

Ainsi : $R(MTBF) = e^{-(\lambda \cdot MTBF)} = e^{-1} = 0,37$

➔ On a 63 % de chance de tomber en panne avant le MTBF !

Remarque : il est intéressant de savoir que l'homme est souvent le maillon le moins fiable de toutes les fonctions de maintenance.

D - Disponibilité

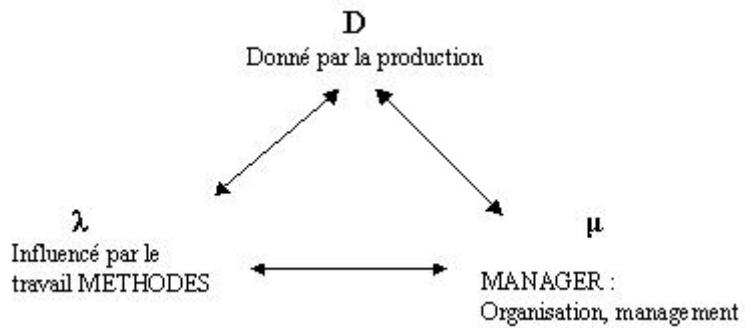
$$D = MTBF / (MTBF + MTTR)$$

Remarque : en fixant la disponibilité on fixe le MTTR et le MTBF.

Les tables de défaillances sont très utiles pour faire des calculs.

E - La maîtrise de l'efficience

Est-ce que mon magasin fonctionne bien, mon équipe est opérationnelle, etc. ?
Que surveiller ?



F - Sûreté de fonctionnement

La sûreté de fonctionnement a pour finalité le maintien du bon fonctionnement d'un système, tout au long de son cycle de vie et ce, à moindre coût.

Les paramètres surveillés sont :

- Fiabilité
- Maintenabilité
- Disponibilité
- Sécurité
- Coût

La sûreté de fonctionnement concourt à la maîtrise des risques.

CONTRATS DE SOUS-TRAITANCE, EXTERNALISATION

A - Pourquoi sous-traiter ?

Les arguments pour passer à la sous-traitance peuvent être de plusieurs ordres (en dehors du gain financier qui reste à démontrer) :

Attention: le but est de faire un constat de la situation actuelle et nullement de critiquer les intervenants de maintenance, c'est bien la conjoncture qui nous amène à la situation décrite.

- La sous-traitance de la maintenance est un moyen de contrôler les dépenses. Plus que le Donneur d'Ordres, le sous-traitant doit veiller à la rentabilité du contrat.
- L'image de la maintenance n'est pas bonne. Le rejet fréquent de la fonction méthodes tend à prouver que le personnel Maintenance refuse de progresser. Quel est le service maintenance qui pratique les probabilités ?
- Absence fréquente de veille technologique en interne.
- La technique n'est souvent pas le problème de fond.
- Le service Maintenance a du mal à chiffrer son budget et de fait ne sait pas convaincre sa direction.
- Les maintenanciers ne sont pas souvent très humbles (mais il est vrai souvent très compétents).
- Les personnels Maintenance préfèrent malheureusement le rôle de pompier (qu'ils maîtrisent mieux que quiconque, et pour cause) aux interventions préventives
- Le personnel de maintenance n'est pas renouvelé à l'issue des départs (retraite, mutation, etc.)

B - Les différentes formes de sous-traitance et leurs rémunérations

I - Les formes de sous-traitance

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

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

Bien entendu la relation entre le Donneur d'Ordres et le prestataire de maintenance ne devra jamais entrer dans le cadre d'un délit de marchandage.

Pour cela il faut que le périmètre d'intervention soit défini et qu'il n'y ait pas subordination : les équipes intervenantes doivent donc être totalement indépendantes du Donneur d'Ordres (donc avoir un responsable désigné) et avoir une mission parfaitement définie à l'avance.

II - Contrat de moyen ou de résultat ?

Notion de résultat :

Contrairement à la notion de moyen, la notion de résultat comporte l'obligation pour un prestataire de maintenance de réaliser sa prestation en respectant un objectif défini au préalable (ratio, un nombre d'heures, résultat technique, etc.). La relation est plus confortable pour le Donneur d'Ordres qui aura su définir des objectifs avant l'intervention : en cas de litige sur l'objectif, c'est au prestataire de démontrer qu'il a tout mis en œuvre pour atteindre l'objectif et non pas au Donneur d'Ordres de démontrer la faute.

Nous encourageons vivement les contrats à obligation de résultats, mais il n'est pas toujours simple de définir l'objectif à atteindre (délai imparti, coût, etc.).

III - Un exemple de rémunération "mixte", le cas du "cost and fee" :

Ce type de rémunération d'une prestation très élaboré est destiné à motiver le prestataire de maintenance.

Rémunération = Coûts fixes + Coûts variables + 0,5* (Valeur Cible - Coûts variables)

- Coûts fixe = le prestataire est assuré de voir ses frais de structure payés.
- Coûts variables = le prestataire se voit rémunéré pour la partie variable de son intervention (heures) en fonction du temps passé.
- Intéressement : 0,5* (Valeur Cible - Coûts variables) = une cible d'heures a été définie, en cas de dépassement le prestataire ne touchera pas d'intéressement.

* A moduler

C - Cas particulier: le contrat de maintenance au forfait

Le contrat de maintenance de type forfait suscite un engouement tout particulier en ce début de 21^{ème} siècle. La mode mondiale de maîtrise des coûts fait de ce type de rémunération l'outil idéal puisque son exploitation permet de définir clairement les budgets de maintenance.

L'application du contrat de type forfait est-elle si simple ? Malheureusement il n'est pas rare de constater que des prestataires réclament, au-delà du forfait, des sommes parfois conséquentes (20% du forfait) au Donneur d'Ordres. A qui incombe la faute ? La réponse n'est pas simple, on constate qu'il arrive souvent que le Donneur d'Ordres paye les sommes réclamées en plus du forfait. Le prestataire lui soumet pour cela des éléments de preuves qui justifient ces dépassements.

On comprend donc que la rédaction du contrat et le montant du forfait ne doivent pas être élaborés avec légèreté. Pour arriver à une valeur chiffrée finale (le montant forfaitaire annuel), un Donneur d'Ordres doit traiter/recouper beaucoup de chiffres issus des :

- Périmètres géographique et technique
- Historiques travaux (nature, type, urgence, durée)

I - Le contenu du contrat

Le contenu d'un contrat n'est pas figé, il doit être adapté à la particularité de chaque service maintenance. Il pourra par exemple être constitué de 2 parties: une générale et une spécifique dans le cas où plusieurs contrats auraient la même partie générale.

- Sommaire
- Généralités
- Etendue de la prestation contractuelle
- Moyens
- Modalités d'exécution
- Suivi du contrat
- Conditions économiques
- Compléments juridiques
- Modifications
- Annexes
- Glossaire
- Index

II - Eviter certains pièges lors de la rédaction

Se poser la question de savoir si l'on est prêt à passer à un contrat de maintenance forfaitisé :

- si l'on a une connaissance suffisante de sa maintenance. La meilleure façon de le savoir est de se heurter à la détermination précise du coût de maintenance pour un périmètre défini.

Se poser la question de savoir si l'on est prêt à sous-traiter :

- le processus maintenance est-il adapté à la forfaitisation ?

III - Les étapes de l'élaboration d'un contrat

L'élaboration d'un contrat de type forfait est des plus contraignantes. Les étapes nécessaires à sa rédaction sont les suivantes :

- Etat des lieux
- Définition* de la stratégie de maintenance
- Définition* de la politique d'externalisation (externalisation pièces de rechange par exemple, périmètres)
- Rédaction du plan de communication
- Rédaction du cahier des charges
- Rédaction*/rassemblement des documents d'annexes (processus maintenance, plan des arrêts, plan préventif (dont graissage), plan des visites réglementaires, etc.)
- Définition* spécificités (sécurité par exemple)
- Rédaction* de documents spécifiques à soumettre au prestataire (fonctionnement informatique par exemple)
- Préparation du pré-contrat et des documents achats
- Définition de la stratégie de consultation
- Définition des valeurs cibles
- Grille de réponse technique
- Grille de décomposition de coûts

- Détermination short lists
- Consultations
- Comparaison des offres, notations
- Alignement des offres
- Définition des axes de négociation, négociation
- Adaptation du contrat
- Signature contrat
- Période de mobilisation
 - Démarrage contrat

* A partir de l'existant

IV - Planification de la rédaction d'un contrat et démarrage du contrat

Il faut compter environ 2 mois pour passer toutes ces étapes.

Après le lancement de la consultation, il faut compter également 2 mois pour obtenir les offres des prestataires. La phase de négociation dure environ 1 mois.

V - Les lacunes d'un encadrement par une société de conseil

La rédaction d'un contrat de maintenance représente un travail ponctuel important que le Donneur d'Ordres, faute de moyens internes suffisants, souhaite sous-traiter. Il fait pour cela appel à un cabinet de conseil.

La méconnaissance de la maintenance par une société de conseil peut, malheureusement, être une réalité. Dans le cadre du montage d'un contrat forfaitaire, un mauvais choix de conseil peut avoir des conséquences humaines et financières qui se révèleront lors du fonctionnement du contrat. On ne pensera alors pas forcément à ce moment-là que le cabinet de conseil a préparé un document qui a conditionné les problèmes et souvent on recherche la faute du côté des opérationnels de maintenance.

La mauvaise société de conseil compte parfois sur le Donneur d'Ordres (qu'elle juge experte en maintenance !) pour remédier à ses propres lacunes : le monde est alors à l'envers. L'un des risques consiste par exemple à exploiter sans filtrage, par défaut de compétence, des informations brutes collectées en interne (informations incomplètes ou fausses fournies par le service maintenance par exemple) pour définir la valeur cible d'un contrat forfaitaire ou consulter les entreprises.

En maintenance, la connaissance du terrain est indispensable. Le cabinet de conseil ne doit pas être exempté de cette qualité.

La société de conseil devra savoir mener son projet en motivant notamment les gens de terrain. Elle devra donc tenir compte de leur avis et se mettre à leur niveau et tirer tout le monde vers le haut. Sans la motivation du personnel de terrain, le projet ne peut aboutir.

D - Jusqu' "où" sous-traiter l'activité de maintenance ?

La question de savoir jusqu'à quel point il faut sous-traiter est peu évidente. La réponse est fonction du Donneur d'Ordres : de son activité, de son histoire, de sa situation géographique, de ses acquis, de sa situation sociale, de sa situation financière, de sa

politique. Aujourd'hui nous constatons une disparité importante dans les politiques de sous-traitance.

- N'est-il pas surprenant de constater qu'un site préparant du combustible nucléaire sous-traite son activité de maintenance, notamment de production, à 90% ?

Nous ne saurions trop conseiller aux donneurs d'ordres de conserver un minimum de maîtrise de leur outil de production critique, pour la sécurité et pour la production essentiellement.

- Le Donneur d'Ordres doit garder la maîtrise de la politique maintenance
- Le Donneur d'Ordres doit avoir une visibilité totale des pratiques de maintenance en place
- Le Donneur d'Ordres doit conserver une fonction méthode au moins pour traiter de l'amélioration de la fiabilité.
 - Cette fonction méthode sera un élément moteur lors de la mise en place éventuelle de la TPM ou d'autres démarches :
 - Le Donneur d'Ordres garde la maîtrise des améliorations à rentabilité non immédiate (retour sur investissement supérieur à 1 mois par exemple)
 - Le Donneur d'Ordres garde la maîtrise de la maintenance préventive (hormis le systématique et conditionnel type CND, contrôles radiographique)
 - Selon le niveau de la maintenance préventive (si auto-maintenance), le Donneur d'Ordres pourra garder la maîtrise des interventions de niveau 1 et 2
 - Le Donneur d'Ordres gardera l'entretien de certains équipements, les plus critiques par exemple
 - Si le Donneur d'Ordres possède un contrat de résultat de type forfait, le prestataire réalisera la prestation méthode afin de se garantir la rentabilité du contrat sur la durée

Une sous-traitance importante doit OBLIGATOIREMENT s'accompagner d'une tenue à jour stricte de :

- plan de maintenance
- DTE (Document Technique des Equipements)
- Comptes rendus d'intervention

Tous les historiques doivent être récupérables sur les outils appartenant au Donneur d'Ordres (GMAO essentiellement). Le Donneur d'Ordres ne doit pas se trouver démunie d'historiques au départ du Prestataire.

D - Le nombre de contrats de sous-traitance la globalisation

Sans réelle politique d'externalisation, il est un fait que le nombre de contrats augmente sans cesse et que leur suivi est d'autant plus difficile à mesure que l'effectif interne décroît.

La réduction du nombre de formes de sous-traitance peut être source de profit pour un service maintenance ou plus exactement pour le service achats. Ainsi on parle de maintenance globale: un prestataire ou une poignée de prestataires de maintenance vont se partager l'ensemble de l'activité de maintenance externalisée.

E - Le démarrage d'un contrat : période délicate

Les Donneurs d'Ordres qui ne maîtrisent pas la mise en route d'un contrat ne sont malheureusement pas rares. Par exemple, la mise en place des contrats de maintenance forfaitisés pose d'énormes problèmes aux Donneurs d'Ordres Français.

Bien entendu ceci n'est pas dû au hasard. C'est l'aboutissement malheureux d'un enchaînement de faits qui ont un point commun : le manque de maîtrise de l'élaboration du projet.

La mise en place d'un contrat de maintenance mérite une attention toute particulière. En effet la réussite du démarrage conditionne l'avenir du contrat. Il faut préparer la venue du prestataire :

- Expliquer aux fabricants le projet
- Remettre en question le processus général
- Rédiger la procédure de mise en place (+ formation, plans de prévention, etc.)
- Aider à la « prise en main » (plan de maintenance)
- Désigner un interlocuteur. Définir la forme et le fond des rapports : l'interlocuteur du prestataire a un rôle très important à jouer.

GESTION DE STOCK

Les stocks de maintenance sont constitués de pièces de rechanges (pièces d'usure, pièces de fonctionnement, pièces de structure) qui peuvent être classées en :

- pièces d'origine
- pièces équivalentes (non fournie par le constructeur de l'équipement, mais cahier des charges identique)
- pièces interchangeables (peut se substituer à une pièce d'origine)
- pièces adaptables (doit être adaptée pour être montée)

Définitions utilisées

- Codification unique des pièces de rechange : les articles sont composés d'une désignation (libellé long et court) et d'un code article. Le code article est constitué de lettre et chiffres en fonction des caractéristiques de l'article (classe d'équipement, diamètre, épaisseur, etc.).
Remarque : la codification fournisseur n'est pas utilisée comme codification de magasin mais on l'utilisera comme une information complémentaire.
- Classes d'articles : les articles peuvent être regroupés par classes, ces classes constitueront une partie des codes article.
- Catalogue des pièces de maintenance : est constitué de la liste des références des articles que l'on peut retrouver dans le magasin des pièces de rechange.

A - Choix d'une méthode d'approvisionnement :

Selon le type d'article à consommer et son utilisation, on utilisera une méthode différente d'approvisionnement.

	Quantité	Intervalle
Point de commande	Variables	Variables
Plan d'approvisionnement	Variables	Fixes
Programme d'approvisionnement	Fixe	Fixe

B - Liste des équipements

La liste des équipements à avoir en stock correspond au moins aux équipements les plus critiques (voir étude de criticité). En effet, il ne paraît pas judicieux d'aller beaucoup au-delà.

C - Stock minimum / réapprovisionnement

1. Loi de poisson

S'applique aux phénomènes rares ou aléatoires.

- Exemple : probabilité que sur un équipement j'ai 10 pannes pour les 6 mois qui viennent avec un MTBF donné.

Permet notamment de déterminer les niveaux de stock.

$$P(n,t) = \frac{\sum_{n=0}^t e^{(-\lambda t)}^n}{n!}$$

- n : nb de pannes
- t : « au temps t »

L'abaque de Molina permet de déterminer n quand on connaît les autres paramètres.

2. Méthode du point de commande

Valable si l'on consomme plus de 20 pièces.

Seuil de déclenchement d'une commande = Quantité de commande + K σ

K = taux de sécurité = 1 / rupture de stock
σ = écart type de consommation

D - Choix d'un fournisseur :

Afin de choisir un fournisseur pour la fourniture d'un équipement donné, il est utile de hiérarchiser ses fournisseurs sur la base du ratio suivant :

$$\frac{\text{Coût de maintenance} + \text{Coût de non production}}{\text{MTBF équipement}}$$

Le fournisseur peut être noté, cela sert notamment dans le cadre de l'ISO.

E - Coût d'un équipement

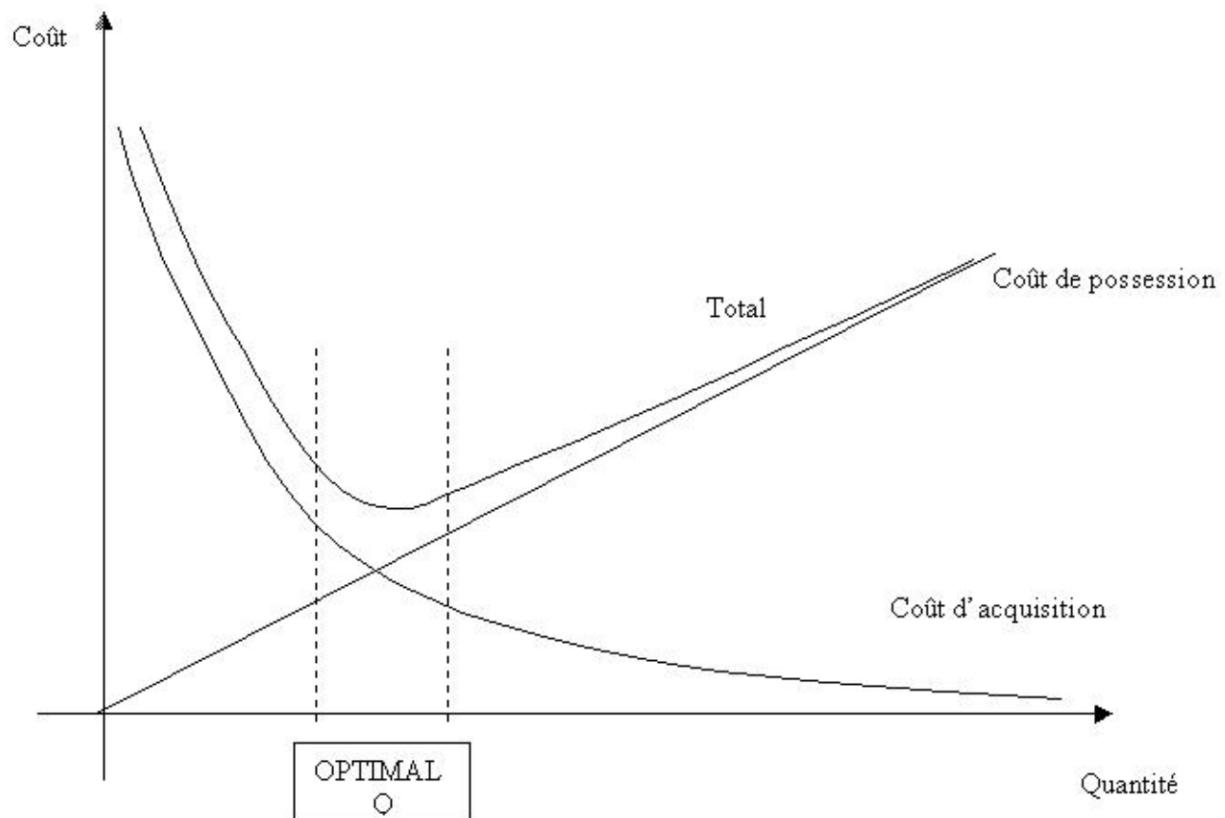
Le coût d'un équipement est constitué de :

- Coût d'achat
- Coût d'acquisition (coût ligne de commande, etc.)
- Coût de possession (financier, magasinage, etc.)

- Coût de destruction, recyclage

F - Quantité économique de commande

Pour définir notamment la périodicité de passage d'une commande de matériel, il faut comparer les coûts d'acquisition et les coûts de possession.



Q = quantité optimale d'unités d'articles à commander

Formule de Wilson :

$$Q = \sqrt{2 b n / a i}$$

a : prix unitaire de l'article, rendu magasin

b : coût de passation de commande

i : taux de possession (% annuel) - Valeur comprise habituellement entre 20 et 26 %

n : nombre d'articles utilisés pendant 1 année

T : temps entre 2 commandes

Rem. : il vaut mieux commander un peu plus qu'un peu moins (courbe plus plate vers la droite)

G - Magasin

Pour assurer un bon rangement, il est envisageable que les aires de circulation d'un magasin représentent 60% de la surface du magasin.

Le plan de stockage doit être tenu à jour : le MTTR sera d'autant plus faible.

Le conditionnement d'origine doit être conservé.

De façon générale les pièces doivent être conservées dans des endroits qui leur conviennent.

H - Valorisation du stock :

L'utilisation du PUMP (Prix Unitaire Moyen Pondéré) est la plus courante en France (par opposition au système anglo-saxon appelé FIFO, ou d'autres LIFO, Prix standards, MEFO) Principe : à chaque nouvel approvisionnement le prix de la pièce est revu.

Exemple :

Entrée / Sortie	Prix achat	Stock	Valeur totale	PUMP
Stock initial = 0 + 10	50	10	500	50
-3	inutile	7	7 x 50 = 350	50
+5	52	12	7 x 50 + 5 x 52 = 610	610 / 12 = 50,83

I - Inventaire

La réalisation d'un inventaire du magasin de pièces de rechange est obligatoire tous les ans. Il rentre dans le calcul du bénéfice de la société.

L'édition doit être faite par magasin,

- puis par zone (voir plan de magasin) ;
- avec les numéros d'emplacement.

N° emplacement	Désignation	Code article	Quantité GMAO	Quantité pointée	Ecart

J - Les ratios en rapport avec la gestion de stock

Valeur du stock = Coût de possession + coût de gestion du stock

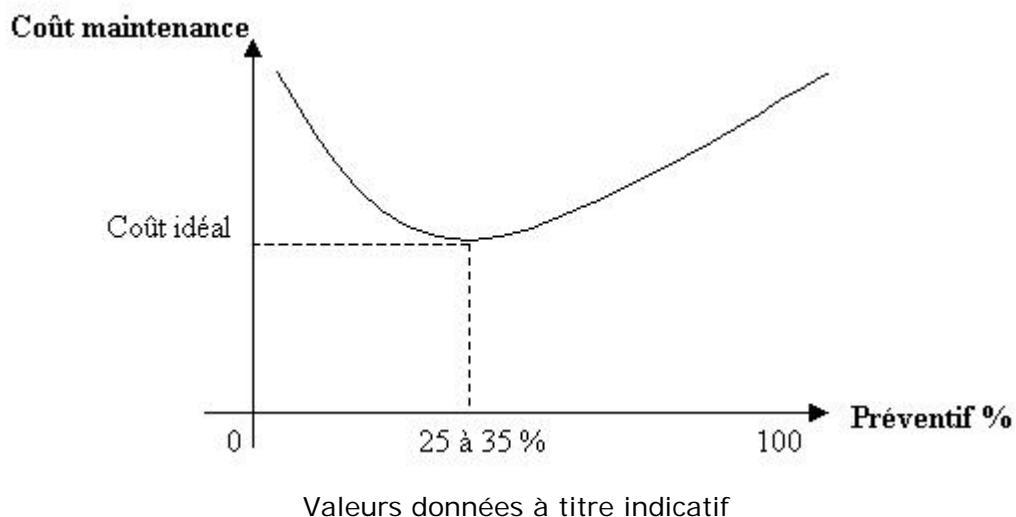
- coût de possession = coût de stockage unitaire x quantité moyenne stockée
- coût de gestion = coût de traitement (passation commande, transport, traitement administratif) x nombre de livraisons d'articles

Coût de passation d'une commande : coût correspondant aux moyens à déployer pour passer une commande à un fournisseur. Toutes les tâches amont peuvent être incluses. Par exemple, on peut inclure le suivi des fournisseurs.

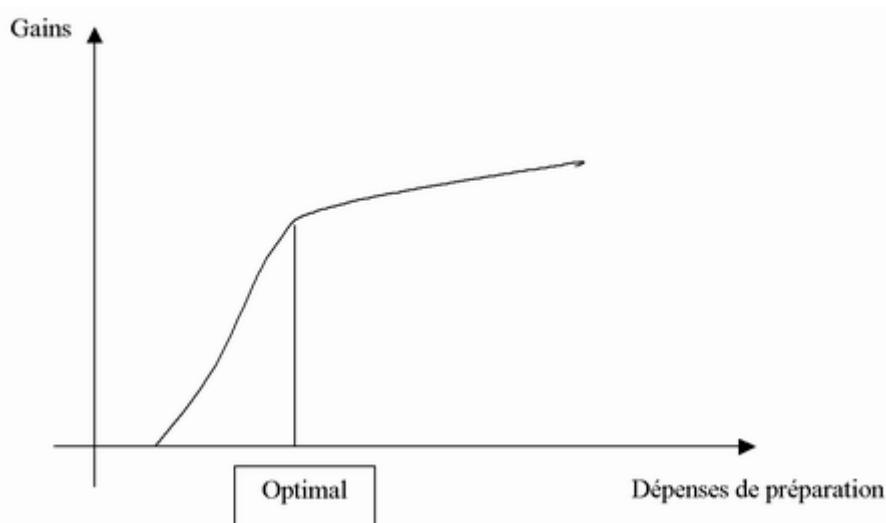
LES EQUILIBRES DE LA MAINTENANCE

Préférez une maintenance qui accumule des équilibres à une maintenance qui accumule des compromis. Ces simples graphiques sont bien utiles à la réflexion.

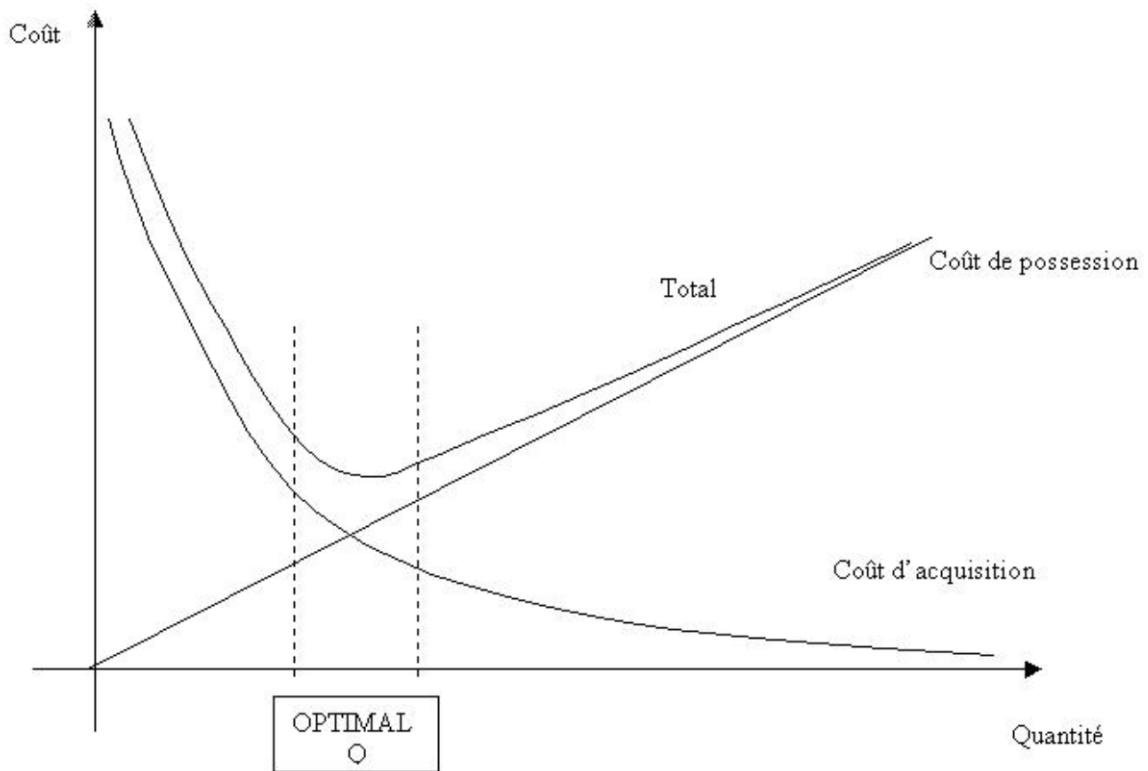
A - Equilibre maintenance préventive / corrective



B - Equilibre en matière de préparation des travaux



C - Niveau de stock



LCC

LCC = Coût du cycle de vie

Voici le genre de question qu'il est possible de résoudre par l'approche du coût du cycle de vie :

"Je dois optimiser la maintenance d'un point de vue financier. Pour cela on me demande d'utiliser la méthode LCC, qui est le calcul du coût d'un équipement tout au long de sa vie. Je dois déterminer, en fonction de son prix, de sa date d'achat, et des actions de maintenance associées, s'il faut continuer d'investir sur un tel matériel ou s'il est préférable de le changer."

A - Définition

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

- acquisition
- exploitation
- maintenance (y compris coûts indirects)
- élimination / revente du bien

$$\text{LCC} = V + D + C + E$$

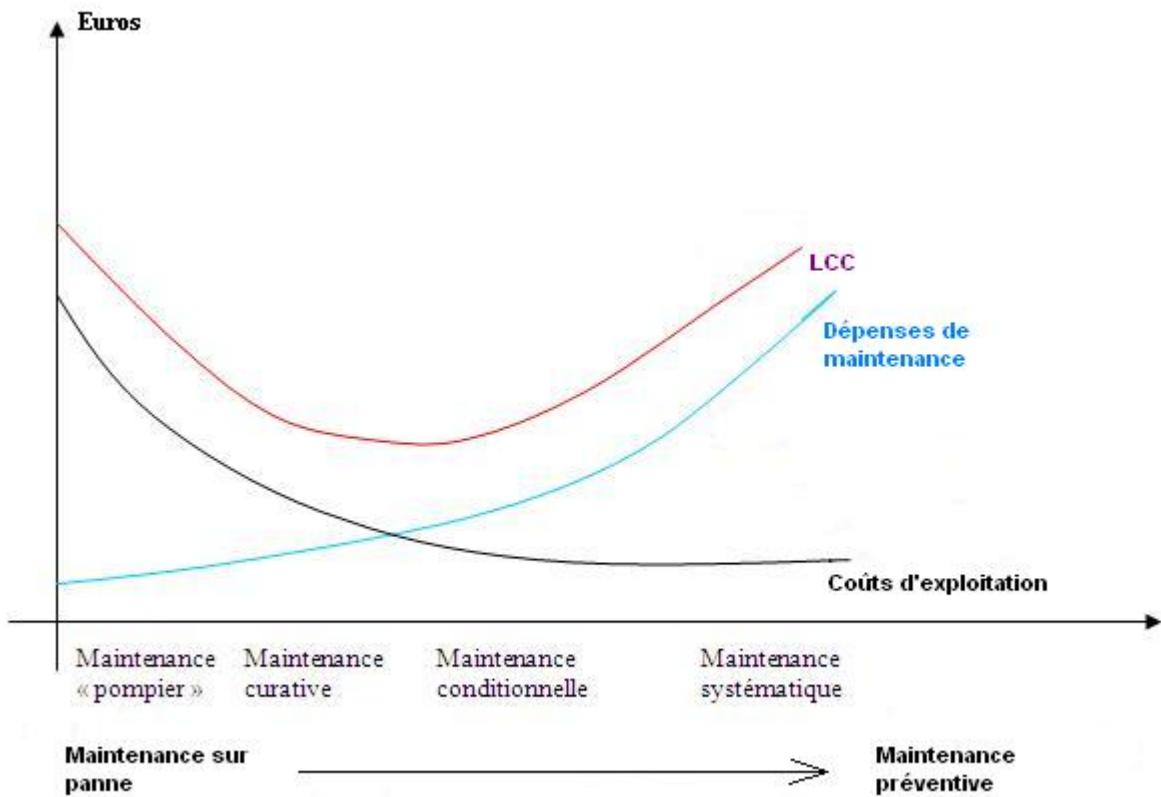
- V = investissement initial (frais d'études, coût de passation commande, frais de logistique, coût de l'équipement)
- D = dépenses d'exploitation (énergie, consommables, main d'œuvre)
- C = coûts de maintenance y compris coûts indirects
- E = coût d'élimination, prix de revente

Remarque 1 : il faut travailler en euros constants en additionnant les coûts sur plusieurs années.

Remarque 2 : les coûts indirect de maintenance sont constitués de :

- Perte de production (
 - main d'œuvre à l'arrêt,
 - non-qualité,
 - arrêts induits,
 - micro-arrêts,
 - mode dégradé,
 - casse induite,
 - etc))
- Pénalités

B - Programme de maintenance basée sur le LCC



C - Quelques chiffres

Il est reconnu couramment que le coût global de maintenance d'un équipement est défini à 60 / 70 % par les décisions de conception.

En moyenne, le coût global de maintenance d'un équipement pour sa durée de vie représente 2 à 3 fois son coût d'investissement initial.

PLAN DE MAINTENANCE

A - Définition selon la norme NF EN 13306

"Ensemble structuré de tâches qui comprennent les activités, les procédures, les ressources et la durée nécessaire pour exécuter la maintenance."

Cette définition manque de précision et offre donc une grande liberté d'application.

B - Application pratique

Le plan de maintenance est composé à minima du programme d'intervention de maintenance préventive. Il est maintenant couramment intégré à la GMAO. Ainsi ce qui est planifié est rappelé par la GMAO (alarmes).

L'étendue du plan de maintenance défini la maîtrise de l'activité de la maintenance. Il définit les conditions et les informations nécessaires à la bonne réalisation des maintenances préventive et curative.

Il existe des outils pour la constitution du plan (méthodologies, arbres de prises de décision, abaques) mais la base de sa réalisation est liée à l'exploitation des historiques de maintenance et des statistiques.

Il doit être mis à jour dès que le contexte change (taux d'engagement, produit fabriqué, etc.).

Société Ingexpert consultants experts maintenance
17F Bd Jean Duplessis
13014 MARSEILLE
<http://www.ingexpert.com>
contact@ingexpert.com

Auteur : Guillaume Laloux
 04.91.63.48.67