

Le GRAND LIVRE *de la* GESTION des stocks et APPROVISIONNEMENTS



Pour une maintenance
performante



Vous voulez nous faire partager
une remarque ou une suggestion ?
Contactez-nous :
fabrication-editions@afnor.org

© AFNOR 2019

ISBN 978-2-12-465693-6

Édition : Dominique Cohen, Gilda Masset

Création de maquette et mise en page : Gilda Masset

Fabrication : Philippe Malbec

Crédit photo : Adobe Stock, 2019



Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent ouvrage, faite sans l'autorisation de l'éditeur est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (loi du 1^{er} juillet 1992 - art. L 122-4 et L 122-5, et Code Pénal art. 425).

AFNOR – 11, rue Francis de Pressensé, 93571 La Plaine Saint-Denis Cedex

Tél. : +33 (0) 1 41 62 80 00 – www.afnor.org/editions

L'auteur

Driss Bouami est docteur d'État en sciences mécaniques de l'université de technologie de Compiègne, ingénieur en génie mécanique de l'École Mohammadia d'ingénieurs de Rabat et détenteur d'un certificat de spécialisation en sciences des matériaux de l'École centrale de Paris. Professeur, directeur de recherche et consultant principalement en maintenance, mais aussi en qualité, *lean management* et sécurité, il est l'auteur de plus de 160 publications et communications dans les domaines précités. Driss Bouami est également ex doyen de la faculté des Sciences et Techniques de Fès, ex directeur de l'École Mohammadia d'ingénieurs de Rabat et ex directeur de l'Office marocain des œuvres sociales pour les étudiants.

Sommaire

Avant-propos	XI
1 Généralités sur la maintenance	1
1.1 La définition de la maintenance.....	1
1.2 La maintenance préventive	2
1.3 La maintenance systématique.....	4
1.4 La maintenance conditionnelle.....	8
1.5 La maintenance prévisionnelle	13
1.6 La maintenance de routine.....	15
1.7 La maintenance corrective	18
2 Généralités sur les stocks de maintenance.....	23
2.1 Les types d'articles en stock.....	23
2.2 Valorisation des stocks.....	33
2.3 Les classifications ABC de Pareto.....	36
3 Le système de gestion des stocks et approvisionnements.....	41
3.1 Le système de gestion des stocks.....	41
3.2 Le système de GSA.....	43
3.3 La codification	45
3.4 Les nomenclatures et le catalogue de rechanges	62
3.5 Les inventaires.....	66
3.6 Le magasinage	73
4 Les politiques d'approvisionnement et la démarche d'achat	83
4.1 Le coût total des stocks.....	83
4.2 La quantité économique : la formule de Wilson	87

(VIII) Le grand livre de la gestion des stocks et approvisionnements

4.3	Les politiques d'approvisionnement.....	94
4.4	La méthode du point de commande	103
4.5	La méthode du plan d'approvisionnement.....	105
4.6	La méthode du programme d'approvisionnement	107
4.7	La méthode opportuniste des quantités et dates variables.....	108
4.8	La cannibalisation	109
4.9	La démarche d'achat	109
5	Les prévisions	115
5.1	Les méthodes de prévision	117
5.2	Les méthodes qualitatives	117
5.3	Les méthodes quantitatives	118
6	L'organisation de la gestion des stocks et des approvisionnements... ..	129
6.1	Les circuits d'information (<i>Flowcharts</i>) et les imprimés de GSA ..	129
6.2	Les processus et les procédures de la GSA	143
6.3	Les procédures de gestion des stocks et approvisionnements... ..	148
6.4	L'organigramme et les fiches de postes du service de GSA.....	152
7	Le <i>Lean Six Sigma</i> en gestion des stocks et des approvisionnements	159
7.1	Le <i>Lean Management</i>	159
7.2	La démarche <i>Kaizen</i>	177
7.3	La démarche <i>Six Sigma</i>	179
7.4	Le <i>Lean Six Sigma</i> (LSS).....	183
8	Le retour d'expérience (REX) et l'optimisation de GSA.....	185
8.1	Les types de retours d'expérience et leurs applications.....	185
8.2	L'assainissement de stock	187
8.3	Les tableaux de bord de la GSA	189
8.4	L'optimisation de la GSA	206
9	Informatisation de la gestion des stocks et approvisionnements.....	219
9.1	GSA assistée par ordinateur (GSAAO).....	219
9.2	<i>E-procurement</i> , <i>e-tendering</i> et <i>e-sourcing</i>	230
9.3	L'« Industrie 4.0 »	233
9.4	La gestion des stocks et approvisionnements 4.0	246

10	L'audit de la gestion des stocks et approvisionnements	249
10.1	Généralités sur l'audit.....	249
10.2	La démarche d'audit.....	251
10.3	Les rubriques d'audit de la gestion des stocks et approvisionnements	256
10.4	L'évaluation de l'audit de maintenance	264
	Bibliographie.....	271

Avant-propos

Les stocks et les approvisionnements de la maintenance revêtent une importance capitale pour l'entreprise car l'absence de rechanges ou de produits de maintenance (RPM), lors d'une réparation consécutive à une panne ou lors d'une opération préventive, conduit inéluctablement à un allongement, outre mesure, de la durée d'arrêt. Cela peut s'avérer fort pénalisant pour l'entreprise puisque, généralement, les coûts d'indisponibilité pour maintenance sont très élevés et conduisent à l'affaiblissement de la compétitivité de l'entreprise car le coût de production s'avère plus élevé que celui des concurrents du fait des pertes engendrées par des arrêts de maintenance trop longs. Pour conduire une bonne gestion des stocks et approvisionnement (GSA), il importe d'engager des actions pertinentes et efficaces telles que :

- **assurer un magasinage de bon aloi** en réalisant un aménagement efficace et ergonomique, en codifiant les emplacements et en les reliant de façon bijective aux articles concernés, en adaptant ces emplacements aux articles qui y sont placés, en réalisant un plan de préservation des articles stockés et en appliquant une bonne démarche 5 S (débarras, nettoyage, rangement, standardisation-management visuel et rigueur) ;
- **adopter les bonnes politiques d'approvisionnements** qui assurent un service sans rupture de stock, particulièrement pour les articles dont l'indisponibilité génère des coûts de pénurie très élevés ; politiques qui fixent les quantités optimales à acquérir, minimisant ainsi le coût total de stockage, qui déterminent les périodicités d'achat à adopter, ainsi que les stocks de sécurité à prévoir pour doter les intervenants de maintenance des RPM requis même en cas d'accélération de consommation ou de retard de livraison de commandes de ces RPM ;
- **optimiser le stock** en adoptant les politiques d'approvisionnement qui conviennent conformément à la classe Pareto de valeur de consommation des articles concernés ; politiques qui réduisent le stock moyen immobilisé en magasin et qui diminuent, de ce fait, le coût de possession de stock. Celui-ci représente, par an, près de 20 % du coût de l'article stocké. Il s'agit

(XII) Le grand livre de la gestion des stocks et approvisionnements

aussi d'effectuer les prévisions nécessaires, selon des méthodes appropriées, tenant compte des historiques des consommations de rechanges et produits de maintenance et tenant également compte des tendances et saisonnalités qu'elles présentent ;

- réduire les stocks en veillant, avec le service de maintenance, à diminuer les consommations de RPM en adoptant une bonne stratégie de maintenance telle qu'une maintenance systématique avec des périodicités optimisées d'intervention ou, mieux, une maintenance conditionnelle ou prévisionnelle qui préconise de n'intervenir, pour remplacer une pièce, que lorsque des indications d'état montrant une dérive consécutive à une défaillance et qui, de ce fait, allonge la durée de fonctionnement et réduit de façon concomitante la consommation de rechanges ;
- s'inscrire dans une démarche PDCA (roue de Deming) d'amélioration continue en adoptant une approche de saisie et d'exploitation du retour d'expérience qui, partant de données recueillies et de constats observés à la suite d'un audit ou d'un inventaire physique, préconise de mener des opérations d'assainissement des stocks en éliminant les anomalies qui peuvent l'entacher telles que le maintien en magasin de non-mouvements inutiles et les erreurs de codification d'articles et d'emplacements. Il importe aussi, dans ce cadre, d'élaborer et d'exploiter un tableau de bord de GSA faisant état des évolutions d'indicateurs techniques et économiques pertinents et sensibles liés aux objectifs SMART adoptés pour la GSA en matière de qualité, coût et délai ;
- pour maintenir l'effort d'amélioration et de rigueur de GSA, il faut prévoir un plan d'audits internes afin de mettre en évidence les écarts et les anomalies de gestion pour les éradiquer et assurer la pérennité du système de gestion et son efficacité ;
- dans ce même but, une organisation de bon aloi doit être mise en place permettant la réalisation, coordonnée et ordonnée, des quatre fonctions principales requises par la GSA (magasinage, tenue des stocks, approvisionnements, analyses et études) qui doivent être encadrées par des fiches de fonction distinctes et complémentaires, ainsi que par des procédures de gestion éprouvées dont principalement celles des sorties, des réservations, des approvisionnements, du traitement de non-mouvements et de préservation des RPM, de même que les différents imprimés exploités pour les différents processus de gestion des stocks et des approvisionnements ;
- dans le but d'assurer une gestion maîtrisée et optimisée des stocks et des approvisionnements, il est important d'appliquer les démarches Lean, Kaizen et Six Sigma avec leurs méthodes et outils (les 5 S, la VSM, la DMAIC, Kanban, les diagrammes SIPOC et Spaghetti, les Unités Autonomes de

Production, la SMED, le *Poka Yoke*, le *Jidoka*) et ce, dans le but d'éliminer ou au moins de réduire les *Mudas* (7 gaspillages), les *Muras*(variabilités) et les *Muris*(manques de flexibilité) ;

- > il est évident que, compte tenu du nombre très important d'articles généralement gérés en stock dans les entreprises industrielles, même de taille moyenne, compte tenu également, de la multitude de mouvements de stock à suivre, il est nécessaire d'utiliser un progiciel adapté pour réaliser, aisément et efficacement, les différentes opérations de GSA ;
- > en matière d'informatisation et bien au-delà de la gestion des stocks et des approvisionnements assistée par ordinateur, de l'approvisionnement électronique (*e-procurement*, *e-tendering* et *e-sourcing*), l'entreprise doit se projeter sur l'avenir proche en s'inscrivant dans la démarche GSA 4.0 qui requiert :
 - des 5 M connectés (hommes, pièces, magasins, procédures de gestion, matériel) donc repérés aisément et tracés grâce à la RFID par exemple,
 - l'exploitation du *Cloud Computing*, la *Data Science* pour stocker une grande masse de données sur les stocks, leurs mouvements, les approvisionnements et les prétraiter pour en tirer du sens, de l'utilité,
 - l'utilisation de l'intelligence artificielle, le *Machine Learning*, pour la prévision des consommations de rechanges dans le cadre d'une maintenance prévisionnelle 4.0,
 - l'utilisation des robots autonomes, des cobots, les exosquelettes ou les ergosquelettes pour le magasinage (mise en rayons, sorties, entrées, transport, etc.),
 - la réalité augmentée (RA) pour permettre au magasinier, devant une étagère, un rayon, un casier, de disposer immédiatement sur sa tablette ou sur ses lunettes spéciales de RA des informations sur les articles qui y sont stockés.

Ce sont tous ces aspects que le présent livre se propose de traiter, de façon ciblée et pratique, en mettant l'accent sur tout ce qui est de nature à améliorer et optimiser la gestion des stocks et approvisionnements de la maintenance.

1

Généralités sur la maintenance

1.1 La définition de la maintenance

DÉFINITION

- La maintenance est l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management, durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise (norme NF EN 13306).

Il est à noter que, dans cette définition, la maintenance ne consiste pas uniquement en des actions techniques (nettoyage, graissage et lubrification, échange de pièces, resserrage, réglage, etc.), elle nécessite aussi des actions de management (gestion des stocks de rechanges, préparation, ordonnancement et lancement, méthodes, comptabilité, gestion du retour d'expérience, formation, etc.). Les unes ne peuvent conduire à une maintenance efficiente sans les autres. En effet, même si l'on dispose d'une équipe d'intervenants des plus compétentes et si, en revanche, on ne dispose pas de pièces de rechange à la suite d'une omission ou d'une erreur de gestion des stocks et des approvisionnements, la durée d'intervention est allongée outre mesure, ce qui entraîne des pertes financières pouvant être très importantes. Le résultat global de la maintenance est alors fort mauvais.

De plus, il apparaît clairement que « maintenir » vient avant « rétablir », ce qui indique que la maintenance préventive est à privilégier par rapport à la maintenance corrective.

Pour assurer la maintenance d'une entité, différentes formes d'interventions techniques peuvent être envisagées, principalement correctives ou préventives. Ces dernières peuvent être systématiques, conditionnelles ou prévisionnelles (formes plus développée de la maintenance conditionnelle) (voir figure 1.1, page suivante).

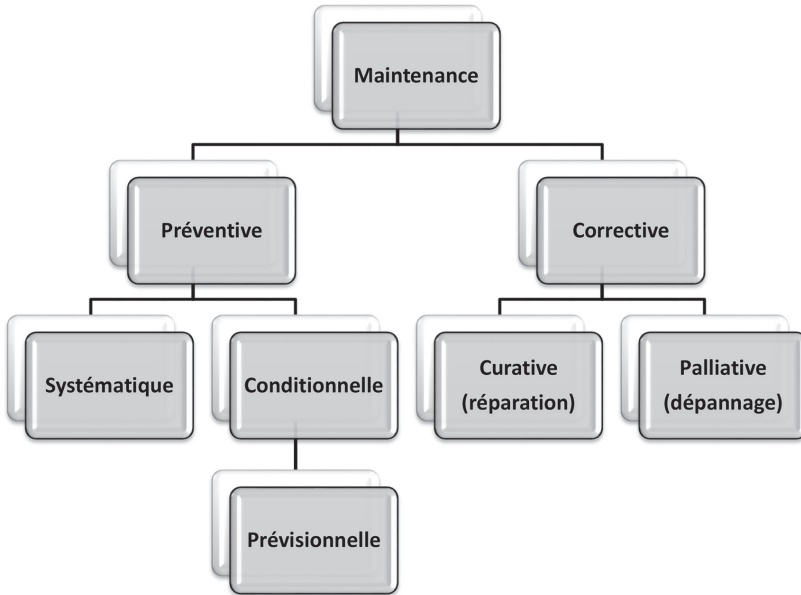


Figure 1.1 Formes de la maintenance

1.2 La maintenance préventive

DÉFINITION

- C'est une maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits dans le but de réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien (norme NF EN 13306).

Il s'agit d'une maintenance qui est effectuée avant que les dégradations ne conduisent à l'arrêt de l'équipement ou à la dégradation de son fonctionnement. Le but est de réaliser les opérations qui conviennent afin de permettre à l'équipement de fonctionner, de nouveau, sans problème pendant une période déterminée.

Le type de maintenance est différent selon que le facteur de déclenchement de l'intervention technique est :

- le temps (une durée) ou un nombre d'unités d'usage (nombre de cycles, de kilomètres, de pièces fabriquées, etc.), la maintenance est systématique ;
- l'état du bien (dérive de fonctionnement, dégradation), la maintenance est conditionnelle ou (dans sa forme plus développée) prévisionnelle ou prédictive.

Une autre forme s'insinue entre les deux. Il s'agit de la maintenance de routine qui est réalisée à une périodicité courte (le jour à la semaine) et qui est autant systématique que conditionnelle puisqu'elle consiste aussi bien à réaliser des remplacements, des réglages des resserrages, des nettoyages (maintenance systématique) qu'à faire des contrôles, des vérifications et des inspections suivis d'interventions palliatives ou curatives (maintenance conditionnelle) (voir figure 1.2).

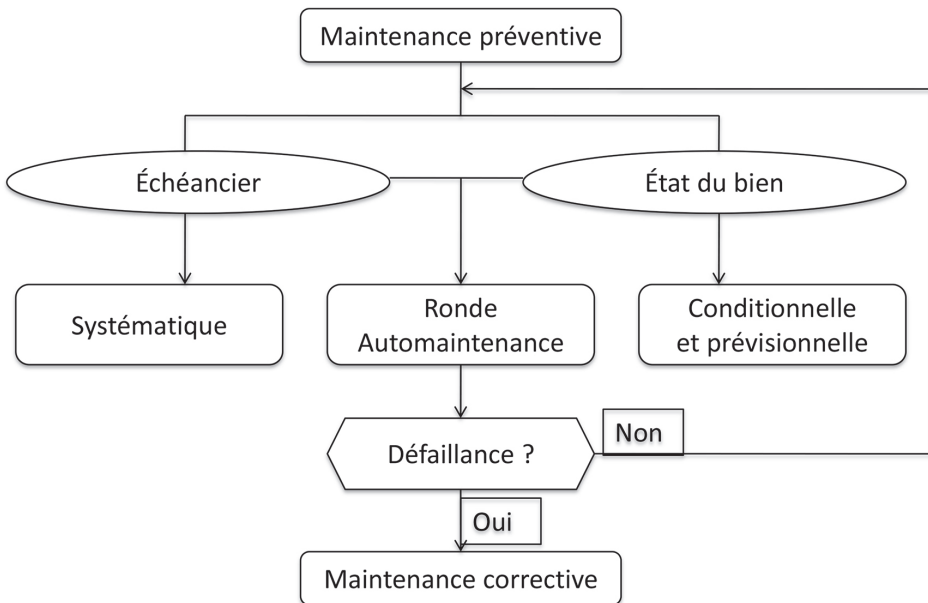


Figure 1.2 Formes de maintenance préventive

L'une des principales distinctions entre la maintenance préventive (exécutée avant dégradation) et la maintenance corrective (opérée après dégradation) est que la première est prévue, préparée et planifiée. La seconde ne l'est pas. Elle est réalisée dans l'urgence la plupart du temps. Elle n'est donc pas préparée, ce qui conduit à un allongement de la période d'arrêt pouvant atteindre 60 %, voire plus. Néanmoins, dans certains cas, la maintenance corrective peut être différée et donc préparée et planifiée.

De façon générale, la maintenance préventive est préférée à la maintenance corrective, fidèle à l'adage très connu : « Il vaut mieux prévenir que guérir. » Néanmoins, il faut souligner que, dans certains cas, la maintenance corrective peut être techniquement et économiquement intéressante, particulièrement lorsque la défaillance est brutale, donc difficilement détectable et/ou irrégulière dans sa manifestation temporelle et/ou lorsqu'elle n'engendre que de faibles

pertes financières. C'est le cas des défaillances de lampes, de mobilier, d'essuie-glaces de voitures, etc.

En outre, il convient de noter que la panne est souvent accompagnée de dégâts collatéraux, qui augmentent, de façon importante, le coût de la panne. C'est le cas, par exemple, de la rupture de la courroie de distribution dans une voiture, qui entraîne la dégradation des soupapes du moteur et de leur logement. La réparation est alors très coûteuse et sans commune mesure avec le coût de remplacement préventif de la courroie avant sa rupture.

1.3 La maintenance systématique

DÉFINITION

- C'est une maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre d'unités d'usage, mais sans contrôle préalable de l'état du bien (norme NF EN 13306).

Les interventions sont effectuées à intervalles réguliers de (voir figure 1.3) :

- temps ;
- nombre de cycles ;
- distance parcourue ;
- quantité produite, etc.

Les principales opérations de maintenance systématique sont les échanges de pièces ou d'ensembles, le graissage et la lubrification, les nettoyages, les réglages, les resserrages, la réfection de peinture, le reconditionnement de pièces etc.

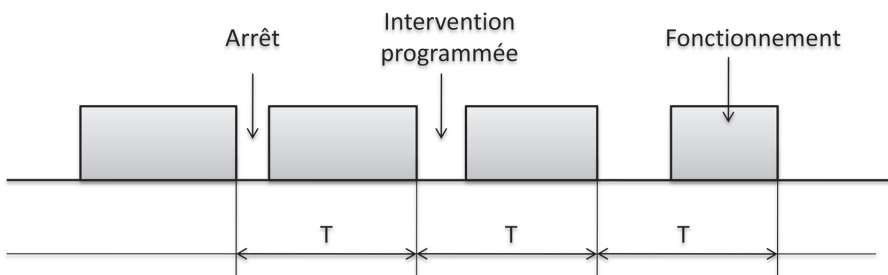


Figure 1.3 Schéma de maintenance systématique

1.3.1 Les périodicités d'intervention

Les périodicités d'intervention sont obtenues soit :

- sur la base des préconisations du constructeur ;
- à partir des prévisions basées sur des données de banques spécialisées ;
- par itérations successives en choisissant une petite période et en l'augmentant progressivement jusqu'à ce que les pannes apparaissent ;
- à partir des périodicités utilisées dans des industries similaires ;
- sur la base de prévisions à partir de l'historique et de l'expérience de l'entreprise elle-même.

C'est cette dernière proposition qui est la meilleure car, pour autant que les prévisions soient bien faites, elle tient compte des conditions réelles de fonctionnement et de maintenance de l'équipement considéré ; conditions qui sont souvent différentes de celles du matériel d'essai du constructeur ou des équipements d'entreprises similaires.

1.3.2 La durée de fonctionnement associée à une fiabilité donnée

Dans le cas où la défaillance est modélisée par la loi de Weibull, on détermine la périodicité d'intervention systématique en fixant, au préalable, il est intéressant de savoir à quel instant la fiabilité atteindra un seuil déterminé. Pour cela, on fixe la valeur souhaitée de $R(t)$ et on détermine le temps t correspondant :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \Rightarrow \ln R(t) = -\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta \Rightarrow \ln \frac{1}{R(t)} = \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta \Rightarrow \frac{t-\gamma}{\eta} = \left(\ln \frac{1}{R(t)}\right)^{1/\beta}$$

$$\Rightarrow t = \eta \cdot \left(\ln \frac{1}{R(t)}\right)^{1/\beta} + \gamma$$

Dans le cas où l'on a : $\gamma = 0$ $\beta = 1,8$ $\eta = 540$

On en déduit : $MTBF = A \eta + \gamma = 0,889 \cdot 540 + 0 = 480$ jours

Si on désire obtenir une fiabilité $R(t) = 90\%$ soit $F(t) = 10\%$, la périodicité de maintenance systématique correspondante est égale à 150 jours environ.

1.3.3 La périodicité de maintenance optimale économiquement

Dans la pratique de la maintenance, on est amené, lorsqu'on a fait le choix d'une maintenance préventive systématique plutôt que corrective, à déterminer la périodicité optimale d'intervention particulièrement pour le remplacement préventif d'un composant ou d'un ensemble.

Considérons les éléments suivants :

→ **coût de l'intervention : p**

p est le coût des 5 M (main-d'œuvre, pièce et fourniture de maintenance, outillage, machine et coût d'atelier, sous-traitance) requis pour l'intervention. On le supposera constant. Il est le même pour la maintenance corrective et pour la préventive systématique.

→ **coût d'indisponibilité : P**

C'est le coût supplémentaire généré par une défaillance (pertes dues à l'arrêt de l'outil de production). Il vient s'ajouter au coût p de l'intervention.

Dans le cas de la maintenance systématique, on remplace l'élément concerné à une périodicité T, mais il existe, bien entendu, deux solutions :

→ il n'y a pas de défaillance avant T : le coût d'intervention est : $p \cdot R(T)$;

→ il y a défaillance avant T, avec une probabilité que cela se produise égale à : $F(t) = 1 - R(t)$. Dans ce cas, le coût sera : $p + P \cdot F(t) = p + P \cdot (1 - R(t))$;

→ D (θ) étant la moyenne du temps de fonctionnement entre 0 et θ lorsque la fonction fiabilité est R(t). Elle a donc pour expression : $D(T) = \int_0^T R(t) dt$.

Dans le cas de la loi de Weibull, cette moyenne est donnée par des tables. Pour mieux expliquer la méthode de détermination de la périodicité optimale, il est opportun de traiter un exemple pratique. Soit un équipement pour lequel, on a relevé les temps de bon fonctionnement suivants classés par ordre croissant.

TBF (h)	14	19	24	26	29	31	36	40	43	46	48
---------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Le tracé de la courbe de Weibull, qui est une droite dans le cas présent, donne les données suivantes :

→ $\gamma = 0$;

→ $\eta = 36$ heures ;

→ $\beta = 2,9$;

→ MTBF = 32,1 heures.

Le coût total de maintenance systématique est : $CC = p \cdot R(t) + (p + P) \cdot F(t)$

Pour mieux comparer les formes de maintenance corrective et systématique, on étudiera les coûts, mais rapportés aux durées (coûts moyens). On a ainsi les relations suivantes :

$$\rightarrow \text{coût moyen de maintenance corrective : } C_0 = \frac{p + P}{MTBF} ;$$

$$\rightarrow \text{coût moyen de maintenance systématique : } C_1 = \frac{p + P \cdot F(t)}{D(t)}$$

avec $D(t) = \int_0^t R(t) dt ;$

$$\rightarrow C_1/C_0 = \frac{[p + P \cdot F(t)] \cdot MTBF}{(p + P) \cdot D(t)}.$$

On obtient ainsi le tableau 1.1, ainsi que les courbes correspondantes des figures donnant la périodicité optimale d'intervention qui est, bien évidemment, au droit du minimum de la courbe des coûts. Elles sont tracées pour différents rapports $r = (P/p)$. Par exemple, pour $r = 5$, la périodicité optimale est égale à 16 heures (voir figure 1.4, page suivante).

Tableau 1.1 Évolutions des coûts de maintenance

			r = 0,5	r = 1	r = 5	r = 10
t	D(t)	F(t) en %	C ₁ /C ₀	C ₁ /C ₀	C ₁ /C ₀	C ₁ /C ₀
4	4,0	0,2	5,37	4,03	1,35	0,74
7	7,0	0,9	3,08	2,32	0,8	0,45
11	11,0	3,1	1,99	1,51	0,57	0,35
14	13,8	6,2	1,60	1,23	0,51	0,34
16	15,6	9,0	1,43	1,12	0,50	0,36
19	18,3	14,5	1,26	1,01	0,51	0,39
24	22,3	26,5	1,09	0,91	0,56	0,48
26	23,7	32,2	1,05	0,90	0,59	0,52
29	25,6	41,3	1,01	0,89	0,64	0,59
31	26,7	47,7	0,99	0,89	0,68	0,63
36	28,9	63,2	0,97	0,91	0,77	0,4
40	30,1	74,2	0,97	0,93	0,84	0,81
45	31,1	85,1	0,98	0,95	0,9	0,89
49	31,6	91,3	0,98	0,97	0,94	0,94
54	31,9	96,1	0,99	0,99	0,97	0,97

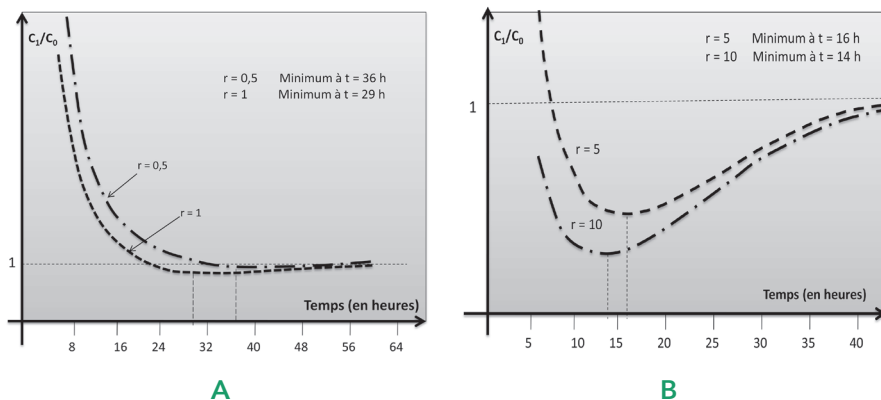


Figure 1.4 A et B. Courbes C_1/C_0 selon différentes valeurs de $r = P/p$

1.4 La maintenance conditionnelle

DÉFINITION

- C'est une maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent (norme NF EN 13306).

Il est important de partir d'un principe ne pouvant être contesté : il est fortement recommandé de laisser une machine continuer à bien fonctionner et ne pas lui appliquer une maintenance systématique alors qu'elle ne le nécessite pas encore. La maintenance systématique consistant à démonter une machine pour s'assurer que les organes sont encore bons ou pour faire un remplacement estimant, qu'ainsi, on assure une fiabilité de l'équipement sur une période déterminée ; cette maintenance n'est pas forcément judicieuse. En effet, on peut remplacer une pièce par une nouvelle, qui peut tomber en panne après une courte période, alors que l'ancienne pièce aurait pu fonctionner encore sur une longue période. On estime que dans 15 à 20 % des cas de démontages et remontages, on introduit des anomalies qui n'existaient pas. Il convient, toutefois, de surveiller la pièce de manière non destructive et en fonctionnement, si possible, pour détecter, de façon précoce, les défaillances qui peuvent y apparaître. C'est la maintenance conditionnelle.

La mise en œuvre de la maintenance conditionnelle nécessite la connaissance de la périodicité de contrôle ou de mesure qui dépend du type de paramètre suivi : vibration, température, vitesse, etc., et la vitesse de son évolution. Elle nécessite la connaissance du seuil de panne et celui d'intervention à adopter pour éviter

la panne. Des approches successives d'estimation sont nécessaires pour une bonne détermination de ces seuils. Le retour d'expérience et les préconisations de constructeurs sont d'une grande utilité pour cela. On fixe un premier seuil et on l'ajuste de proche en proche au fur et à mesure qu'on dispose de résultats du retour d'expérience.

Le critère de déclenchement des opérations de maintenance (remplacement, réglage, rechargement, etc.) est la dégradation du fonctionnement (cadence, par exemple) ou la dérive inadmissible d'un caractère de ce fonctionnement (vibration, échauffement, etc.).

Les différents seuils que l'on rencontre lors de l'évolution d'une défaillance sont (voir figure 1.5) :

- le seuil critique ou d'admissibilité au-delà duquel le risque de défaillance est trop grand. À ce seuil, il faut arrêter immédiatement la machine pour maintenance. C'est, par exemple, le voyant du circuit de refroidissement d'une voiture ;
- le seuil d'alarme est choisi suffisamment plus petit que le précédent pour permettre la planification et la préparation précoces des travaux de maintenance à réaliser.

Les contrôles et les analyses de maintenance conditionnelle sont très souvent faits à intervalles réguliers, mais ils peuvent avoir lieu, aussi, de façon opportuniste, à l'occasion d'une dérive de fonctionnement ou pour un meilleur lissage de charge.

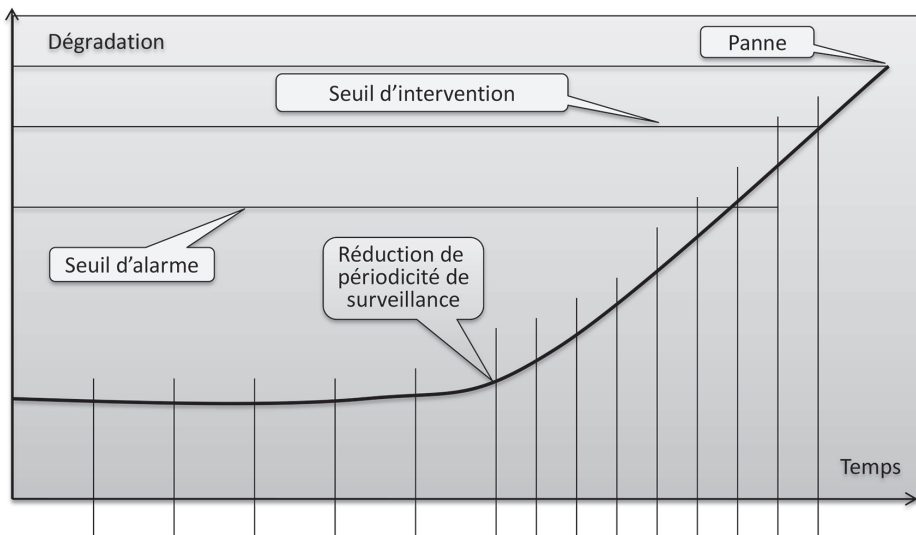


Figure 1.5 Évolution de défaillance et de périodicités de contrôle

1.4.1 Les différents modes de maintenance conditionnelle

La surveillance du fonctionnement peut être faite soit selon un calendrier, soit à la demande, soit de façon continue avec des capteurs dédiés à l'équipement et fixés en permanence sur celui-ci. Ce dernier cas est applicable à des équipements d'une très grande criticité qui, s'ils tombent en panne, génèrent des accidents et/ou des coûts d'indisponibilité inadmissibles.

La surveillance peut être faite également de façon discontinue grâce à des contrôles faits à intervalles de temps déterminés, éventuellement, avec un collecteur portatif sur lequel les résultats des mesures (température, vibration, etc.) et contrôles sont enregistrés et, par la suite, chargés automatiquement sur un ordinateur qui élabore les historiques requis et les analyse au moyen d'un logiciel adapté, afin de déterminer à quel moment le seuil d'intervention est atteint.

La maintenance conditionnelle peut être faite directement sur site ou à distance grâce, par exemple, à Internet ou au réseau informatique de l'usine. On parle alors de télémaintenance. C'est le cas d'intervention faite à distance pour corriger des problèmes de programmation d'une installation. Dans d'autres cas, le diagnostic peut être fait à distance pour, ensuite, donner les instructions d'intervention à des mainteneurs sur site pour l'opération de réparation ou de remplacement.

1.4.2 Les méthodes et les outils de maintenance conditionnelle

Pour que la maintenance conditionnelle soit possible, efficace et économique, il faut que l'équipement et ses défaillances s'y prêtent. Il faut trouver une caractéristique détectable par l'homme ou par un moyen technique qui puisse révéler de façon qualitative ou mieux quantitative et avec sensibilité, fidélité et justesse, l'apparition de la défaillance à détecter. Il doit y avoir aussi une forte corrélation entre cette caractéristique et la défaillance.

Pour la détection d'anomalies ou de dérives de fonctionnement, on peut soit utiliser les sens de l'homme, soit exploiter des moyens techniques pour une détection plus sensible donc plus précoce (voir figure 1.6, page suivante).

La détection des anomalies peut être obtenue grâce aux quatre sens de l'homme : l'ouïe, l'odorat, la vue et le toucher. Le cinquième sens (le goût) est prohibé en maintenance car beaucoup de produits existant en industrie sont toxiques, voire des poisons, comme les huiles usagées ou la couche de corrosion de tubes en cuivre, etc. Ce sens est exploité en contrôle qualité dans l'agroalimentaire mais pas en maintenance (voir tableau 1.2, page suivante).

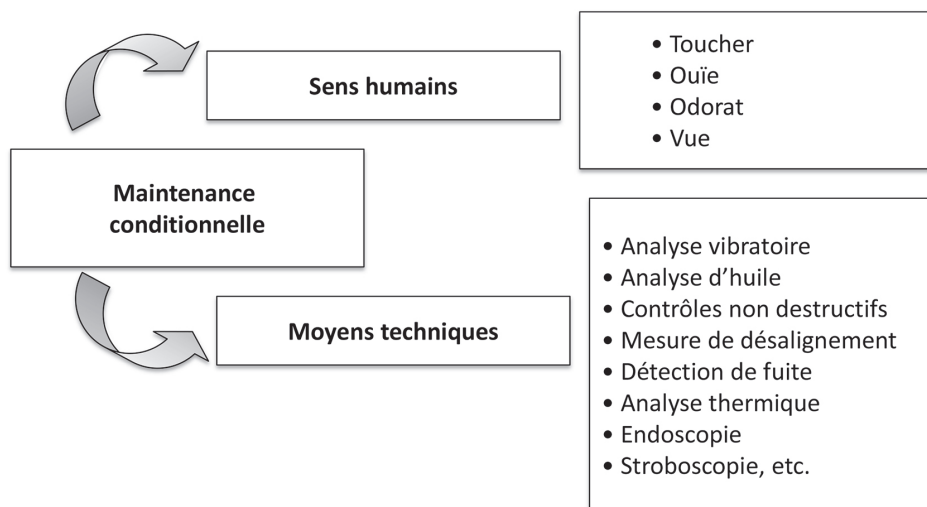


Figure 1.6 Moyens de contrôle de la maintenance conditionnelle

Tableau 1.2 Contrôles par les sens de l'homme

Sens	Phénomènes décelés
Vue	Fuites, fissures, ruptures, déformations, corrosions, desserrages
Ouïe	Chocs, vibrations, déformations
Toucher	Échauffement, vibrations, viscosité d'huile
Odorat	Fuites, brûlures, échauffements
Goût	À proscrire en maintenance car danger d'empoisonnement

Lorsque les exigences de sensibilité de détection sont grandes et que les sens de l'homme ne sont pas capables de les détecter à un stade suffisamment précoce, on recourt à des moyens techniques adaptés plus ou moins sophistiqués. On peut classer ces techniques de maintenance conditionnelle en deux catégories :

- les contrôles et les analyses de paramètres de fonctionnement ;
- les méthodes de contrôle non destructif, qui décèlent les défauts de structure.