

PRATIQUE DE LA  
MAINTENANCE  
PRÉVENTIVE



Jean Héng

# PRATIQUE DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE

Mécanique • Pneumatique  
Hydraulique • Électricité • Froid

4<sup>e</sup> édition

DUNOD

Photographie de couverture : © zhaoliang – 123rf.com

<p>Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.</p> <p>Le Code de la propriété intellectuelle du 1<sup>er</sup> juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements</p>		<p>d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.</p> <p>Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).</p>
--	--	--

© Dunod, 2002, 2005, 2011, 2017, nouvelle présentation 2023  
11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff  
www.dunod.com  
ISBN 978-2-10-085758-6

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

# TABLE DES MATIÈRES

---

## A

---

### Principes et mise en œuvre

<b>1 • Définitions et méthodes</b>	<b>3</b>
1.1 Définitions	3
1.2 Différents types de maintenance préventive	4
1.3 Objectifs visés par la maintenance préventive	6
1.4 Principes élémentaires	7
1.5 Contrôles périodiques réglementaires	12
1.6 Fiabilité et maintenance préventive	15
1.7 TPM et maintenance préventive	18
1.8 Mise en place de la maintenance préventive	20
1.9 Maintenance préventive et sous-traitance	26
<b>2 • Mise en œuvre</b>	<b>29</b>
2.1 Arborescences	29
2.2 Historique machine	41
2.3 Sélectivité	41
2.4 Élaboration d'un plan de maintenance préventive	48
2.5 Plan de maintenance préventive	53
2.6 Documents opérationnels	54
2.7 Planification des travaux de maintenance préventive	62
2.8 GMAO et planification de maintenance préventive	69
2.9 Suivis de l'application	70
2.10 Préparation des arrêts	71
2.11 Analyses quotidiennes et méthodes	73
2.12 Intégration des contrôles réglementaires	76

# **B**

---

## Techniques

<b>3 • Contrôles non destructifs</b>	<b>79</b>
3.1 Examens sensoriels	79
3.2 Analyse des huiles	79
3.3 Analyse vibratoire	101
3.4 Thermographie infrarouge	113
3.5 Mesure d'épaisseur	116
3.6 Mesure de couple de serrage	122
3.7 Mesure de l'intensité	127
3.8 Mesure d'isolement	128
3.9 Contrôle d'étanchéité ou détection de fuite	132
3.10 Indices de protection	140
<b>4 • Mécanique</b>	<b>145</b>
4.1 Roulements	145
4.2 Accouplements	154
4.3 Courroies et poulies de transmission	165
4.4 Chaînes et roues de transmission	176
4.5 Transmissions à cardan	182
4.6 Chaînes et roues de manutention	187
4.7 Pompes centrifuges et volumétriques	195
4.8 Surpresseurs à pistons rotatifs	203
<b>5 • Pneumatique</b>	<b>209</b>
5.1 Compresseurs à vis lubrifié	209
5.2 Compresseurs à pistons	212
5.3 Traitement de l'air comprimé	216
5.4 Sécheur par adsorption	220
5.5 Sécheur par réfrigération	224
5.6 Sécheur par absorption	228
5.7 Conditionnement d'air comprimé	232
5.8 Vérin pneumatique	237

<b>6 • Hydraulique</b>	<b>245</b>
6.1 Centrale hydraulique	245
6.2 Filtration d'huile hydraulique	258
6.3 Accumulateur hydraulique à membrane	262
6.4 Accumulateur hydropneumatique à vessie	265
6.5 Accumulateur à piston	268
6.6 Vérins hydrauliques	271
<b>7 • Électricité</b>	<b>277</b>
7.1 Transformateur de puissance	277
7.2 Batterie d'accumulateurs	285
7.3 Moteur à courant continu	289
7.4 Moteur asynchrone triphasé	302
7.5 Moteur frein	312
7.6 Servomoteur	316
<b>8 • Automatismes</b>	<b>321</b>
8.1 Automate programmable industriel	321
8.2 Détecteurs de proximité	331
8.3 Thermocouple	342
8.4 Détecteur optoélectronique	352
8.5 Détecteur ultrasonique	363
8.6 Codeur optique	367
8.7 Codeur magnétique	372
<b>9 • Froid</b>	<b>375</b>
9.1 Production du froid	375
9.2 Groupe frigorifique industriel	386
9.3 Refroidisseur-réchauffeur	395
<b>Annexe • Principaux contrôles réglementaires</b>	<b>403</b>
<b>Index alphabétique</b>	<b>417</b>





# A

---

## Principes et mise en œuvre



# 1 • DÉFINITIONS ET MÉTHODES

## 1.1 Définitions

D'après l'Afnor (FD X 60-000), « 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 ».

Dans une entreprise, *maintenir*, c'est donc effectuer des opérations (dépannage, réparation, graissage, contrôle, etc.) qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la production avec efficacité et qualité.

### 1.1.1 De l'entretien à la maintenance

Cette différence de vocabulaire n'est pas une question de mode, mais marque une évolution de concept. Le terme maintenance est apparu dans les années 1950 aux États-Unis. En France, on parlait encore à cette époque d'entretien. Progressivement, une attitude plus positive vis-à-vis de la défaillance voit le jour. Il faut tirer une leçon de l'apparition d'une panne pour mieux réagir face aux aléas de fonctionnement (figure 1.1).

Le terme « maintenance » se substitue à celui d'« entretien » qui signifie alors « maintenance corrective ».

Entretien, c'est dépanner, réparer pour assurer le fonctionnement de l'outil de production : *entretenir*, c'est subir le matériel.

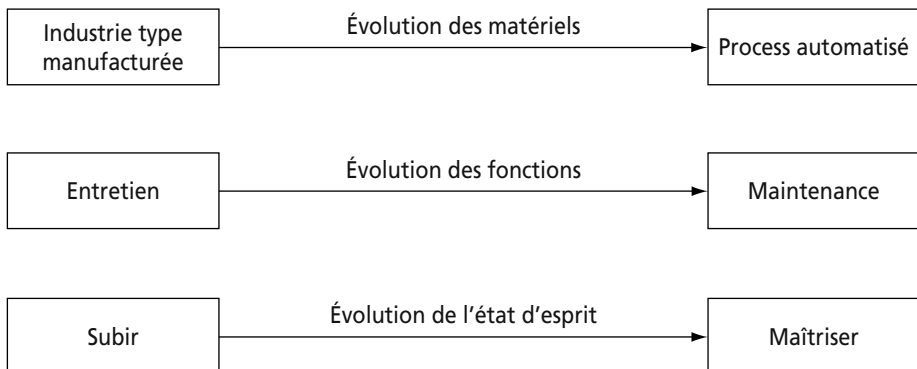


Figure 1.1 – De l'entretien à la maintenance.

Maintenir, c'est intervenir dans de meilleures conditions ou appliquer les différentes méthodes afin d'optimiser le coût global de possession : *maintenir*, c'est maîtriser.

### 1.1.2 Maintenance préventive

Dans la définition de la *maintenance préventive*, nous incluons l'ensemble des contrôles, visites et interventions de maintenance effectuées préventivement.

La maintenance préventive s'oppose en cela à la *maintenance corrective* déclenchée par des perturbations ou par les événements, et donc subie par la maintenance.

La maintenance préventive comprend :

- les contrôles ou visites systématiques,
- les expertises, les actions et les remplacements effectués à la suite de contrôles ou de visites,
- les remplacements systématiques,
- la maintenance conditionnelle ou les contrôles non destructifs.

La maintenance préventive ne doit pas consister à dire à un agent de maintenance : « allez voir si l'état de tel organe est bon » au moyen d'une liste des points à examiner. Dans ce cas, si l'état est bon, on ne dit rien ; s'il n'est pas bon, il faut intervenir de suite, ce qui nécessite forcément une disponibilité en pièces de rechange. Il s'agit d'une *détection d'anomalie* et non de maintenance préventive.

Au contraire, la maintenance préventive doit consister à suivre l'évolution de l'état d'un organe, de manière à *prévoir* une intervention dans un délai raisonnable (1 mois, par exemple) et l'achat de la pièce de remplacement nécessaire (donc on n'a pas besoin de la tenir en stock, si le délai normal le permet).

## 1.2 Différents types de maintenance préventive

### 1.2.1 Maintenances préventives systématiques

#### ■ Visites systématiques

Les visites sont effectuées selon un échancier établi suivant le temps ou le nombre d'unités d'usage. À chaque visite, on détermine l'état de l'organe qui sera exprimé soit par une valeur de mesure (épaisseur, température, intensité, etc.), soit par une appréciation visuelle. Et on pourra interpréter l'évolution de l'état d'un organe par les degrés d'appréciation : Rien à signaler, Début de dégradation, Dégradation avancée et Danger.

Par principe, la maintenance préventive systématique est effectuée en fonction de conditions qui reflètent l'état d'évolution d'une défaillance. L'intervention peut être programmée juste à temps avant l'apparition de la panne.

#### ■ Remplacements systématiques

Selon un échancier défini, on remplace systématiquement un composant, un organe ou un sous-ensemble complet (il s'agit d'un échange standard).

Dans la mise en place d'une maintenance préventive, il vaut toujours mieux commencer par des visites systématiques, plutôt que par des remplacements systématiques, sauf dans les cas suivants :

- lorsque des raisons de sécurité s'imposent ;
- lorsque le coût de l'arrêt de production est disproportionné par rapport au coût de remplacement ;
- lorsque le coût de la pièce concernée est si faible qu'il ne justifie pas de visites systématiques ;
- lorsque la durée de vie est connue avec exactitude par l'expérience.

Le risque de remplacement systématique est de changer des éléments encore capables d'assumer le bon fonctionnement pendant un temps non négligeable. La visite systématique permet tout d'abord de capitaliser les expériences sur le comportement des organes soumis aux conditions d'utilisation réelle.

### ■ Ronde ou visite en marche

La visite systématique effectuée pendant le fonctionnement permet d'optimiser l'arrêt machine. Pour ce type de maintenance, on suit l'effet de la dégradation ou de l'usure pour éviter le démontage indésirable. Les contrôles sont simples à réaliser : lecture des valeurs des paramètres, examens sensoriels... Les valeurs des paramètres pour un fonctionnement normal sont connues à l'avance.

#### Exemples

Une fuite plus ou moins importante traduit le degré d'usure de la garniture mécanique d'une pompe.

Une augmentation d'intensité d'un moteur indique une augmentation de l'effort demandé. La plupart du temps, le problème vient de la partie menée.

Un échauffement anormal signale un problème de roulement.

Tout en respectant les règles de sécurité, une surveillance quotidienne en marche permet de détecter rapidement le début d'une dégradation. La durée et la fréquence de ces opérations sont courtes.

Dans la mesure du possible, cette maintenance de premier niveau est confiée aux opérateurs pour les machines de production et aux exploitants pour les utilités. Ce sont eux qui sont le mieux placés pour constater les conditions de l'apparition des pannes.

### 1.2.2 Maintenance préventive conditionnelle

D'après la définition Afnor, il s'agit d'une forme de maintenance préventive basée sur une surveillance de fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement et intégrant les actions qui en découlent.

La maintenance conditionnelle permet d'assurer le suivi continu du matériel en service, et la décision d'intervention est prise lorsqu'il y a une évidence expérimentale de défaut imminent ou d'un seuil de dégradation prédéterminé.

Cela concerne certains types de défaut, de pannes arrivant progressivement ou par dérive. L'étude des dérives dans le cadre des interventions de maintenance

préventive permet de déceler les seuils d'alerte, tant dans les technologies relevant de la mécanique que celles de l'électronique.

Au cours de la conception d'une installation, on définit des tolérances pour certains paramètres. La variation progressive d'un paramètre n'implique pas la défaillance d'un organe. Mais lorsqu'un paramètre sort de la tolérance, le fonctionnement peut être complètement perturbé.

Le suivi de l'évolution des paramètres permet de préciser la nature et la date des interventions. Le paramètre suivi peut être :

- une mesure électrique (tension, intensité...);
- une mesure de température ;
- un pourcentage de particules dans l'huile ;
- un niveau de vibration...

On choisit comme paramètre à suivre celui qui caractérise le mieux la dégradation des composants ou la cause de la perturbation de fonctionnement.

### 1.2.3 Télémaintenance

Le système de supervision permet tout à la fois la conduite d'une installation et la détection d'aléas de fonctionnement. Les informations sont reçues à travers les capteurs et transmises à une centrale de surveillance qui enregistre les alarmes et les paramètres. Grâce au tableau synoptique qui visualise la localisation de ces informations, l'agent de surveillance réagit en conséquence dès l'apparition d'un défaut ou d'une variation anormale d'un paramètre.

Ce système, équivalent à une ronde, est utilisé pour surveiller un ensemble d'équipements dont la localisation est dispersée d'une part, et dont l'accès est difficile et parfois dangereux d'autre part.

Le système de télémaintenance peut être entièrement automatisé. La gestion des actions, de type conditionnel, est réalisée à l'aide de modules de progiciel.

## 1.3 Objectifs visés par la maintenance préventive

### 1.3.1 Améliorer la fiabilité du matériel

La mise en œuvre de la maintenance préventive nécessite les analyses techniques du comportement du matériel. Cela permet à la fois de pratiquer une maintenance préventive optimale et de supprimer complètement certaines défaillances.

### 1.3.2 Garantir la qualité des produits

La surveillance quotidienne est pratiquée pour détecter les symptômes de défaillance et veiller à ce que les paramètres de réglage et de fonctionnement soient respectés. Le contrôle des jeux et de la géométrie de la machine permet d'éviter les aléas de fonctionnement. La qualité des produits est ainsi assurée avec l'absence des rebuts.

### 1.3.3 Améliorer l'ordonnancement des travaux

La planification des interventions de la maintenance préventive, correspondant au planning d'arrêt machine, devra être validée par la production. Cela implique la collaboration de ce service, ce qui facilite la tâche de la maintenance.

Les techniciens de maintenance sont souvent mécontents lorsque le responsable de fabrication ne permet pas l'arrêt de l'installation alors qu'il a reçu un bon de travail pour l'intervention. Une bonne coordination prévoit un arrêt selon un planning défini à l'avance et prend en compte les impossibilités en fonction des impératifs de production.

### 1.3.4 Assurer la sécurité humaine

La préparation des interventions de maintenance préventive ne consiste pas seulement à respecter le planning. Elle doit tenir compte des critères de sécurité pour éviter les imprévus dangereux.

Par ailleurs le programme de maintenance doit aussi tenir compte des visites réglementaires.

### 1.3.5 Améliorer la gestion des stocks

La maintenance préventive est planifiable. Elle maîtrise les échéances de remplacement des organes ou pièces, ce qui facilite la tâche de gestion des stocks. On pourra aussi éviter de mettre en stock certaines pièces et ne les commander que le moment venu.

### 1.3.6 Améliorer le climat de relation humaine

Une panne imprévue est souvent génératrice de tension. Le dépannage doit être rapide pour éviter la perte de production. Certains problèmes, comme par exemple le manque de pièces de rechange, entraîne l'immobilisation de la machine pendant longtemps. La tension peut monter entre la maintenance et la production.

En résumé, il faudra examiner les différents services rendus pour apprécier les enjeux de la maintenance préventive :

- la sécurité : diminution des avaries en service ayant pour conséquence des catastrophes ;
- la fiabilité : amélioration, connaissance des matériels ;
- la production : moins de pannes en production.

## 1.4 Principes élémentaires

### 1.4.1 Principes de bonne conduite

Il est important de s'assurer que quelques principes de bonne conduite sont respectés pour la réussite de l'application du programme de maintenance préventive dont l'objectif est de maîtriser les pannes. Ces principes sont simples et primordiaux.

#### ■ Bien conduire

Souvent, la conduite ou l'utilisation du matériel sans précautions génère de nombreux dysfonctionnements qui peuvent aller jusqu'à la casse. Le respect des paramètres de fonctionnement est essentiel dans la bonne conduite. En effet, le

suivi des paramètres de fonctionnement (température, pression, intensité...) permet souvent de déceler des dérives ou des débuts de dégradation.

Voici quelques exemples de règles de l'art en matière de conduite :

- Ouvrir la vanne d'aspiration, alimenter en liquide de barrage avant de démarrer une pompe à garniture mécanique.
- Garder sous tension une commande numérique durant le week-end.
- Arrêter l'alimentation en brouillard d'huile lorsque la machine est à l'arrêt ; la redémarrer avant la mise en route de la machine.
- Une vanne ou un volant de réglage doit être réglé de la même manière entre l'équipe du matin et les équipes de l'après-midi et de la nuit. Un vernier avec des index de valeurs sera nécessaire.

Pour une machine complexe, il est nécessaire de posséder un dossier Manuel Opérateur à mettre à disposition des conducteurs en plus d'une formation préliminaire. Ce dossier comportera : des procédures de mise en chauffe, de démarrage, de fonctionnement, d'arrêt, de mise en sommeil ; des consignes de sécurité ; un mode de passation de consigne entre opérateurs. On intègre également toutes les consignes de la production.

#### ■ Bien nettoyer

Une installation propre permet d'obtenir des conditions saines d'intervention de la part des conducteurs et des intervenants d'entretien, en terme :

- de facilité de diagnostic de panne,
- de rapidité d'intervention,
- de qualité des opérations de maintenance.

Cependant sur une installation propre, une faible trace de fuite ne sera pas inaperçue. Une instruction de nettoyage indiquant comment l'effectuer et avec quels instruments est parfois nécessaire. On utilise les chiffons, les éponges, les spatules comme outils de nettoyage. Les produits de nettoyage sont nombreux et le choix se fait en fonction du besoin et de l'environnement.

Dans les industries chimiques et alimentaires, la procédure de nettoyage fait partie du process de fabrication.

Les machines outils ou les centres d'usinage sont quelquefois si compliqués que l'ouvrier ne peut pas les nettoyer sans perdre un temps précieux. Les couvercles de protection doivent être facilement démontables en utilisant des fixations convenables. On aura besoin de les enlever pour nettoyer en dessous. La poussière et les corps étrangers ont tendance à s'y infiltrer et à former une pâte dangereuse sur les glissières. Il est recommandé d'utiliser des aspirateurs industriels dont les filtres résistent aux huiles et aux liquides de refroidissement. L'usage de la soufflette comme outil est à proscrire car on déplace la saleté.

#### ■ Bien réparer

Il est important d'assurer la qualité des interventions de maintenance dans le respect des règles de l'art. On remarque parfois que ces règles de l'art ne sont pas toujours appliquées, pour raccourcir le temps. Il en résulte souvent que les dysfonctionnements ou pannes reviennent après la mauvaise réparation. Dans certaines circonstances, les techniciens effectuent un dépannage provisoire



(par exemple shuntage du circuit électrique). Il ne faut pas oublier dans ce cas de revenir et de refaire correctement le travail.

Bien plus grave encore, pour un dépannage urgent, un technicien d'automatisme n'hésite pas à modifier le programme d'automate pour pallier les dysfonctionnements des organes. Le programme d'automate est normalement bien testé à la mise en place. Il faut prendre le temps d'aller contrôler l'état de l'organe en dysfonctionnement et des capteurs entrant dans la boucle d'asservissement. Il faut bien analyser le fonctionnement et la séquence de sécurité avant d'effectuer le programme.

### ■ Bien lubrifier

Le graissage et la lubrification sont les bases de la maintenance. Négliger ces opérations conduit inéluctablement à plus de défaillances, voire des casses de matériels. Chaque lubrifiant et chaque graisse ont leur utilisation. Il faut graisser au bon moment et avec une quantité suffisante sans excès (ni trop peu : on grippe, ni trop : on s'échauffe). Il est inutile de faire la vidange pour remplacer l'huile, alors que la qualité est encore bonne. Les instructions de graissage sont très importantes.

L'opération de graissage doit se faire de préférence pendant le fonctionnement de la machine. Cela favorise la bonne répartition de la graisse. Il existe des matériels permettant le graissage en marche tout en assurant l'aspect sécurité humaine, tels que la centrale de graissage ou la déportation des points de graissage.

Veiller à ce que la graisse dans le fond du pot de la centrale ne durcisse pas et que les circuits de graissage ne soient pas percés ou bouchés. Lorsque la machine est arrêtée, vérifier que la graisse envoyée atteigne bien les organes à graisser.

Dans une entreprise de grande taille, il est nécessaire d'avoir un plan de graissage à jour. Ce plan doit tenir compte de tous les points de graissage. La suppression et l'ajout des organes à graisser proviennent des modifications.

Les graisseurs ne doivent pas exister sur des paliers dont les roulements sont graissés à vie. Ceci n'entraîne que de mauvaise confusion.

#### 1.4.2 Critère de proximité

Pour certains équipements, le démontage est difficile et coûteux en temps et en moyen. Alors si l'objectif de ce démontage est de remplacer un organe qui a atteint sa limite de durée de vie, il est préférable de remplacer par la même occasion d'autres organes qui risquent d'être remplacés dans peu de temps et qui demanderont à nouveau le même démontage.

Dans la pratique de la maintenance préventive, on limite le nombre de démontages et remontages, générateurs de faiblesses, en donnant la même périodicité d'intervention à toutes les pièces d'un sous-ensemble.

L'échéancier se rapportera donc aux déposes des modules, sauf pour quelques pièces fragiles dont la gestion sera individuelle.

#### 1.4.3 Différents niveaux de maintenance

Les opérations à réaliser sont classées, selon leur complexité, en cinq niveaux. Les niveaux pris en considération sont ceux de la norme FD X 60-000.

Pour chaque niveau, la liste des opérations précisées est donnée à titre d'illustration.

**■ 1<sup>er</sup> niveau de maintenance**

Il s'agit essentiellement de contrôle et de relevés des paramètres de fonctionnement des machines :

- niveau d'huile moteur ;
- niveau d'eau ;
- indicateur de colmatage ;
- niveau de la réserve de combustible ;
- niveau de la réserve d'huile ;
- régime du moteur ;
- température de l'eau de refroidissement ;
- température d'échappement ;
- test des voyants et indicateurs ;
- purge de circuit d'échappement ;
- contrôle d'encrassement des filtres ;
- contrôle visuel de l'état des organes ;
- contrôle auditif des bruits de marche.

Ces contrôles peuvent donner suite à des interventions simples de maintenance ne nécessitant pas de réalisation d'un diagnostic de panne et de démontage. Ils peuvent aussi déclencher, notamment sur des anomalies constatées, des opérations de maintenance de niveaux supérieurs.

En règle générale, les interventions de 1<sup>er</sup> niveau sont confiées aux opérateurs et intégrées à la conduite des machines.

**■ 2<sup>e</sup> niveau de maintenance**

Il s'agit des opérations de maintenance préventive qui sont régulièrement effectuées sur les équipements :

- remplacement des filtres difficiles d'accès ;
- remplacement des filtres à gazole ;
- remplacement des filtres à huile moteur ;
- remplacement des filtres à air ;
- prélèvement d'huile pour analyse et pré-analyse ;
- vidange de l'huile de moteur ;
- analyse de liquide de refroidissement ;
- contrôle des points signalés pour le 1<sup>er</sup> niveau ;
- graissage de tous les points en fonction de la périodicité ;
- contrôle des batteries ;
- réglages simples (alignement des poulies, alignement moteur/pompe) ;
- mesure de paramètres à l'aide de moyens intégrés à l'équipement.

Ces opérations sont réalisées par un technicien ayant une formation spécifique. Ce dernier suit les instructions de maintenance qui définissent les tâches, la manière et les outillages spéciaux. Les pièces de rechange sont essentiellement du type consommable, filtres, joints, huile, liquide de refroidissement.

**■ 3<sup>e</sup> niveau de maintenance**

Il s'agit des opérations de maintenance préventive, curative, de réglages et de réparations mécaniques ou électriques mineurs.

Les opérations réalisées peuvent nécessiter un diagnostic de panne :

- réglage des jeux de soupapes ;
- réglage des injecteurs ;
- contrôle endoscopique des cylindres ;
- contrôle des sécurités du moteur ;
- contrôle et réglage des protections électriques ;
- contrôle des refroidisseurs ;
- contrôle du démarreur ;
- remplacement d'un injecteur ;
- contrôle et réglage de la carburation ;
- contrôle et réglage de la régulation de puissance ;
- contrôle et révision de la pompe ;
- contrôle des turbocompresseurs ;
- remplacement d'une résistance de chauffage ;
- contrôle de l'embiellage ;
- contrôle de l'isolement électrique ;
- remplacement des sondes et capteurs ;
- remplacement d'une bobine de commande ;
- remplacement d'un disjoncteur ;
- contrôle et réglages nécessitant l'utilisation d'un appareil de mesure externe à l'équipement.

Ces opérations sont réalisées par un technicien spécialisé. Toutes les opérations se font avec l'aide d'instructions de maintenance et d'outils spécifiques tels que les appareils de mesure ou de calibrage. Ces opérations peuvent conduire à des opérations de 4<sup>e</sup> niveau.

**■ 4<sup>e</sup> niveau de maintenance**

Il s'agit d'opérations importantes ou complexes à l'exception de la reconstruction de l'équipement :

- déculassage (révision, rectification) ;
- révision de la cylindrée ;
- contrôle d'alignement du moteur/alternateur ;
- changement des pôles d'un disjoncteur HT.

Les opérations sont réalisées par des techniciens bénéficiant d'un encadrement technique très spécialisé, d'un outillage général complet et d'un outillage spécifique. Elles font aussi appel à des ateliers spécialisés (rectification, réusinage).

**■ 5<sup>e</sup> niveau de maintenance**

Il s'agit d'opérations lourdes de rénovation ou de reconstruction d'un équipement. Ces opérations entraînent le démontage de l'équipement et son transport dans un atelier spécialisé.

Le 5<sup>e</sup> niveau de maintenance est réservé au constructeur ou reconstruteur. Il nécessite des moyens similaires à ceux utilisés en fabrication.

#### 1.4.4 Maintenance préventive dite « de luxe »

Il faut éviter d'en faire trop et ce, non seulement pour des raisons économiques mais aussi pour des raisons techniques ; par exemple :

- remplacement systématique des roulements des moteurs tous les ans ;
- vidange systématique des huiles hydrauliques sans prise en compte de capacités ;
- mesure vibratoire de toutes les machines tournantes sans exception.

Cette façon de pratiquer n'est pas seulement du gaspillage, mais entraîne des risques techniques. En effet, au cours de l'arrêt annuel, il peut se produire un mauvais montage quand il y a un grand nombre de roulements à remplacer.

## 1.5 Contrôles périodiques réglementaires

La gestion des contrôles périodiques des appareils soumis à la réglementation est généralement à la charge des services maintenance. La responsabilité directe d'un responsable maintenance est engagée pour tout accident consécutif à une défaillance d'un appareil soumis.

Pour ces contrôles, on s'adresse aux organismes agréés, dont les principaux : APAVE, CEBTP, CEP, GRETCO, NORISKO, SOCOTEC, VERITAS... (le site internet INRS donne tous les noms et adresses des organismes agréés selon leurs domaines).

Dans la pratique, on peut classer les matériels astreints à des visites périodiques obligatoires en catégories suivantes (voir aussi annexe) :

- les appareils de levage,
- les véhicules,
- les appareils à pression (gaz ou vapeur),
- les installations électriques,
- les radiosources,
- les machines dangereuses.

Les matériels de protection incendie sont en général sous la responsabilité de la sécurité.

### 1.5.1 Appareils de levage

Un registre doit être tenu à jour des vérifications obligatoires et de périodicité imposée. Ces vérifications peuvent être exécutées soit par le service interne dont le personnel est formé pour ce travail, soit par un organisme agréé.

#### ■ Ascenseur et monte-charge

Les épreuves de réception doivent être fournies par l'installateur.

Visite annuelle : vérification générale de l'appareil.

Visite semestrielle : vérification des suspens.

### ■ Portiques et ponts roulants

L'épreuve initiale comporte :

- les essais statiques avec une surcharge de 50 %,
- les essais dynamiques avec une surcharge de 20 %.

L'épreuve est à renouveler après chaque modification.

Visite annuelle : contrôle général sous charge nominale.

### ■ Chariots élévateurs

L'épreuve initiale comporte :

- les essais statiques avec une surcharge de 33 %,
- les essais dynamiques avec une surcharge de 10 %.

Visite semestrielle : contrôle général.

Visite hebdomadaire : inspection de fonctionnement.

### ■ Grues automobiles

L'épreuve initiale comporte :

- les essais statiques avec une surcharge de 50 %,
- les essais dynamiques avec une surcharge de 20 %.

La ré-épreuve des grues de flèches à treillis doit se faire tous les six mois et celle des grues de flèches télescopiques tous les ans.

### ■ Palans

Pour les palans dont la charge est supérieure ou égale à 5 tonnes, l'épreuve comporte :

- les essais statiques avec une surcharge de 50 %,
- les essais dynamiques avec une surcharge de 20 %.

Visite annuelle : vérification générale de l'appareil.

### ■ Élingues

Elles sont considérées comme faisant partie de l'appareil de levage concerné. Les visites se font globalement pour l'ensemble. Les élingues hors d'usage doivent être détruites.

## 1.5.2 Véhicules

Sont concernés les véhicules destinés au transport en commun de capacité supérieure à 9 personnes et les véhicules immatriculés de poids total en charge supérieur à 3,5 tonnes.

Visite annuelle : contrôle de l'état des organes touchant à la sécurité.

Cette visite doit être effectuée par le service des Mines.

Les véhicules particuliers circulant sous la responsabilité de leur propriétaire subissent un contrôle technique dans un garage agréé tous les 4 ans.

Les véhicules transportant des récipients sous pression sont soumis à la législation des appareils à pression.

### 1.5.3 Appareils à pression

Les appareils à pression sont classés de la manière suivante :

- les générateurs : chaudières, compresseurs ;
- les récepteurs : ce sont les appareils qui reçoivent, transforment ou utilisent la vapeur ou le gaz sous pression ;
- les canalisations servant de liaison entre ces appareils.

Une autorisation initiale de mise en service exige un dossier comportant des documents à conserver :

- notes de calcul,
- certificat d'origine,
- procès-verbaux d'épreuves.

#### ■ Appareils de pression à gaz

Les épreuves hydrauliques se font en surpression de 10 % à 50 % suivant les cas, sous le contrôle du service des Mines qui appose un poinçon.

#### ■ Appareils de pression à vapeur

L'épreuve se fait à 12 bar si la pression nominale est de 6 bar ou à 1,5 fois la pression nominale si elle est supérieure à 6 bar.

La ré-épreuve de leur ensemble doit se faire tous les 10 ans à 1,3 fois le timbre (pression nominale).

Dans les deux cas, les visites périodiques sont de fréquences variables (de 12 à 18 mois).

### 1.5.4 Radiosources

Elles nécessitent une « autorisation de détention » délivrée par la CIREA (Commission interministérielle des radioéléments artificiels).

La réglementation est fonction de la radiotoxicité exprimée en millicuries. Le contrôle de mise en service comprend la définition de la zone balisée (dose de 75 millirem/h à ne pas dépasser).

Le personnel en zone doit posséder la qualification DATR.

### 1.5.5 Machines dangereuses

Le Code de travail impose des cadences de visites des machines dangereuses.

- Presses à mouvement alternatif, à injecter et cisailles : visite trimestrielle par l'entreprise.
- Cuves, bassins, réservoirs contenant des fluides pouvant causer les brûlures thermiques ou chimiques : visite annuelle par l'entreprise.
- Essoreuses, centrifugeuses : visite annuelle (contrôle général, contrôle de niveau de vibrations, du panier, des crapaudines).
- Fours chauffés par un combustible : visites recommandées (contrôle des brûleurs, détecteurs de flammes, pressostats, alimentation d'air, évacuation de fumées...). La périodicité de visite est définie selon la technologie.

- Machines à bois, à cuir : visites trimestrielles recommandées.
- Outillages : machines électriques portatives de puissance supérieure à 750 W ; échelles portatives ; chalumeaux et leurs accessoires.

### 1.5.6 Installations électriques

Les installations électriques doivent être vérifiées lors de leur mise en service ou après avoir subi une modification de structure, puis périodiquement. Ces vérifications peuvent être effectuées par un organisme agréé ou par une personne appartenant ou non à l'établissement. Ces personnes doivent avoir des connaissances approfondies dans le domaine de la prévention des risques électriques ainsi que des dispositions réglementaires qui y sont afférentes. La liste nominative est à communiquer au directeur régional du travail de l'emploi ou au chef du service régional de l'inspection de travail.

#### ■ Réseau Basse Tension

Visite annuelle : contrôle de tous les matériels pouvant être pris à la main.  
Visite tous les 3 ans : contrôle général.

#### ■ Réseau Haute Tension

Visite annuelle : contrôle général.

##### Remarque

Le matériel antidéflagrant utilisé en ambiance explosive est soumis à une réglementation spéciale ; l'utilisateur est responsable de réaliser la cartérisation pour la protection de l'ambiance.

### 1.5.7 Installations d'aération et assainissement des locaux

La réglementation s'applique aux locaux dans lesquels la pollution est liée à la présence humaine. Lors de la mise en service des systèmes d'aération et d'assainissement, le dossier des valeurs de références doit comporter des indications sur :

- le débit global d'air neuf ;
- le débit minimal d'air neuf par local ;
- les pressions statiques ou vitesses d'air, en des points caractéristiques des installations, associées à ces débits ;
- les caractéristiques des filtres installés : classe d'efficacité, perte de charge initiale et maximale admise.

Vérification mensuelle : contrôle des paramètres de fonctionnement.

Visite annuelle : examen de l'état des installations.

## 1.6 Fiabilité et maintenance préventive

En terme de statistique, la fiabilité est une fonction du temps  $R(t)$  qui représente la probabilité de bon fonctionnement d'un matériel.

En terme de qualité, on définit la fiabilité d'un matériel comme l'aptitude à maintenir la conformité à sa spécification d'origine.

On distingue :

- la *fiabilité intrinsèque*, qui est propre à un matériel, selon un environnement donné, et ne dépend que de la qualité de ce matériel ;
- la *fiabilité extrinsèque*, qui résulte des conditions d'exploitation, de la qualité de la maintenance. Elle est relative à l'intervention humaine.

### 1.6.1 Taux de défaillance

Le taux de défaillance  $\lambda(t)$  est un estimateur de la fiabilité (exprimé en pannes par heure). Il est présenté par le rapport :

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

Liée au problème de défaillance, la vie des équipements se présente en trois phases :

- *Phase de jeunesse* :  $\lambda(t)$  décroît rapidement. C'est la période de mise en service et de rodage de l'installation. Les défaillances sont dues à des anomalies ou imperfections de montage.
- *Phase de maturité* :  $\lambda(t)$  est pratiquement constant. C'est la période de vie utile où la défaillance est aléatoire. Le taux de défaillance est constant ou légèrement croissant, correspondant au rendement optimal de l'équipement.
- *Phase de vieillesse* :  $\lambda(t)$  croît rapidement. C'est la période d'obsolescence, à dégradation accélérée. Souvent, on trouve une usure mécanique de la fatigue, une érosion ou une corrosion. À un certain point de  $\lambda(t)$ , le matériel est mort.

La détermination de seuil de réforme est obtenue à partir de critères technico-économiques. Une étude de déclassement sera à envisager.

Dans la première phase, on ne pratique que de la maintenance corrective. C'est seulement dans la seconde phase que la maintenance préventive est justifiée.

Le graphe représentant la variation de taux de défaillance, appelé « courbe en baignoire », possède trois allures différentes selon le matériel mécanique, matériel électrique ou matériel électronique (figure 1.2).

### 1.6.2 MTBF

La MTBF, ou moyenne des temps de bon fonctionnement, est la valeur moyenne des temps entre deux défaillances consécutives. Pour une période donnée de la vie d'un matériel :

$$\text{MTBF} = \frac{\sum_0^n \text{TBF}_i}{n}$$

Ces valeurs sont calculées à partir des observations, d'une exploitation statistique de l'historique, des essais de durée de vie.



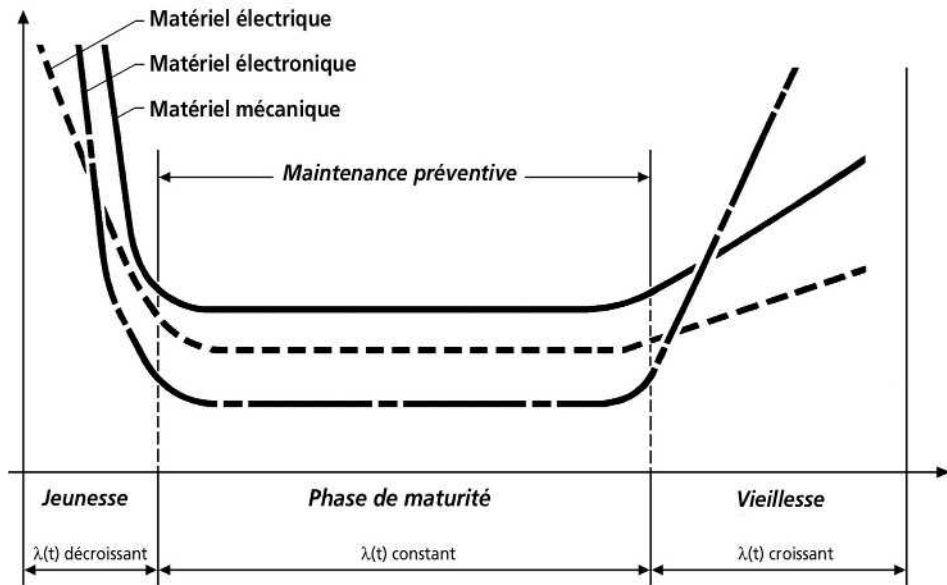


Figure 1.2 – Courbe en baignoire : taux de défaillance  $\lambda(t)$ .

### 1.6.3 Lois de fiabilité

#### ■ Distribution exponentielle

Cette loi est applicable pour la période où le taux de défaillance est constant. Tous les matériels sont concernés durant leur vie utile.

La fiabilité ou la possibilité de survivre entre l'instant 0 et  $t$  est :

$$R(t) = e^{-\int \lambda(t) \cdot dt} = e^{-\lambda(t)}$$

On démontre que l'espérance mathématique, qui représente le temps moyen entre deux défaillances, est égale à :

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

#### ■ Loi de Weibull

Contrairement au modèle exponentiel, la loi de Weibull couvre le cas où le taux de défaillance est variable et permet de s'ajuster aux périodes de jeunesse et de vieillesse.

L'expression de la fiabilité devient :

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

avec ses trois paramètres  $\beta$ , paramètre de forme ( $\beta > 0$ ),  $\eta$ , paramètre d'échelle ( $\eta > 0$ ) et  $\gamma$ , paramètre de position ( $-\infty < \gamma < +\infty$ ).

L'espérance mathématique est :

$$MTBF = \left(1 - \frac{1}{\beta}\right) \cdot \eta + \gamma$$

### 1.6.4 Périodicité de la maintenance préventive

Par principe, la visite systématique est déclenchée juste avant l'apparition de la défaillance. La périodicité de visite est alors :

$$T = k \cdot MTBF$$

avec  $k$  le coefficient d'optimisation ou paramètre économique.

Plus on choisit  $k$  petit, moins il y a de maintenance corrective résiduelle. Mais si on intervient plus souvent, on augmente les coûts directs et le gaspillage. On devra définir une politique de maintenance et fixer le seuil de correctif résiduel entre 5 et 10 %.

## 1.7 TPM et maintenance préventive

### 1.7.1 Principe

La TPM (*Total Productive Maintenance*) est une philosophie de maintenance industrielle caractérisée particulièrement par l'auto-maintenance effectuée par les opérateurs de fabrication. Le niveau technique de l'atelier et la technicité des opérateurs doivent progresser ensemble pour pouvoir améliorer le rendement du couple homme-machine.

Deux types d'activités principales que l'on doit mener parallèlement au sein d'une entreprise :

- Activités de maintenance :
  - exploitation correcte de l'installation,
  - maintenance préventive,
  - maintenance curative.
- Activités d'amélioration :
  - amélioration de la fiabilité,
  - amélioration de la maintenabilité,
  - prévention de la maintenance.

Ces activités ont les objectifs suivants :

- Activités de maintenance : réparer et supprimer les pannes.
- Activités d'amélioration :
  - prolonger la durée de vie du matériel,
  - diminuer le temps d'intervention,

- optimiser la maintenance,
- assurer la sécurité.

La TPM définit les activités de la fabrication de la manière suivante :

- Prévention des détériorations :
  - opérations correctes de l'exploitation,
  - préparation des conditions de base,
  - réglage,
  - enregistrement des pannes et anomalies,
  - collaboration avec la maintenance à la recherche des améliorations.
- Mesure de détériorations :
  - inspection quotidienne,
  - une partie des visites périodiques.
- Remise en état :
  - petits travaux d'entretien,
  - communication rapide lors de l'apparition d'une panne,
  - assistance à la réparation imprévue.

La TPM est basée sur la compréhension mutuelle et le partage des tâches de maintenance. Cela implique que les opérateurs soient intéressés à leur outil de travail. Il est évident que l'opérateur de machine est le mieux placé pour constater les conditions de l'apparition des pannes.

Un conducteur attentionné détecte les anomalies, les bruits anormaux pendant la conduite. Il réalise la maintenance de base sur sa voiture, par exemple le contrôle de niveau et le remplacement de l'huile, la surveillance de l'usure des plaquettes de frein.

Suivant le principe de la TPM, le plan de maintenance préventive tiendra compte aussi des opérations effectuées par les opérateurs.

### 1.7.2 Application

Pour qu'il soit possible de confier les tâches de maintenance préventive aux agents de production, il faut que ceux-ci soient capables de les réaliser :

- en termes de charge,
- en termes de compétence.

Pour pouvoir intégrer certaines opérations dans leur charge de travail, il faut que le temps de réalisation soit le plus court possible. Le travail proposé doit être simple, bien visible et bien accessible.

Pour cela, il faut étudier la possibilité de simplifier l'exécution ou de rendre le travail exécutable avec la machine en marche, par une modification mineure de l'installation (figure 1.3).

#### Exemple

Installation de tuyaux de lubrification ou d'une centrale de graissage pour que l'opération puisse se faire sans démontage du capot et pendant le fonctionnement.

Installation d'une alarme sonore ou visuelle pour avertir :

- de la limite d'usure des balais du moteur à courant continu ;

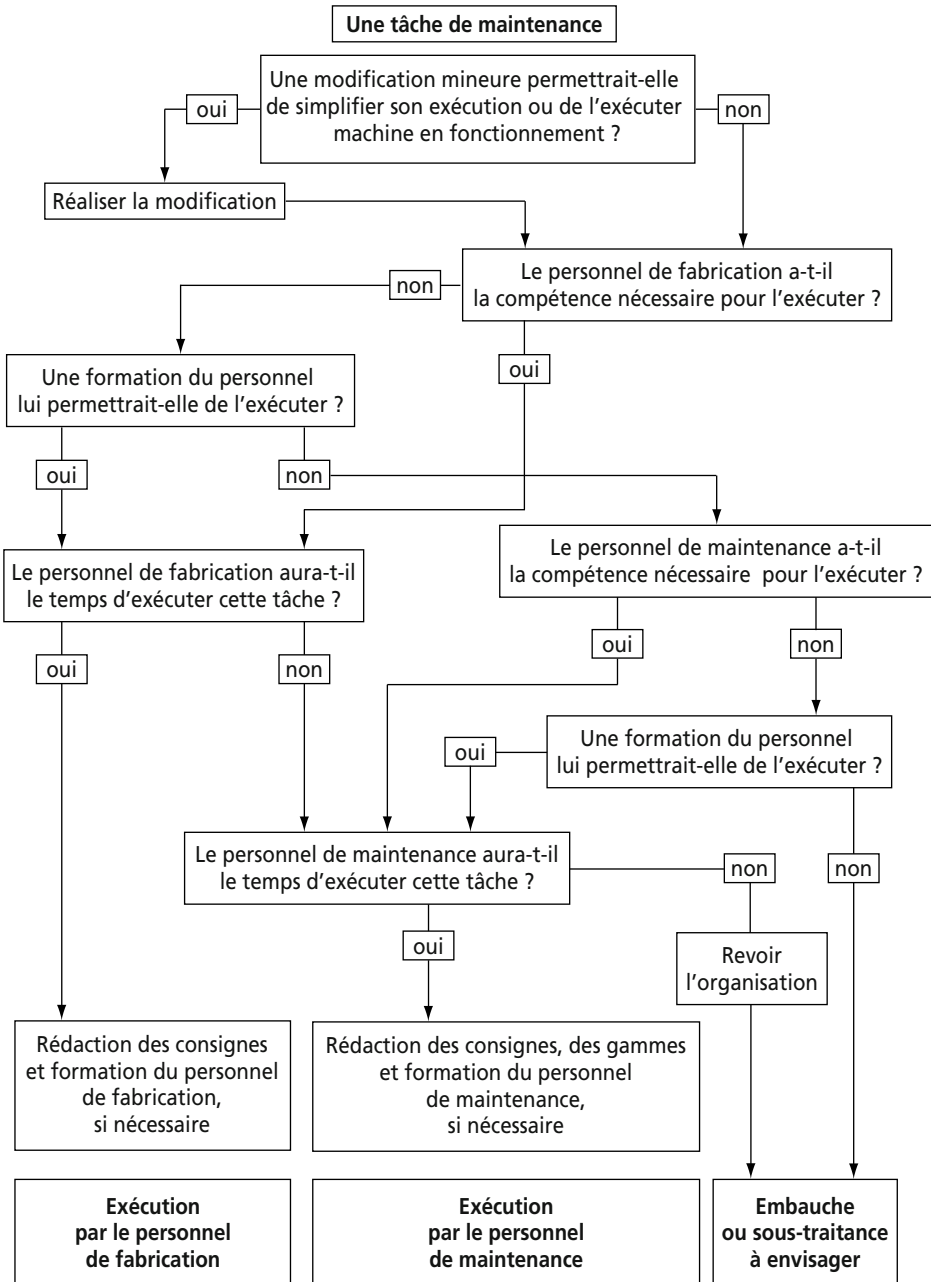


Figure 1.3 – Exemple d'une tâche de maintenance.

- du colmatage des filtres.

Installation d'un indicateur de surveillance maintenance sur le pupitre de commande opérateur :

- intensité du moteur critique ;
- pression du pot de barrage.

Il existe d'autres moyens de simplifier le travail. Les procédures écrites, les instructions techniques, les affichages permettent à la fois de simplifier le travail et de l'exécuter correctement.

Les instructions techniques sont élaborées non seulement pour les applications de la TPM, mais aussi pour servir le besoin des intervenants de maintenance.

#### Exemple

Instruction de graissage et de nettoyage.

Check-list de démarrage incluant des vérifications maintenance.

Manuel opérateur.

Enfin, toutes ces applications devront être complétées par la formation des agents.

A

PRINCIPES ET MISE EN ŒUVRE

## 1.8 Mise en place de la maintenance préventive

### 1.8.1 Démarche participative

La démarche de mise en place de la maintenance préventive est tout d'abord de faire participer les différents services aux travaux préliminaires pour pouvoir élaborer le plan de maintenance. C'est la constitution d'une structure de nomenclature du matériel de l'entreprise. Pour cette étape, les méthodes ont besoin de la participation de la production, l'étude, la qualité, la comptabilité et la réalisation maintenance. Cette démarche participative a comme objectif d'adopter les vocabulaires et la forme de la structure qui sont convenables pour tous.

Dans la plupart des cas, il est difficile de faire participer tout le monde. Les méthodes peuvent commencer seules pour faire avancer les travaux et présenteront ce projet au cours d'une réunion de validation.

Après validation de la structure, les méthodes peuvent finir les niveaux techniques de la nomenclature, de préférence avec la participation des intervenants de maintenance. Les significations techniques de ces deux niveaux de nomenclature seront traitées dans le chapitre 2.

Il sera souhaitable d'avoir la collaboration de la production et de la réalisation maintenance pour les trois dernières étapes :

- le choix des machines à mettre sous préventif,
- l'élaboration du plan de maintenance,
- la planification des arrêts.

À chaque étape d'avancement, une réunion d'information sera nécessaire. Il faut que les intervenants de maintenance soient convaincus par la démarche et les objectifs.

### 1.8.2 Tableau de bord

Le tableau de bord caractérise l'état et l'évolution des matériels et du service maintenance. Il doit pouvoir mesurer l'efficacité de la politique de maintenance et justifier ainsi la mise en place de la maintenance préventive. Cet outil de synthèse est composé des éléments suivants :

- indicateur : valeur quantifiant une situation, un résultat ou un état ;
- ratio : indicateur relatif ou rapport d'une valeur réelle et d'une valeur de référence. Il est exprimé en pourcentage.

Le tableau de bord se présente sous plusieurs formes.

#### ■ Graphes d'évolution

En fonction des intervalles de temps, les graphes peuvent être représentés par les histogrammes des valeurs réelles et des valeurs de référence, les courbes de ratio, de tendance et d'objectif (figure 1.4). Ces graphes permettent de visualiser les situations, observer les tendances, détecter les dérives afin d'entreprendre des actions correctives pour atteindre l'objectif fixé.

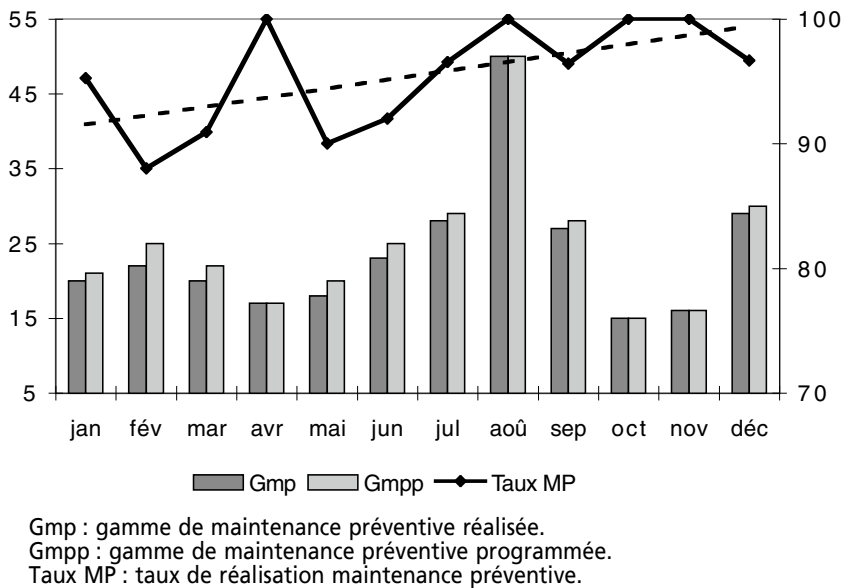


Figure 1.4 – Exemple de graphe d'évolution.

#### ■ Graphe de répartition

Ce graphe est souvent utilisé pour les analyses (figure 1.5). Il peut être présenté par secteurs, par exemple, répartition des dépenses, répartition des temps, visualisations des causes...