L'USINE NOUVELLE

SÉRIE | GESTION INDUSTRIELLE

François Monchy
Jean-Pierre Vernier

MAINTENANCE

Méthodes et organisations

3e édition

DUNOD

François Monchy
Jean-Pierre Vernier

MAINTENANCE

Méthodes et organisations

3e édition

L'USINENOUVELLE

DUNOD

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.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1er 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 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.

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).

© Dunod, Paris, 2000, 2003, 2010

ISBN 978-2-10-055061-6

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.

PRÉFACE

En deux décennies, le développement de l'automatisation des systèmes de production a réduit de façon spectaculaire les emplois dans l'industrie. Les machines d'aujourd'hui produisent à la place des hommes et les usines fabriquent plus et mieux en 2000 qu'en 1980, avec des effectifs en constante diminution.

Autrefois présent dans les ateliers, le taylorisme est aujourd'hui installé au cœur des automates et accroît ainsi la complexité des outils de mise en œuvre. Automatisation et miniaturisation des composants permettent de fournir l'énergie partout où elle est nécessaire, mais aussi de la doser finement. Les actionneurs électriques ou hydrauliques remplacent les chaînes cinématiques complexes et les régulations numériques concurrencent la précision des femmes et des hommes. Sous l'effet conjugué de la baisse des prix de revient et de la formation des concepteurs, ces principes de conception se répandent dans tous les secteurs de l'industrie.

Progressivement, le travail humain disparaît inéluctablement des ateliers pour laisser les machines produire sans surveillance, enfin presque… quand les machines produisent seules, les causes d'arrêt sont vite critiques quelle que soit leur nature. Les pannes ainsi que la maintenance préventive des machines pendant la durée de production engendrent des pertes. Mais d'autres causes interrompent la production aussi sûrement que les pannes. Pas de pièce en sortie parce qu'on a « oublié » d'alimenter les machines ou parce que le conducteur de ligne est absent. Moins de pièces que prévu parce que le produit à l'entrée provient d'un fournisseur différent. Des produits en quantité mais non conformes, parce que la machine est déréglée…

Quel que soit le secteur industriel observé, le développement de l'automatisation imprime les mêmes marques. Maîtriser de façon durable le fonctionnement de systèmes de production de plus en plus complexes s'impose comme l'enjeu industriel des décennies futures. Gare aux rendements qui stagnent ou qui baissent ! La part du travail humain direct dans le prix de revient direct des produits tendant à devenir marginale à l'avenir, la différenciation entre entreprises reposera plus sur la *capacité à maintenir le rendement au plus haut niveau que sur l'aptitude à réduire le coût du travail humain*, déjà à la portion congrue. Car le rêve de voir les machines produire sans aucune intervention humaine bute aujourd'hui sur une réalité incontournable : elles s'usent encore en « travaillant ». Quant à celles qui se répareraient elles-mêmes, elles ne sont pas encore nées du cerveau, pourtant fertile, de nos brillants ingénieurs.

C'est pour cette raison que la maintenance représente une activité essentielle au maintien de la production à un niveau satisfaisant, tout comme la maintenance de

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

la station spatiale Mir est essentielle à son maintien en orbite stable autour de la Terre. Dans ce contexte, s'il est une catégorie d'hommes et de femmes qui n'est pas en voie d'extinction, c'est bien celle des spécialistes de maintenance. Ils resteront à l'avenir les professionnels de la santé des machines et leur rôle sera souvent double : *maintenir les machines* et *surveiller la production elle-même*.

Mais produire bien et à temps s'accommode de moins en moins des approches empiriques et des raisonnements simplistes. C'est une exigence qui démontre la nécessité d'un enseignement structuré de la maintenance.

L'ouvrage que nous livre François Monchy apporte une contribution importante à cet enseignement et lui confère ses lettres de noblesse. En rassemblant dans un livre pratique les informations essentielles, l'auteur réalise une œuvre utile qui facilitera la tâche des utilisateurs. La référence aux normes européennes de maintenance en cours d'élaboration et aux normes françaises existantes démontre, si besoin en était, l'immense intérêt d'associer le plus tôt possible dans ce processus qu'est la normalisation tous les acteurs concernés par un même domaine : industriels producteurs, entreprises de services en maintenance et enseignants. Les normes constituent en effet un référentiel structurant pour élaborer un enseignement adapté aux besoins des industriels. Pour celles et ceux qui se sont investis dans le programme européen de normalisation en maintenance, cet ouvrage démontre ainsi que leur action n'est pas vaine.

Tous les responsables de maintenance et de production devraient lire ce précieux ouvrage, qui leur permettra d'évaluer clairement les enjeux de leur activité au sein de leur entreprise et d'œuvrer ensemble à la maîtrise du rendement productif.

Claude Pichot,
président de l'Association française
des ingénieurs et responsables de maintenance.

AVANT-PROPOS

« Mieux vaut penser le changement que changer le pansement. »
Pierre Dac

La maintenance n'est pas une destination, c'est un voyage

La vie des entreprises des pays industrialisés ou en voie de l'être est caractérisée par des mutations profondes : technologiques, économiques et sociales. Supprimant certains types d'emplois, ces mutations posent des problèmes sociaux évidents : il n'y a qu'à ouvrir notre journal habituel pour s'en rendre compte. Mais elles créent également des besoins nouveaux qu'il nous faut identifier, puis satisfaire en terme de formation et de qualification des acteurs, de gestion et surtout d'organisation.

Il en est ainsi pour la fonction maintenance, fonction qui a émergé dans les années 1970 à 1980 comme réponse à un besoin nouveau : celui de maîtriser techniquement et économiquement des systèmes productifs automatisés dans un environnement fortement informatisé.

Partant de quelques domaines où la recherche de sécurité jouait un rôle moteur (transports, nucléaire, pétrochimie…), le besoin de maintenance s'est progressivement fait sentir dans toutes les industries et les services, et s'étend dorénavant au tertiaire : maintenance immobilière, maintenance hospitalière, etc. L'aspect économique que représente la croissance du « coût de la panne et de ses conséquences » explique en grande partie l'expansion de ce besoin. D'autre part, la mondialisation des marchés a encore accru ce besoin de maintenir et d'optimiser le niveau de performance des outils de production. En effet, alors que la compétitivité se jouait il y a peu sur l'innovation technologique (recherche de l'outil productif inédit, recherche de solutions automatisées et informatisées), nous pensons que c'est par l'innovation sociale et l'innovation organisationnelle qu'émergeront les entreprises les plus performantes sur ces marchés.

L'enjeu majeur est ou sera la valorisation des ressources humaines. Nous produirons de plus en plus avec des technologies identiques pour tous, mais nous maintiendrons la production en quantité et en qualité avec des hommes. Eux feront la différence. En particulier, les techniciens de maintenance auront un rôle clé pour valoriser le capital productif de l'entreprise. Pour cela ils devront collaborer avec les autres services de l'entreprise : production, contrôle de gestion.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

Dans cette perspective, cet ouvrage a pour objectifs :

1. de donner une référence assez complète des bases, des acquis, des savoir-faire avérés de la maintenance. À ce titre, il reprend, complète et actualise l'ouvrage précédent du même auteur paru chez Masson en 1987, intitulé *La Fonction maintenance* et dédié à la formation aux « méthodes » de maintenance. Cette nouvelle édition a été actualisée en 2008 pour tenir compte de l'évolution des normes et du contexte des entreprises ;
2. de participer à la formation de techniciens et de gestionnaires de la maintenance, en les dotant d'outils méthodologiques, mais plus encore en les mettant dans un état d'esprit propice à la fonction, caractérisé par la volonté de maîtriser au lieu de subir et s'appuyant sur :
   – une nécessaire polyvalence associée à de la rigueur,
   – la prise d'initiative au sein d'une équipe,
   – la recherche systématique d'amélioration,
   – le goût de la remise en cause permanente pour plus d'efficacité ;
3. de favoriser la réflexion de chacun face à tous les aspects de la fonction maintenance ;
4. de donner les concepts récents caractérisant les lignes évolutives de la fonction, en Europe et ailleurs. Cela concerne principalement les managers de la maintenance, chargés de faire évoluer les organisations et les compétences : la maintenance se fait et se fera avec des hommes.

La maintenance est un gisement de productivité, de sécurité et de qualité à explorer. Comme pour toute exploration, il faut savoir d'où nous venons (hier, nous subissions) et où nous sommes (aujourd'hui, nous cherchons à maintenir) pour orienter notre avenir : demain, nous devrons acquérir la pleine maîtrise de nos systèmes automatisés. Pour cela, nous devons substituer au réflexe des années 1980 « automatisons, robotisons et informatisons » le réflexe « commençons par former et par organiser, que ce soit en technique ou en gestion. ».

Éloge de la transversalité

Les discussions récentes autour des normes européennes ont mis en évidence deux approches contradictoires pour considérer la maintenance.

1. Une *vision verticale* axée sur le corporatisme, chacun s'appuyant sur la spécificité de son secteur d'activité, de sa spécialité, de son équipement et développant son vocabulaire et ses outils. Chaque secteur est ainsi amené à inventer sa propre maintenance.

Dans ce schéma, les papetiers n'ont pas d'échanges possibles ni voulus avec les gens du nucléaire, les pétroliers avec les laboratoires pharmaceutiques, les marins avec les aéronautes, etc. À l'échelle de l'entreprise, les électroniciens ignorent les chaudronniers, les automaticiens sont séparés des thermiciens et il arrive que l'informaticien méprise le mécanicien.

« Chez nous, c'est spécial. » Combien de fois ai-je entendu cette rengaine à l'époque où je n'avais pas encore acquis la certitude que chez le voisin les problèmes à résoudre étaient de même nature ! Certains pays, certains secteurs industriels,

certaines entreprises et certains professionnels ont encore cette approche corporative de la maintenance. En France, il en était ainsi :

– avant que l'AFNOR ne travaille pour définir un vocabulaire et des méthodes communes à tous les pratiquants ;
– avant que le CNM (Comité national pour la maintenance) et l'AFIM (Association française des ingénieurs de maintenance) ne regroupent des gens de maintenance issus de tous les secteurs pour des réflexions collectives favorisant les progrès de chacun ;
– avant que l'Éducation nationale ne développe des formations de techniciens destinés à des entreprises de tout secteur ;
– avant que les grands groupes ne décloisonnent leur savoir-faire, ne comparent leurs expériences et ne transfèrent leurs méthodes.

2. Une *vision transversale* axée sur le fait avéré que les concepts, les organisations et les méthodes peuvent s'appliquer à tous les secteurs, à des adaptations et à des effets d'échelle près.

En particulier, nous avons pu constater l'évolution convergente d'organisations mises en place de façon cloisonnée. Aux mêmes problèmes à résoudre sont imaginées des solutions semblables. Si nous n'avions pas « emprunté » l'automaintenance, nous l'aurions inventée ! L'une des justifications de cette vision s'appuie sur « l'approche système » des équipements, qui les réduit, quel que soit le secteur d'activité de leurs utilisateurs et quelles que soient leur complexité et leur nature, à une partie opérative interfacée à une partie commande, chacune étant constituée de composants et de technologies largement standardisés, connus et répandus… de par le monde !

Vision transversale interentreprises, mais aussi interservices et interspécialités :

– c'est le décloisonnement entre constructeurs et utilisateurs d'équipement : comment satisfaire les besoins implicites de ceux qu'on ignore ?
– c'est la recherche de la qualité totale, qui associe dans une démarche homogène toutes les fonctions de l'entreprise ;
– c'est la maintenance productive, qui associe les efforts cohérents de la production, de la maintenance et de la qualité avec une convergence d'objectifs économiques, sociaux, sécuritaires et écologiques d'une part ;
– c'est la polyvalence technique, obtenue d'une part par un travail d'équipe regroupant des techniciens de spécialités différentes, d'autre part par des compléments de formation individuelle vers d'autres métiers que celui de base.

Des cloisons tombent, des partenariats se créent : les techniciens apprennent à travailler plus en complémentarité et moins en opposition, que ce soit entre eux ou avec le reste de l'entreprise. Il semble que cette évolution soit à la fois performante et irréversible. Aussi prenons-nous le parti de rédiger cet ouvrage dans cette cohérence transversale et de prôner ces nécessaires décloisonnements.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

À propos de la deuxième édition et des risques industriels

La réédition de cet ouvrage en 2008 est l'occasion de compléments, liés à l'actualité industrielle récente. Le besoin de maintenir s'inscrit dans la mutation de la *civilisation de la peine* vers la *civilisation de la panne* (Y. Lasfargue) qui est aussi la civilisation de la catastrophe, de par la densification des énergies et des populations.

Les gens de maintenance sont en première ligne pour assurer la sécurité de leurs installations, et c'est pourquoi nous avons ajouté au chapitre 8, le paragraphe 8.6 consacré aux méthodes de la « maîtrise du risque ».

Et joignons-nous à Claude Pichot, préfacier de cet ouvrage, pour rappeler aux managers que « le propriétaire d'une installation est également propriétaire des risques associés ».

Remerciements

Je remercie Marie pour ses encouragements et sa patience.

Je remercie mes amis du groupe AFIM-Bretagne : Jean-Paul Le Bideau, Éric Queffelec, Yves-Marie Satre, responsables de services Maintenance, pour leur aide et la pertinence de leurs remarques.

À la mémoire d'Alfred Monchy, capitaine au long cours,
auteur de *Morale professionnelle maritime*, Éditions Challamel, Paris, 1920.
À la mémoire d'Henry Monchy, ingénieur A&M,
auteur de *Entretien et exploitation des ouvrages d'assainissement*,
Éditions Eyrolles, Paris, 1973.

TABLE DES MATIÈRES

A

Les concepts de la maintenance

1 • Définitions et enjeux de la maintenance 3

1.1 La fonction maintenance : l'émergence d'un besoin 3
1.2 Le service maintenance au sein de l'entreprise 11
1.3 Les hommes de maintenance et leur formation 18
1.4 Méthodologie de la maintenance : quelques outils de base 23

2 • Les différentes formes de la maintenance 31

2.1 Les maintenances corrective et préventive 31
2.2 La maintenance systématique 39
2.3 Les maintenances conditionnelle et prévisionnelle 47
2.4 Les autres activités du service maintenance 58

B

La connaissance des équipements et de leurs comportements

3 • La maîtrise de la documentation maintenance 65

3.1 La connaissance des équipements : aspects documentaires 65
3.2 L'inventaire du parc matériel, fichier de base de la GMAO 69
3.3 Le dossier technique équipement (DTE) 70
3.4 Le plan de maintenance 74
3.5 Le fichier historique, base du retour d'expérience 80

4 • Les comportements pathologiques du matériel 87

4.1 Les analyses qualitatives de défaillances et leurs enjeux 87
4.2 Quelques mécanismes de défaillance à connaître 97
4.3 Méthodologie du diagnostic 110
4.4 Les analyses quantitatives de défaillances 118
4.5 Les analyses prévisionnelles de défaillances : apport de la sûreté de fonctionnement (SdF) 126

5 • Fiabilité, maintenabilité, disponibilité 139

5.1 Les analyses FMD des systèmes réparables 139
5.2 La fiabilité : introduction et expressions mathématiques 157
5.3 La fiabilité : analyses par les lois de probabilité 167
5.4 La maintenabilité intrinsèque et opérationnelle 197
5.5 La disponibilité des systèmes réparables 214
5.6 La fiabilité humaine : les erreurs à l'interface homme/machine 234

C

Les fonctions de la maintenance

6 • La fonction méthodes-maintenance 243

6.1 Rôle du service méthodes-maintenance 243
6.2 L'analyse des temps de maintenance 248
6.3 L'analyse des coûts de maintenance 256
6.4 La préparation des actions de maintenance corrective 267
6.5 La préparation des actions de maintenance préventive 274
6.6 L'aide au dépannage 287

7 • Les fonctions ordonnancement, logistique et réalisation 297

7.1 L'ordonnancement des tâches de maintenance 297
7.2 L'ordonnancement des projets : l'outil PERT 313
7.3 La logistique de maintenance : la gestion des pièces de rechange 321
7.4 La fonction réalisation des interventions 331
7.5 L'environnement des équipements : « les 5 S machine » 340

8 • La fonction gestion du service maintenance 349

8.1 Réussir sa GMAO (gestion de la maintenance assistée par ordinateur) 349
8.2 Le tableau de bord de gestion : ratios et indicateurs 368
8.3 Le budget du service maintenance 376
8.4 L'externalisation des travaux de maintenance 382
8.5 Gestion de la sécurité : les aspects réglementaires de la maintenance 398
8.6 Assurer la maîtrise des risques industriels 405

D

Management et organisation de la maintenance

9 • Le management : les objectifs propres à la maintenance 413

9.1 Élaborer son projet « maintenance » 413
9.2 Le management participatif : gage d'efficacité de la maintenance 421
9.3 Le rôle de la maintenance dans un projet qualité 430
9.4 La maîtrise économique du cycle de vie des équipements 440

10 • Évolution de la maintenance : les nouvelles organisations 451

10.3 MBF : maintenance basée sur la fiabilité 482

Bibliographie 510

Acronymes, sigles et abréviations 512

Index 515

A

Les concepts de la maintenance

1 • DÉFINITIONS ET ENJEUX DE LA MAINTENANCE

1.1 La fonction maintenance : l'émergence d'un besoin

1.1.1 Introduction : la maintenance n'est pas une fin en soi

La maintenance est l'une des fonctions de l'entreprise, mais elle n'est pas une fin en soi. À ce titre, elle est peu lisible et parfois méconnue des décideurs qui sous-estiment son impact. Et pourtant, elle devient une composante de plus en plus sensible de la performance de l'entreprise. Il est donc important de la faire mieux connaître.

Concevoir, produire et commercialiser sont des fonctions « naturelles » facilement identifiables et rarement négligées, à juste titre. Par contre, *la maintenance n'est qu'un soutien à la production, son principal client*. C'est donc une fonction « masquée », agissant comme prestataire de service interne et, de plus, fortement évolutive.

Bien organisée, elle est un facteur important de qualité, de sécurité, de respect des délais et de productivité, donc de compétitivité d'une entreprise évoluée : c'est incontestable après expérience, mais ce n'est pas évident de prime abord. C'est souvent « par défaut » que preuve est faite : le coût des conséquences d'une panne majeure, sa médiatisation parfois, joue un rôle moteur dans la prise de conscience qu'on ne peut pas faire l'économie d'une maintenance efficace.

Positionner la maintenance au sein de l'appareil de production est un exercice difficile, comme il est toujours difficile de faire simple dans un environnement complexe. C'est l'objectif de cet ouvrage, dans lequel nous découvrirons au fil des chapitres l'enjeu que représente le maintien efficace des équipements, aussi bien pour la qualité que pour la productivité. Après avoir abordé les méthodes qui permettent le maintien des équipements, nous exposerons les organisations les plus évoluées qui cherchent à optimiser leur usage.

1.1.2 Histoire de la maintenance

❑ Histoire du nom

Le terme « maintenance », forgé sur les racines latines *manus* et *tenere*, est apparu dans la langue française au XII^{e} siècle. L'étymologiste Wace a trouvé la forme *mainteneor* (celui qui soutient), utilisée en 1169 : c'est une forme archaïque de « mainteneur ».

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

Anecdotiquement, c'est avec plaisir que j'ai retrouvé l'usage du mot « maintenance » sous la plume de François Rabelais, qui, vers 1533, parlait de la « maintenance de la loy » dans *Pantagruel*.

Les utilisations anglo-saxonnes du terme sont donc postérieures. À l'époque moderne, le mot est réapparu dans le vocabulaire militaire : « maintien dans des unités de combat, de l'effectif et du matériel à un niveau constant ». Définition intéressante, puisque l'industrie l'a reprise à son compte en l'adaptant aux unités de production affectées à un « combat économique » !

❑ Histoire de la fonction maintenance en France

□ De l'entretien des machines à la maintenance de la production

Nous avons pu observer ces vingt dernières années que le service maintenance est l'aboutissement d'une évolution opérée à partir de l'existant : les services entretien traditionnels. Présents dans l'industrie à partir du début de l'ère industrielle, les services entretien sont alors une sous-fonction de la production. Souvent excentrés dans l'entreprise, ils reposent sur des métiers : dépanneurs mécaniciens, dépanneurs électriciens, graisseurs et régleurs travaillent séparément et sont souvent en conflit avec les « producteurs/destructeurs » de machines (tu casses, je répare) !

L'entretien consistait majoritairement à dépanner et à réparer après défaillance, avec le souci d'un redémarrage rapide, en n'ayant comme objectif préventif que le minimum vital : lubrification et rondes de surveillance. L'image de l'entretien est donnée par le dépanneur auprès de sa machine démontée. L'image de la maintenance pourrait être celle d'un agent des méthodes réfléchissant au moyen de ne plus avoir à dépanner !

Il est honnête de dire que ces actions d'entretien étaient alors, et sont encore parfois justifiées par la nature technique des équipements peu intégrés, par la faible incidence économique des arrêts fortuits et par les méthodes de production en usage (avec la présence de stocks tampons en particulier). Toutefois, « vérité d'hier n'est pas celle de demain… ».

L'enjeu des années post-1980 était de pouvoir sortir du cercle vicieux de l'entretien, caricaturé par la boutade : « plus il y a de pannes, plus je cours, plus je cours, plus il y a de pannes ».

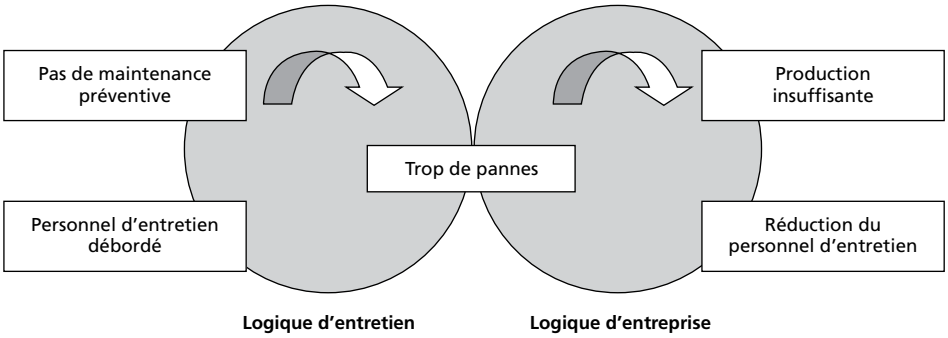

Figure 1.1 – Les cercles vicieux de l'entretien

☐ Les premiers secteurs concernés par la maintenance (avant 1980)

La structuration des services « maintenance » s'est fondée sur des concepts et des méthodes radicalement en rupture avec les usages de l'entretien. Le besoin émergent qu'il était impératif de satisfaire était la sécurité. Sécurité des exploitants, mais aussi des usagers et des utilisateurs. Il est donc naturel que les initiateurs de la maintenance aient été des domaines à risque, tels que :

– les transports : rail, marine et aéronautique,

– la pétrochimie,

– le nucléaire.

Pour les responsables de ces domaines, entretenir le matériel en subissant son comportement devenait inadapté face aux risques encourus : il leur fallait apprendre à maîtriser ces systèmes automatisés, à prévenir les incidents pour éviter les accidents, tout en évitant des surcoûts prohibitifs.

Il faut remarquer qu'avant 1980, ces expériences de structuration de la maintenance se faisaient dans une logique sectorielle, le cloisonnement entre entreprises étant fort.

☐ La phase de structuration (les années 1980)

Au début des années 1980, la France a eu la volonté, avant ses partenaires européens, de structurer et de normaliser les activités relatives à la maintenance à partir d'une vision transversale de la fonction.

C'est en 1980 que le CNM (Comité national de la maintenance) a été constitué « transversalement » par le ministère de l'Industrie pour rassembler les différents acteurs de la maintenance dans une réflexion commune. Devenu en 1994 le CNMI, cet organisme a mis au point la « Charte de la maintenance industrielle » (voir § 1.1.6).

C'est à partir de 1979 que sortirent les premières normes de maintenance AFNOR de la série X 60, la norme générale relative à la fonction maintenance X 60 000 datant de février 1985. À partir de 1994, la volonté de normaliser les activités de maintenance toucha l'Europe, par les travaux du CEN (Comité européen de normalisation). Nous présenterons dans cet ouvrage les projets de normes CEN, particulièrement le projet WI 3196003 relatif à la terminologie.

C'est en 1980 que l'AFICE (chefs d'entretien, association crée en 1933) devint l'AFIM (Association française des ingénieurs et responsables de maintenance), qui regroupe aujourd'hui 1 600 membres issus de tous les horizons de la vie économique, ce qui permet d'échanger les expériences vécues pour une réflexion prospective commune.

C'est à partir de 1978 que furent ouvertes les premières formations de l'Éducation nationale dédiées à la maintenance (IUT et BTS). Conçues sur un modèle original fait de polyvalence, elles ont vocation à fournir les cadres de la fonction à tout secteur d'activité et ont fait la preuve de leur pertinence.

☐ Les moteurs de l'évolution actuelle

Les années 1980 virent les entreprises obligées de s'adapter à des marchés plus fluctuants et élargis, voire mondialisés. La réactivité aux marchés devint prépondérante, entraînant la mise en œuvre de concepts nouveaux concernant l'organisation

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

de la production aussi bien que l'organisation de la maintenance. C'est en particulier le cas de la « maintenance productive », importée du Japon à cette époque et adaptée à nos comportements et à nos règles.

À la même époque vint la recherche de la qualité : compétitivité par le meilleur ratio qualité/prix possible et la mise en place de l'assurance qualité. C'est à partir de 1987 que les premières entreprises furent certifiées ISO 9000. Cette assurance de la qualité concerne les services « maintenance » en structurant leurs méthodes et procédures. Les normes ISO 14000 représentent depuis 1996 un nouveau défi, mettant la maintenance de l'outil industriel au service de la productivité dans le respect de l'environnement.

À partir de 1980 se mit également en place la production « juste à temps » associée à la recherche du zéro défaut et du zéro panne. Chacun de ces objectifs a alors impliqué une mise en place d'un service maintenance qui était bien autre chose qu'un « badigeonnage » de l'entretien ! Il faut d'ailleurs remarquer que chercher à atteindre le zéro stock et le zéro délai sans avoir avant la maîtrise du système productif serait suicidaire ! Des entreprises disparues s'y sont risquées…

La performance industrielle passe aujourd'hui par une convergence d'objectif entre la production et la maintenance : accroître la capacité de réponse de l'entreprise, donc de l'outil de production, en terme de quantité, de qualité, de coûts et de délais. Pour répondre à l'innovation technique, il a fallu innover dans les domaines de l'organisation et du social. Il a fallu transférer les concepts ayant fait la preuve de leur efficacité dans les grands groupes industriels vers de nombreuses PME/PMI.

À partir de 1990, c'est l'ouverture vers les activités tertiaires. Les méthodes de la maintenance industrielle sont alors transférées vers les groupes d'assurance, les groupes commerciaux, les hôpitaux. Il est ainsi légitime (et obligatoire) de maintenir les équipements de sports d'hiver, exemple pris loin des grandes usines. Sont ainsi apparus les termes de maintenance immobilière et de maintenance hospitalière. Dans tous ces domaines, les savoir-faire industriels sont adaptés en terme de maîtrise économique et technique des matériels et même des infrastructures.

Pour ne pas avoir à conclure cette rapide histoire de la maintenance, rappelons notre avant propos : « La maintenance n'est pas une destination, c'est un voyage ! »

☐ Les contraintes de la mondialisation, les années 2000

Ces années présentent des situations contrastées selon les entreprises : celles qui sont soumises aux contraintes de rentabilité à court terme sous la pression des actionnaires et les autres - essentiellement des entreprises familiales - qui continuent dans la tendance des années 1990.

Les entreprises soumises aux contraintes de rentabilité à court terme sont également sous la menace de délocalisation vers des pays à faible coût de main-d'œuvre. Les responsables techniques soumis à la pression du court terme et qui n'ont pas anticipé en organisant, optimisant leurs ressources et ne sont pas devenus partie prenante de l'effort productif subissent une pression accrue des services financiers tentés par des mesures drastiques qui s'inscrivent souvent dans le court terme.

Un autre défi de ces années est la désaffection des jeunes pour la technique qui se révèle au moment des massifs départs en retraite des seniors.

L'intensification de ces pressions amène une recrudescence des achats de GMAO laquelle permet des améliorations rapides, mais seulement si elle va de pair avec un projet d'amélioration cohérent.

Ces années voient également une redéfinition des relations avec la sous-traitance, relations qui vont vers plus de partenariat, plus d'obligations de résultats et un souhait de conserver la maîtrise technique.

1.1.3 Définitions AFNOR et CEN de la maintenance

❑ **Remarque préalable**

L'AFNOR faisant partie du CEN, les définitions AFNOR seront supplantées par les définitions CEN lorsque les normes « projet » deviendront définitives.

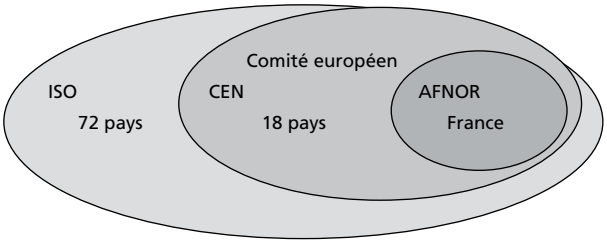

Figure 1.2 – Les organismes de normalisation

Il n'existe pas actuellement de normes internationales ISO (International Standardization Organization) relatives à la fonction maintenance.

❑ **Définitions AFNOR X 60-000 (mai 2002) et commentaires**

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.

Commentaires

Notons que les actions de maintenance ne sont pas seulement techniques : l'action technique est encadrée, pilotée par des actions de gestion (économie et administration) et de management, ce qui implique une large polyvalence.

Le terme « maintenir » contient la notion de surveillance et de prévention sur un bien en fonctionnement normal. Le terme « rétablir » contient la notion de correction (remise à niveau) après perte de fonction.

La « sûreté de fonctionnement » est définie dans la norme NF EN 60300-1 comme étant le terme collectif qui décrit la disponibilité d'un produit simple ou complexe. Les facteurs qui influencent la disponibilité d'un produit sont les caractéristiques de conception de la fiabilité et de la maintenabilité, ainsi que la logistique de maintenance. Nous la noterons SdF.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

1.1.4 Différentes formes de maintenances : définitions

❑ **Vocabulaire (FD X 60-000)**

Maintenance préventive : « Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinés à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien, elle est subdivisée en :

– *Maintenance conditionnelle* : Maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement et intégrant les actions qui en découlent.

> **Remarque**
>
> La surveillance du fonctionnement et des paramètres peut être exécutée selon un calendrier, ou à la demande, ou de façon continue. »

– *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.

– *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.

– *Maintenance corrective :* (anciennement curative) : Maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise. »

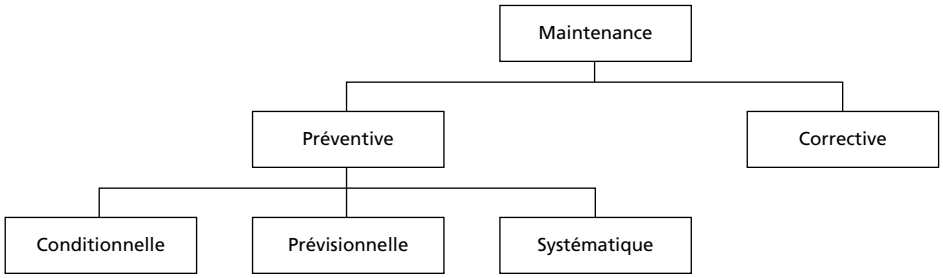

Figure 1.3 – Les différentes formes de maintenance normalisées selon FDX60.000

L'auto maintenance est une forme de maintenance particulière : « Certaines actions de maintenance ou préalables à des actions de maintenance de niveau 1 peuvent être réalisées par le personnel d'exploitation ».

❑ **Autres termes non normalisés caractérisant des formes de maintenance**

Les termes étudiés dans ce paragraphe concernent des applications non normalisées du mot « maintenance », ou peu utilisées ou très spécifiques ou étrangères.

La *maintenance réparatrice* est la forme ancienne et universelle de la maintenance corrective, déclenchée par une défaillance. Mais elle ne contient pas la dimension « saisie pour analyse ultérieure », caractéristique de la maintenance corrective : corriger, c'est améliorer.

La *maintenance palliative* caractérise les actions de dépannage : remise en état provisoire.

La *maintenance corrective* caractérise les actions de réparation au sens de « guérir ».

La *maintenance d'amélioration* est à nos yeux un pléonasme : par nature, la maintenance s'inscrit dans une démarche de progrès. Toute l'organisation tend à favoriser le diagnostic, générateur d'améliorations par rupture avec l'entretien traditionnel. Rappelons que, pour le CEN, « l'amélioration est l'ensemble des mesures techniques, administratives et de gestion destinées à améliorer la sûreté de fonctionnement d'un bien sans changer sa fonction requise ».

La *maintenance ab initio* se rapporte aux actions effectuées en amont de la mise en service d'un équipement et destinées à faciliter la maintenance ultérieure. Ces actions ont lieu dès la conception (prise en compte de la maintenabilité, construction de la fiabilité), au niveau des « travaux neufs » ou de la négociation d'investissement (éléments de soutien, documentation, etc.).

La *maintenance proactive ou détective* (terme émergent) repose sur l'exploitation du retour d'expérience et sur l'analyse approfondie des phénomènes pathologiques à l'origine des défaillances.

La *maintenance rationnelle* est un terme défini par J. Maxer comme « l'ensemble des actions et des réflexions permettant de rétablir et d'améliorer la qualité et la fiabilité des biens et des services ».

Télémaintenance : maintenance exécutée à distance sans accès physique du personnel au bien.

Maintenance en ligne : maintenance exécutée alors que le bien est en fonctionnement.

❑ Les formes de maintenance dans les autres pays industrialisés

La *maintenance productive* est la forme de maintenance américaine ayant servi de base, dans les années 1970-1980, à la TPM.

La *maintenance productive totale*, ou TPM, est une marque déposée par JMA (Japan Management Association). Elle a été un vecteur du succès japonais des années 1980. Remarquons que la TPM a été « réimportée » aux États-Unis pour contrer l'importation massive des produits japonais. C'est vers 1982 que des groupes américains implantés en France ont cherché à adapter les concepts de la TPM à nos entreprises. Le paragraphe 10.2 lui est entièrement consacré.

La *topomaintenance* est une francisation de la TPM, marque déposée par SOLLAC (sidérurgie) à Fos vers 1975. Elle s'inscrit dans une démarche de qualité totale, tous les acteurs étant concernés par le rendement maximal des équipements tout au long de leur cycle de vie

La *logistique*, concept américain, est une approche économique impliquant la maintenance et reposant sur l'optimisation du LCC *life cycle cost* (coût du cycle de vie) d'un équipement.

La *térotechnologie* est une forme anglaise de la maintenance : c'est la maintenance préventive *plus* la maintenance proactive.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

1.1.5 Facteurs favorisant l'émergence du besoin de maintenir

Nous avons vu que la maintenance n'est pas une fin en soi, mais la réponse à l'émergence d'un besoin. D'où vient ce besoin ? Au niveau de l'entreprise, la recherche de réactivité, de qualité et de productivité est un objectif « moteur » rendant obligatoires et accompagnant les mutations de la maintenance comme de la production.

D'autres facteurs peuvent accélérer le passage de l'entretien à la maintenance :

– la sensibilisation des décideurs aux économies et aux gains de performance que l'on peut espérer d'une maintenance optimisée du parc. Or tous ne sont pas également sensibilisés !

– le potentiel d'investissement de l'entreprise, qui favorise la dotation en équipements cohérents en disponibilité propre et qui donne les moyens de préserver cette disponibilité ;

– la nature du parc à maintenir : des équipements homogènes, dont les technologies sont standardisées, de conception modulaire, se prêtent mieux à la maintenance qu'un parc disparate ;

– l'automatisation des process, bien sûr, intégrant des technologies diverses dans un environnement informatisé ;

– la criticité d'un matériel, sur le plan de la sécurité ou des coûts indirects engendrés par une défaillance. Deux matériels identiques peuvent être l'un critique, l'autre non, suivant leur position dans le process ;

– la présence de techniciens acceptant le travail en équipe polyvalente, prêts à prendre des initiatives en temps réel et à participer à des démarches « diagnostic » ;

– l'embauche de jeunes techniciens formés dans l'état d'esprit « maintenance » ;

– certains aspects réglementaires peuvent favoriser la structuration d'un service maintenance. Il en est ainsi de façon caractéristique pour la maintenance hospitalière (par l'accréditation des établissements et l'organisation du réseau de matériau-vigilance, par exemple).

Ces facteurs sont bien sûr interdépendants, la performance résultant aussi bien des hommes que des matériels et de leur environnement.

Lorsque ces facteurs n'existent pas, il est légitime de rester dans une logique d'entretien traditionnel. Il en est encore ainsi pour des PME de structure manufacturière, produisant en petites séries avec un parc de machines diversifiées, sans contraintes de sécurité majeure et pour lesquelles la panne fortuite est admissible.

C'est ce que le poète Henri Michaux exprimait ainsi : « Quand les autos penseront, les Rolls Royce seront plus angoissées que les taxis. »

1.1.6 Annexe : la Charte de la maintenance industrielle (CNMI 1993)

Afin de contribuer à la qualité du service en maintenance industrielle et en accord avec les exigences des normes ISO 9000, le CNMI propose aux entreprises, à leurs fournisseurs et à leurs sous-traitants, d'adhérer à la Charte de la maintenance industrielle. Cette adhésion implique pour les entreprises signataires de respecter un certain nombre de principes dans les domaines techniques, organisationnels, commerciaux et légaux. Cette adhésion est constituée des dix engagements suivants.

1. Maîtriser les techniques et méthodologies nécessaires à son métier.
2. Disposer d'une organisation et d'une polyvalence technique lui permettant de traiter les interfaces technologiques nécessaires à l'exécution des tâches qu'elle a acceptées.
3. Respecter et faire respecter les normes et réglementation en vigueur, promouvoir celles ayant trait à la maintenance et participer à l'évolution des textes normatifs dans son métier.
4. Mettre en œuvre des actions de maintenance tenant compte des contraintes de sécurité et d'environnement et refuser d'entreprendre toute action conduisant au non-respect des textes officiels et des lois en vigueur.
5. Mettre en œuvre des actions de maintenance tenant compte des contraintes d'exploitation spécifiques du client.
6. Fonder ses relations commerciales sur des pratiques contractuelles préalablement déterminées et précisant clairement les partages de responsabilité.
7. Rechercher avec le client la politique de maintenance optimale en fonction de ses impératifs d'exploitation et de ses exigences de qualité.
8. Respecter les principes de confidentialité et de réserve vis-à-vis de ses clients.
9. Développer conjointement avec le client des actions visant la transparence des opérations et la maîtrise des risques.
10. Assurer à son client le retour d'expérience et le conseiller sur les modifications susceptibles d'améliorer les performances, la fiabilité et la sûreté de fonctionnement des équipements et la rentabilité des systèmes de production. L'inciter à actualiser leur mise en conformité avec les normes, règlements et législation en vigueur.

1.2 Le service maintenance au sein de l'entreprise

1.2.1 Réflexion préliminaire : qui fait de la maintenance ?

Nous prendrons dans cet ouvrage comme structure de référence le « service maintenance intégré » au sein d'une entreprise (figure 1.4). En effet, ce cadre organisationnel est le plus complet et le plus exigeant : la plupart des méthodes développées dans un service de maintenance interne peuvent s'adapter aux autres activités concernées par la maintenance : prestataires de service, services après vente (SAV) ou maintenance immobilière.

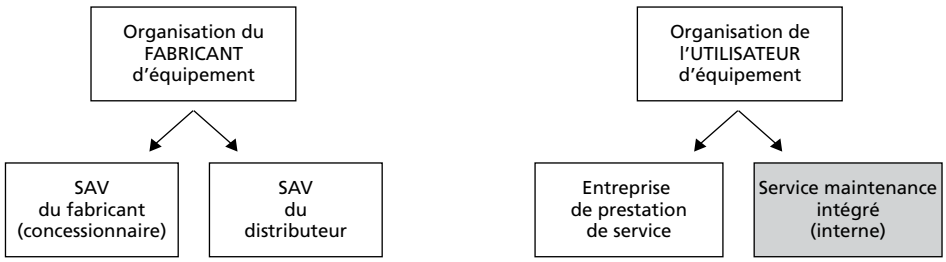

Figure 1.4 – Qui est concerné par la maintenance ?

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

1.2.2 Les missions du service maintenance intégré

❑ Missions principales

Nous pouvons caractériser la mission globale de la maintenance par la gestion optimisée du parc matériel en fonction des objectifs propres à l'entreprise. La maintenance est ainsi en prise directe avec la stratégie de l'entreprise à un moment donné. Pour exemple, une ligne de production ne sera pas prise en charge avec le même soin préventif selon qu'elle est requise à sa capacité maximale de production, ou qu'elle n'est requise que de façon intermittente. D'où la nécessité de dégager une politique de maintenance :

– conforme aux textes réglementaires,
– assise sur le soutien à la production (quantité, qualité et délais),
– intégrée à l'amélioration de productivité,
– assurant la sécurité des biens et des personnes,
– assurant l'amélioration de l'environnement interne et le respect de l'environnement extérieur.

Nous pouvons synthétiser les missions de la maintenance en les plaçant sur trois plans interdépendants.

Au plan technique :

– accroître la durée de vie des équipements,
– améliorer leur disponibilité et leurs performances.

Au plan économique :

– réduire les coûts de défaillance, donc améliorer la productivité et les prix de revient,
– réduire le coût global de possession de chaque équipement sensible.

Au plan social :

– réduire le nombre des événements « fortuits », car moins d'interventions en urgence réduit le risque d'accidents,
– revaloriser la nature du travail : équipe, polyvalence, qualité, initiatives, anticipation, etc.

Responsable de l'état et de la conservation du matériel, la maintenance ne peut imposer sa vision à long terme que si elle n'est pas en état de dépendance (hiérarchique et budgétaire) par rapport à la production.

❑ Actions correspondantes

La première action du service est donc de déterminer, à partir de l'inventaire du parc à maintenir, la criticité de chacun des équipements. Par défaut. C'est-à-dire par l'importance supposée de la perturbation générée par la défaillance intempestive d'un équipement. Suivant un critère de sécurité d'abord, puis économique : il y aura arrêt de production ou non. Il faut ensuite « proportionnaliser » l'effort de prise en charge (documentation technique y comprise) à cet indice de criticité.

Il appartient ensuite au service de préparer et de réaliser des actions :

– en temps réel : surveillance du fonctionnement, traitement des alarmes,

– à court terme : propreté, inspections et actions correctives (dépannages),
– à moyen terme : actions préventives, révisions, actions externalisées, améliorations et modernisations,
– à long terme : grands arrêts, participation aux « travaux neufs » et à la caractérisation des nouveaux équipements.

❑ **Autres missions éventuelles**

Outre les équipements de production, les services maintenance ont souvent la responsabilité des « utilités », en particulier la fourniture des énergies, dont la criticité est également à estimer.

Parmi les autres activités qui peuvent « tomber dans l'escarcelle » du service, citons :
– l'entretien général des infrastructures, des espaces verts, des véhicules,
– des prestations diverses pour tout service de l'entreprise,
– les travaux concernant l'hygiène, l'ergonomie, la sécurité, l'environnement, etc.

Ce qui prouve l'utilité de codifier ces différentes activités « auxiliaires » pour distinguer leurs coûts à l'intérieur du budget du service.

1.2.3 Les interfaces de la maintenance

❑ **L'interface maintenance/production**

L'interface maintenance/production est le plus délicat à définir par son rôle stratégique au cœur du système de production. Il caractérise le niveau d'évolution de l'organisation de ce système.

Reprenons son évolution à partir de la phase « entretien traditionnel » (figure 1.5). Ce schéma illustre la subordination des services « entretien » à la « production ». Dans ce cas, le responsable de production risque d'imposer sa vision à court terme de l'utilisation des matériels : il tolère la lubrification, il est bien obligé de subir les arrêts fortuits, mais il repousse à plus tard toute programmation d'arrêt préventif. Il est également maître du budget de l'entretien, qui coûte cher, comme chacun sait.

Cette dépendance peut devenir un partenariat si la maintenance travaille dans un esprit « centre de profits » plutôt que « centre de coûts ». Dans le premier cas on cherche à être le moins cher possible dans le strict cas d'un budget (mais les pannes respectent-elles le budget ?) dans le second cas on fait des propositions d'amélioration basées sur le gain en productivité réalisable et exprimé en euros.

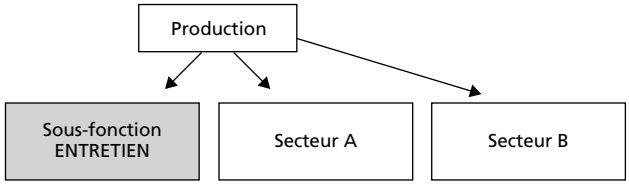

Figure 1.5 – Organigramme de l'entretien traditionnel

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

L'organigramme de la figure 1.6, plus évolué, permet de résoudre les problèmes précédents liés à la subordination de l'entretien.

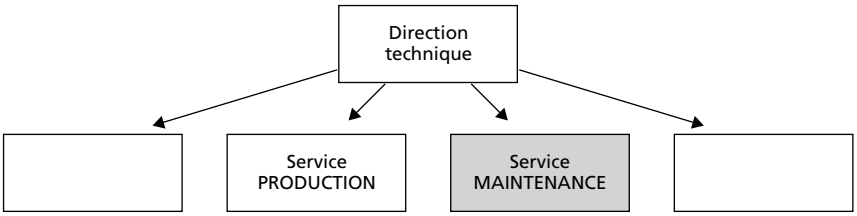

Figure 1.6 – Organigramme « maintenance indépendante »

Par contre, cette organisation ne résout pas les problèmes « en temps réel » situés « au pied de la machine ». C'est ainsi que les opérateurs (ou conducteurs) et régleurs de la production, les contrôleurs de la qualité, les dépanneurs de la maintenance doivent, face à un incident, décider du « qui prend ? ». Perte de temps, source de conflits, retours d'expérience difficiles, etc. Or, preuve est faite qu'il est plus positif de chercher des causes et d'y apporter des remèdes que de chercher des responsables, a fortiori des coupables !

La TPM (*total productive maintenance*) apporte une réponse à ce problème de partage des tâches dites de « premier niveau ». Nous la développerons dans le paragraphe 10. 2 du chapitre 10, sur les nouvelles organisations.

❑ Les autres interfaces

Le service maintenance est en relation interne avec :

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

Le service maintenance a également des relations externes avec ses fournisseurs, ses prestataires et avec ses fournisseurs d'équipements techniques (commerciaux et SAV).

Remarque

Face aux contraintes économiques et à la nécessité d'accroissement de la productivité, de nombreuses PME ont supprimé la poste de magasinier voir d'acheteur. Ce calcul à court terme sous la pression des actionnaires - qui confondent productivité et réduction du personnel - ne supprime pas le besoin. Si la réponse à ce besoin n'est pas remplie par une entreprise extérieure spécialisée dans la logistique maintenance, cela revient à répartir la charge de travail du magasinier entre les techniciens et souvent les ingénieurs de maintenance.

Cette énumération succincte des différentes interfaces prouve que le technicien de maintenance doit être un homme « de contact ». Elle montre aussi l'importance opérationnelle de la définition des procédures de communication interfonctions.

1.2.4 Analyse d'un organigramme fonctionnel

❑ Définition et intérêt d'un organigramme

Un organigramme est une représentation schématique de la structure, le plus souvent pyramidale, d'une entreprise ou d'un service mettant en évidence les domaines de responsabilité de chaque composant. Il répond à la question « qui fait quoi ? » et il illustre verticalement la hiérarchie des hommes (modèle militaire) ou des fonctions (modèle industriel). Un autre intérêt est de « borner » les domaines d'action de chaque responsable de « pavé », évitant ainsi les chevauchements et les luttes d'expansion d'influence (certains hommes ayant tendance à être « boulimiques »).

Toute réorganisation profonde implique une modification d'organigramme. Ainsi, nous pourrons dire qu'un organigramme rationnel est une condition nécessaire, mais non suffisante, à la réalisation d'une maintenance efficace.

Remarques

1. Le management par « projet » se fait souvent en « détachant » provisoirement des gens de leur pavé d'origine. Il en est de même pour les « cercles de progrès ». Il n'est pas souhaitable de confier la réalisation complète des projets d'audit ou d'organisation à des stagiaires inexpérimentés laissés seuls et ne connaissant pas l'entreprise. Ils doivent bien au contraire être dirigés et encadrés par le responsable de maintenance.
2. L'organigramme n'a pas vocation à préciser les flux de communication entre services.
3. Le fait que deux services soient « à l'horizontale » ne donne aucune indication sur leurs effectifs respectifs.

❑ Analyse critique d'un organigramme

Prenons pour exemple un organigramme « classique » d'une entreprise de 600 personnes, avec 4 secteurs de production et 60 personnes affectées au service maintenance (figure 1.7).

Commentaires

1. Il est essentiel que les fonctions production et maintenance soient « à l'horizontale». Une interface hiérarchisée entraîne une subordination incompatible avec l'objectif de préservation du matériel à long terme de la maintenance.
2. Une antenne sectorisée est constituée d'une équipe polyvalente de maintenance « pilotée » par un agent des méthodes affecté à un secteur de production. Cette décentralisation permet une réduction des temps d'intervention ainsi qu'une bonne maîtrise des technologies. L'agent des méthodes assure la cohérence des méthodes avec les autres secteurs et avec la politique générale menée.
3. L'antenne sectorisée a une composition adaptée au secteur. Par exemple : 1 chef d'équipe + 1 électronicien + 2 hydrauliciens + 1 mécanicien + 1 tuyauteur.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

La structure empirique « service élec » et « service méca » est incompatible avec des interventions rapides sur des matériels à technologies multiples. C'est au niveau des antennes que l'esprit d'équipe polyvalente doit se substituer à l'esprit corporatif !

4. L'organisation de la fonction « ordonnancement » est trop souvent négligée : outre la planification des travaux, elle doit permettre de lancer, à une heure H, une intervention avec tous les moyens mis à disposition du chef d'équipe. Un gain de temps et d'énergie (chercher à rassembler les moyens !) considérable.

La suite de l'ouvrage sera l'occasion de développer ces différents arguments.

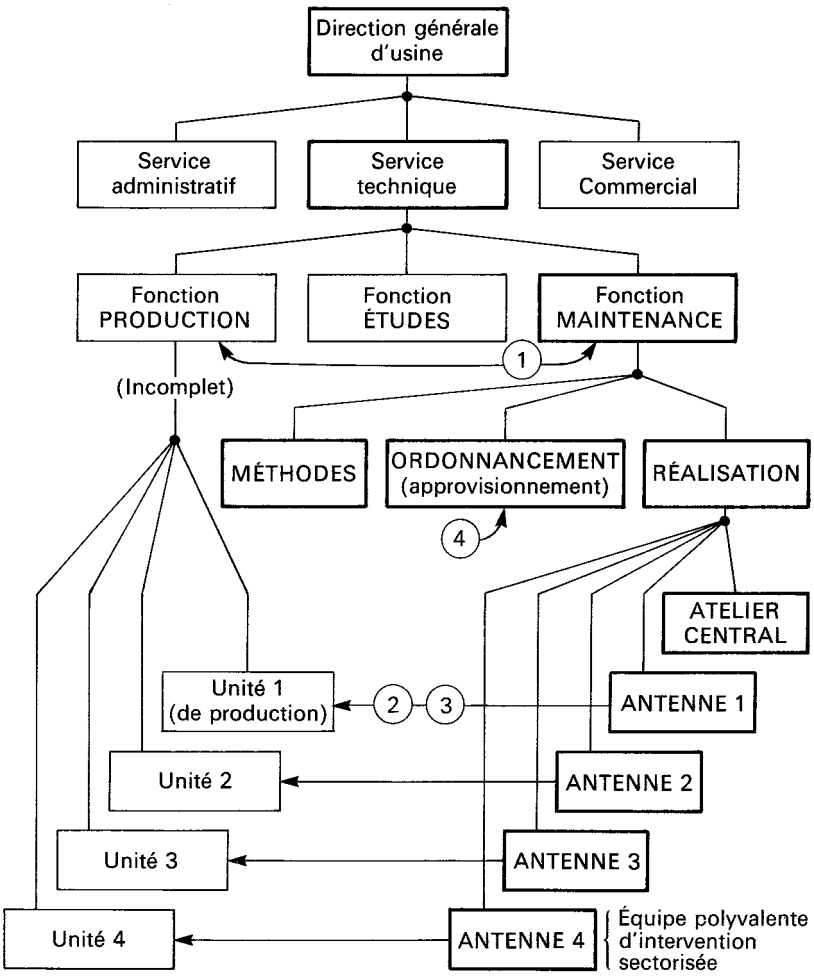

Figure 1.7 – Exemple commenté d'organigramme fonctionnel

1.2.5 Que faut-il centraliser ou décentraliser en maintenance ?

Ces questions sont souvent plus faciles à résoudre *in situ* en fonction de l'histoire, de l'implantation et du secteur d'activité d'une entreprise donnée que dans un ouvrage général. Cependant, quelques idées directrices peuvent étayer une réflexion d'adaptation locale.

❑ **Centralisation de la gestion**

Elle doit permettre la cohérence d'un ensemble d'activités diversifiées, éparpillées sur le site, opérées par des hommes de qualifications différentes.

Cette centralisation est matérialisée par le bureau des méthodes, centre vital du service, mais aussi par l'existence d'un atelier central de maintenance regroupant les moyens « lourds » nécessaires. Elle doit faciliter :

– l'optimisation de l'emploi des moyens nécessaires aux activités et l'assistance technique,
– le retour d'expérience, et donc une meilleure maîtrise des temps opératifs et des coûts passés,
– le retour d'expérience, et donc un suivi homogène des équipements et de leurs défaillances,
– une standardisation des procédures et des flux de communication interne,
– une meilleure gestion du personnel.

Notons que l'existence d'une GMAO assure la centralisation de la gestion.

❑ **Décentralisation topographique**

La base de cette décentralisation est la sectorisation des antennes de maintenance à proximité immédiate des équipements dont ils ont la charge. Elle doit faciliter :

– la délégation de responsabilité aux chefs d'équipe et l'autonomie d'équipes polyvalentes réduites,
– l'efficacité et la rapidité des actions correctives (dépannages en particulier),
– les relations avec les « producteurs » (conducteurs d'installation, régleurs, etc.).

❑ **Le problème du « magasin »**

La localisation du « magasin de maintenance », comprenant les stocks de consommables et de pièces de rechange est discutée.

Vaut-il mieux intégrer ce magasin à un magasin général de l'entreprise, donc centraliser en augmentant les distances aux lieux d'intervention ?

Ou est-il préférable de multiplier des dépôts à proximité des antennes associés à un magasin spécifique implanté dans l'atelier central de maintenance ?

Dans le passé on centralisait les achats et le magasin sous une direction logistique, et on retrouve toujours cette structure dans les grandes entreprises. Dans les PME plus ou moins importantes on place les stocks et parfois les achats sous l'autorité de la direction technique ou direction de production. Cela limite les inconvénients du cloisonnement interservices et permet de mieux appréhender une gestion en flux tendu.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

1.3 Les hommes de maintenance et leur formation

1.3.1 Quelques remarques préliminaires

❑ De l'entretien à la maintenance

Aux mutations technologiques doivent répondre de nouvelles organisations et des adaptations de compétences.

Aux qualifications devenues obsolètes doivent se substituer des métiers nouveaux. Autour des outils de production doivent être expérimentés des profils de compétence dont il faut imaginer les caractéristiques et même les noms ! Par exemple, les « pilotes, opérateurs, surveillants ou conducteurs » d'installation, etc.

Les services entretien se caractérisaient par un taux d'encadrement faible (cadres et maîtrise) et de nombreux ouvriers spécialisés organisés en ateliers corporatifs (électriciens, mécaniciens, chaudronniers, etc.). Ce corporatisme originel a fait la preuve de son inadaptation face à l'intégration technologique des systèmes actuels, et surtout face aux logiques de commande et à l'omniprésence de l'informatique. Ces systèmes demandent une plus grande réactivité, plus de vigilance, plus de polyvalence de la part des équipes.

Dans un service maintenance, l'organigramme montre le besoin en agents de maîtrise, techniciens des méthodes en particulier, s'appuyant sur une polyvalence large pour pouvoir gérer les actions techniques. À la base, c'est sur les conducteurs d'installation que reposent les interventions de premier niveau. Ils sont assistés par des équipes d'intervention de maintenance composées de spécialistes à forte technicité et de compétences décloisonnées (exemple : omniprésence de l'automatisme et de l'informatique industrielle).

Le métier a donc été considérablement revalorisé, aussi bien par les qualités comportementales requises que par les outils à utiliser (GMAO, testeurs, contrôles non destructifs, télésurveillance, etc.). De façon un peu moins sensible qu'en production, l'évolution se fait dans le sens d'une perte quantitative de main-d'œuvre peu formée. Mais la demande en personnel de culture technique spécifiquement formé à la maintenance est grandissante afin de satisfaire les besoins en animation, méthodes et gestion.

❑ La nécessaire polyvalence pour tous

La maintenance est une fonction technique. Mais pas seulement.

À tous les niveaux de responsabilité d'un service, la maintenance se caractérise par une nécessaire polyvalence, le « fait technique » devant systématiquement être piloté par une réflexion économique et sécuritaire. La culture d'origine doit être incontestablement technique ; mais ce technicien doit apprendre à gérer, à animer, à informer, parfois à former ou à négocier.

Au niveau des techniciens d'intervention, cette polyvalence est requise par la forte intégration technologique que l'on trouve dans tous les systèmes évolués. La seule localisation d'une panne exige de transgresser les frontières entre les parties opératives, les commandes et leurs interfaces. Entre les domaines de la mécanique, de

l'hydraulique, de l'électronique, des automatismes et de l'informatique de commande. Un domaine comme la « connectique », situé hors des apprentissages traditionnels, représente un champ de connaissance incontournable pour le dépanneur de maintenance, car c'est une source fréquente de microdéfaillances.

Comme il est irréaliste de savoir tout sur tout, c'est par le travail en équipe que la complémentarité des compétences résoudra les problèmes du terrain.

❑ **Les « risques du métier »**

La maintenance est d'une nature « ingrate ». Répondant à des besoins de sécurité, de protection de l'environnement, de soutien à la production, ses succès apparaissent « naturels » alors que ses quelques échecs sont criants.

La prévention des pannes ? Mais qui saura que vous avez aujourd'hui prévenu une panne, et économisé le coût de ses conséquences, puisqu'elle n'est pas arrivée ! À l'inverse, comment expliquer que le « correctif résiduel » d'une politique préventive est inévitable en terme de risque maîtrisé, mais non nul. Et donc que la panne qui arrive « au mauvais endroit et au mauvais moment » avait une probabilité d'occurrence faible, mais non nulle !

Il est donc particulièrement important en maintenance de savoir justifier une mesure préventive, et de savoir faire la preuve de son efficacité (graphes d'évolution, par exemple).

1.3.2 Les métiers de la maintenance

❑ **Le responsable du service**

Souvent ingénieur généraliste, il est peut-être issu de la promotion interne, car le poste exige une bonne connaissance du terrain (organisation, environnement, ressources humaines et matérielles), mais aussi de la pathologie des équipements sensibles. Outre la responsabilité classique de la gestion et de l'animation d'un service technique, le poste présente plusieurs aspects particuliers.

– Le « contrôle de gestion » : l'exigence en matière de maîtrise économique des activités du service devient de plus en plus rigoureuse. Une aide extérieure peut être nécessaire à assurer cette fonction.
– La « veille organisationnelle » : la maintenance étant très évolutive, il lui faudra s'ouvrir aux organisations mises en œuvre « ailleurs », en Europe et au-delà. Pensons à la TPM et à la MBF et rappelons que la maintenance se fait avec des hommes, et que l'efficacité du travail de ces hommes dépend de l'organisation dans laquelle ils s'insèrent.
– Le management de « projets » : le chef de service sera souvent associé ou maître d'œuvre dans le management d'un ou de plusieurs projets concernant la maintenance (TPM, supervision, GMAO, ISO 9000 ou 14000, etc.).

❑ **L'ingénieur « Études et travaux neufs »**

Légitimement rattachés à la maintenance, les techniciens des « travaux neufs » ont pour mission de définir, puis de mettre en place et de démarrer les nouveaux équipements, ainsi que la logistique et tous les réseaux s'y rapportant.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

Attentifs à la maintenabilité, à la logistique de soutien et à la sûreté de fonctionnement (SdF), exploitant les retours d'expérience, ils rendront plus facile et plus efficace la maintenance ultérieure de ces équipements. Leur rôle devient prédominant : bien mieux que les actions a posteriori (le correctif), mieux que les actions a priori (le préventif), les actions *ab initio* représentent un gisement d'économies à développer.

❑ Le technicien du bureau des méthodes de maintenance

Le bureau des méthodes est au centre des activités de la maintenance. Les agents des méthodes ont pour missions principales :

– l'exploitation des retours d'expérience en temps, en coûts et en analyse qualitative des défaillances, ces retours devant être partagés avec le terrain,
– l'amélioration des performances des équipements et des intervenants,
– la préparation des actions préventives ou correctives, ce qui implique en amont la gestion de la documentation technique, en aval la maîtrise logistique associée à ces actions.

Pour effectuer toutes ces tâches, ces agents sont « sectorisés », chacun d'entre eux étant amené à être très présent sur son site de rattachement en soutien des intervenants. À la différence des « méthodes de production », le préparateur ne peut définir son travail qu'*in situ*, par observation et dialogue, avant de le matérialiser au bureau des méthodes.

Les techniciens supérieurs en maintenance formés en IUT et en BTS ont vocation à devenir, après une période d'adaptation au terrain, des agents des méthodes.

❑ Le technicien d'intervention de l'antenne de secteur

Une forte technicité adaptée aux technologies du secteur est requise pour ces techniciens travaillant en équipe. Surveillance, dépannages et réparations, mise en œuvre d'amélioration et d'actions préventives, ils sont amenés à former et à soutenir les opérateurs en automaintenance, le cas échéant.

❑ Le technicien de l'atelier central

Nous retrouverons ici les « vieux métiers » de l'entretien : tourneurs, soudeurs, tuyauteurs, ajusteurs, chaudronniers, mais aussi électriciens, automaticiens, etc. Ils sont chargés de la remise à niveau d'équipements « déposés » à l'atelier central. Le magasin de maintenance fournit les moyens nécessaires aux différentes spécialités.

❑ Autres métiers parfois rattachés à la maintenance

Suivant la taille de l'entreprise et la nature de ses activités, les spécialités suivantes peuvent être rattachées au service maintenance :

– responsable des « utilités » (énergies, réseaux, stations d'épuration, etc.), des « services généraux », de l'entretien des bâtiments et espaces verts, etc. ;
– responsable de la sécurité, des conditions de travail, de l'environnement, etc. ;
– responsable des supports techniques SAV ;

– responsable GMAO et autres logiciels spécifiques (basé au bureau des méthodes).

Notons deux autres métiers de la maintenance, le plus souvent exercés à l'extérieur de l'entreprise :

– l'ingénieur-conseil en maintenance, expert en organisation et/ou en informatique de maintenance. Sa mission principale consiste à inspirer au management de l'entreprise des axes de changement d'organisation, à apporter une méthodologie du changement, puis à piloter la mise en œuvre du projet;
– le formateur en maintenance, intervenant dans des organismes de formation continue qui peuvent être privés (CEGOS), associatifs (AFNOR, AFIM, APAVE, CETIM, ADEPA, AFPA, CFPA, etc.), consulaires (CIMI) ou dérivés du public (GRETA et centres de formation continue de l'enseignement supérieur).

1.3.3 La spécificité française en matière de formation à la maintenance

❑ **Le pari innovant de l'Éducation nationale**

Dès 1978, la France s'est « singularisée » en Europe par des initiatives pionnières dans le secteur éducatif. L'Éducation nationale a alors su répondre aux besoins des entreprises en leur offrant une formation *transversale techniquement polyvalente* et enseigner *les méthodes de maintenance* comme discipline identifiée.

L'ouverture en 1978 à l'Institut universitaire de technologie (IUT) de Valenciennes d'un département Maintenance industrielle, suivie en 1980 par l'ouverture de sections de techniciens supérieurs en maintenance industrielle (STS) dans certains lycées techniques, répondait logiquement à une attente de certaines entreprises, mais correspondait à un pari original qui mérite d'être analysé avec le recul de vingt ans d'expérience, sachant que 4 500 jeunes techniciens supérieurs de maintenance intègrent chaque année les entreprises.

□ **Le pari de la transversalité**

Certains pays européens avaient et défendent encore une vision « verticale », sectorielle ou corporatiste de la maintenance. Maintenance électrique, mécanique ou hydraulique. Maintenance papetière, agro-alimentaire ou pharmaceutique… Leitmotiv : « chez nous, c'est spécial… ».

Il s'ensuit des cloisonnements et des oppositions corporatistes, avérés par l'expérience comme autant de pesanteurs qui freinent la performance et la qualité. A contrario, le succès de la *maintenance productive totale* est dû à l'association des efforts cohérents de la production, de la qualité et de la maintenance dans une convergence d'objectifs.

L'Éducation nationale a dès l'origine fait le pari d'une formation décloisonnée, les jeunes ainsi formés pouvant a priori s'insérer dans tous les secteurs ayant à maintenir économiquement et efficacement un outil de production, de l'industrie automobile à la station de sport d'hiver… L'hypothèse initiale française repose sur une vision transversale de la fonction maintenance : « les concepts, les méthodes et les organisations de la maintenance peuvent s'appliquer à tous les secteurs, à des adaptations et à des effets d'échelle près ».

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

Le niveau de formation à bac + 2 est apparu comme le plus propice à introduire de nouvelles compétences « méthodes » dans les entreprises. C'est ainsi que fut imaginé l'enseignement spécifique et inédit des méthodes de maintenance autour desquelles s'articulent toutes les compétences technologiques. En particulier a été introduite avec ces méthodes l'idée que tout « fait technique » est conditionné par une approche sécuritaire et économique.

☐ Le pari de la polyvalence

En IUT comme en STS maintenance industrielle, la volonté de la polyvalence a structuré les programmes d'enseignement, en contraste avec les formations spécialisées qui caractérisaient ces niveaux de formation.

Au niveau du recrutement, chaque formation est ouverte à une large palette de baccalauréats. Au niveau des enseignements, des cours et des travaux pratiques de gestion, de communication, de sécurité d'économie et de méthodes de la maintenance supportent les enseignements scientifiques et technologiques largement diversifiés : automatismes, électronique, mécanique, électrotechnique, thermique… Des stages chez des partenaires industriels ou tertiaires de tout secteur d'activité complètent cette volonté de polyvalence.

Dans les années 1980, nous pouvions douter, car cette polyvalence présentait un risque inhérent : celui de voir ces jeunes techniciens généralistes « barrés » sur le chemin de l'emploi par des « spécialistes » de même niveau. Avec plus de vingt années de recul, le doute n'est plus permis et le pari est gagné, au-delà du seul domaine de la maintenance : ces jeunes sont recherchés et intègrent de nombreux domaines connexes. Notons également que le concept IUT de formation à la maintenance, reconnu et validé en France, est exporté dans de nombreux pays en voie de développement (Maroc, Argentine, Mexique…).

❑ Quelques réflexions sur la formation à la maintenance

1. La compétence des techniciens et ingénieurs résultera de leur formation initiale complétée par l'alternance entre des périodes opérationnelles en entreprise et des périodes de formation continue. Ces périodes de perfectionnement seront, soit « pointues » pour approfondir un champ particulier, soit « généralistes » pour prendre de la distance par rapport au quotidien et réfléchir à l'application d'autres méthodes.

2. Une spécificité de l'apprentissage de la maintenance est l'importance du raisonnement inductif, qui part du concret (l'observation des faits sur le terrain) pour aller vers l'abstrait (la recherche des causes expliquant les faits). Cette « démarche diagnostic », évidemment transférable à la qualité et à la gestion, est caractéristique de l'état d'esprit maintenance.

3. Doit-on former des jeunes « à la maintenance », au risque de les enfermer dans la fonction, ou faut-il former des techniciens spécialistes et devoir les adapter à la fonction ? La réponse dépend du niveau envisagé : intervenant de terrain, agent de maîtrise ou cadre supérieur.

– Au niveau des « intervenants de terrain », la deuxième voie semble la mieux adaptée. La nécessaire polyvalence sera acquise sur le terrain à partir d'une base

technique identifiée (mécanique, électronique, etc.) et un management participatif accélérera l'acquisition de « l'état d'esprit maintenance ».

– Au niveau de la maîtrise, l'expérience est faite : à bac + 2, il est possible de former à l'OGM (organisation et gestion de la maintenance) sur une base technique polyvalente sans risque « d'enfermement », bien au contraire. Quand des jeunes ont acquis l'esprit et les méthodes permettant de résoudre des pannes pour mieux les anticiper, en sachant quel en est le coût, ils peuvent facilement transférer ces compétences au traitement de tout problème technique, que ce soient des défauts (la qualité), des arrêts (la production) ou des accidents (la sécurité et l'environnement).
– Au niveau des chefs de service, la réponse est nuancée. D'abord parce qu'il y a peu d'écoles d'ingénieurs dédiées à la maintenance. Ensuite parce que toute formation d'ingénieur devrait sensibiliser à la fonction maintenance. Mais ce n'est pas encore le cas. Un profil doit être imaginé, basé sur l'apprentissage, situé entre deux pôles extrêmes :
  – le jeune cadre qui fait « ses classes » en maintenance avant de voguer vers de plus « glorieux horizons » vit certainement une expérience positive pour sa carrière, mais qui l'est moins pour le développement cohérent du service ;
  – le vieil ingénieur qui connaît par cœur les équipements et leurs faiblesses n'est pas forcément le mieux à même d'impulser les projets nécessaires en rupture avec l'organisation d'hier.

  Les « mastères » proposés en formation continue par quelques écoles d'ingénieurs semblent être une solution intéressante pour les grandes entreprises.

4. Force est de constater que les formations d'ingénieurs et de techniciens restent déterminées bien plus par le poids de l'histoire et des traditions éducatives de chaque pays que par une évaluation objective des besoins requis par l'exercice d'un métier ou par l'attente du marché du travail. Sans pour cela céder à « l'utilitarisme » du court terme, un équilibre nouveau est à trouver. En maintenance, la polyvalence de la culture attendue ne risque pas d'entraîner les formations vers une spécialisation trop « cloisonnante ».

❑ **Pour conclure**

Rappelons la formidable richesse que représentent le comportement et la compétence des techniciens pour la performance de l'entreprise. Le pari sur l'avenir passe par la formation des hommes. Si le management fut *l'art de faire passer les idées du patron dans les mains des salariés,* il devient *l'art de mobiliser l'intelligence de tous les acteurs.*

1.4 Méthodologie de la maintenance : quelques outils de base

Nous allons aborder certains aspects méthodologiques propres à l'exercice des métiers de la maintenance, et qui méritent une réflexion « isolée », car leurs mises en œuvre se retrouvent éparses parmi les chapitres suivants.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

1.4.1 À propos de l'observation

❑ Définition et commentaires

Éliminons le sens « action de se conformer à ce qui est prescrit » pour ne retenir que le sens « étude attentive d'un phénomène ». En maintenance, l'observation est le point de départ :

– de la détection d'une défaillance (écarts de l'événement constaté avec une situation normale),
– du diagnostic technique (observation des symptômes),
– du diagnostic gestionnaire (observation des indicateurs et de leurs tendances),
– de l'expertise de défaillance (observations complémentaires telles qu'examens micrographiques),
– du dépannage et autres actions correctives.

Et, de façon plus générale, du raisonnement inductif (généralisation opérée à partir d'observations singulières).

❑ Méthode

L'observation se rapporte aux symptômes. Elle se fait évidemment *in situ*, compliquée parfois par les mesures prises en urgence pour préserver un équipement :

– n'observer qu'une seule chose à la fois : isoler successivement les paramètres d'influence pour étudier séparément leurs effets ;
– observer sans juger : être objectif et impartial, éliminer les a priori favorables à une thèse ;
– tout observer : ne rien éliminer a priori, même des faits qui semblent indépendants du phénomène recherché. Une anormalité sur une facture d'énergie peut permettre d'identifier un problème technique !
– tout noter (par croquis, schémas, notes, photos, images vidéo, etc.) : mesurer des cotes, des paramètres physiques, l'état de l'environnement, etc. ; relever des témoignages, des couleurs, des odeurs ; retrouver l'historique des interventions précédentes.

Les exemples fourmillent, au sein des services maintenance, de problèmes résolus par la grâce d'une observation au premier abord fantaisiste. Si l'œil est l'organe de l'observation, n'oublions pas nos quatre autres sens pour nourrir nos observations et pensons que tout l'arsenal des mesures physiques est à notre disposition.

1.4.2 À propos de l'analyse

❑ Définition et commentaires

L'analyse est la « décomposition d'un ensemble en éléments aussi simples que possibles ». Elle permet d'identifier les éléments d'un ensemble et de comprendre la nature des liaisons entre les éléments isolés d'une part, entre un élément et l'ensemble, d'autre part.

La méthode de cet ouvrage est de découvrir, dans une première partie, des aspects de la maintenance par analyses de situations. Nous découvrirons ainsi successivement :

– l'organigramme d'un service (analyse fonctionnelle),

– l'analyse du parc matériel par arborescence,
– les analyses qualitatives de défaillances et quantitatives d'un échantillon de défaillances,
– l'analyse fiabiliste des comportements pathologiques,
– les analyses de temps et de coûts de maintenance.

❑ **Outils de formalisation des analyses**

La structure graphique d'une analyse est toujours une arborescence allant d'un ensemble vers ses éléments constitutifs.

□ **Exemple 1 : décomposition d'un parc matériel**

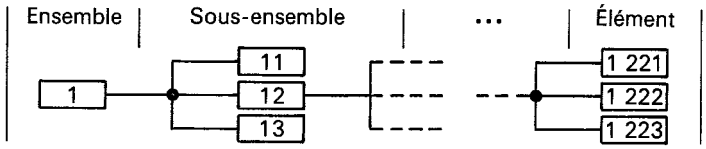

Figure 1.8 – Analyse arborescente d'un parc matériel ou d'un équipement

Le nombre de niveaux dépend de la complexité de l'ensemble, mais aussi des regroupements intermédiaires que l'on veut faire apparaître.

□ **Exemple 2 : arbre binaire de décision, de test, d'aide au diagnostic, etc.**

Il se rapporte à la représentation logique du déroulement d'un processus par une succession de choix binaires : 0 ou 1, bon ou mauvais, oui ou non, etc.

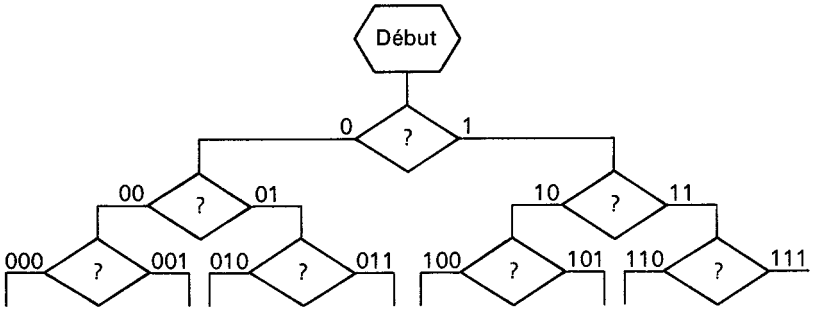

Figure 1.9 – Arbre de décision

La figure 1.10 ci-après fournit un exemple d'application d'arbre de décision destiné à orienter la prise en charge de chaque sous-ensemble ou de chaque organe sélectionné en fonction de critères prédéterminés. L'ensemble des résultats obtenus permet d'élaborer la base d'un plan de maintenance.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

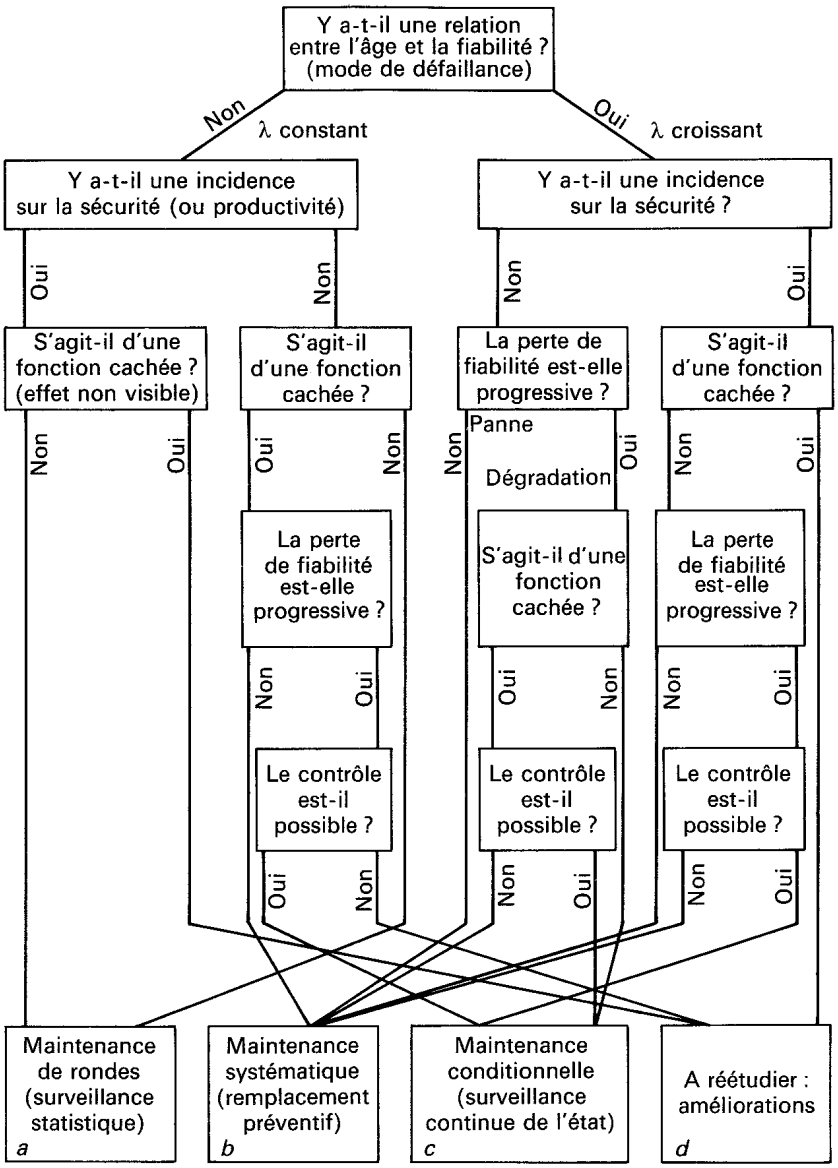

Figure 1.10 – Exemple d'arbre de décision appliqué au choix des méthodes de maintenance

1.4.3 À propos de la communication

❑ Définition et commentaires

La communication est la transmission d'informations, par des supports variés, entre un émetteur et un récepteur. Dans un service, elle est le lien indispensable, entre l'action et la gestion (réflexion + décision). En maintenance, le flux majeur

concerne la liaison entre le site à maintenir (l'action) et le bureau des méthodes (la gestion).

Des intervenants vers les gestionnaires, il s'agira de transmettre les paramètres caractérisant l'intervention telle qu'elle s'est réellement passée. Nous nommerons ce flux « le retour d'expérience local ». À l'inverse, les procédures de la préparation du travail seront transmises aux techniciens. Par nature, la préparation est constituée de « prévisions » (de temps, de coûts, de consommation, etc.) et d'« anticipations » (de risques, d'obstacles, de problèmes, etc.).

Le cumul des retours d'expérience sur des années permet d'établir de bonnes prévisions. Et l'analyse des écarts entre la prévision et la réalité du terrain est source de progrès.

❑ Différentes formes de communication

La forme de communication la plus naturellement humaine est l'oral. Dans une logique de qualité des relations humaines au travail, de compréhension mutuelle et de convivialité, la part « orale » est indispensable pour compenser l'aridité de la messagerie « papier » ou informatique.

En entretien traditionnel, il existait une tendance à négliger la « paperasserie » au sein des services opérationnels, sous prétexte d'efficacité immédiate. C'était la connotation péjorative du « gratte-papier » opposée à l'utilité visible du dépanneur.

En maintenance (et ailleurs…), aucune action importante ne peut être engagée si elle n'est définie, située, programmée, puis enregistrée et analysée en retour. Quant au dépanneur, tâche effectuée, il doit mettre sa compétence à profit pour éviter d'avoir à dépanner de nouveau, encore et toujours. Ce qui peut l'amener à « gratter du papier » ou faire un compte-rendu en GMAO.

Entre l'écrit et l'oral, seul « l'écrit », sur support papier ou informatique, permet :

– d'engager et de préciser une responsabilité,
– d'éviter les altérations, omissions et interprétations propres à l'oral,
– d'être concis : les formes graphiques valent mieux qu'un long discours,
– d'éviter des bavardages inutiles sur le plan fonctionnel, d'avoir à répéter les mêmes choses,
– de stocker l'information, pour une utilisation ultérieure.

Notons que la mise en place d'un système d'assurance qualité et la recherche d'une certification impliquent la rédaction de procédures écrites précises et la traçabilité des actions entreprises. Cet aspect sera développé dans le paragraphe 9.3.

Entre les imprimés et les écrans, la tendance est au « zéro papier ». L'évolution est irréversible et les atouts de l'informatique en matière de communication sont indiscutables : capacité de mémoire, de filtrage, de sécurité, vitesse d'accès à l'information, vitesse de traitement des informations, etc.

Néanmoins, donnons deux arguments « maintenance » allant à contre-courant.

1. Lors d'une intervention sur site, réalisée de façon parfois acrobatique et dans un environnement souvent agressif, il est plus facile d'avoir sous l'œil un schéma ou un plan qu'un PC !

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

2. Quand est mise en place une nouvelle procédure, il est souvent économique et pédagogique de la tester et de la valider à partir d'imprimés avant de l'intégrer à l'informatique.

Pour conclure cette approche, notons que l'efficacité d'un bon système de communication se juge le jour où le chef de service est malade alors que le responsable informatique est en vacances : tous les flux d'information doivent continuer à circuler !

❑ La communication au sein du service maintenance

Nous allons décrire brièvement un système de communication assez traditionnel dans les services maintenance, relatif à une intervention corrective « lourde » prise entre la demande d'intervention et sa clôture. Nous utiliserons les abréviations suivantes :

– DT, demande de travail, ou DI, demande d'intervention, ouvrant un n° de référence, provenant du « client interne »,

– OT, ordre de travail, géré par l'ordonnancement,

– BT, bon de travail, accompagnant la préparation et retourné complété après intervention,

– DA, demande d'approvisionnement,

– BSM, bon de sortie magasin.

La figure 1.11 illustre les différents flux d'information à l'intérieur du service, que les supports soient imprimés ou informatisés.

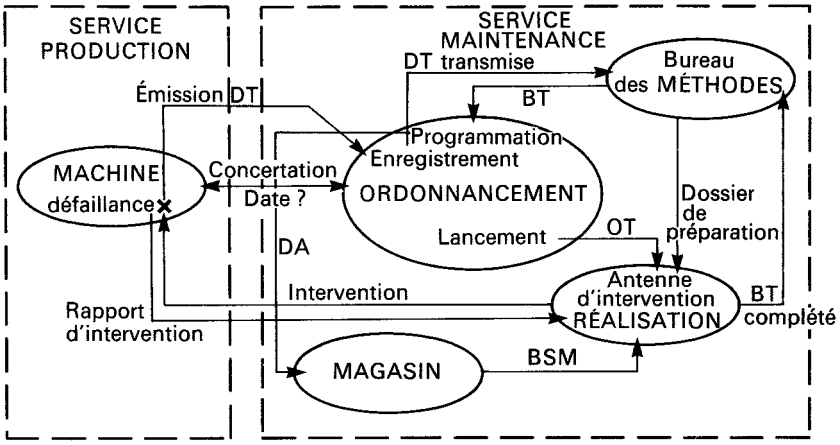

Figure 1.11 – Quelques flux de communication interne en maintenance

La définition de ces flux de communication est très schématique, car l'organisation de la communication opérationnelle en maintenance est par nature complexe : les interventions vont du fortuit au programmé, de l'urgent au différable, du petit dépannage à la révision lourde…

Nous étudierons au chapitre 7 la sous-fonction « ordonnancement », plaque tournante des flux de communication en maintenance, en montrant entre autres comment sont simplifiées les procédures pour des interventions « légères ».

1.4.4 À propos du choix d'action prioritaire

Dégager l'essentiel d'une masse d'informations, et négliger ce qui est négligeable, semble banal. Mais faute d'outil adapté, le gestionnaire se contentera de ses perceptions confuses, en tout cas non objectives. Exploiter efficacement une base de données reste un enjeu important : c'est par exemple une composante importante du retour d'investissement d'une GMAO.

Prenons un exemple important en maintenance : qu'est ce qui pénalise le plus la disponibilité d'une ligne de production ? Est-ce la répétition des petits arrêts qui constituent l'ordinaire des opérateurs ou sont-ce les quelques pannes durables qui créent la panique et impressionnent les mémoires ? Faute de mesures, le gestionnaire ciblera son effort subjectivement sur les grosses pannes, alors que c'est objectivement la répétition des microdéfaillances qui pénalise le plus la disponibilité ! Encore faut-il savoir :

– communiquer pour justifier par des mesures incontestables le bien-fondé du choix des axes d'action prioritaires choisis. À commencer par l'identification des équipements critiques ;
– communiquer pour faire comprendre les axes d'action choisis au personnel chargé de leur mise en œuvre ;
– communiquer pour mettre en évidence les résultats ainsi obtenus et générer une dynamique de progrès continu.

Quand il faut mettre en évidence les résultats obtenus ou à obtenir, on constate que les responsables des entreprises actuelles sont de plus en plus soumis à des contraintes financières à court terme et sont de moins en mois réceptifs aux demandes à caractères technique.

« Il faut remplacer cet organe qui coûte 5 000 € » est une demande à caractère purement technique.

« Cet organe nous a coûté l'an passé 2 000 euros en coût de dépannage et 3 000 euros en perte des productions, son remplacement serait amorti sur un an » est une demande de gestionnaire technique qui sera beaucoup plus prise en considération.

Mais cela impose de connaître les coûts des arrêts des machines et place alors le responsable de maintenance dans une situation de « centre de profit » et non plus de « centre de coût ». Le profit étant le gain de productivité obtenu.

Être considéré comme un « centre de coût » fait apparaître la maintenance comme une charge qui sera toujours trop lourde quelles que soient ses performances.

Le paragraphe 4.4 relatif aux analyses quantitatives de défaillances répond à ce savoir communiquer : il développera trois outils d'aide à la décision de choix d'objectifs prioritaires et d'aide à la communication :

– la courbe ABC de Pareto, d'utilisation très générale ;
– le graphe de Pareto en bâtons, qui permet une bonne visualisation des cibles d'action ;

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

– les graphes de Pareto en NT, outil bien adapté à l'analyse des priorités d'action de maintenance améliorative.

1.4.5 À propos de la recherche permanente d'amélioration

La maintenance, par sa nature propre (volonté de maîtriser au lieu de subir) et en tant que facteur de qualité, doit s'inscrire dans une recherche permanente de progrès.

Il est donc important d'intégrer toutes les activités de maintenance, qu'elles soient techniques ou gestionnaires, dans une logique d'amélioration continue. Pour ce faire, nous rappellerons le principe de la roue de Deming (figure 1.12), l'un des maîtres à penser de la Qualité.

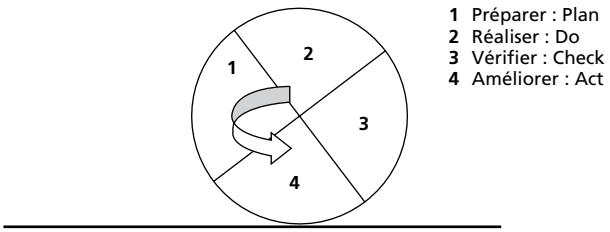

Figure 1.12 – La « roue de Deming » ou « cycle PDCA »

Ce cercle en quatre étapes nous rappelle les préconisations anciennes de H. Fayol (1841-1925) qui, en organisation scientifique du travail, conseillait de « prévoir, organiser, commander, coordonner et contrôler ». La doctrine de Fayol (promoteur de l'organisation des entreprises) consistait à tirer parti des observations et des expériences pour en déduire des règles ou des lois qui deviendront des outils de prévision.

Sur le plan comportemental, on peut rapprocher ce cercle d'une autre itération indispensable à la recherche d'amélioration au niveau du technicien de maintenance.

1. Observer (les symptômes de défaillance).
2. Réfléchir (diagnostiquer : identifier les causes).
3. Agir (par action sur les causes).
4. Mesurer (par analyse des résultats de l'action) de façon à toujours imaginer une amélioration potentielle. Et la proposer si elle apparaît réaliste !

Sur le plan des relations clients/fournisseurs, ce cercle peut s'adapter suivant la terminologie.

1. Écouter (les besoins du client).
2. Comprendre (ses attentes).
3. Réaliser (le service attendu).
4. Améliorer (par analyse des insatisfactions du client).

Quel que soit le contexte, la recherche de progrès ne peut être permanente que si elle s'inscrit dans une itération illustrée par un cercle, dans lequel chaque acteur peut situer son action.

2 • LES DIFFÉRENTES FORMES DE LA MAINTENANCE

2.1 Les maintenances corrective et préventive

2.1.1 Complémentarité des maintenances correctives et préventives

❑ **Définitions utiles**

La maintenance corrective est définie ainsi : « maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise ».

Elle peut être « différée » si « elle n'est pas exécutée immédiatement après la détection d'une panne, mais est retardée en accord avec des règles de maintenance données ». Elle peut être « d'urgence » si « elle est exécutée sans délai après détection d'une panne afin d'éviter des conséquences inacceptables ».

La maintenance préventive est définie ainsi : « maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité des défaillances ou la dégradation du fonctionnement d'un bien ».

❑ **Situation du problème**

À l'origine de l'action de maintenance se trouve la défaillance d'un bien.

La défaillance et la panne sont définies ainsi : « cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise » alors que « la panne est l'état du bien après défaillance » (projet CEN WI 319-003-5.1).

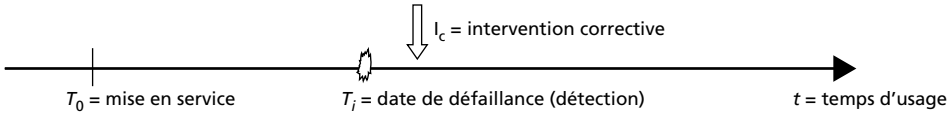

Figure 2.1

La figure 2.1 montre que l'action exercée après une défaillance sera dite corrective et notée I_c (intervention corrective). L'action exercée avant une défaillance sera dite préventive et notée I_p (intervention préventive). Dans ce cas, la défaillance devient virtuelle, mais peut être associée à une probabilité notée $F(t_i)$.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

Depuis que l'homme a réussi à fabriquer des outils, puis des machines, il a toujours été amené à réaliser des actions correctives. L'entretien traditionnel consistait majoritairement dans cette réalisation de dépannages et de réparations. Dans une logique de maintenance, nous déterminerons délibérément les actions préventives suivant la politique de maintenance choisie, alors que nous subirons les actions correctives « résiduelles » de cette politique. Nous nommerons « risque α » la probabilité de correctif résiduel, complément inexorable de toute politique préventive.

❑ Aspect économique de la complémentarité préventif/correctif

Le niveau de préventif à appliquer à un équipement relève d'un choix délibéré dont nous étudierons les critères. La figure 2.2 illustre la linéarité des coûts du préventif en fonction du temps passé à le mettre en œuvre. Dans l'hypothèse où le préventif est efficace, le temps passé à corriger les défaillances décroît, ainsi que les coûts associés au correctif résiduel. La somme des deux coûts est une « courbe en baignoire ».

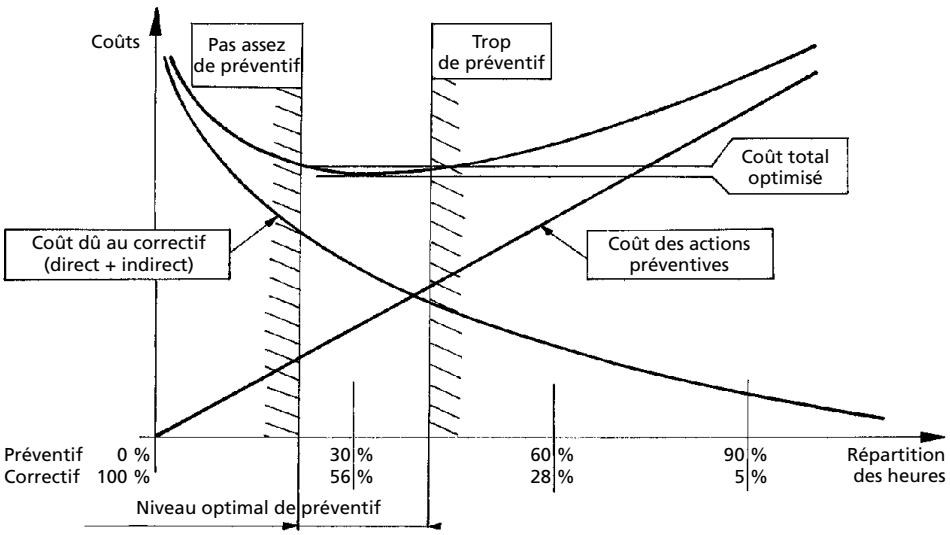

Figure 2.2 – Aspect économique du choix d'un « niveau de préventif »

Dans la courbe ci-dessus le coût du correctif ne tient compte que des coûts maintenance. S'il intègre le coût des pertes de production dues aux arrêts, et selon les entreprises, le coût sera souvent plus élevé et la zone dite « niveau optimal de préventif » sera décalée vers la droite ce qui suppose des taux de préventif plus important.

Ce graphe illustre bien, pour un équipement donné, l'existence d'un optimum économique. Il prouve également que « faire de la maintenance, ce n'est pas faire du préventif à tout prix ».

❑ **Influence du préventif sur la charge de travail**

Construit avec les mêmes abscisses que le graphe précédent, ce graphe met en évidence la décroissance logique de la charge totale de travail lorsque l'on choisit de faire plus de préventif. Cela est vrai jusqu'à un seuil au-delà duquel le correctif résiduel devient quasiment incompressible. Ce qui signifie également que le risque α de défaillance fortuite n'est jamais nul (modèle asymptotique).

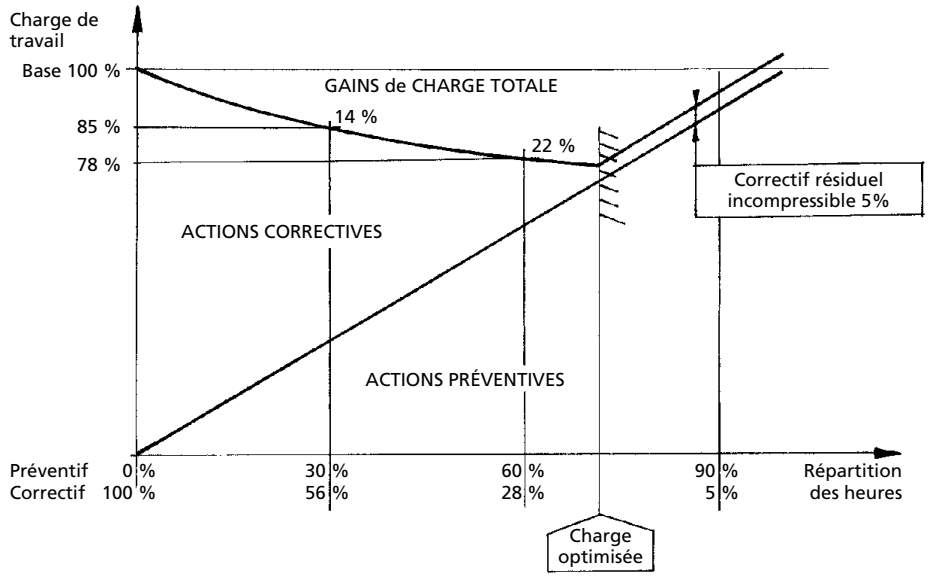

Figure 2.3 – Promouvoir le préventif, c'est réduire la charge de travail

2.1.2 Maintenance corrective

❑ **Caractères de la maintenance corrective**

☐ **À propos de la terminologie**

Avant que l'AFNOR ne définisse (norme X 60-010) la maintenance corrective comme « opération de maintenance effectuée après défaillance », les termes de maintenance subie, fortuite, « pompier », réparatrice, palliative (correspondant au dépannage), curative (réparation) étaient utilisés. Une ambiguïté subsiste aussi bien dans la définition AFNOR que dans le projet CEN : la correction inclut-elle l'idée d'amélioration ?

Pour les actions palliatives, c'est non. Il suffit de retrouver, même provisoirement, la fonction perdue. Ce qui n'exclut pas une exploitation ultérieure des données relatives aux dépannages répétitifs pour chercher des améliorations techniques ou organisationnelles.

Mais pour les actions correctives, associées à l'idée de guérison, donc au diagnostic ? C'est oui. Dès lors que l'on a identifié la cause de la panne, on est en mesure de la prévenir, ou de la rendre moins pénalisante, donc d'améliorer.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

☐ De la panne « tant pis » à la panne « tant mieux »

Les termes de maintenance « améliorative » ou « préservative » ne sont pas normalisés. Cependant, ces formes de maintenance lèvent l'ambiguïté précédente en rendant la maintenance corrective « facteur de progrès » : c'est la panne « tant mieux » dès lors que l'on tire parti d'une défaillance pour améliorer la technologie ou l'organisation. Bien entendu, seules les pannes ayant des conséquences sensibles sont concernées. Attention cependant à ne pas négliger les nombreuses micro-défaillances répétitives qui grèvent lourdement la disponibilité des systèmes automatisés et qui peuvent générer des pannes conséquentes.

☐ Variabilité des actions correctives

Une caractéristique de la maintenance est d'avoir à gérer des actions correctives d'une très grande diversité :

– minimales (quelques secondes pour réarmer une sécurité) ou minimes (changer une lampe) ;
– maximales (des jours de travail pour des équipes) ou majeures (allant jusqu'à la catastrophe avec pertes de vies humaines).

Elles peuvent également être urgentes (effectuées sans délai à partir de la détection d'une panne) ou différées.

Cette grande variabilité implique la mise en place d'une organisation adaptée, chaque intervention technique devant être « encadrée » par une réflexion économique, administrative et sécuritaire. Dans tous les cas, l'organisation doit être « réactive ».

☐ Peut-on programmer et préparer des actions correctives ?

Il en est des interventions correctives comme il en est des défaillances : elles sont par nature fortuites, donc non programmées. L'expression de la fiabilité peut permettre d'évaluer une probabilité d'occurrence, mais pas la date et l'heure. Il ne faut pas confondre la *prévision* et la *prédiction*.

La prévision est possible : rien n'empêche de réserver sur un planning un quota d'heures ou un pourcentage de charge, pour effectuer les dépannages habituels (voir § 7.1, L'ordonnancement). Cette réserve de charge sera estimée par référence au pourcentage d'actions correctives des années passées.

La préparation est également possible : le caractère fortuit des actions correctives n'est pas un argument pour ne pas les préparer et ne pas s'y préparer. Votre voiture a bien un cric, une roue de secours et le mode d'utilisation !

L'AMDEC (voir § 4.5.3) est par exemple un outil de prévision des défaillances permettant d'anticiper des actions correctives (ou préventives, bien sûr). Il en est de même pour tous les outils d'aide au dépannage, développés par les « méthodes-maintenance » en anticipation de défaillances potentielles. Il est également possible et même nécessaire de prévoir les outillages et les pièces de rechange. Et les techniciens sont parfois amenés à « s'entraîner » à réaliser une intervention dont ils ignorent la date.

❑ **Les trois formes de la maintenance corrective**

☐ **Elle existe seule, en tant que système unique de maintenance**

« Ne rien faire tant qu'il n'y a pas de fumée ! »

Caractéristique de l'entretien traditionnel, elle est associée dans ce cas à un préventif minimum de « rondes » : contrôles sensoriels, lubrification, surveillance de l'état. Elle est justifiée lorsque les défaillances probables n'ont pas d'impact important sur la sécurité, la production, la qualité et lorsque les coûts indirects des conséquences des pannes sont faibles. Ce qui devient rare, car peu d'entreprises industrielles sont aujourd'hui dans ce cas. L'inévitable désorganisation qui fait suite à un événement fortuit est en effet incompatible avec les contraintes actuelles pesant sur la production en flux tendu.

☐ **Elle existe de façon sélective, suivant la criticité du matériel**

Le parc matériel ayant été analysé suivant une arborescence et une évaluation de la criticité de chaque équipement, il est légitime de mettre en œuvre une politique préventive liée à cet indice de criticité, et donc de choisir une politique exclusivement corrective pour les seuls équipements de criticité mineure ou nulle.

Cette sélectivité peut se retrouver à l'échelle d'un équipement sensible, dont certains sous-ensembles ne méritent pas de prise en charge préventive.

☐ **Elle existe comme « complément résiduel » de la maintenance préventive**

Nous avons déjà vu que toute politique préventive, quelle que soit sa nature, entraîne un risque non nul de pannes résiduelles. S'il est vrai que l'objectif de la maintenance est de réduire les taux de défaillances, donc le nombre de dépannages, il faut savoir que le préventif est cher et qu'il n'est pas infaillible.

Étant donné un niveau « économique » de préventif déterminé, nous pourrons réduire le coût des interventions correctives résiduelles en réduisant leurs durées :

– par la prise en compte de la maintenabilité à la conception, à l'achat ou par améliorations successives ;
– par des méthodes de préparation efficaces des interventions correctives «attendues», c'est-à-dire prévues, mais évidemment non programmées ;
– par des méthodes d'intervention rationnelles (logistique, outillages spécifiques, échanges standard, etc.).

2.1.3 Maintenance préventive

❑ **Définitions et commentaires**

☐ **Définitions AFNOR X 60-000**

La norme FD X 60-000 décrit la maintenance préventive ainsi :

3.6 : maintenance préventive : Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinés à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien, elle est subdivisée en :

– **3.6.1 : maintenance conditionnelle** : maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement et intégrant les actions qui en découlent.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

Remarque

La surveillance du fonctionnement et des paramètres peut être exécutée selon un calendrier, ou à la demande, ou de façon continue.

– **3.6.2 : 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.

– **3.6.3 : 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.

3.7 : maintenance corrective : Maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise.

Les activités correspondantes sont déclenchées selon un échéancier établi à partir d'un nombre prédéterminé d'unités d'usage (maintenance systématique) et/ou de critères prédéterminés significatifs de l'état de dégradation du bien ou du service (maintenance conditionnelle).

☐ **Définitions CEN WI 319-003**

– Maintenance préventive : « maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinés à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation d'un bien ».

– Maintenance programmée : « maintenance préventive exécutée selon un calendrier préétabli ou selon un nombre défini d'unités d'usage ».

– Maintenance systématique : « maintenance préventive exécutée sans contrôle préalable de l'état du bien et à des intervalles définis ».

☐ **Commentaires**

Seules des nuances distinguent ces définitions AFNOR et CEN : la maintenance préventive a toujours un sens général consistant à réduire la probabilité de défaillance $F(t)$, donc à augmenter la fiabilité $R(t)$ puisque $R(t) + F(t) = 1$.

Sa mise en œuvre peut se faire de façon systématique ou conditionnelle, formes que nous allons analyser de façon détaillée aux chapitres suivants.

Dans beaucoup d'entreprises encore, il y a synonymie entre « préventif » et «systématique», faute de savoir ou de pouvoir appliquer la maintenance conditionnelle.

❑ **Caractères de la maintenance préventive**

☐ **Situation : la phase d'apprentissage du comportement**

Nous conseillons durant cette phase d'observation :

– D'enregistrer toutes les interventions avec le temps passé, la durée de l'arrêt, la pièce échangée et/ou une désignation standardisée de la défaillance. L'idéal est une GMAO (on en trouve en monoposte à 2 000 €) avec des listes de pannes spécifiques à chaque équipement. Il pourra ainsi en être déduit des durées de vie des pièces d'usure. Cependant il faudra plusieurs années pour tirer une vision

significative de ces enregistrements appelés comptes rendus d'intervention qui sont dans tous les cas la première action à réaliser.

– De relever la liste des pièces d'usure de chaque équipement.

À l'issue de cette phase d'observation il faudra déterminer avec les techniciens la périodicité de remplacement de ces pièces « sensibles ». Avant la réunion il aura été consulté : les recommandations du constructeur (si elles existent) ou a défaut l'ouvrage de M. Heng, *Mise en œuvre de la maintenance préventive* chez Dunod. Lors de nos interventions nous apportons également des tables de durée de vie issues de nos expériences.

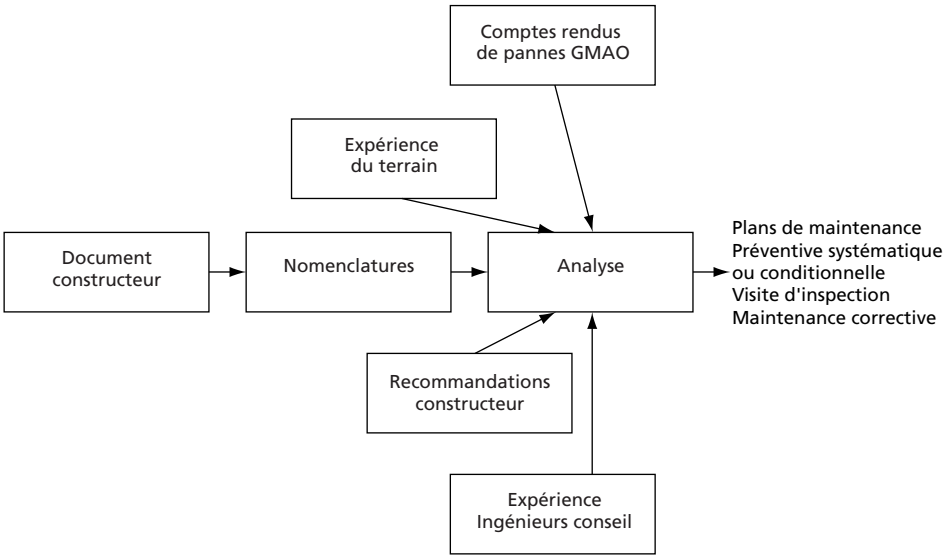

Figure 2.4 – Méthode de conception des plans de maintenance préventive

Cette analyse débouchera sur :

– des plans de maintenance préventive systématique ou conditionnelle ;

– des visites d'inspection ;

– de la maintenance corrective si les autres types de maintenance ne sont pas applicables ;

– des préconisations de politique de stockage.

Cette méthode convient pour des PME ne disposant ni d'un historique des interventions ni des effectifs suffisants. Les entreprises ne présentant pas ces inconvénients préféreront la méthode présentée au chapitre 2.2.

□ Les objectifs visés par le préventif

Par définition, l'objectif de ce plan préventif est de réduire a priori la probabilité de certaines défaillances supposées de l'équipement, donc d'améliorer sa disponibilité et de réduire ses coûts de défaillance. Mais c'est aussi :

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

– générer une base de données permettant une prise en charge ultérieure, préventive systématique ou conditionnelle, ou les deux;
– profiter des défaillances qui ne manqueront pas de survenir pour les diagnostiquer, voire les expertiser afin de pouvoir les prévenir. En effet, on ne peut vraiment prévenir les pathologies que lorsqu'on a compris leur mécanisme;
– réduire et régulariser la charge de travail correctif, améliorer l'ordonnancement des travaux, donc les relations avec la production;
– faciliter la gestion des stocks par la prévision des consommations de rechanges;
– assurer la sécurité, car les interventions fortuites débouchent souvent sur des improvisations dangereuses;
– améliorer le climat social, car le « fortuit » (survenant toujours au mauvais endroit et au mauvais moment, comme tout le monde peut le vérifier) génère souvent des tensions relationnelles.

☐ Les deux principales difficultés inhérentes à la maintenance préventive

1. Intervenir sur un système en bon fonctionnement. Par nature, prévenir une panne implique d'intervenir sur un système en bon fonctionnement, inactif ou actif. Dans ce dernier cas surtout, l'intervention est souvent mal perçue par les partenaires de production qui ont de « leur système » une perception à court terme (l'en-cours à livrer). D'où une indispensable concertation sur les modalités de l'intervention préventive.

2. La difficile justification économique de l'action préventive. L'intervention préventive a un coût, noté C_{ip}. La défaillance survenue a également un coût, noté C_d. Lorsque $C_d > C_{ip}$, il est facile de justifier a posteriori une politique préventive.

Il est important de faire entrer le coût de non-production dans ce coût d'intervention. Le contrôleur de gestion a souvent établi un barème qui tient compte de la place de la machine et de la durée de l'arrêt. Ce coût horaire d'arrêt atteint souvent des valeurs de plusieurs milliers d'euros alors que le coût horaire de la maintenance est de quelques dizaines d'euros.

Si vous avez la chance d'avoir une GMAO bien utilisée et bien paramétrée, vous obtiendrez facilement le coût des arrêts des dernières années.

Un autre argument de la maintenance préventive est son impact sur la gestion des stocks. À supposer que la maintenance préventive représente une très forte part des interventions, vous pourrez prévoir les besoins en pièces détachées. Leur stockage ne se justifie plus à l'exception des pièces stratégiques (rôle majeur et long délai d'approvisionnement). Il en résulte une diminution des stocks et du stress, ce qui permet de mieux négocier les prix.

D'où l'intérêt de mettre en mémoire, puis d'exploiter les coûts d'interventions correctives et préventives relatifs à un équipement pour justifier la politique préventive à partir de graphes d'évolution annuels.

☐ Exploitation de la phase préventive

L'intérêt de la phase préventive telle que nous l'avons définie (phase d'apprentissage et d'expérimentation) est d'accepter de « payer » pour savoir (à condition que

le prix soit supportable), puis pour prévenir. Sachant que l'on ne peut prévenir efficacement que ce que l'on a appris à connaître.

C'est ainsi que l'optimisation d'un plan de maintenance préventive se fera progressivement, en fonction de l'expérience acquise. En maintenance systématique, les périodes *T* d'intervention seront précisées au fur et à mesure des retours d'expérience. En maintenance conditionnelle, ce sont les seuils d'admissibilité, ainsi que la validité des paramètres mesurés qui seront progressivement précisés.

2.2 La maintenance systématique

2.2.1 Définitions et commentaires

❑ Définitions

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

Maintenance systématique : « Maintenance préventive exécutée sans contrôle préalable de l'état du bien et à des intervalles définis ».

Toutes ces définitions se recoupent dans la figure 2.5. Nous noterons *T* la période d'intervention prédéterminée, I_{ps} chaque intervention préventive systématique.

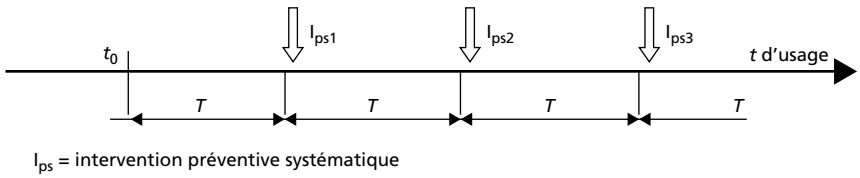

Figure 2.5

❑ Commentaires

□ À propos de la nature des interventions

Les interventions I_{ps} consistent le plus souvent en un changement de composant, mais peuvent consister également en visites préventives, réglages, étalonnages, etc.

Elles peuvent se rapporter :

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

Pour les interventions « lourdes », elles sont précédées d'une expertise des points à risque (prévision de défaillances potentielles).

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

☐ À propos de la programmation des I_{ps}

L'intérêt majeur de la maintenance systématique réside dans sa facilité de gestion. Un programme informatique peut sortir le vendredi le listing des I_{ps} de la semaine suivante. La charge de travail est ainsi connue longtemps à l'avance. Les I_{ps} sont programmées dans la mesure du possible pendant des temps de « non-réquisition » du matériel concerné. Quand ce n'est pas possible, elles doivent générer des arrêts programmés de production minimum, par échange standard de modules par exemple.

Si une défaillance a lieu avant une échéance, nous pourrons soit fonctionner en mode dégradé jusqu'à l'échéance (gestion dite collective), soit refaire partir *T* de la date de l'action corrective (gestion dite individuelle).

☐ À propos du référentiel de temps d'usage

Le référentiel doit être choisi en fonction de l'engagement de l'équipement, mais aussi en fonction de la nature des défaillances attendues sur certains sous-ensembles sensibles. Il peut être absolu ou relatif, l'origine étant idéalement prise à la mise en service de l'équipement.

– *Absolu*, c'est le temps qui court, mesuré depuis la naissance de J.-C. Ce référentiel convient aux équipements dont l'engagement est régulier ou total (24 heures/24 heures). Il convient aussi pour caractériser une « défaillance par vieillissement » qui est une « défaillance dont la probabilité d'occurrence augmente au cours du temps ».

– *Relatif*, c'est une mesure de la durée d'utilisation par comptage d'une unité choisie (heures, nombre de cycles, tonnes produites, etc.). Ce référentiel devient indispensable dès lors que l'engagement de l'équipement est variable, ou lorsque l'on cherche à caractériser un sous-ensemble particulier. Cet axe est nécessaire pour une « défaillance par usure » qui est une « défaillance dont la probabilité d'occurrence augmente avec le temps d'usage ».

Cette réflexion sur le choix du référentiel à partir de la nature de la défaillance à prévenir doit précéder la mise en place de la maintenance systématique. En sachant que le temps « absolu » est plus facile à gérer (programmation calendaire), mais qu'il est souvent moins réaliste techniquement qu'un comptage de l'usage réel. Surtout pour des équipements à taux d'engagement variable.

2.2.2 Détermination de la période *T* d'intervention systématique

❑ Différentes périodes et différentes maintenances systématiques

Sous le même vocable de maintenance systématique, voire de maintenance préventive, sont regroupées des actions de nature très variables, que nous allons étudier en fonction de la valeur de *T* (période d'intervention).

Tableau 2.1

Valeurs de *T*	Natures des actions systématiques	Critères du choix de *T*
Période courte 1/2 jour à 1 semaine	– Surveillance « active » – Visites préventives, rondes – Consignes permanentes/poste	– Préconisations fournisseur – Expérience – Habitudes empiriques
Période moyenne $T = k \cdot MTBF$ comprise entre 1 semaine et 1 an	– Échange standard de module ou de composant – Actions ponctuelles sur un composant « fragile »	– Réglementaire – Préconisations – *T* optimisée par calculs, essais ou expériences
Période longue 1 an à 10 ans	– Révisions limitées, générales, décennales – Arrêts périodiques, annuels	– Réglementaire – Empiriques (*T* liée aux contraintes sociales : congés annuels par exemple)

Ces travaux ont tous en commun leurs caractères systématique et préventif. Là s'arrête la comparaison :

– les travaux à période courte concernent surtout les opérateurs sur site. La « surveillance active » comprend les nombreuses mini-interventions dont peut prendre l'initiative un opérateur vigilant : resserrer des écrous, compléter un niveau de lubrifiant, détecter une fuite, retendre une courroie, etc. Ce « soin » de nature préventive évite bien des défaillances ultérieures ;

– les travaux à période moyenne concernent les techniciens de la maintenance. C'est à ce niveau que la détermination des périodes *T* est importante ;

– les travaux à période longue sont souvent pour partie sous-traités à plusieurs prestataires extérieurs, bien que gérés par les « méthodes-maintenance » en interne.

❑ Choix de *T* en fonction du risque de « correctif résiduel »

☐ Situation du problème

Dans le tableau 2.1, nous nous intéresserons uniquement à l'optimisation de *T* par raisonnement ou par calculs, car c'est le problème intéressant l'agent des méthodes. La maintenance systématique était appelée auparavant « maintenance sur potentiel d'heures » (en aéronautique). Cette détermination d'un certain « potentiel d'heures » correspond bien à notre propos.

Soit une fonction de distribution $f(t)$, supposée normale (m_1,σ_1), de défaillances relatives à un « module », ce qui suppose la connaissance de son comportement à partir d'un historique exploitable (échantillon de taille *N* significative).

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

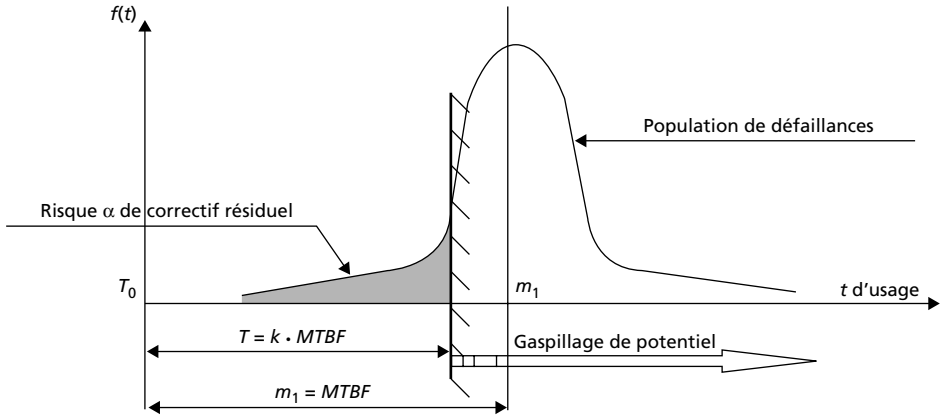

Figure 2.6 – La distribution des défaillances et la maintenance systématique

La moyenne des temps de bon fonctionnement de ce module, notée *MTBF*, est m_1. Si nous changions ce module à la valeur $T = m_1$, 50 % des défaillances auraient lieu avant *T*, ce qui est naturellement inacceptable.

Aucun module ne dépassant *T*, nous appellerons « correctif résiduel » la probabilité $F(T)$ de panne avant *T*. La période *T* peut donc s'écrire $T = k \cdot MTBF$, *k* étant un coefficient réducteur de la *MTBF*.

Connaissant la loi $N(m_1,\sigma_1)$ il est possible de déterminer la période *T* à partir d'un risque α d'avoir une défaillance avant *T*. À l'inverse, il est possible d'associer un risque α à partir d'une période *T* prédéterminée.

Si la loi de distribution n'est pas normale, un ajustement à une loi de probabilité telle que Weibull est possible, pour obtenir les mêmes possibilités, en liant *T* et α (voir au paragraphe 5.3 des exemples d'application).

□ **Incidences des valeurs *m* et σ**

Un composant ayant une bonne *MTBF* permet naturellement un espacement des I_{ps} s'y rapportant.

Considérons maintenant sur la figure 2.7 les deux composants C_1 et C_2 ayant chacun une distribution normale telle que leurs *MTBF* ($m_1 = m_2$) ont même valeur, mais dont les écarts-types diffèrent ($\sigma_1 < \sigma_2$).

À une même valeur de *T* vont correspondre deux valeurs de α telles que $\alpha_1 < \alpha_2$. Le risque de correctif résiduel sera supérieur avec C_2, dont les performances de durées de vie sont plus « dispersées », ce qui peut être une contre-indication pour le préventif systématique. Ou, si l'on veut avoir des risques identiques ($\alpha_1 = \alpha_2$), il faudra choisir $T_2 > T_1$, ce qui entraînera un gaspillage de potentiel plus important.

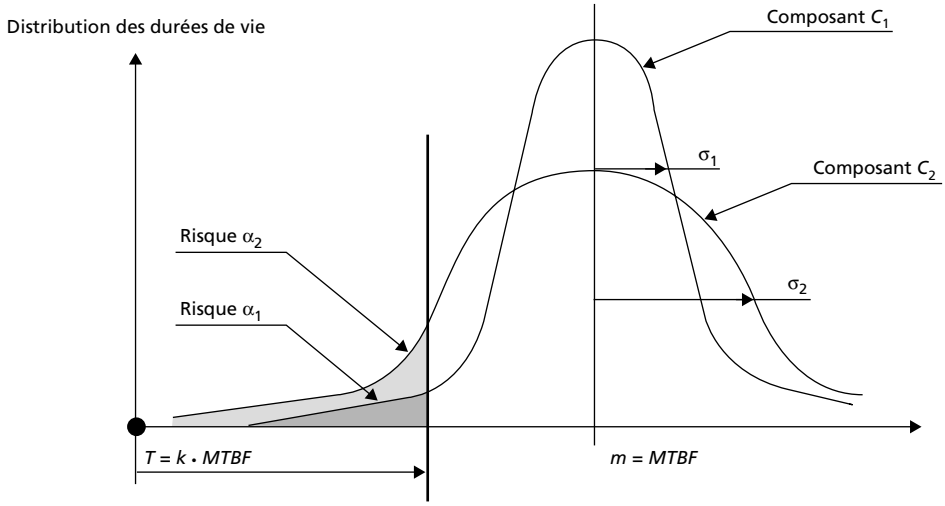

Figure 2.7 – De l'importance de l'écart-type σ sur le choix de *T*

☐ **Incidences du choix de la valeur *T***

Si T décroît, nous intervenons plus souvent, donc nous avons :

– plus de consommation de modules, plus de coûts directs (pièces et main-d'œuvre),

– plus d'occasions de gêner de la production,

– plus de gaspillage de potentiel d'utilisation du module.

Mais aussi moins de risque de défaillance avant *T*, donc une plus faible probabilité de subir les coûts indirects (conséquences économiques d'une défaillance fortuite).

Si *T* croît, les implications précédentes sont naturellement inversées. D'où une méthode « de bon sens » pour déterminer *T* en fonction du risque α de correctif résiduel.

Remarquons que le raisonnement relatif à l'incidence économique du choix de *T* est le même que celui de la détermination d'une période de garantie.

❑ **L'optimisation économique ϑ de la période *T***

C'est une réflexion sur la criticité économique d'une défaillance qui va nous faire choisir de la prévenir, à partir d'un historique de phase corrective par exemple. Cette même criticité économique estimée permet d'optimiser le choix de *T*. Nous noterons ϑ la valeur de *T* optimisée suivant des critères économiques.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

□ **Première méthode : simulation économique**

Prérequis

– Connaissance de la loi de distribution $f(t)$ des défaillances à prévenir, donc du taux de défaillance λ et du risque α associé à la période d'intervention T.

– Estimations du coût de l'intervention corrective C_{ic} et du coût de l'intervention préventive C_{is} (incluant les coûts de non-production).

Méthode

– On choisit une durée d'application de la maintenance systématique (3 ans, par exemple).

– On fait varier T pour des valeurs réduites de la $MTBF$ ($0{,}5 < k < 0{,}9$) et l'on calcule pour chaque valeur de T le nombre d'I_{ps} sur la durée choisie.

– Pour chaque valeur de T, on estime le coût direct des n interventions préventives nC_{is}.

– Pour chaque valeur de T, on estime la probabilité $F(T)$ d'avoir n' interventions correctives de coûts $n'C_{ic}$.

– Pour chaque valeur de T, on fait le total $nC_{is} + n'C_{ic}$.

On choisit alors la valeur de $\vartheta = T$ optimisée induisant le coût minimal sur la durée considérée. À partir du taux de défaillance λ, il est possible d'évaluer le gain de cette politique préventive par rapport à une politique corrective (éventuellement pratiquée et évaluée dans une phase précédente).

□ **Deuxième méthode : loi de Weibull et abaques d'optimisation**

Cette méthode d'optimisation de la période d'intervention systématique $\vartheta = T_{opt}$ à partir de données de fiabilité et de données économiques sera développée dans le paragraphe 5.3.5, suite à l'étude de la loi de Weibull.

2.2.3 Intérêt de la conception modulaire pour la maintenance systématique

❑ **Notion de module**

La décomposition arborescente d'un équipement fait atteindre le niveau « sous-ensemble » ou « module » qui est stratégique pour la maintenance. La figure 2.8 montre que c'est à partir du niveau d'un module que se pose la question : nous consommons ou nous réparons ?

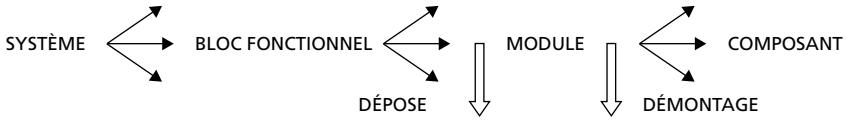

Figure 2.8 – L'intervention préventive systématique I_{ps} peut se rapporter à un *module* ou à un *composant*

Un module est un sous-ensemble conçu pour être rapidement « déposé » aux fins d'interchangeabilité. Un moteur électrique, une pompe centrifuge, un vérin, une carte électronique, un automate programmable sont des modules. Leur dépose permet des interventions correctives ou préventives rapides et aisées minimisant les arrêts de production. C'est un aspect important de la « maintenabilité » à imposer à la conception modulaire d'un équipement.

Après dépose, deux options sont possibles, suivant les compétences présentes et suivant les coûts du module et de son éventuelle remise à niveau :

– la consommation du module par échange standard et élimination de l'ancien;

– la remise à niveau du module, après test, démontage puis expertise, suivie d'une remise en stock « rechanges ».

❑ Durée de vie d'un module

Tout module est généralement constitué d'un grand nombre de composants dont seuls quelques-uns sont « fragiles » : roulements, joints, filtres, courroies, durites, balais, lampes, contacts… Ils pénalisent la durée de vie du module suivant la formule : *MTBF* (module) = *MTBF* (composant le plus fragile). Nous voyons donc l'intérêt pour les utilisateurs d'avoir des composants de durées de vie homogènes au sein d'un module, ce qui limite la fréquence d'intervention.

❑ Implications pour la conception modulaire et la maintenance systématique

La prise en charge du module se fera en maintenance systématique à une périodicité $T = k \cdot MTBF$ (module). Ce qui suppose une bonne homogénéité des durées de vie des composants. Il appartient au concepteur :

– de fiabiliser les composants les plus fragiles (par exploitation de retours d'expérience);

– de réaliser éventuellement des économies en raccourcissant les durées de vie « luxueuses » de certains constituants.

Une bonne conception modulaire, vue par la maintenance, doit permettre :

– une bonne détectabilité d'un défaut interne au module (alarme et localisation intégrées);

– une interchangeabilité rapide (temps de dépose) et facile (technicité);

– une homogénéité des composants (éviter d'avoir à changer périodiquement un module pour un seul composant trop peu fiable).

❑ Dimension humaine : un avantage de la modularité

La modularité peut être une bonne réponse à un problème de plus en plus fréquent : l'existence d'un déséquilibre entre la technicité requise et la technicité présente sur le site. Aussi bien dans le cas d'une action corrective que préventive, la dépose d'un module peut être effectuée rapidement par un opérateur non compétent pour intervenir dans le module. Le diagnostic ou l'expertise seront éventuellement faites par des techniciens de maintenance, en « temps différé ».

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

La maintenance des modules « cartes électroniques » est un bon exemple de cette conception modulaire : un agent non électronicien peut réaliser en autonomie un changement de cartes si le système défaillant est équipé d'une autolocalisation du défaut.

2.2.4 Gestion de la maintenance systématique par la méthode ABAC-ABAD

❑ **Problème à résoudre**

Rappelons que l'avantage majeur de la maintenance systématique est d'être facile à gérer. Or nous venons de voir comment l'on peut optimiser une période d'intervention systématique « individualisée ». Si l'on applique à un système les *n* périodes *T* optimisées trouvées pour chaque composant et pour chaque module, l'on arrive à une planification aberrante, car contraire à l'objectif initial de simplicité !

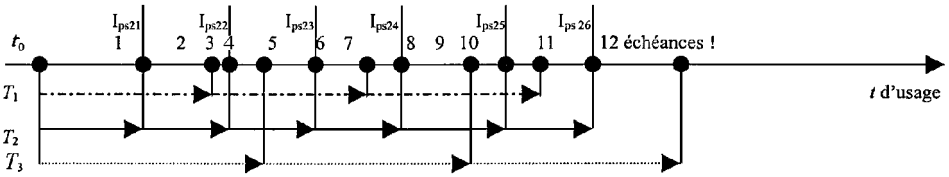

Figure 2.9 – L'individualisation des périodes conduit à un non-sens

Cette figure caricaturale, construite à partir de seulement trois périodes T_1, T_2 et T_3, montre des interventions préventives incessantes, perturbant la production.

❑ **Solution : la méthode ABAC-ABAD**

L'idée de base est de regrouper ces différentes I_{ps}, à partir d'un « pas » sous-multiple d'une durée de cycle prédéterminée : 1 an ou 52 semaines en unités calendaires, ou 8 000 heures en durées d'usage par exemple, cela afin de limiter le nombre des interventions. Ces regroupements de périodes à des échéances prédéterminées implique de modifier légèrement les périodes *T* que l'on a individuellement optimisées.

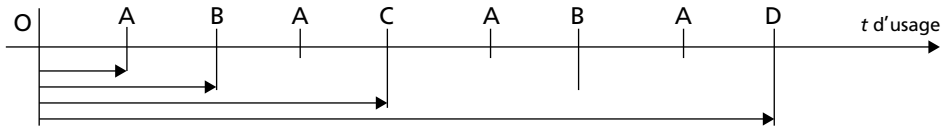

Figure 2.10 – Principe de la méthode ABAC-ABAD

Nous aurons ainsi à programmer 4 (ou 8, ou 16) types d'intervention.

OA correspond au « pas », OD correspond souvent à un cycle de *révision* générale ou limitée.

I_{ps} de type A : listing du regroupement des périodes *T* voisines de OA.

I_{ps} de type B : A + regroupement des périodes voisines de OB.

I_{ps} de type C : A + B + regroupement des périodes voisines de OC.

I_{ps} de type D : A + B + C + regroupement des périodes voisines de OD.

Il est toujours possible d'individualiser (par exception à une règle) la prise en charge préventive d'un module ou d'un composant « sensible » dont le comportement est bien connu. L'objectif en la matière étant de réduire le nombre des interventions Ips, surtout s'il s'agit d'arrêts programmés.

La préparation spécifique des tâches de maintenance systématique est développée dans le paragraphe 6.5.

2.2.5 Synthèse : avantages et inconvénients

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

Contrairement à la maintenance conditionnelle, elle s'applique à des défaillances « catalectiques » (soudaines et complètes) aussi bien qu'aux « dégradations », à condition d'exploiter un historique de ces défaillances. En diminuant le nombre des événements « fortuits », elle est aussi un facteur de régularisation des activités dans l'entreprise (moins d'improvisations = plus de sécurité). Toutefois, elle présente également des inconvénients :

– de façon inhérente à la méthode, elle génère un inévitable « gaspillage de potentiel » d'utilisation d'un module ou d'un composant. Pour une courroie de transmission ou un joint, ce n'est économiquement pas grave. Lorsqu'il s'agit d'un sous-ensemble coûteux, c'est plus discutable. Nous verrons au paragraphe suivant « la maintenance conditionnelle » un meilleur moyen de résoudre ce problème ;
– le risque de « correctif résiduel », n'est pas toujours facile à évaluer. Faute de données opérationnelles suffisantes, les agents des méthodes sont souvent réduits à fixer des périodes d'intervention par empirisme, sans réellement maîtriser le risque de panne fortuite. Qui, dans tous les cas, est « non nul » !
– comme toute action préventive, l'intervention sur un bien « qui marche » peut être mal perçue ;
– enfin, ce que coûte un plan de préventif systématique est visible. Ce qu'il rapporte l'est moins…

2.3 Les maintenances conditionnelle et prévisionnelle

2.3.1 Définitions, illustration et commentaires

❑ **Définitions**

☐ **Norme AFNOR X 60-000**

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

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

Maintenance préventive conditionnelle : « Les remplacements ou les remises en état des pièces, les remplacements ou les appoints des fluides ont lieu après une analyse de leur état de dégradation. Une décision volontaire est alors prise d'effectuer les remplacements ou les remises en état nécessaires. »

Maintenance prévisionnelle : « maintenance préventive subordonnée à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs de la dégradation du bien permettant de retarder et de planifier les interventions. Elle est parfois improprement appelée maintenance prédictive ».

☐ Commentaires

– Avant la parution des normes AFNOR, la maintenance conditionnelle s'appelait « *on condition* » ou « selon l'état ».

– Les normes ont en commun la notion de « surveillance » de l'état à partir d'un paramètre significatif d'une dégradation, souvent par des mesures.

– Le terme de maintenance « prédictive » est justement déconseillé. La prévision est une responsabilité naturelle du décisionnaire sérieux; la prédiction est pour le charlatan…

– La maintenance prévisionnelle ne diffère de la maintenance conditionnelle que par l'idée d'extrapolation de la tendance analysée. Elle permet de passer de « l'état constaté » à « l'état prévisible ».

❑ Illustration du principe de la maintenance conditionnelle

La figure 2.11 illustre le principe de la maintenance conditionnelle. Elle se rapporte au suivi par mesures périodiques d'une dégradation jusqu'au seuil d'alarme qui déclenche une intervention préventive conditionnelle (notée I_{pc}).

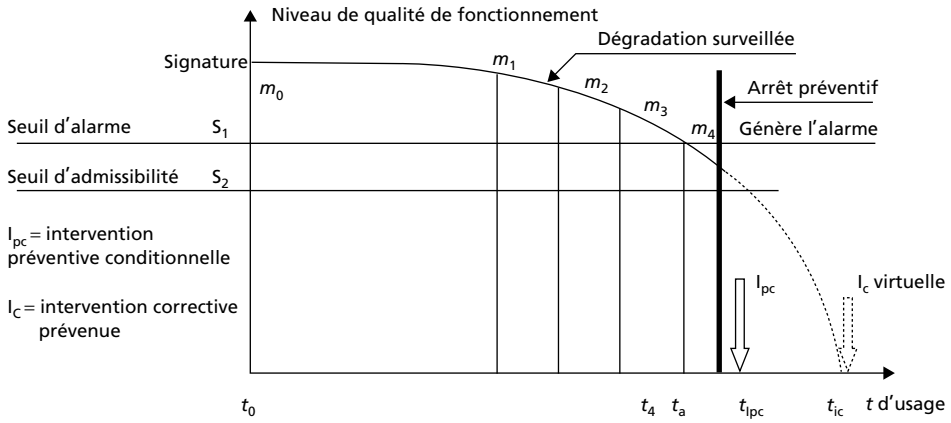

Figure 2.11 – Principe de la maintenance conditionnelle

– La « signature » est une prise de référence de l'état de « bon fonctionnement » à l'origine.

– Les mesures (cas le plus fréquent) peuvent être de simples observations visuelles (état constaté), des images (spectres, radios, etc.). Elles peuvent être remplacées par des alarmes préréglées (led, fusible, etc.), ou des inspections préventives *in situ*. Les mesures m_i peuvent être continues ou périodiques, espacées de Δt de telle manière que la dégradation à prévenir ne puisse échapper à la surveillance :

$$\Delta t < t \text{ admissibilité} - t \text{ alarme}$$

Les mesures peuvent ne pas commencer à t_0 (sauf signature) si l'on connaît la loi de dégradation. Les mesures peuvent être collectées par rondes ou « monitorées » au central de surveillance.

– L'arrêt sera généré automatiquement par l'alarme (cas d'un fusible), ou différé par décision volontaire jusqu'à l'I_{pc} programmée et organisée.

– L'intervention I_{pc} sera programmée à partir de l'alarme, suivant un temps de « réaction » du service maintenance à prédéterminer. Son coût direct C_{Ipc} sera par nature (choix de la dégradation à prévenir) très inférieur au coût (direct + indirect) de la défaillance évitée :

$$C_{Ipc} << C_{ic}$$

2.3.2 Méthodologie de la mise en œuvre

La méthodologie est proposée en neuf étapes successives qui permettent de poser le problème de la maintenance conditionnelle à partir d'une défaillance à prévenir avant de choisir les matériels nécessaires, d'organiser la surveillance et de préparer l'I_{pc}.

❑ 1. Sélection des défaillances à prévenir

Soit un équipement E connu. La première tâche est de sélectionner des défaillances dangereuses, coûteuses ou répétitives, par exploitation des historiques. Ce seront des défaillances par dégradation, donc détectables. Si l'équipement est mal (ou pas) connu, une AMDEC (voir § 4.5.3) permet d'identifier des pannes probables, graves et détectables.

❑ 2. Sélection d'un (ou *n*) paramètre physique

Ce paramètre sélectionné devra être :

– *observable ou mesurable.* Toutes les mesures physiques habituelles (dimensions, pressions, débits, intensités, températures, etc.) sont potentiellement des paramètres utilisables ;

– *significatif de l'évolution du mode de défaillance à anticiper.* Remarquons que ces observations ou mesures sont faites aux frontières ou dans l'environnement du sous-ensemble dégradé ;

– *interprétable* : l'important est de savoir établir une corrélation entre la mesure et l'état interne (la pathologie), à l'identique du thermomètre médical. L'idéal étant d'être capable de se servir de l'observation non seulement pour connaître l'imminence d'une panne, mais pour diagnostiquer sa nature. C'est bien d'avoir un spectre vibratoire relatif à un palier, c'est mieux d'en déduire le moment où il

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

faut arrêter le moteur, c'est idéal si on sait en déduire un « désalignement » ou un « desserrage » qui évitera de changer « pour rien » les roulements.

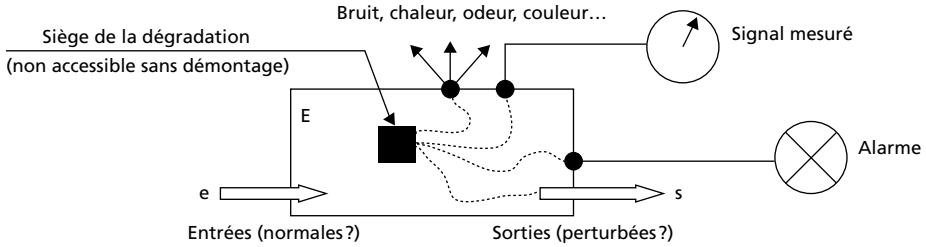

Figure 2.12 – Symptômes observables ou mesurables associés à une dégradation

Le paramètre sera parfois « direct » (usure surveillée par mesure de cote) ou plus souvent « indirect » (surveillance de l'usure par les ppm de particules solides trouvées dans une analyse de lubrifiant).

❑ 3. Choix des capteurs

À chaque nature physique du paramètre sélectionné correspond une panoplie de capteurs qui ont en commun d'évoluer vers la miniaturisation et la fiabilité (exemple : utilisation de cristal piézo-électrique). Les API (automates programmables industriels) permettent d'extraire des informations de toutes natures relatives à « l'état » de l'automatisme.

Notons la conception de capteurs dits « intelligents » capables de ne délivrer que des informations « triées ». Et n'oublions jamais que l'homme est pourvu de cinq sens et d'un cerveau : son remplacement systématique par des technologies de supervision ne se fait pas sans risque.

❑ 4. Choix du mode de collecte des informations

La collecte peut se faire par ronde (*off line*), ou par télésurveillance (*on line*), ou par panachage des deux (système « compass » de Bruël et Kjaer). Les arguments de choix portent essentiellement sur des critères économiques : les salaires des agents de ronde contre un investissement initial lourd. Bien sûr, le monitorage est à la mode. Mais n'oublions pas les critères humains. Un bruit anormal, le « reniflage » d'une fuite de gaz ou l'observation visuelle d'une fuite liquide par un rondier compétent peut prévenir une catastrophe. Vouloir le remplacer par de l'instrumentation est coûteux et présomptueux.

Un autre choix à faire est celui de la fréquence des observations : continues ou périodiques. Le problème est de faire en sorte qu'aucune accélération du processus de dégradation ne puisse passer entre deux observations successives. La connaissance de la nature des phénomènes pathologiques et de leur vitesse d'évolution permet de choisir la période entre deux observations.

La prise en compte de l'utilisation d'« outils » de la maintenance conditionnelle dès la conception facilite bien les choses ultérieurement. Par exemple, un simple tarau-

dage bien situé permettra de fixer un accéléromètre donnant des informations vibratoires de qualité, ciblées et donc facilement exploitables. Plutôt que de le coller au seul endroit accessible, qui donnera plein d'interférences et une information impossible à interpréter.

❑ 5. Détermination des seuils

□ Seuil d'admissibilité S_2

Il sera choisi en fonction de contraintes réglementaires lorsqu'elles existent. Exemple trivial : le changement conditionnel du pneu usé de votre voiture ! Sinon, il est rare que les constructeurs fournissent des préconisations. La démarche expérimentale est donc souvent utilisée, quitte parfois à « payer » une fois pour savoir.

La prise de référence initiale (signature S_0) est surtout indispensable pour les « images » et les « spectres ». Mais la connaissance de la « normalité » est nécessaire pour toutes les formes d'interprétations différentielles.

□ Seuil d'alarme S_1

Il sera choisi à partir du seuil d'admissibilité, en prenant en compte :

– la vitesse de dégradation,

– le temps de réaction avant l'intervention.

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

❑ 6. Choix du traitement de l'information

□ De la surveillance à l'analyse

Le cas le plus simple est celui de la surveillance par un technicien : son observation directe déclenche l'Ipc. La génération automatique d'alarme correspondant à un seuil (led allumé par exemple) a le même résultat : le surveillant déclenche l'I_{pc}.

Autre cas : les informations d'état collectées par rondes ou centralisées sont chronologiquement cumulées (base de données par logiciel informatique). Puis elles sont comparées (cas des images thermiques infra-rouges, par exemple) ou sont mises sous forme de graphes d'évolution (cas des mesures). L'interprétation permet dans ce cas de situer la prochaine atteinte d'un seuil et de s'organiser en conséquence. Pour la maintenance prévisionnelle, l'extrapolation des évolutions permet la programmation d'une prochaine intervention I_{pc}.

□ De l'analyse au diagnostic

Savoir qu'un roulement va prochainement « lâcher » est mieux que de subir la défaillance de façon fortuite. Mais il est encore mieux de savoir pourquoi il n'a pas tenu. Les analyses de vibrations par bandes de fréquences peuvent répondre à cet

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

objectif de diagnostic d'un défaut. Au prix d'un matériel coûteux et d'une compétence demandant une formation spécifique appuyée par une phase d'expérimentation délicate : quel est le meilleur paramétrage pour une machine donnée ?

❑ 7. Définition des procédures après alarmes

Le souci premier sera de penser « sécurité ». Des hommes et des matériels. Pour des cas à risque, une alarme sonore est possible. À partir de l'alarme, la décision première sera : arrêt immédiat ou différé. Remarquons que l'alarme peut générer automatiquement l'arrêt : c'est le cas d'une protection thermique, voire d'un simple fusible électrique dont la calibration revient à fixer un seuil. Il faudra aussi envisager les possibilités de reconfigurer le système en imminence de panne.

Dans le cas de la télésurveillance, la rédaction des procédures à appliquer en fonction de la nature des alarmes en particulier, est un travail délicat pour les méthodes-maintenance. De plus, la prise de décision « à distance » ne doit pas dispenser de collecter un complément d'informations *in situ*.

❑ 8. Organisation de l'intervention conditionnelle I_{pc}

Après vérification sur site de la véracité de l'alarme et de l'existence d'un risque de défaillance imminente, il faut préparer, éventuellement programmer, puis réaliser l'intervention préventive conditionnelle (voir § 6.5.3).

❑ 9. Bilan d'efficacité et retour d'expérience

L'un des avantages de la maintenance conditionnelle est de pouvoir vérifier, voire mesurer l'efficacité de l'intervention. En effet, il est possible de comparer les valeurs des paramètres « après » aux valeurs « avant » qui marquaient la normalité (signatures, valeurs de référence). Un « faux diagnostic » peut ainsi être détecté.

L'intervention I_{pc} participe à l'apprentissage du comportement du système. Elle permet souvent d'optimiser les valeurs de seuil et se traite en saisie comme une intervention corrective… que l'on a pas eu à payer au prix fort !

2.3.3 Acheter ou imaginer la maintenance conditionnelle ?

❑ Remarque préliminaire

Tous les ouvrages, les articles, les conférences traitant de la maintenance conditionnelle partent de la description d'un ou de plusieurs outils spécifiques, et débouchent sur leur potentialité d'application. C'est encore plus net si l'on visite un salon, dans lequel des fournisseurs présentent leurs outils de prédiction.

Nous allons montrer que cette démarche de type « consommation d'outils prêts à maintenir » est restrictive et n'est pas la seule possible.

❑ La démarche habituelle

Partir des outils du commerce pour trouver des applications sur site

Dans ce cas, nous partons de la connaissance des outils préexistants dans le commerce et nous cherchons à leur trouver un éventuel champ d'application sur un site donné. Après cette étude de « faisabilité », il reste à justifier l'investissement

par l'estimation de son temps de retour. La panoplie des outils les plus habituellement proposés (voir § 2.3.5) consiste en :

– mesures et analyses de vibrations ou d'ondes de choc,
– mesures acoustiques,
– analyses d'huile, de la tâche du buvard à la spectrographie,
– imagerie infrarouge.

À ces outils il faut ajouter la gamme des contrôles non destructifs (CND), chacun d'entre eux étant potentiellement un outil de la maintenance conditionnelle.

❑ Une démarche novatrice

Partir des problèmes du site pour trouver des solutions préventives

La démarche consiste à appliquer la méthodologie en neuf points du paragraphe 2.3.2 à partir de l'identification des problèmes existant sur le site. C'est-à-dire à « poser le problème avant de vouloir le résoudre ». Illustrons notre propos : lorsque les dégradations à prévenir sont identifiées et sélectionnées, quelles sont les possibilités offertes ?

– Exploiter le matériel existant. Exemple : récupérer les sorties d'un automate afin de détecter une anomalie.
– Puiser dans les catalogues les capteurs ou les mesureurs adaptés aux paramètres à surveiller. Exemple : mesurer le colmatage progressif d'un filtre par différence de deux pressions amont et aval (mesure de la perte de charge par pression différentielle).
– Imaginer des solutions inédites. Exemple : l'œil étant le premier outil de maintenance conditionnelle (et de CND), la simple observation de l'évolution de la fissuration d'une courroie permet de prévenir sa rupture intempestive.
– Acheter du matériel spécifique de maintenance conditionnelle. Exemple : acheter un analyseur de vibration, ses accéléromètres, son informatique associée et les formations nécessaires, si le nombre et la nature des « machines tournantes » le justifient.
– Sous-traiter la surveillance à des intervenants spécialisés. Exemple : le suivi des analyses de huile du parc de moteurs Diesel sera sous-traité au fournisseur de lubrifiant.

Dans cette démarche, les cas d'application de la maintenance conditionnelle sont démultipliés, pour des investissements initiaux souvent réduits.

Il nous semble important de démystifier et de banaliser la maintenance conditionnelle : elle n'est pas réservée aux seules grosses entreprises, certaines de ses applications peuvent être très simples. Sentir une fuite de gaz, observer une fuite de liquide et prendre les mesures préventives d'un risque majeur ne nécessite ni instrumentation, ni connaissances compliquées.

Remarque

J'ai à l'esprit la remarque d'un responsable de maintenance d'une PME qui, à l'issue d'une conférence (bien faite) sur les analyses de vibrations, m'a dit : « Très intéressant tout ça, mais la maintenance conditionnelle, ce n'est pas pour nous : trop savante, trop

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

chère, et nous avons trop peu de machines tournantes ». Quel dommage, car j'avais la certitude que, sur son site, à chaque dégradation pouvait correspondre une prise en charge conditionnelle, et que certaines de ces prises en charge auraient été aisées et rentables.

2.3.4 La télémaintenance et la supervision

❑ **L'évolution technologique**

L'aéronautique a ouvert la voie de l'évolution de la maintenance « sur potentiel d'heures » (systématique) vers la maintenance « selon l'état » (conditionnelle). Le poste de pilotage étant devenu le centre « d'informations-décisions ».

Le développement des automates industriels et de l'informatique en réseau permet aujourd'hui de superviser un site industriel à distance, avec des écrans d'aide au diagnostic en « local ». Des synoptiques permettent la surveillance en temps réel des différents états d'un automatisme, donc le pilotage de la production. Mais aussi la détection des dérives pathologiques qui l'affectent (perte de normalité), donc le pilotage de la maintenance. En effet, à partir de cette détection, le « pilote » rentre dans une logique de maintenance conditionnelle, avec la prime décision : je continue en mode dégradé ou j'arrête ? Quels sont les risques et quelle procédure appliquer ? L'inévitable « remise à niveau » (ça ne s'arrange pas tout seul) doit-elle se faire immédiatement ou de façon différée ?

Remarquons que l'investissement « lourd » de la supervision d'un équipement ou de la télésurveillance de l'ensemble d'un site industriel est à partager entre production et maintenance.

❑ **Illustration du principe de la télésurveillance**

L'instrumentation requise schématisée par la figure 2.13 permet une surveillance en temps réel de la succession des états « normaux » du système. Elle permet aussi la détection des phénomènes pathologiques dont les symptômes sont transmis par réseau au superviseur. Celui-ci doit alors appliquer la procédure prévue : agir par arrêt général, par neutralisation locale ou par reconfiguration du système.

❑ **Les limites et les risques de la télésurveillance**

☐ **Défaillance du système de supervision**

Cette défaillance « isolera » le superviseur de la réalité du terrain. Situation grave pouvant amener des mauvaises décisions, ou pas de décision, ou l'application de procédures inappropriées. L'ensemble du système doit donc être fiable à l'origine, testé périodiquement puis « maintenu » en bon état.

☐ **Défaillance du superviseur**

Travaillant souvent sous forme de permanences en 3 × 8 avec astreintes, les superviseurs ne sont pas des surhommes : ils peuvent être victimes de défaut de vigilance, d'erreurs d'interprétation ou de problèmes physiologiques. Parfois d'une formation insuffisante ou d'une ergonomie insuffisamment pensée de leur poste de travail (entrefactage d'images numériques ou confusion de signaux, par exemple).

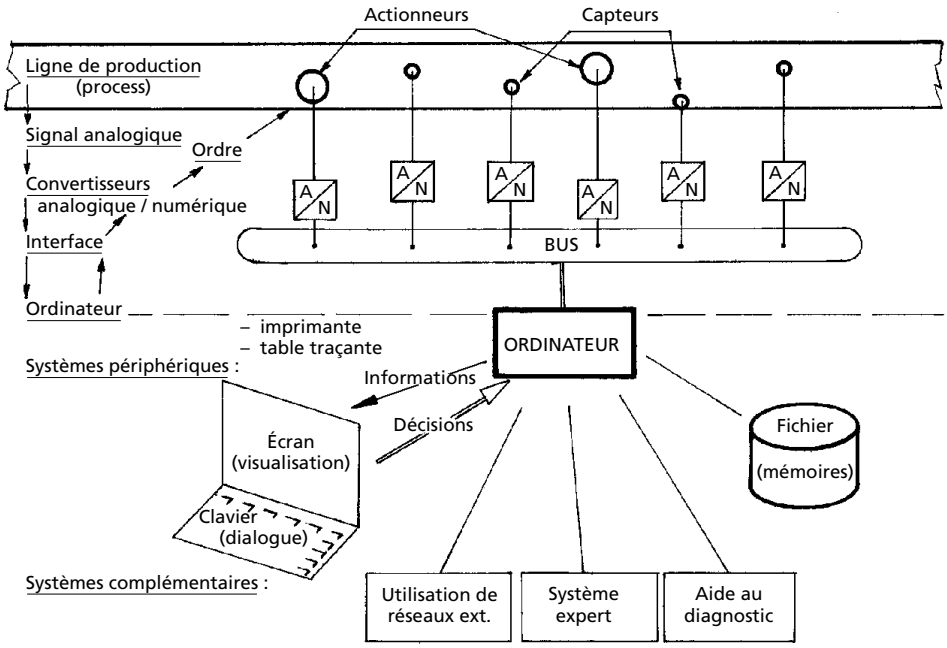

Figure 2.13 – Principe de la télésurveillance

☐ **Défaillances non attendues**

Nous ne pouvons détecter que les seules défaillances attendues, donc «instrumentées» et surveillées. Un exemple caractéristique est la fuite d'un gaz odorant. Elle est plus facile à détecter par un technicien présent que par une instrumentation, même sophistiquée. Les exemples d'accidents en raffinerie nous prouvent la nécessité de trouver un juste équilibre entre la télésurveillance centralisée et le maintien de rondes *in situ*. Afin de garantir la sécurité et la disponibilité des équipements, la présence humaine reste le complément indispensable de toute télésurveillance centralisée.

2.3.5 Les outils de la maintenance conditionnelle

Nous avons vu que nous pouvons mettre en œuvre de la maintenance conditionnelle en étant « imaginatifs » à partir de la méthodologie proposée. Ce n'est pas une raison pour ne pas connaître et utiliser les outils « clés en main » existant dans le commerce, ou proposés par des entreprises de service.

❑ **Principaux outils spécifiques**

Les trois principaux outils spécifiques sont les suivants.

☐ **Mesureurs et analyseurs de vibrations**

Adaptés à la maintenance conditionnelle des machines tournantes (pompes, alternateurs, ventilateurs, centrifugeuses, etc.), mais aussi de certains processus continus (machines à papier, coulée continue, etc.) et de machines à mouvements alternatifs (moteurs thermiques, compresseurs, etc.).

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

□ **Analyses d'huiles**

Service proposé par les groupes pétroliers fournisseurs de lubrifiants, et adaptés à la maintenance des moteurs Diesel, des circuits hydrauliques et des systèmes mécaniques pour lesquels la qualité de l'huile est prédominante pour la durée de vie (gros réducteurs par exemple).

Ces deux outils sont décrits et développés dans le paragraphe 6.5 et certains ouvrages leur sont entièrement consacrés, tels (MOB 92) et (BOU 99).

□ **Thermographie infrarouge**

Cet outil est coûteux (caméra vidéo + imagerie numérique + logiciel associé pour stockage d'images), mais il est très polyvalent. Donnant une « image thermique » d'une zone suspecte, la thermographie IR permet de détecter à distance :

– des ponts thermiques en contrôle d'isolation pour économie d'énergie,

– des points chauds en équipements électriques (bobinage moteur, conducteur sous-dimensionné, contrôle d'armoires électriques à distance…),

– des points chauds en mécanique (dégradation d'un palier),

– des points chauds en blindage de four (usure de réfractaire),

– des fuites (en canalisations enterrées).

Tous ces exemples prouvent la polyvalence de cet outil. Son utilisation spécifique en maintenance conditionnelle passe par une prime image de référence, puis par l'analyse comparative des images successives. Il est parfois possible d'établir une corrélation entre les températures relevées et le phénomène pathologique surveillé (exemple : corrélation entre le gradient thermique d'un four et les centimètres de réfractaire en cours d'usure).

❑ **Les CND (contrôles non destructifs)**

Comme leur nom l'indique, les CND ont vocation à contrôler l'état de pièces en cours ou en fin de fabrication. Mais leur utilisation en maintenance conditionnelle est envisageable comme outil permettant de visualiser des défauts débouchants ou internes. Le CND choisi permet de suivre leurs évolutions jusqu'à un seuil prédéterminé correspondant à un risque à prévenir, souvent une rupture mécanique. Toute fissure est une amorce de rupture.

□ **Cas d'application**

En mécanique, les évolutions de fissures précèdent les dégradations de surfaces fonctionnelles ou les ruptures. Ces fissurations « amorces de rupture » se trouvent principalement :

– sur toute pièce, dans les zones de concentration de contraintes (pour les arbres de transmission : gorges, épaulements, etc.);

– sur les dents d'engrenages, en pied de denture du profil;

– sur les surfaces de roulement ou de frottement, en cas de surcontraintes;

– pour les soudures, en limite de cordon.

Exemple : dégradation d'une surface soumise au roulement

La fatigue hertzienne provoque la fissuration d'une sous-couche évoluant vers un « écaillage » à prévenir.

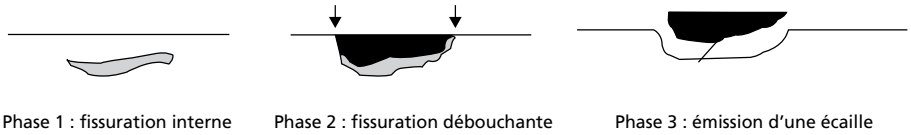

Figure 2.14 – Principe de l'écaillage d'une surface de contact

De nombreux CND permettent de détecter la présence d'un défaut interne en phase 1. Citons les ultrasons et la radiographie.
En phase 2, le ressuage, l'analyse des ondes de choc générées par le passage de l'élément roulant, puis l'observation visuelle permettent de connaître la présence de réseaux de fissures débouchantes. La mise en œuvre d'un de ces moyens doit anticiper l'écaillage de la phase 3, défaillance dangereuse par le fait que les particules métalliques libérées, portées par un lubrifiant, vont dégrader d'autres portées.

☐ **Quelques outils CND et leurs applications possibles en maintenance**

– L'œil et ses « prolongements technologiques ». L'œil est le premier des CND, par observation directe de zones suspectes. Ses « accessoires » vont du microscope électronique à l'endoscope qui permet, par exemple, l'observation in situ des dommages d'une denture d'engrenage sans avoir à démonter le réducteur.
– Les radiographies (X, γ, neutronographie, etc.) sont adaptées aux contrôles de la « santé-matière » et le suivi de défauts internes. Mais les sources radioactives sont soumises à une stricte réglementation limitant leur usage. Certaines radiographies doivent être réalisées dans des locaux spécifiques, excluant l'utilisation *in situ* fréquente en maintenance.
– Les ultrasons couvrent le même champ d'utilisation, mais à partir de matériel plus facile à mettre en œuvre sur site. Ils sont très utilisés en contrôle de soudures, mais ils requièrent une spécialisation poussée de la part des opérateurs.
– La magnétoscopie et les courants de Foucault voient leur utilisation limitée aux seuls matériaux ferromagnétiques et à la recherche de défauts superficiels.
– Le ressuage est très utilisé pour la mise en évidence de fissures débouchantes.

Bien d'autres CND existent avec des champs d'application très spécialisés, ce qui les rend peu pratiques en maintenance « généraliste ».

La mise en œuvre de la plupart des CND présente trois problèmes pour leur utilisation en maintenance :

– la plupart demandent un investissement dont le temps de retour n'est pas évident à évaluer ;
– ils demandent une spécialisation des techniciens chargés de leur mise en œuvre, d'où un recours fréquent à de la prestation de service ;
– ils demandent une bonne connaissance préalable des pathologies à prévenir (nature et localisation).

Il faut savoir que l'on ne trouvera, avec un outil CND, que ce que l'on cherche !

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

2.4 Les autres activités du service maintenance

2.4.1 Les cinq niveaux de maintenance

La maintenance est caractérisée par une très grande variabilité des tâches, en natures comme en durées. D'où l'utilité de jeter les bases de son organisation à partir d'une mise en familles à cinq niveaux (tableau 2.2), suivant la norme AFNOR X 60-000. La tendance actuelle est de se ramener à trois niveaux seulement, dans une logique de TPM. À savoir :

I = 1 + 2 : c'est la maintenance « de permière ligne » transférée progressivement aux opérateurs de production, assistés si nécessaire par les techniciens de maintenance de l'antenne sectorisée ;

II = 3 + 4 : domaine d'action privilégié des équipes polyvalentes de techniciens de maintenance. Diagnostics, interventions techniquement évoluées, mise en œuvre d'améliorations, etc. ;

III = 5 : travaux spécialisés souvent sous-traités pour que la maintenance puisse recentrer ses moyens sur son savoir-faire (le niveau II).

Tableau 2.2 – Les cinq niveaux de maintenance

Niveau	Personnel d'intervention	Nature de l'intervention	Moyens requis
1	Exploitant, sur place	Réglage simple d'organes accessibles sans aucun démontage, ou échanges d'éléments accessibles en dans les consignes de toute sécurité conduite.	Outillage léger défini dans les consignes de conduite
2	Technicien habilité (dépanneur) sur place	Dépannage par échange standard d'éléments prévus à cet effet, ou opérations mineures de maintenance préventive	Outillage standard et rechanges situés à proximité
3	Technicien spécialisé, sur place ou en atelier de maintenance	Identification et diagnostics de pannes, réparations par échange de composants fonctionnels, réparations mécaniques mineures	Outillage prévu plus appareils de mesure, banc d'essai, de contrôle
4	Équipe encadrée par un technicien spécialisé, en atelier central	Travaux importants de maintenance corrective ou préventive. Révisions	Outillage général et spécialisé
5	Équipe complète polyvalente, en atelier central	Travaux de rénovation, de reconstruction, réparations importantes confiées à un atelier central Souvent externalisés	Moyens proches de ceux de la fabrication par le constructeur

2.4.2 Révisions, rénovations et reconstructions

❑ **Les révisions périodiques**

☐ **Définition CEN de la révision**

« Ensemble complet d'examens et d'actions réalisés afin de maintenir le niveau de disponibilité et de sécurité. »

☐ **Commentaires**

Nous avons vu les révisions en maintenance systématique, car les échéances de révisions sont programmées en unités d'usage (temps de fonctionnement cumulé) ou en temps calendaire suivant la méthode ABAC-ABAD.

Une révision demande une expertise préalable et un démontage partiel ou total du bien. Bien que de vocation préventive, elle est l'occasion d'une remise à niveau comprenant des réparations (donc du correctif) ayant pu « attendre » l'échéance.

Une révision peut être limitée (période de 3 ou 6 mois par exemple) ou générale (période souvent annuelle et confondue avec l'arrêt annuel de l'ensemble du site). Les révisions comme les arrêts sont des travaux « lourds » (en charge de travail). Ils sont préparés suivant l'expertise sur site, programmés et font souvent l'objet de travaux sous-traités.

❑ **Les rénovations et les reconstructions**

☐ **Définition CEN de la reconstruction**

« Action suivant le démontage du bien principal et le remplacement des biens qui approchent de la fin de leur durée de vie et/ou devraient être systématiquement remplacés. »

☐ **Commentaires**

L'objectif de la reconstruction est de prolonger la durée de vie utile d'un équipement, pour un coût compris entre 50 % et 70 % du coût du remplacement à neuf. De plus, c'est souvent l'occasion de modifications et de modernisation sur un bien que l'on connaît.

La reconstruction implique le remplacement de toutes les pièces sensibles (au vieillissement, à l'usure, à la corrosion, etc.) par des pièces d'origine, et la conservation des ensembles « structurels » après expertise de leur bon état. « Faire du neuf avec du vieux » ne correspond pas forcément à une attitude dépassée, ou à du bricolage, mais à une solution réaliste face à des contraintes économiques sévères.

La rénovation est une forme intermédiaire de remise à niveau entre la révision et la reconstruction.

La « cannibalisation » consiste à récupérer, sur des matériels déclassés à rebuter, des éléments en bon état, de durée de vie potentielle connue, et à les utiliser comme pièces de rechange ou comme éléments de rénovation.

La modernisation consiste à substituer des composants d'une nouvelle génération technologique à des composants âgés. Par exemple le remplacement d'une commande à relais par un automate programmable est une modernisation.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

Notons que chacune de ces actions implique une mise à jour des « dossiers techniques d'équipement ».

2.4.3 Les « arrêts périodiques »

L'expérience montre qu'il est indispensable d'arrêter périodiquement le fonctionnement de certaines installations, donc la production, pour effectuer une « remise à niveau » générale. Ces arrêts sont généralement programmés tous les ans en été, période de ralentissement des activités économiques industrielles.

Les travaux sont externalisés pour une grande partie. Définis après expertise des installations, ils sont longuement préparés (souvent pendant plusieurs mois), programmés et gérés comme des « chantiers ». C'est l'occasion de procéder à des améliorations, mises en conformité, modernisations, rénovations envisagées précédemment. Le rôle des méthodes-maintenance est donc prépondérant dans la préparation (voir § 6.5.2) et la gestion (voir § 7.2) de ces arrêts.

2.4.4 Les études et travaux neufs

❑ **Situation**

Environ 70 % des services maintenance ont la charge (légitime) des « travaux neufs », au sens de la responsabilité de l'intégration d'équipements nouveaux dans l'infrastructure existante. Ces études sont « hors budget de la maintenance » car elles sont intégrées aux « investissements ».

La responsabilité peut commencer en amont, au niveau de l'ingénierie de l'entreprise chargée de la définition des nouveaux procédés. La participation de la maintenance à l'origine en partenariat avec la production est une garantie « anti-mauvaises surprises » quant à l'intégration des nouveaux matériels dans l'existant.

❑ **Les responsabilités des travaux neufs**

☐ **Contenu**

– Participation au programme d'investissement (voir § 10.4).
– Avis quant au choix du matériel, par la prise en compte de la maintenabilité, de la qualité du SAV, de la qualité des dossiers techniques, de la standardisation des constituants par rapport au parc existant, de la logistique de soutien, etc.
– Étude de la réglementation relative au système à implanter, de la sécurité, de l'impact environnemental, etc.
– Réalisation de l'étude de l'installation : l'implantation, définition des accès, étude des réseaux, des raccordements, des énergies, des rejets, etc.
– Formation des techniciens de maintenance en partenariat avec le fournisseur. Par exemple, participation des techniciens au montage et aux essais de l'équipement chez le fournisseur.
– Réception technique du matériel, vérification de la conformité aux normes et à la commande.

– Réalisation de l'installation, définie par la norme X 60-011, comme étant « la mise en place du bien et de ses accessoires, et le raccordement de ses diverses entrées et sorties aux équipements adjacents ».
– Mise au point, comprenant l'ensemble des essais préliminaires, réglages et modifications nécessaires à l'obtention de « l'état spécifié ». La collaboration avec des équipes de techniciens du fournisseur peut être fructueuse.
– Mise en service, après vérification de la conformité aux performances contractuelles : c'est la « recette » du bien.
– Transfert des documents techniques et des connaissances acquises vers le bureau des méthodes de maintenance, souvent et heureusement voisin.

Les services Entretien étaient souvent tenus à l'écart de ces tâches : prenant en charge le matériel à l'issue de la période de garantie, les dépanneurs ne pouvaient que « subir », découvrant parfois en situation de panne qu'ils ne possédaient même pas les plans… Cette critique d'une situation révolue permet de mieux comprendre quels sont les avantages d'une structure « maintenance-travaux neufs ».

☐ **Avantages d'une structure maintenance-travaux neufs**

– Une meilleure connaissance du matériel dès l'origine, par le contact avec les techniciens « vendeurs », par la période d'apprentissage (le montage, les essais et la mise au point), par les dossiers techniques complets car négociés !
– Une prise en charge rationnelle par la maintenance informée au départ des objectifs de performances attendus pour l'exploitation de l'équipement.
– Moins de mauvaises surprises en cours d'exploitation.
– Et surtout un gain sensible sur le coût du cycle de vie de l'équipement à intégrer (voir § 10.4).

2.4.5 L'entretien des installations

❑ **Description**

Nous ne pouvons passer sous silence la responsabilité qu'assument beaucoup de services Maintenance face à l'entretien général du site.

Dans les grosses entreprises, services techniques et maintenance sont souvent distincts. Ce qui n'exclut pas une convergence des méthodes : le concept de « maintenance immobilière » est né de cette convergence.

Dans les PME, le service maintenance a souvent la charge :

– des installations, tels que bâtiments, clôtures, espaces verts, routes ;
– des aménagements, tels que canalisations, réseaux électriques, téléphoniques, d'eaux, ascenseurs, chauffage et climatisation, etc. Avec le développement technologique appliqué à l'immobilier (GTC par exemple), certains de ces travaux (parfois sous-traités) exigent de réelles compétences techniques ;
– du parc de véhicules et d'engins de manutention ;
– d'installations périphériques, telles que stations de pompage ou d'épuration.

© Dunod – La photocopie non autorisée est un délit.

❑ Quelques remarques sur l'entretien général

La prise en charge « comptable » de ces travaux doit être différenciée des travaux de maintenance par saisie sur des comptes spécifiques. La logique d'organisation sur trois niveaux peut se calquer sur la maintenance :

– le petit entretien, de caractère fortuit est semblable à un dépannage. C'est le domaine du « Michel Morin » de service !
– l'entretien normal de routine évite la dégradation rapide du site et prévient des réparations coûteuses ;
– le gros entretien, semblable à une rénovation, est souvent confié à des entreprises extérieures.

Ces travaux d'entretien impliquent des métiers et des qualifications différents de ceux de la maintenance : peintres, menuisiers, jardiniers, personnel de nettoyage, plombiers, etc. Aussi se pose la question de l'externalisation de ces travaux, pour se recentrer sur les « métiers » caractéristiques de l'activité et de la culture de l'entreprise.