

6 • LA FONCTION MÉTHODES-MAINTENANCE

6.1 Rôle du service méthodes-maintenance

6.1.1 Fonctions opérationnelles du service maintenance

□ Classification des fonctions opérationnelles

Nous proposons la classification schématique (figure 6.1).

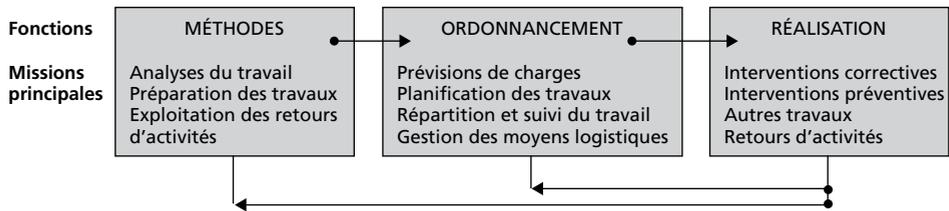


Figure 6.1 – Les trois fonctions opérationnelles de la maintenance

La fonction méthodes est traitée dans ce chapitre, les fonctions ordonnancement et réalisation dans le chapitre 7.

□ Quelques remarques relatives à ces fonctions

□ Effet d'échelle

Il est évident que suivant l'effectif du service, la décomposition en sous-fonctions sera plus ou moins formalisée. Par exemple, dans les PME, l'ordonnancement et la logistique de maintenance sont souvent intégrés aux « méthodes ».

Dans une grande entreprise, des secteurs comme l'entretien général, la sécurité ou la gestion des rejets seront spécifiquement structurés. Dans une PME, ils seront rattachés à la maintenance et gérés par le bureau des méthodes.

Pour notre propos, peu importe le niveau de formalisation et d'effectif : l'approche est fonctionnelle, donc la fonction identifiée doit être remplie, que ce soit par le demi-service d'un technicien ou par une équipe de cinq agents. L'effectif des méthodes, suivant le secteur d'activité, est de l'ordre de 1/8 de l'effectif des intervenants.

Modèle d'organisation

Le modèle d'organisation « méthodes-ordonnancement-réalisation » est naturel, en ce sens qu'il matérialise le modèle humain « œil-cerveau/système nerveux/main ». Il est itératif, donc compatible avec une gestion permettant l'amélioration permanente. Il est par ailleurs de structure semblable au modèle d'organisation de la production, bien que les contenus soient très différents.

Les *méthodes* sont caractérisées par les verbes d'action *savoir, analyser, prévoir, anticiper, améliorer*.

L'*ordonnancement* par les verbes *planifier, coordonner* et *synchroniser*.

La *réalisation* par les verbes *effectuer, vérifier* et *rendre compte*.

 Écoute du client interne

La maintenance doit être à *l'écoute des besoins de ses clients internes*, la production en étant le principal. Il est naturel que le service ordonnancement prenne en compte le planning d'activité de la production et que le service méthodes soit associé à ses problèmes de qualité et de performance. Pour certaines activités, la mise en concurrence avec des prestataires de services extérieurs peut engendrer une saine émulation afin de chercher à gagner en efficacité.

6.1.2 Champ des responsabilités des méthodes-maintenance

 Richesse de la fonction méthodes-maintenance **Promouvoir la maintenance, c'est développer les méthodes...**

La nécessaire mutation entretien-maintenance passe par la création et le développement d'un service méthodes non pléthorique, mais efficace. En effet, pour sortir du cercle vicieux de l'entretien, il est indispensable de prendre du recul par rapport aux actions de routine du terrain, de les mesurer, de les analyser, de les critiquer afin de proposer des améliorations. La position du bureau des méthodes au sein du service maintenance est stratégique :

- c'est le relais des politiques, des orientations et des projets à mettre en œuvre ;
- c'est le centre des ressources documentaires ;
- c'est la plaque tournante émettrice et réceptrice de la plupart des flux d'information du service maintenance ;
- c'est le centre de gestion des activités techniques, mais aussi de leur remise en cause ;
- c'est le pôle de proposition des actions d'amélioration.

Dans le cas de l'utilisation de l'outil GMAO, c'est le lieu privilégié de l'exploitation du système.

 Le rôle de « facilitateur »

La vocation première des méthodes est de faciliter les actions réalisées sur le terrain par anticipation des problèmes, afin de rendre ces actions plus efficaces, moins coûteuses, moins dangereuses et moins nuisantes.

À la différence des « méthodes-production », qui ont vocation à préparer des opérations, souvent répétitives, réalisées par des machines, les « méthodes-maintenance » préparent des interventions réalisées par des hommes et de façon rarement répétitive. Ce qui enrichit considérablement le nécessaire profil d'un agent des méthodes. Afin de mieux cerner le champ de responsabilités des méthodes, nous allons envisager le rôle joué par un agent des méthodes dans l'exercice de ses attributions.

- ❑ Rôle d'un agent des méthodes
- ❑ Profil d'un agent des méthodes

L'agent des méthodes est à la base de la logique de la maintenance : acquérir la maîtrise des événements liés aux équipements. C'est un technicien polyvalent et généraliste, à la fois homme de bureau et de terrain. Il est souvent « sectorisé », c'est-à-dire spécifiquement attaché à l'un des secteurs d'activité de l'entreprise. De culture initiale technicienne, son expérience et des compléments de formation l'ont amené à prendre en compte et à concilier le champ réglementaire, le champ humain et le champ économique. Par exemple, un aspect caractéristique de son rôle est d'empêcher un mécanicien dévoué et compétent de passer 8 heures à remettre à niveau une pompe, pour un coût de 8 000 F, alors que la pompe neuve vaut 4 000 F !

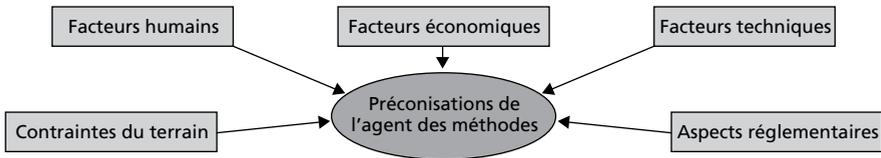


Figure 6.2 – La polyvalence de l'agent des méthodes

- ❑ Domaines de responsabilité de l'agent des méthodes

Identification des domaines

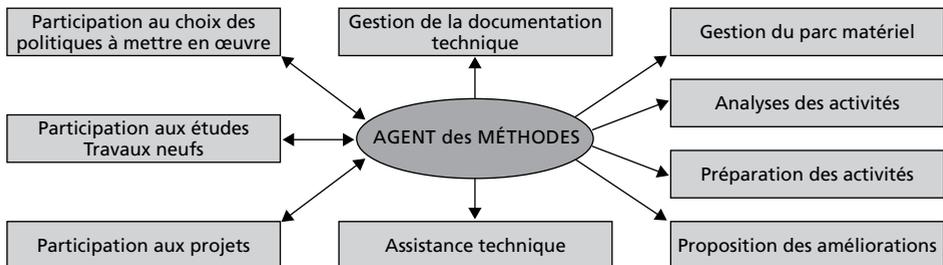


Figure 6.3 – Les domaines de responsabilité de l'agent des méthodes

Participation aux choix des politiques à mettre en œuvre

L'agent des méthodes est le relais naturel des objectifs choisis par l'entreprise. Meilleur rapport qualité/prix, plus de productivité se traduisent au sein de la main-

tenance par la mise en œuvre de politiques adaptées (voir § 9.1). En retour, les éléments rassemblés au bureau des méthodes permettent d'établir un tableau de bord de gestion indispensable aux responsables du service et de l'entreprise.

Participation aux études et travaux neufs

L'agent des méthodes sollicite le bureau d'études pour toute modification importante. En retour, sa compétence est requise pour la rédaction du cahier des charges (critères de maintenabilité, standardisation, etc.) et pour la définition des éléments de soutien logistique des équipements neufs.

Participation aux projets

Des projets structurants, comme le sont la recherche des certifications ISO 9000 ou 14000 ou le développement de la TPM, n'aboutiront que s'ils sont relayés et souvent pilotés par les agents des méthodes-maintenance.

Gestion de la documentation

Les dossiers techniques d'équipement (DTE), les plans de maintenance, les historiques, les fiches d'analyses de défaillances sont gérés (création, archivage, exploitation, mise à jour) au niveau du bureau des méthodes, avec l'aide de l'informatique.

Gestion du parc matériel

L'agent des méthodes a pour objectif la détermination de la criticité de chaque équipement, puis la maîtrise du comportement de chaque équipement : pour cela, il lui faut « mesurer » ses performances (TRS, disponibilité), déterminer les équipements dont le manque de disponibilité pénalise la production et améliorer leurs points faibles. Il doit déterminer le niveau de préventif à mettre en œuvre pour chaque équipement (plan de maintenance).

Pour les matériels périphériques non stratégiques ainsi que pour les installations, il a la responsabilité de la sous-traitance et des contrats de maintenance.

Analyses des activités

L'agent des méthodes a la charge du suivi des indicateurs de performance, de l'analyse des tendances et de la détermination des priorités d'action. Cela l'amène à prendre la responsabilité des analyses de défaillances, quantitatives et qualitatives. Il est l'animateur « naturel » des GAP (groupe d'analyse de pannes décrit au paragraphe 10.5.3). Il a aussi à analyser les interventions à travers leurs paramètres : nature, durée et temps d'arrêt, coûts directs et indirects, consommation de produit et de rechanges, etc.

La GMAO est naturellement un outil incontournable pour exploiter la base des données opérationnelles caractérisant les activités et leurs évolutions.

Toutes ces analyses sont à la base d'une démarche de progrès : savoir où nous étions et où nous sommes pour orienter les propositions d'amélioration : quelles sont les actions-cibles prioritaires ? Ces cibles peuvent être techniques, mais elles sont plus souvent dirigées vers une remise en question de l'organisation.

Préparation et contrôle des activités

La préparation est la vocation première des services méthodes : elle est développée de façon détaillée dans ce chapitre. Le rôle initial du préparateur est l'établissement des procédures permanentes caractérisant l'organisation interne du service et de ses relations d'interfaces (DT, OT, DA, BSM, saisies pour historiques et pour analyses).

- Pour la maintenance corrective, la préparation passe par une anticipation des risques encourus (le préparateur pense d'abord « sécurité »), puis par une anticipation des problèmes qui peuvent freiner l'intervenant (rôle de facilitateur).
- Pour la maintenance préventive, elle consiste à imaginer le plan de maintenance d'un équipement, puis d'évaluer son coût et son efficacité afin de l'optimiser progressivement.
- Pour la maintenance externalisée, la préparation consiste à définir les règles et les procédures destinées au prestataire choisi, puis l'agent des méthodes doit assurer « l'accompagnement » du prestataire lors de ses travaux sur site.

Notons que toute préparation d'une opération de maintenance n'est réaliste qu'à partir d'une bonne connaissance du terrain (au minimum par une observation *in situ*).

Un aspect complémentaire du rôle de l'agent des méthodes est le contrôle des actions définies dans les procédures. Cela dans une logique d'assurance qualité : il doit garantir la traçabilité des opérations effectuées.

Propositions d'améliorations

C'est la suite logique des analyses et des diagnostics : déterminer des cibles pour agir sur les causes, d'où la préconisation d'améliorations techniques et, le plus souvent, organisationnelles.

Quelles sont les causes d'un temps d'arrêt de production anormalement long ? Quelles sont les causes d'un gaspillage de temps d'intervention anormal ? La réponse habituelle est celle d'un manque d'organisation : préparation lacunaire, outillage non adapté, moyens non disponibles, pièce de rechange absente du magasin, etc.

Les améliorations concernent également les petites actions de routine (c'est en panne, je dépanne !), dont l'analyse quantitative montre le « poids » souvent sous-estimé, faute de mesures objectives.

Assistance technique sur site

L'agent des méthodes est un homme de terrain : il connaît parfaitement son secteur d'attache, les équipements et les hommes qui y travaillent. À ce titre, sa mission comprend :

- le soutien aux dépanneurs par l'aide au diagnostic et la maîtrise des expertises internes ;
- la formation des opérateurs, dans le cadre de l'automaintenance ;
- la réalisation d'audits internes préliminaires à des modifications d'organisation ;

- la mise en œuvre par lui-même ou en sous-traitance de certains moyens spécifiques non intégrés : tests, mesures vibratoires, CND (dont la thermographie et les radiographies, rarement intégrées).

□ Conclusions

Ce panorama simplifié des missions d'un agent des méthodes met en évidence la richesse et la diversité de sa fonction. Il doit être en phase avec la vie sur le terrain, mais il doit surtout *prendre du recul* par rapport à l'événement instantané, qui était seul pris en compte au temps de « l'entretien ». Quand il y a le feu dans la forêt, personne ne conteste l'urgence qu'il y a à l'éteindre. Mais c'est après que se fait le travail positif : détecter le foyer automatiquement à distance, nettoyer les sous-bois, tracer des pare-feu, lutter contre la pyromanie, etc.

La maintenance, par nature, n'est pas et ne sera jamais un centre de profit. Mais la réduction des coûts d'exploitation, la qualité des produits et la sécurité des salariés passent par une structuration efficace des méthodes-maintenance et par la promotion de la fonction « improductive (!) » des agents des méthodes.

6.2 L'analyse des temps de maintenance

6.2.1 La connaissance des temps de maintenance et leur classification

□ Temps-machine, temps d'activité humaine et leur association

La maintenance a la spécificité de devoir maîtriser à la fois les *temps-machines* (alternance de temps de bon fonctionnement et de temps d'arrêt) et les *temps d'activité* de ses techniciens d'intervention. Suivant l'exploitation souhaitée, les uns et/ou les autres seront utilisés.

- Les *temps-machines* concernent les états successifs caractérisant la « disponibilité » et la « non-disponibilité » des systèmes. Pour ces temps, des saisies automatiques de dates et de durées ou des relevés de compteurs associés à des systèmes d'imputation des causes d'arrêt seront nécessaires.
- Les *temps caractérisant une intervention humaine* posent un problème de saisie beaucoup plus délicat analysé au paragraphe 6.2.2. Comme leur connaissance est aussi indispensable que la connaissance des temps-machines, un effort d'explication destiné aux techniciens est souvent nécessaire, avec ou sans GMAO.
- La maîtrise des temps précédents, résultant de la performance intrinsèque de l'équipement (fiabilité) et de la performance humaine associée aux arrêts (maintenabilité et logistique de maintenance), permet de gérer la maintenance de l'équipement à partir de l'analyse des causes d'indisponibilité et d'indicateurs.

□ Mesure des temps

□ Problèmes d'unités de temps

Le technicien habitué à manipuler des systèmes de mesures décimales est confronté à un système traditionnel de mesures moins confortable : an, semaine, jour, heure, minute, seconde. Ne pas confondre 1:30 h et 1,30 h... Son rôle est d'estimer les temps pour prévisions, puis de les mesurer pour enregistrement et analyse ultérieure.

Tableau 6.1 – Systèmes d'enregistrement des temps

Système sexagésimal	Système mixte	Système décimal
Heure	Heure	Heure
Minute	Minute	1/10 h
Seconde	1/10 min = 6 s	1/100 h = 1 ch = 36 s
1/10 s	1/100 min = 0,6 s	1/1 000 h = 1 mh = 3,6 s
1/100 s	1/1 000 min	1/10 000 h = 1dmh = 0,36 s

Il appartient à chaque entreprise d'adopter le système d'enregistrement des temps le mieux adapté à son activité et de se doter des moyens de mesures correspondant (voir tableau 6.1), sachant que l'analyse des cycles-machine peut exiger de descendre sous la seconde alors que l'analyse des activités de maintenance ne requiert pas de descendre sous le quart d'heure, exceptionnellement la minute ou le ch.

Pour les temps relatifs à l'organisation du travail et à la gestion, les unités sont : le jour, la semaine, le mois, l'année. L'unité à éviter est le *mois*, de durée variable et décalé par rapport au rythme de la vie sociale de l'entreprise.

Remarque

Les tâches de maintenance peuvent être très diverses : certains dépannages ne demandent que quelques secondes alors qu'un arrêt annuel d'unité peut comporter des milliers d'heures de travail.

Moyens de mesure des temps réalisés

Pour la mesure des temps-machine, les systèmes de mesure sont le plus souvent intégrés (horloges, compteurs) et basés sur un référentiel absolu ou relatif (voir § 2.2.1). Ils utilisent parfois des unités de temps « indirectes », telles que le nombre de cycles, la tonne produite, le kilomètre parcouru, etc.

La mesure des temps d'activité repose sur l'autocontrôle des intervenants, le plus souvent au quart d'heure près. Le chronométrage et l'enregistrement vidéo, mal vécus, sont réservés à des travaux bien spécifiques de maintenance.

6.2.2 Temps d'activité humaine

Temps prévus, temps passés et temps relevés

Pourquoi vouloir connaître les temps d'activité ?

La maîtrise des temps d'activité de tous les techniciens de maintenance est à la base de la pyramide de la gestion d'un service de maintenance. Sans estimation de « temps alloués », pas de planification des activités internes ou externalisées. Sans estimation de temps, pas de coûts prévisionnels, donc pas de gestion prévision-

nelle. Sans relevés de temps passés, pas de coûts de maintenance, donc pas de gestion possible du budget. Sans relevés exacts des temps passés, pas d'analyses des activités, donc pas de proposition d'amélioration.

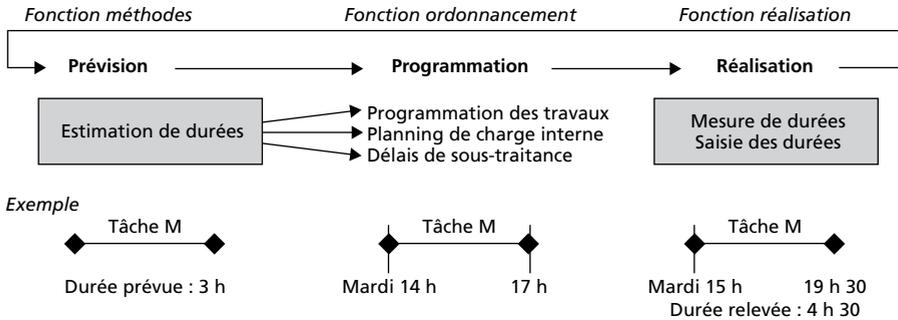


Figure 6.4 – Temps prévus, programmés, passés et relevés

□ Les difficultés liées à l'obtention des temps passés

1. Face au problème de la traçabilité des temps, une grande méfiance subsiste, résurgence de l'époque taylorienne, lorsque les gens étaient payés à la pièce. Certes anachronique, cette méfiance pénalise encore parfois l'organisation des saisies des « temps passés », soit par une opposition systématique de principe soit par une incompréhension de l'objectif qui amène à fausser volontairement les saisies. Les « temps relevés » ne sont pas automatiquement les « temps réellement passés »...

2. Pour être exploités, les temps portés sur les BT manuels doivent être lisibles : ce n'est pas toujours le cas !

3. Autre problème, quel temps porter lorsqu'une opération corrective comporte plusieurs phases distinctes : observation *in situ*, diagnostic, préparation, dépose, intervention proprement dite, essais, etc. et que l'on a attendu 20 minutes que le magasinier trouve la pièce mal référencée ?

4. Enfin, lors de mini-interventions correctives, doit-on passer 10 minutes à saisir les paramètres d'une action de 2 minutes ?

Temps non relevés, erronés, incomplets, non homogènes, illisibles, etc. Trouver des parades à ces difficultés n'est pas mineur, car, sans la maîtrise des temps passés, l'édifice « gestion de la maintenance » s'écroule.

Remarque

L'utilisation d'une GMAO facilite la gestion des temps de maintenance, mais ne résout « automatiquement » aucune des difficultés précédentes.

□ Nature des durées d'intervention de maintenance

□ Norme AFNOR X 60-015 et projet CEN WI 319-003

Les temps de maintenance comprennent les temps de maintenance préventive et les temps de maintenance corrective. Ceux-ci comprennent les temps actifs et les temps annexes. Les temps actifs de maintenance corrective comprennent :

- temps de localisation de la défaillance,
- temps de diagnostic,
- temps de dépannage ou de réparation,
- temps de contrôle et d'essais finals.

Les temps annexes de maintenance corrective comprennent :

- temps administratifs (temps de saisie, de traitement de documents, etc.),
- temps logistiques ou durées d'attente des ressources nécessaires à l'exécution de la maintenance,
- temps techniques annexes (exemple : phase de refroidissement d'un équipement),
- temps de préparation du travail (études, méthodes, ordonnancement, etc.).

□ Chronologie des phases d'une intervention corrective « moyenne »

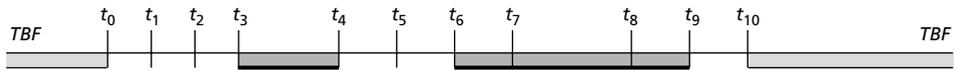


Figure 6.5 – Chronologie des temps actifs et annexes de maintenance

Observons les phases « en série » d'une Ic moyenne (figure 6.5) pour retrouver les durées de la norme AFNOR et les durées à saisir.

Avant t_0 et après t_{10} : durées de bon fonctionnement notées *TBF*

$(t_0 - t_1)$: de l'émergence à la détection d'une panne.

t_1 : émission DT, demande de travail.

t_2 : accusé de réception; la DT est enregistrée au service maintenance.

t_3 : prise en charge par un technicien disponible.

$(t_3 - t_4)$: tests, localisation, diagnostic, expertise.

$(t_4 - t_5)$: préparation de l'intervention, consignation, procédures de sécurité.

$(t_5 - t_6)$: programmation, attente d'approvisionnement.

t_6 : lancement de l'OT, ordre de travail.

$(t_6 - t_7)$: nettoyage, accès, dépose sous-ensemble.

$(t_7 - t_8)$: démontage et intervention proprement dite.

$(t_8 - t_9)$: remontage et repose.

$(t_9 - t_{10})$: essais, contrôles, réglages, déconsignation.

(t_{10}) : l'équipement est opérationnel (*TBF*).

Remarque

Les valeurs relatives de ces temps « en série » sont très variables suivant la nature des technologies défaillantes.

□ Quels temps faut-il saisir pour mesurer des *TTR* (time to repair) ?

Il semble logique de mesurer le temps de réparation par le temps « actif » de maintenance au sens de la norme. Mais dans ce cas, il faut effectuer une saisie double $(t_3 - t_4) + (t_6 - t_{10})$ alors que la réparation est caractérisée par $(t_7 - t_8)$ seulement.

Une réflexion interne consensuelle est nécessaire de façon à définir la « règle du jeu » acceptée et comprise par tous les techniciens d'intervention. En effet, ce temps servira de base à la valorisation de l'ordre de travail et à l'estimation de la *MTTR* indispensable à l'évaluation de la disponibilité de l'équipement.

Analyse de maintenabilité : distribution des durées d'intervention

Hypothèses

Soit une intervention I_c réalisée N fois et connue par retour d'expérience (par exemple, le changement du disque d'embrayage sur une voiture V).

Allure de la distribution $g(t)$

L'histogramme des *TTR* et la fonction de distribution $g(t)$ qui s'en déduit par lissage du polygone des fréquences (cas d'un grand échantillon) ont toujours la même allure, caractérisée par une dissymétrie forte entre les temps minimaux dits « optimistes » et les temps maximaux dits « pessimistes » comme l'indique la figure 6.6.

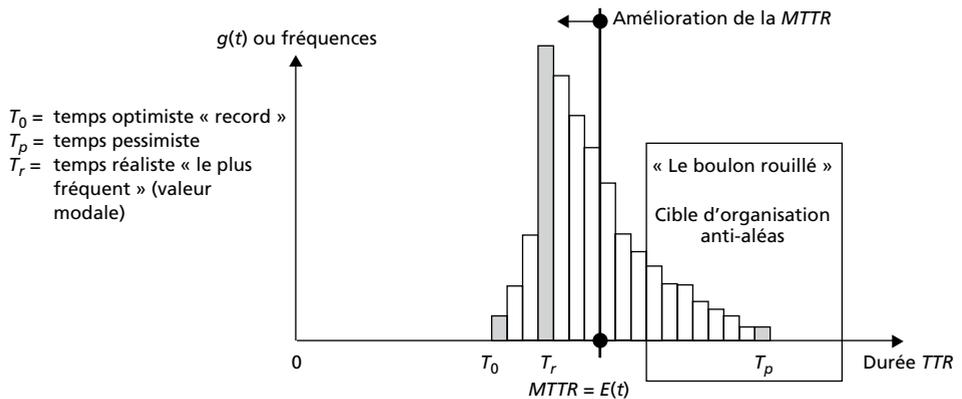


Figure 6.6 – Allure de la distribution des durées d'intervention

La *MTTR* est approximée par la moyenne statistique des durées mises en classes ou se calcule par l'espérance mathématique de la variable *TTR* lorsque l'on utilise une loi de probabilité (voir § 5.3).

Interprétations de la courbe

Cette courbe « naturelle » est très riche d'enseignements.

1. Elle est *naturelle* en ce sens qu'au-delà des durées d'interventions de maintenance elle illustre un grand nombre d'activités humaines, caractérisées par la dissymétrie entre le « ça va bien » et le « aujourd'hui, tout se passe mal » ! En maintenance, elle illustre l'argument caricatural, mais bien professionnel et très réaliste du « boulon rouillé » : pour démonter 12 boulons, il faut 11 minutes pour les 11 premiers et 1/2 heure pour le dernier, corrodé et peu accessible !

2. Améliorer la disponibilité d'un équipement est un objectif habituel de la maintenance. Il passe par l'amélioration de la maintenabilité, paramétrée par la *MTTR*.

Comment améliorer la MTTR ? Battre le « record » en travaillant vite n'est jamais la solution. Le gain sur la MTTR serait faible, et l'on ne peut pas battre des records du 1^{er} janvier au 31 décembre. De plus, la réactivité attendue des interventions de maintenance ne doit pas se faire au détriment de la qualité.

L'expérience montre que c'est par la réduction des temps les plus longs que l'on va améliorer significativement la MTTR. En observant tous les aléas qui pénalisent les interventions et en les anticipant par une meilleure préparation, par un « lancement » efficace, par l'organisation rationnelle de la logistique de soutien (documents de travail, outillages adaptés et disponibles, rechanges disponibles, etc.).

Il suffit de suivre une intervention sur le terrain pour cibler des gisements d'amélioration : déplacements inutiles, attente de moyen de levage, outillage inadapté, accès scabreux et improvisés, nettoyages longs faute d'entretien régulier, schémas non à jour, rechanges absents du magasin, etc. Pour reprendre l'argument du « boulon rouillé », il est plus rentable d'éviter qu'il ne s'oxyde (graisser au montage, choisir de l'inox) que de vouloir gagner 1 seconde par boulon !

3. Une bonne prévision des temps n'est jamais faite pour être exacte, mais telle qu'elle soit mi-optimiste et mi-pessimiste. La MTTR obéit à ce critère probabiliste, et c'est elle qui doit être portée comme « temps alloué », et non le temps réaliste T_r , car la valeur modale est distincte de la moyenne pour toute distribution dissymétrique.

4. La maintenabilité intrinsèque est un critère déterminant, puisque le gain de performance inclus à l'origine vise la zone des aléas potentiels. Le gain *ab initio* est obtenu par l'accessibilité bien pensée, par l'alarme de localisation de défaut intégrée, par la modularité qui permet un échange standard rapide, etc.

Bilan : mieux vaut passer du temps à organiser une intervention, à anticiper les difficultés pour pouvoir travailler bien plutôt que de vouloir travailler vite ! Malgré l'impatience du client qui attend...

❑ Estimation des durées d'intervention

❑ Méthode d'estimation d'une « durée prévue » à partir de la loi β

À l'hypothèse du paragraphe précédent, nous allons substituer l'hypothèse suivante : si l'on doit prévoir une durée d'intervention, elle appartient à la population distribuée selon le modèle décrit (figure 6.6). Pour une intervention préparée (contenu, moyens et ressources définis), la MTTR et l'écart-type sont estimés par les formules :

$$MTTR = \frac{T_o + 4T_r + T_p}{6} \text{ et } \sigma = \frac{T_p - T_o}{6}$$

Ces formules sont déduites de la loi β à deux paramètres p et q . Elles sont applicables sous certaines conditions généralement vérifiées pour les distributions du type étudié (BAT 77). Ces relations sont également utilisées pour l'estimation des durées de tâches et à l'évaluation du délai pour la méthode PERT (voir § 7.2).

Ces formules sont applicables « a priori » (estimation de T_o , T_r , T_p a priori) ou « a posteriori » par retour d'expérience de taille N . Si N données > 50 , le préparateur estime le temps optimiste T_o tel que 10 % des temps lui soient inférieurs, le temps

pessimiste T_p tel que 10 % des temps lui soient supérieurs et le temps le plus fréquent T_r .

La $MTTR$ ainsi facilement estimée est telle qu'il y a la même probabilité de ne pas l'atteindre que de la dépasser, ce qui caractérise une bonne prévision.

□ Autres méthodes de prévision des durées d'intervention

- L'estimation « au jugé » est basée sur l'expérience du technicien. Celui-ci donnera spontanément le temps réaliste T_r et non le temps moyen $MTTR$ cherché.
- Les méthodes déduites du MTM (*method time measurement*) sont basées sur la décomposition en mouvements élémentaires donnant des standards de temps prédéterminés. Certains standards « MTM degrés supérieurs » sont adaptés à quelques tâches répétitives de maintenance.
- Les standards de temps sont développés en interne par exploitation statistique des retours d'expérience. Ils permettent des interpolations et des corrections par facteurs d'environnement.
- La technique des « blocs de temps » utilise la vidéo pour connaître certains temps opératoires, mais elle est surtout utilisée pour analyser puis optimiser des successions d'opérations dans le cadre d'une réorganisation.
- Le chronométrage est mal vécu : à l'impression d'être jugé s'ajoute un changement d'allure, volontaire ou non, qui fausse le résultat.
- La méthode des observations instantanées (voir MON 90) permet d'estimer des temps d'états différents d'un processus continu à partir d'observations instantanées réalisées par campagne.

Exemple

L'exemple simple de la figure 6.7 illustre le principe de la méthode des observations instantanées à partir d'une succession de Marche/Arrêt dont on veut quantifier la proportion...

Illustration du principe à partir d'une succession de Marche/Arrêt à quantifier :

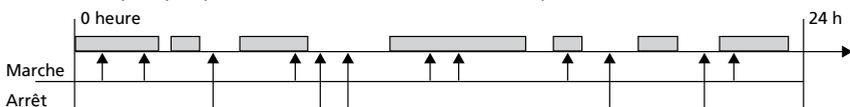


Figure 6.7 – Principe de la méthode des observations instantanées

Douze observations ont été faites à des instants pris « au hasard », donnant $p = 7$ Marche et $q = 5$ Arrêt, soit une estimation de l'engagement de $7/12 = 0,58$ soit 58 % pour l'état Marche. Sur 24 heures, l'équipement aura donc fonctionné 14 heures.

□ Optimisation des durées d'intervention

Il est possible de moduler une durée d'intervention suivant des contraintes économiques ou d'ordonnancement (tâche du chemin critique, délai à raccourcir). Les leviers d'action sont les moyens humains (effectifs et motivation), matériels et logistiques à mettre en œuvre pour une tâche donnée. Réduire la durée implique

une augmentation des moyens, donc des coûts directs de cette intervention. Mais pas obligatoirement de son coût total.

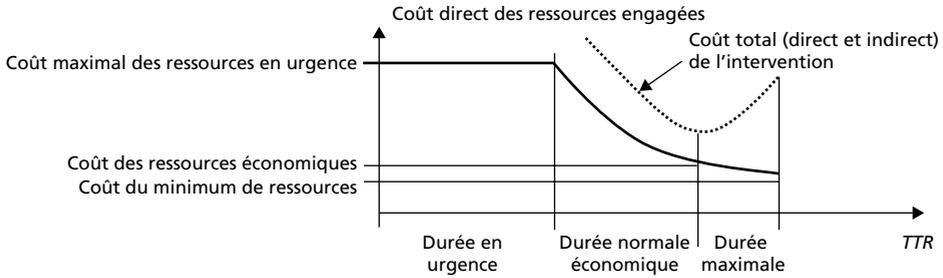


Figure 6.8 – Modulation des durées d'intervention en fonction des contraintes

Lorsqu'un agent des méthodes prépare une intervention, il lui affecte les moyens normaux économiques. C'est l'ordonnancement qui lui demandera une correction par augmentation des ressources de façon à tenir un délai.

6.2.3 Temps d'état des équipements : disponibilité/indisponibilité

□ **Vocabulaire d'après CEN WI 319-003**

Temps requis	Temps non requis	Temps requis			Temps non requis
MTI	État vacant	État d'attente	État de fonctionnement	État d'incapacité externe	
État indisponible	État disponible				

Figure 6.9 – Définition des différents états d'un équipement de production

- État d'indisponibilité : état d'un bien caractérisé soit par une panne, soit par une incapacité interne (maintenance préventive par exemple). La case *MTI* (moyenne des temps d'indisponibilité) correspond à l'état de génération de coûts d'indisponibilité propre C_i : *le système étant requis, il y a perte de production.*
- État vacant : état d'un bien qui est disponible et en état de non-fonctionnement pendant un temps non requis.
- État d'attente : état d'un bien qui est disponible et en état de non-fonctionnement pendant un temps requis.
- État d'incapacité externe : état d'un bien disponible, mais qui manque des ressources externes nécessaires.

À chaque état correspond un temps.

□ **Vocabulaire d'après l'AFNOR X 60-020**

La figure 6.10 met en évidence une difficulté de la saisie des temps d'indisponibilité : un compteur relèvera l'alternance des *MTBF* et des *MTA*, ce qui est insuffisant pour discriminer les trois temps de non-production de natures différentes. Il est nécessaire d'ajouter un boîtier d'imputation des causes d'arrêt.

En effet, la responsabilité de la maintenance n'est engagée que pour les temps propres d'indisponibilité, nommés *MTI*, le système étant requis. Ces temps d'indisponibilité propre serviront de base aux estimations des coûts de défaillance.

De plus, à l'intérieur de cette indisponibilité propre, il est nécessaire de dégager les temps actifs et les temps annexes de maintenance pour estimer la *MTTR* et pour identifier les anomalies.

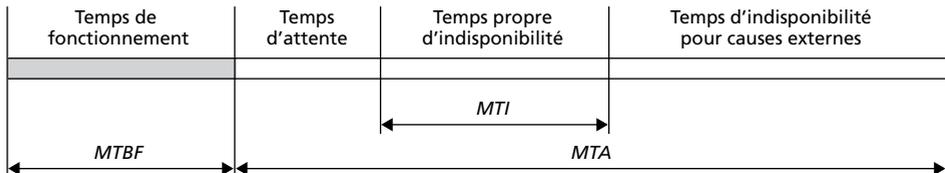


Figure 6.10 – Les temps d'indisponibilité

Remarque

Un cas intéressant relatif aux systèmes non requis concerne les systèmes de sécurité en *stand by* : sollicités, ils peuvent se révéler indisponibles, donc non opérationnels. Leur état est donc « masqué », ce qui représente un danger potentiel. L'analyse des modes de défaillances hors service se nomme *operational readiness*.

□ Conclusion

La connaissance de tous ces temps d'état à partir de mesures objectives va permettre la tenue d'un tableau de bord de gestion technique de chaque équipement sensible. Par graphes d'évolution et par ratios comparatifs. Ce tableau de bord est un outil majeur d'analyse et de proposition d'améliorations, à la condition que tous les acteurs se mettent d'accord sur une règle du jeu (quel temps porter ?) consensuelle.

6.3 L'analyse des coûts de maintenance

6.3.1 Aspects économiques de la maintenance

Le chef d'entreprise confronté à ses échéances financières sait que les coûts directs de maintenance représentent un poste de dépenses important et bien visible. Le fait que la maintenance soit en même temps *un gisement de productivité* est un fait avéré, mais moins visible. En effet, les coûts indirects, conséquences d'une maintenance insuffisamment performante, « s'évaporent » de la comptabilité analytique, mais se retrouvent inexorablement dans les coûts de production.

La maintenance est donc un champ d'action privilégié de la recherche d'amélioration des coûts de production, et c'est la seule source significative de compétitivité *indépendante des conditions extérieures* : elle ne repose que sur le professionnalisme de l'entreprise relativement à la maîtrise de l'ensemble de son système de production.

Le maintien de la production en quantité et en qualité passe par l'efficacité de la maintenance de l'outil de production.

6.3.2 Problématique des coûts de maintenance

Le problème majeur est celui de la justification a priori d'une politique de maintenance préventive. Ce qui suppose au préalable de pouvoir apporter une réponse à la question : « Que coûte une défaillance d'équipement à l'entreprise ? », puisque l'objectif du préventif est de transformer une défaillance réelle en une défaillance virtuelle. La défaillance vécue représente une perte qui a une « réalité » économique. Mais il est illusoire de vouloir estimer exactement le coût des conséquences de cette défaillance. Illustrons notre propos par un exemple :

une panne → un retard de livraison → une perte de clients → une perte de combien ?

De façon analogue, combien coûte une marée noire ? un goéland mazouté ?

Le mieux à espérer est d'estimer objectivement certaines composantes de ce coût, ce qui amène à minorer la réalité. Au grand désespoir des « managers comptables du court terme », il est illusoire de vouloir quantifier au sens comptable les conséquences liées à un événement réalisé, et plus encore à un risque envisagé. Mais le fait qu'on ne soit pas capable de les calculer ne doit pas occulter le fait qu'ils sont réels.

Il y a là un *paradoxe qu'il vaut mieux mettre en évidence qu'ignorer* avant de rentrer dans les méthodes d'estimation.

De façon plus générale, la problématique des coûts de maintenance est donc celle de la justification du coût des conséquences d'une panne puis celle de la justification du coût des mesures préventives.

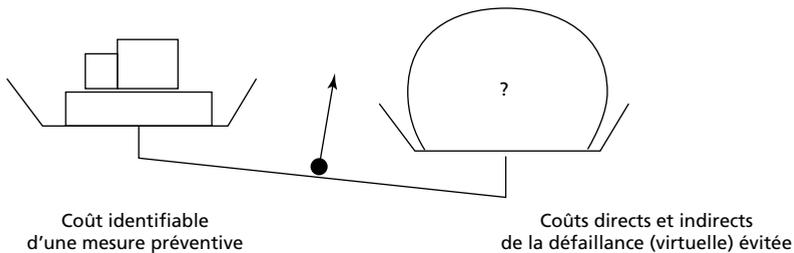


Figure 6.11

Synthèse du problème. Les coûts indirects d'une panne représentent :

- une *réalité économique* qui se retrouve dans le prix de revient final;
- une impossibilité comptable de mesure : il s'agit d'une « *réalité floue* »;
- une obligation gestionnaire d'estimation *a posteriori* (et *a priori*).

Remarque

Analogie avec le coût d'une action publicitaire :

- on sait ce qu'elle coûte (coûts directs),
- on ignorera toujours ce qu'elle rapporte au sens comptable,
- il est indispensable de mesurer son impact.

6.3.3 Quelques bases de comptabilité

Quelques notions de comptabilité sont indispensables au chef de service maintenance responsable de son budget et du suivi des coûts, ainsi qu'à tout agent des méthodes, gestionnaire des équipements et des activités. Il faut savoir que toute entreprise française doit tenir une *comptabilité générale* obligatoire, et facultativement une *comptabilité analytique* précisée en classe 9 du plan comptable.

Plan comptable français

Le plan comptable exige la tenue d'une comptabilité générale, dans laquelle tout mouvement financier crédite ou débite des comptes regroupés en classes codifiées.

Plans de comptes concernant la maintenance

Ce sont principalement les comptes de classe 3 dits « de stocks et d'en cours » et de classe 6 dits « de charge ».

Tableau 6.2 – Comptes de classe 6

Code	Intitulé
60	Achats consommés
601	Matières premières et fournitures
602	Autres approvisionnements
60222	Produits d'entretien
60223	Fournitures d'entretien et d'usines
604	Achats d'études et prestation de services
605	Achats de matériel, équipement et travaux
61	Services extérieurs
611	Sous-traitance générale
62	Autres services extérieurs
621	Personnes extérieures à l'entreprise
6211	Personnel intérimaire
6212	Personnel détaché ou prêt

Immobilisations

Par définition, ce sont des biens ou des valeurs destinés à rester durablement dans l'entreprise. Les équipements à maintenir sont des *immobilisations corporelles et amortissables*.

□ Amortissements

L'amortissement est le constat comptable d'une perte de valeur d'un équipement résultant de l'usage, d'une obsolescence technique ou de toute autre cause dont les effets sont irréversibles. Pour être amortissable, une immobilisation doit être inscrite à l'actif du bilan et doit se déprécier dans le temps.

Le plan d'amortissement s'établit à partir de la durée de vie probable du bien, suivant un modèle linéaire ou un modèle dégressif, suivant la nature du bien.

Le taux d'amortissement est donné par *l'inverse de la durabilité prévisionnelle*. Pour 5 ans, il sera de 20 %, pour 10 ans, de 10 %, pour 15 ans, de 6,67 %. Dans le cas d'un amortissement linéaire, l'amortissement annuel est obtenu par :

valeur du bien × taux d'amortissement × temps au prorata des 12 mois.

Un bien d'une valeur de 80 000 € acheté en juillet et amortissable sur 5 ans sera amorti suivant le tableau 6.3.

Tableau 6.3 – Exemple d'amortissement linéaire

Année	Période	Valeur de l'amortissement	Valeur résiduelle
N	6 mois	$80\,000 \times 0,2 \times 6/12 = 8\,000$	72 000
N + 1	12 mois	$80\,000 \times 0,2 \times 12/12 = 16\,000$	56 000
N + 2	12 mois	$80\,000 \times 0,2 \times 12/12 = 16\,000$	40 000
...
N + 5	6 mois	$80\,000 \times 0,2 \times 6/12 = 8\,000$	0

□ Charges incorporables ou non

Les charges présentes dans les deux comptabilités (générale et analytique) sont dites « incorporables ». Présentes seulement en comptabilité générale, elles sont dites « non incorporables ».

□ Comptabilité analytique

La comptabilité analytique vise à mieux assurer le contrôle budgétaire par la connaissance des principaux coûts et marges afférents aux activités de l'entreprise. Sa définition implique un *dialogue* entre les services comptables et les services techniques, puisqu'elle doit s'adapter à la structure de l'entreprise, de ses moyens de production et d'exploitation. De la qualité de ce dialogue, par nature difficile (cultures professionnelles différentes), dépendent :

- la définition d'outils de suivi des coûts de maintenance simples et efficaces. Ils seront efficaces s'ils permettent un « *diagnostic* » : un coût a des causes et des conséquences... ;
- le perfectionnement « comptable et financier » du gestionnaire technique ;

- la sensibilisation de tous les acteurs techniciens à l'aspect économique du geste technique. Ce dernier aspect est fondamental pour réaliser l'optimisation des méthodes correctives et préventives de la maintenance ;
- la découverte des aspects induits d'une réduction drastique des coûts dans le cadre d'une stratégie à court terme, tels le vieillissement accéléré et prématuré du parc matériel ou l'augmentation d'arrêts de production avec baisse de la quantité et de la qualité des produits, etc.

Une bonne comptabilité analytique doit pouvoir mettre en évidence la corrélation entre la réduction intempestive des dépenses de maintenance et la baisse des marges sur les produits vendus.

La mise en œuvre d'une GMAO permet souvent d'acquérir la maîtrise des coûts de maintenance, mais cette analyse par centre de coûts doit être compatible avec la comptabilité analytique de l'entreprise. Il serait préjudiciable que chaque service développe une comptabilité parallèle au hasard de sa propre GXAO !

6.3.4 Coûts de la maintenance corrective

Nous adopterons le modèle suivant :

$$C_d = C_m + C_i$$

C_d est le « coût de défaillance », résultant des coûts directs et indirects d'une ou d'un cumul de défaillances relatives à un équipement.

C_m est le « coût direct de maintenance » de caractérisation simplifiée « pièces et main-d'œuvre ».

C_i est le « coût d'indisponibilité » caractérisant le coût cumulé de toutes les conséquences indirectes induites par l'indisponibilité propre d'un équipement.

□ Coûts directs de maintenance C_m

Ils peuvent se rapporter à une intervention corrective (C_{mc}), préventive (C_{mp}) ou externalisée (C_{me}). Dans ce dernier cas, la facture du prestataire de service permet la valorisation directe de l'intervention.

□ Coûts prévus et coûts réalisés

Comme les temps, les coûts ont le double aspect « prévision » puis « réalisation ».

- Les *coûts prévus* sont des estimations d'engagement de dépenses liées à une activité, des « devis » de la responsabilité des agents des méthodes. Ils n'ont pas de précision comptable, mais ils doivent cerner la réalité au plus juste.
- Les *coûts réalisés* sont obtenus par la valorisation des BT (bons de travail comportant les paramètres d'une intervention) sur papier ou sur écran GMAO. Leur cumul après imputation et ventilation permet de réaliser des analyses et des diagnostics, donc la gestion et la recherche d'amélioration.

□ Constitution des coûts directs de maintenance (C_{mc} et C_{mp})

Coût de la main-d'œuvre

C'est le produit « temps relevé × taux horaire » ou :

$$TTR \times \tau_1$$

- Le temps relevé doit coïncider avec le temps passé TTR . Il est saisi sur le bon de travail (BT) après vérification par le chef d'équipe.
- Le taux horaire τ_1 , exprimé en euros/heure, est fourni par le service comptable. Il est évidemment fonction de la qualification professionnelle de l'intervenant, mais également de la politique sociale de l'entreprise. Ce qui explique sa dispersion importante, allant de 15 € à 45 €/h pour un même technicien employé dans des structures différentes. Il ne faut pas confondre le salaire horaire avec le taux horaire de main-d'œuvre !

Frais généraux du service maintenance

Ce sont les frais fixes du service, estimés à l'année et ramenés à l'heure d'activité. Ils sont parfois estimés en pourcentage du budget du service, ou intégrés au taux horaire. Ils comprennent les appointements des cadres, des employés de bureau, les loyers et assurances, les frais de chauffage, d'éclairage, de reprographie, de communication, etc.

Coûts de possession des stocks, des outillages, de machines

Aux frais de magasinage sont ajoutées les pertes et dépréciations dues au stockage. Selon les entreprises, ces coûts sont de 20 à 30 % par an de la valeur du stock.

Consommation de matières, produits et fournitures utilisées

L'exécution des tâches de maintenance exige de nombreuses fournitures, connues sur factures.

Consommation des pièces de rechange

C'est un poste important en maintenance, évalué à partir des factures d'achat qu'il faut actualiser (pièce dormante pendant plusieurs années, mais stratégique) et corriger par la prise en compte des frais de transport, du coût de passation de commande, des frais de magasinage et de l'éventuelle dépréciation.

Coût des contrats de maintenance

La maintenance de certains matériels spécifiques est parfois externalisée : le montant du contrat est négocié, généralement à l'année.

Coûts des travaux sous-traités

Ils sont connus par la facture du prestataire, puis éventuellement majorés par un taux de « participation du service » sous forme de prêt de matériel, renseignements et assistance, contrôle, etc.

□ **Total des coûts directs de maintenance**

Il est possible de regrouper les coûts de maintenance sous quatre rubriques :

- C_{mo} dépenses de main-d'œuvre,
- C_f dépenses fixes du service maintenance,
- C_c dépenses de consommables,
- C_e dépenses externalisées.

$$C_{mo} + C_f + C_c + C_e = C_m$$

Le coût de maintenance C_m peut se rapporter aussi bien au chiffrage d'une intervention isolée qu'au cumul des coûts de N interventions sur une période donnée (bilan annuel le plus souvent).

□ **Exploitation**

Lorsque le coût direct de maintenance est imputé à une somme d'interventions, le cumul des C_m permet une ventilation afférente à un équipement, à un type de matériel, à un secteur ou à un type d'activité (correctif par niveau, préventif, révisions, modernisation, rénovation...). L'utilisation d'une GMAO facilite considérablement ces mises en familles adaptées à des analyses économiques pertinentes.

Remarque

La figure 6.8 du paragraphe 6.2.2 met en évidence l'existence d'un optimum économique de C_m en fonction de la durée de l'intervention, donc des moyens mis en œuvre. Nous avons donc un levier d'action pour moduler le coût direct d'une intervention, sans négliger les risques de la non-qualité induite par une intervention trop rapide.

□ **Coûts indirects d'indisponibilité C_i**

Ces coûts indirects d'indisponibilité intègrent toutes les conséquences économiques induites par un arrêt propre d'un équipement requis. Ils sont parfois nommés coûts de perte de production ou coûts de non-maintenance.

Remarque préalable

Il est évident que certaines conséquences d'une défaillance sont difficilement quantifiables ou ne le sont pas du tout : la dégradation de l'image de marque due à un non-respect des délais de livraison venant d'un arrêt fortuit sur panne durable coûte combien ? *Le fait que l'on ne sache pas les quantifier ne doit pas masquer le fait qu'ils sont réels !* Nous considérerons donc que les C_i estimés avec le maximum d'éléments objectifs ne sont que des minorants des C_i réels.

□ **Constitution des coûts d'indisponibilité C_i**

Les conséquences d'une défaillance fortuite sur un équipement requis peuvent porter sur les éléments suivants.

- La perte de production C_p . Il est bien évident que, pendant un arrêt en fin de ligne de production (montage, par exemple), les produits non fabriqués ne sont donc pas non vendus, mais sont vendus par la concurrence... C'est le poste principal qu'il est possible d'estimer par la formule :

$$C_p = \tau_2 \times T_i$$

T_i est le temps de l'indisponibilité propre relevé pendant une période où l'équipement défaillant est requis. À défaut, le temps d'arrêt de production T_A peut être utilisé. Mais dans ce cas existent des coûts de perte de production pendant T_A non imputables à l'équipement (temps d'attente et temps d'indisponibilité pour causes externes).

τ_2 est le taux horaire, exprimé en euros/heure, déterminé pour l'équipement considéré. Il dépend majoritairement de la criticité de l'équipement à l'intérieur de l'ensemble du système de production. Des péréquations permettent de

répartir les pertes globales estimées sur l'année en les ramenant à l'heure d'activité de production et à chaque équipement sensible affecté d'un coefficient de criticité. Ce taux par équipement doit être fourni à l'agent des méthodes chargé de l'optimisation de la politique de maintenance. Lorsque le taux τ_2 intègre tous les critères de perte suivants, la formule devient :

$$C_i = \tau_2 \times T_i$$

en sachant que C_i est toujours minoré.

- Le coût de la main-d'œuvre de production inoccupée pendant T_i .
- Le coût d'amortissement (non réalisé) du matériel arrêté, le coût du matériel excédentaire.
- Le coût des arrêts induits. Particulièrement en flux tendu sur une ligne de production, faute de stocks tampons, l'arrêt d'une unité perturbe rapidement les unités amont (saturation) et aval (pénurie). Les systèmes actuels et leur organisation sont à la fois très performants et très vulnérables à la panne.
- Le coût des rebuts et de la non-qualité.
- Les frais de redémarrage de la production. Souvent, le redémarrage d'un process (hors T_i) induit une période de perte de matière ou de qualité qui oblige à éliminer les produits fabriqués.
- Les coûts induits en cas d'accident corporel. Une panne fortuite traitée dans l'urgence est malheureusement parfois génératrice d'accidents du travail en interne ou de dommage corporel au niveau des usagers.
- Les coûts induits par les délais non tenus. Pénalités de retard, perte de client ou dégradation de l'image de marque de l'entreprise.

□ Quelques réflexions à partir des coûts d'indisponibilité

- L'impact économique de chacun de ces coûts induits par l'indisponibilité d'un équipement stratégique est naturellement difficile à chiffrer. Mais s'ils sont très variables, ils n'en sont pas moins réels. Remarquons qu'ils étaient dans le passé parfois nuls ou négligeables : la panne d'une machine à coudre dans un atelier qui en contient 100 n'a d'autre conséquence que le coût direct C_m de sa remise à niveau.
- Le fait que l'évolution technologique et organisationnelle de la production ait rendu les coûts d'indisponibilité forts ou rédhibitoires est l'un des moteurs qui a fait émerger le besoin de maintenance et qui justifie son importance. Remarquons que si les C_m intègrent le budget du service maintenance, ce n'est pas le cas des C_i . Ceux-ci ne s'évaporent pas pour autant : leur réalité se retrouvera inexorablement en final pour réduire les marges de l'entreprise...
- La problématique de la maintenance se situe à ce niveau : *combien coûte à l'entreprise cet arrêt sur panne ?* La réponse est possible pour C_m , difficile pour C_i . Combien aurait coûté à l'entreprise cet arrêt que la maintenance a su prévenir, donc qui n'a pas eu lieu ? Il faut bien admettre que la justification économique du préventif ne peut se faire que par défaut, ce qui ne satisfait pas toujours le gestionnaire penché sur ses colonnes « recettes-dépenses » !

❑ Coûts de défaillance C_d

Rappelons que le coût d'une défaillance ou le coût d'un cumul de défaillances relatives à un équipement est donné par :

$$C_d = C_m + C_i$$

L'estimation du coût de défaillance et son suivi périodique n'ont d'intérêt que pour quelques équipements clés dont les répercussions des indisponibilités sont économiquement sensibles.

❑ Évolution des C_d et du besoin de maintenance

Nous allons envisager l'évolution du ratio $r = C_i/C_m$ dont la croissance de 0 à 1, 10, 100 traduit le besoin de maîtriser le comportement des systèmes par la maintenance et, au-delà, d'utiliser les techniques de la sûreté de fonctionnement pour assurer une bonne disponibilité à l'origine.

Partie visible : les coûts directs de maintenance

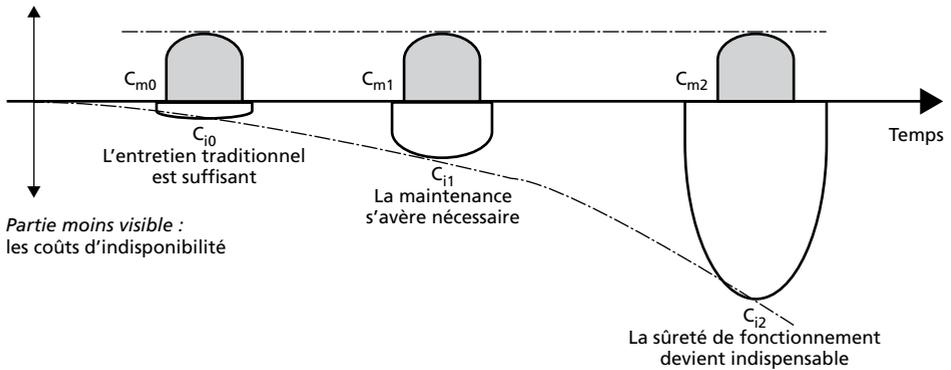


Figure 6.12 – Évolution des coûts d'indisponibilité

L'image traditionnelle de « l'iceberg des coûts » de la figure 6.12 montre que les coûts directs C_m liés aux défaillances sont d'une part bien « visibles », d'autre part sensiblement constants.

Par contre, les coûts C_i des conséquences des défaillances subissent une forte croissance sur les équipements sensibles utilisés « en série » et gérés en flux tendus. Ils ne se révèlent qu'a posteriori, et seulement de façon partielle, tout au moins sur le plan comptable.

Remarque

Dans un même atelier, deux machines voisines peuvent engendrer l'une des $C_i = 0$, l'autre des C_i critiques. La sélection des équipements en fonction de leurs *coûts d'indisponibilité estimés* est donc un prérequis au choix de la politique préventive à leur appliquer.

□ Optimisation des coûts de défaillance C_d

C_m et C_i varient en sens inverse, dans la mesure où la réduction des temps d'indisponibilité est le résultat d'une maintenance préventive plus efficace.

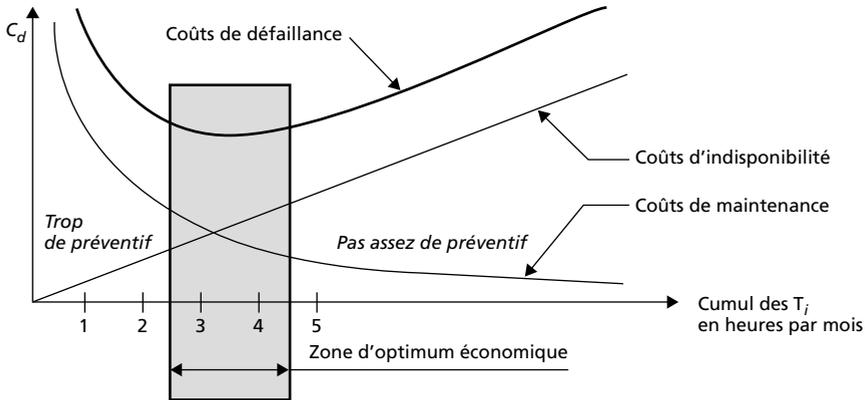


Figure 6.13 – Quel soin préventif apporter à un équipement ?

La figure 6.13 met en évidence la proportionnalité $C_i = \tau \times T_i$, les T_i étant relevés en heures d'indisponibilité par semaine ou par mois. Les coûts directs de maintenance sont dans ce cas surtout préventifs, le graphe montrant l'existence d'une « limite » de disponibilité intrinsèque qui demande trop de coûts directs pour être approchée. Dans notre exemple, vouloir avoir moins de 2,5 heures d'indisponibilité par mois exigerait trop de soins préventifs.

6.3.5 Coûts de maintenance préventive

Les coûts de maintenance préventive (C_{mp}) varient logiquement à l'inverse des coûts directs de maintenance corrective (C_{mc}). En fait, la stratégie de maintenance permet de choisir librement le niveau de soin préventif à organiser sur un équipement. Dans ce cas, les coûts correctifs deviennent des coûts résiduels.

□ Cas de la maintenance systématique

Le coût total annuel de la maintenance d'un équipement peut se simuler sous la forme :

Coût total = Coût du préventif systématique + Coût des défaillances résiduelles

$$C_{total} = \frac{t}{T} C_{mp} + C_d \lambda t$$

t est la période de référence (1 an, par exemple) exprimée en heures.

T est la période d'intervention systématique.

t/T est le nombre d' I_{ps} pendant la période de référence.

λ est le taux de défaillances résiduelles, en panne/heure.

C_{mp} est le coût d'une I_{ps} .

$C_d = C_{mc} + C_i$ est le coût d'une défaillance résiduelle.

En règle générale, il appartient aux agents des méthodes de programmer les interventions préventives sans perturber la production. Les interventions seront donc réalisées en dehors du « temps requis », soit en profitant d'un arrêt programmé (voire fortuit) de production ou d'une révision, soit en utilisant des plages d'intervention en dehors de l'horaire de production (exemple des équipes VSD, vendredi, samedi, dimanche).

Sauf exception, les coûts de maintenance préventive systématique ne seront donc associés à aucun C_i . Ils sont constitués de la même façon que les coûts de maintenance corrective « pièces et main-d'œuvre ».

❑ Cas de la maintenance conditionnelle

Dans le cas de la maintenance conditionnelle, remarquons :

- que le temps de réaction après alarme ne permet pas forcément de prendre des dispositions pour ne pas subir de temps d'indisponibilité en temps requis, donc les C_i correspondants. Dans ce cas existera un « coût résiduel de défaillance prévenue » bien inférieur cependant au coût de la défaillance non prévenue;
- que la mise en œuvre initiale passe par un « investissement » sous forme de chaînes d'acquisition de données ou d'appareils de mesure ou de monitoring parfois coûteux.

6.3.6 Les pertes économiques en maintenance productive totale

Dans une logique de TPM, le taux de rendement synthétique *TRS* d'un équipement intègre les différents événements susceptibles d'être « causes » de pertes économiques, donc de devenir des gisements potentiels d'économie. Cela de façon décloisonnée entre les services production, maintenance et qualité. De la même manière que pour l'estimation des coûts d'indisponibilité propres, les pertes économiques liées aux différents dysfonctionnements d'un équipement ne peuvent être estimées que de façon approximative et minorée.

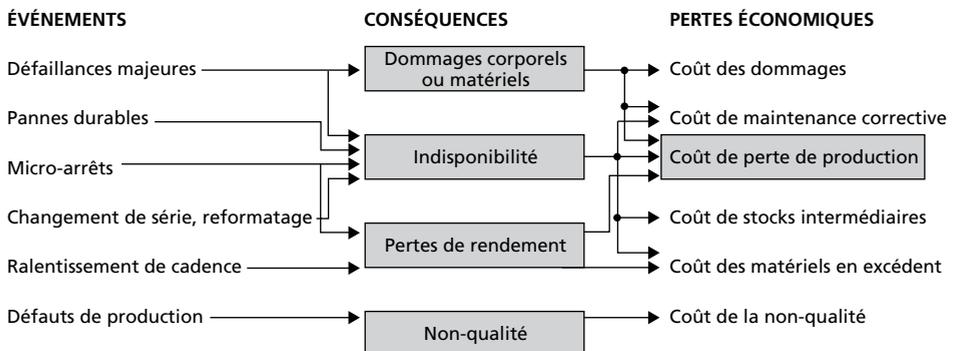


Figure 6.14 – Les pertes de productivité liées aux équipements

Le coût de perte de production utilisé ici est différent du précédent C_i , coût d'indisponibilité qui se référerait à « l'indisponibilité propre » du domaine de responsabilité stricte de la maintenance. Dans une logique TPM, le système est indisponible quelle

que soit la cause de l'indisponibilité, intrinsèque ou externe. Par contre, tous les coûts induits par l'indisponibilité d'un équipement sont de même nature. En particulier, la dégradation de l'image de marque ainsi que la perte potentielle de marchés sont des conséquences communes aux six événements identifiés.

Remarque

Le coût du cycle de vie (*LCC* ou *life cycle cost*) d'un équipement ainsi que son « coût moyen annuel » sont analysés au paragraphe 9.4 intitulé « Maîtriser le cycle de vie d'un équipement ».

6.4 La préparation des actions de maintenance corrective

6.4.1 Préparer la maintenance : est-ce rentable ?

□ Introduction

La préparation du travail est une des missions du bureau des méthodes de maintenance. Elle a pour vocation première d'être « une aide à la réalisation » dans le but de réduire les durées d'intervention des techniciens et les durées d'immobilisation des équipements. Donc d'améliorer leur disponibilité, donc la productivité de l'entreprise. La réduction des *MTTR* s'obtiendra par une anticipation de tous les temps improductifs et de tous les aléas susceptibles de faire durer une intervention, ainsi que nous l'avons montré sur la figure 6.6 du paragraphe 6.2.2.

□ Quelques réflexions préalables

Aucun travail important ne saurait être mené à bien s'il n'est pas préparé en amont de l'exécution. Toute tâche technique est inévitablement préparée. Parfois seulement par la réflexion de l'intervenant. Ainsi, planter un clou dans un mur implique une réflexion préliminaire de préparation. Le problème n'est donc pas de savoir si l'on doit préparer ou non, mais de trouver le « niveau de formalisation » le mieux adapté à la nature de la tâche à exécuter.

En maintenance, la réalisation des travaux se fait en dehors des conditions normales de fonctionnement des équipements, donc a priori « hors sécurité ». Le premier réflexe à avoir avant l'exécution d'une tâche est de *définir les conditions de sécurité* des intervenants. Même et surtout en situation d'urgence.

□ Quelques spécificités des tâches de maintenance corrective

- Elles sont d'amplieurs très variables : du petit dépannage en quelques minutes à des réparations lourdes requérant des équipes complètes.
- Elles peuvent être urgentes, ou dangereuses, ou techniquement délicates, ou tout à la fois !
- Elles sont effectuées par des techniciens spécialistes connaissant bien les matériels.
- Elles sont effectuées par des techniciens parfois soumis à la pression des coûts d'indisponibilité.
- Elles sont parfois répétitives et parfois inédites.
- Elles sont par nature fortuites, ce qui ne signifie pas qu'elles sont inattendues ni préparées.

L'agent des méthodes doit avoir tous ces éléments à l'esprit pour adapter le contenu et le dimensionnement de sa préparation au contexte. Le dernier point est spécialement important : nul ne peut « prédire » la date d'une panne catalectique, mais il est toujours possible de « prévoir » sa nature et sa probabilité (AMDEC par exemple) et de la préparer. À l'image de votre constructeur d'automobile, qui vous a livré votre auto avec une roue de secours, un cric et le mode opératoire : mais ne lui demandez pas la date de votre prochaine crevaision !

□ Définition de la préparation

La préparation est une tâche d'anticipation des difficultés rencontrées sur le terrain, effectuée par un technicien qui connaît le terrain : l'agent des méthodes (voir § 6.1.2). Elle consiste à prévoir les paramètres d'exécution d'une tâche, à identifier les problèmes potentiels, à définir les besoins puis à rédiger les documents de préparation.

La préparation d'une tâche corrective peut se faire avant la défaillance (cas d'une défaillance attendue avec préparation anticipée) ou après la défaillance (cas d'une défaillance non prévue avec préparation « à chaud »).

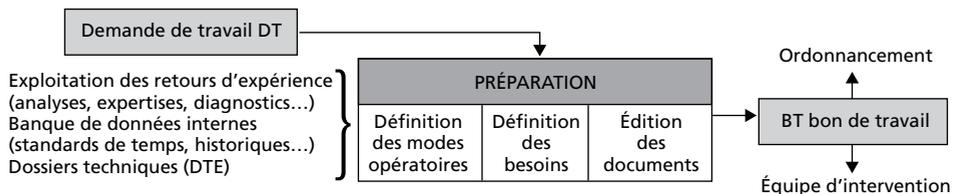


Figure 6.15 – Situation et rôle de la préparation du travail de maintenance corrective

Suite à la défaillance détectée et à l'émission d'une DT, s'il ne s'agit pas d'un simple dépannage, le rôle du préparateur est d'aller sur le site. Seule l'observation *in situ* des faits techniques lui permettra de réaliser une « expertise » préalable à la définition des mesures de sécurité et des opérations de remise à niveau.

□ Rentabilité de la préparation

Le problème de la rentabilité de la préparation est de même nature que celui de la maintenance préventive : ce qu'elle coûte est bien visible, ce qu'elle économise ne l'est pas, car une intervention bien préparée et exécutée « sans problème » paraît naturelle. Analysons les gisements de gaspillage de temps que cette préparation a évité :

- temps de recherche de DTE, de schémas, de plans, d'historiques, etc. ;
- temps de recherche et de choix d'outillage, voire de leur confection ou de leur adaptation ;
- temps de recherche de matières et de produits ;
- temps d'attente au magasin pour la pièce de rechange parfois manquante : alors, temps de la course avec un véhicule de service pour la chercher chez un distributeur industriel, voisin ou non ;

- temps de parcours entre le site, les magasins, les bureaux, etc. ;
- temps d'attente d'instructions ;
- temps d'hésitation sur le mode opératoire, temps de démontages s'avérant inutiles.

Cette liste des gaspillages de temps (donc de coûts) n'est malheureusement pas exhaustive et l'observation *in situ* d'interventions non préparées est édifiante sur le rapport temps de travail productif/temps non productif.

□ Recherche d'un niveau optimal de formalisation d'une préparation

La courbe théorique 6.16 montre l'existence d'un optimum, mais est surtout instructive pour éviter les deux écueils que sont la sous-préparation et la sur-préparation.

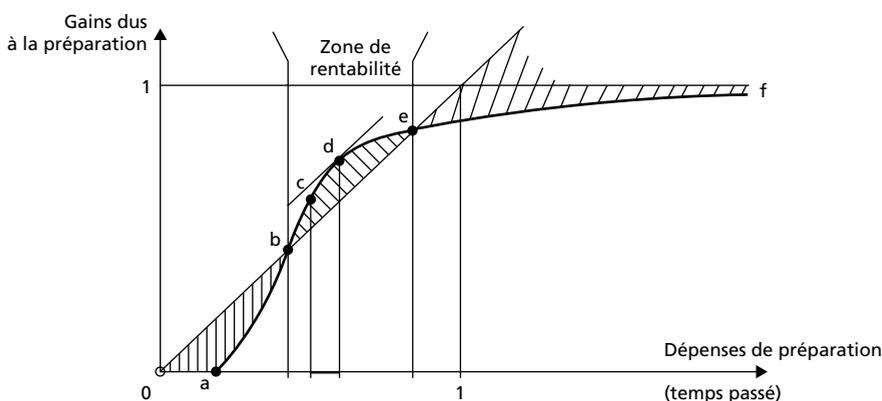


Figure 6.16 – Une préparation doit être rentable

0, a, ab : préparation trop superficielle pour être utile.

c, d : préparation optimale bien adaptée au travail à réaliser.

e, f : préparation trop détaillée, donc trop partiellement exploitée, s'adressant à des techniciens compétents.

Notons qu'outre son caractère opérationnel une préparation peut avoir une justification « juridique » dégageant la responsabilité du préparateur en cas de procédure non suivie. A contrario, elle peut engager la responsabilité du préparateur en cas de procédure erronée ou insuffisante (accident du travail, dommages important aux installations).

□ La préparation se justifie par un « contrat de résultat »

Les résultats attendus d'une préparation efficace sont :

- la qualité du travail, avec en corollaire la confiance du « client producteur » ;
- le temps d'indisponibilité *MTI* et la durée d'intervention *MTTR* réduits par l'anticipation des aléas, avec en corollaire moins de stress chez les techniciens et une réduction des coûts directs (*MTTR*) et indirects (*MTI*) ;
- la sécurité des biens et des personnes assurée ;

et exceptionnellement, suivant la nature de certains travaux spécifiques :

- la rapidité (intervention en milieu agressif, par exemple) ou la précision (cas d'une opération délicate).

6.4.2 Contenus d'une préparation

□ **Prise en compte de la sécurité**

Les situations de maintenance entraînent souvent la perte de la sécurité intégrée au matériel par le constructeur, prévue souvent pour la marche normale et non pour les modes dégradés. Cela reste vrai bien que les directives européennes et la loi 91-1414 du 31 décembre 1991 stipulent que les équipements « doivent être conçus et construits de façon que leur mise en place, leur utilisation, leur réglage, *leur maintenance* n'exposent pas les personnes à un risque d'atteinte à leur sécurité et à leur santé ». Se référer à la brochure INRS 94 relative à la maîtrise du risque en maintenance.

□ **Rôle du préparateur**

La responsabilité du préparateur peut être engagée en cas d'accident survenant lors d'une intervention de sa compétence. Son premier réflexe doit donc être de « penser sécurité » par estimation du risque face à une situation dangereuse, quelle que soit l'urgence. Son rôle est de « concevoir » la sécurité particulière de chaque « phase » d'intervention en accord avec :

- les textes et règlements généraux relatifs à la sécurité ;
- les règlements concernant les technologies, les matériels spécifiques du site et leur environnement ;
- la liste des habilitations.

□ **Méthodologie d'identification des risques, à mettre en œuvre à partir de l'observation sur le terrain**

1. *Zone* : définir la zone concernée, les modalités d'accès à la zone et à l'équipement identifié « défaillant ». Créer un périmètre balisé interdit ou réglementé et les procédures de condamnations éventuelles.
2. *Ambiance* : caractériser « l'ambiance » de la zone : atmosphérique, lumineuse, sonore, thermique, de rayonnement, etc.
3. *Énergie* : identifier les énergies présentes sur zone, qu'elles soient actives ou inactives : électrique, mécanique, chimique, hydraulique, etc. et les risques liés à ces énergies.
4. *Informations* : définir les flux d'information entrants ou sortants de la zone (cas d'une commande centralisée) de façon à prévenir des interactions avec les opérations de maintenance.
5. *Intervention* : pour chaque phase d'une intervention, identifier les risques liés aux *conditions du travail* (en hauteur, en zone exiguë, à l'extérieur, etc.), à la *mise en œuvre de l'opération* (avec points chauds, avec produits corrosifs, levage et manutention, dégagements gazeux, etc.), aux *intervenants* (succession d'équipes, stress).

6. *Interférence* : lors de la planification, veiller à ce que la proximité de travailleurs exécutant des missions différentes et dangereuses l'une pour l'autre soit prise en compte ; ex : des travaux de peinture à quelques mètres d'une opération de soudage.

□ **Définition des mesures de sécurité à partir des risques identifiés**

Ces mesures doivent figurer sur les préparations remises aux équipes. Dans le cas d'interventions externalisées, le gestionnaire doit faire signer au prestataire de service les règles permanentes de sécurité de l'entreprise et les consignes spécifiquement préparées pour l'intervention contractée.

□ **Définition des modes opératoires : la gamme d'intervention**

□ **Décomposition d'une gamme d'intervention : notion de phase**

Suivant l'ampleur du travail, il sera défini par une « gamme » décomposée en phases, sous-phases et opérations, chacune étant repérée.

Les GMAO permettent de gagner du temps en utilisant des gammes pré établies ou en réutilisant des gammes déjà utilisées.

Définition de la phase

La phase de travail est l'ensemble des opérations qu'il est logique de grouper afin de les confier à une même équipe d'intervention, dont le début et la fin sont bien définis et dont le contenu est contrôlable.

Avantages du découpage en phase

- Estimer le « temps prévu » et identifier les moyens nécessaires pour chaque phase.
- Suivre facilement l'avancement d'un travail en veillant à l'enclenchement des phases.
- Composer une équipe dont la taille et les qualifications sont adaptées à la réalisation souhaitée.
- Ne fournir à l'équipe que les instructions précises et les documents spécifiques de la phase.
- « Faire ou faire faire » : il sera facile de sous-traiter une phase à une entreprise extérieure.
- Assurer facilement le contrôle.
- Valoriser C_m , coût direct de maintenance de la phase.

Remarque relative à l'enclenchement des phases

Suivant l'ampleur du travail, le préparateur réalisera un dossier d'ordres de travail ou un ordre de travail isolé correspondant à une seule phase. Sur le dossier, un schéma d'enclenchement des phases établi suivant le modèle « série, parallèle » sera fourni à l'ordonnancement et aux équipes.

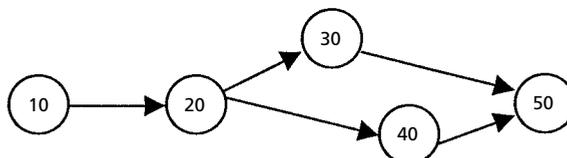


Figure 6.17 – Schéma d'enclenchement des phases

Les phases 30 et 40 sont prévues « en parallèle », la durée la plus longue des deux étant seule prise en compte pour la détermination du délai (notion de chemin critique). Un exemple de dossier d'OT et de son schéma d'enclenchement sera donné au paragraphe 7.1.

□ Phases extrêmes

- Prendre l'habitude de commencer la gamme par une phase systématique 10 « mesures de sécurité ».
- Terminer la gamme par les deux phases systématiques « contrôle » et « essais ».

□ Gamme-type

Lorsqu'une intervention est répétitive, il est possible d'économiser du temps de préparation en réalisant une gamme-type. Prenons l'exemple d'une papeterie possédant un millier de pompes centrifuges de marques et de performances différentes : il est toujours possible de rédiger une gamme commune pour les opérations principales (rouet, ligne d'arbre, étanchéité) quitte à individualiser ensuite les préconisations sur le BT. La gamme-type peut être utilisée en correctif ou en préventif (gamme de révision périodique).

□ Définition des besoins

Une préparation ayant comme vocation d'être une « aide aux intervenants », il est logique qu'elle recense leurs besoins et qu'elle définisse les moyens nécessaires à l'intervention. À chaque BT seront donc associés les besoins en personnel et les besoins en moyens : informations, outillages, matières, produits et pièces.

La GMAO permet de vérifier la présence en magasin des matériels et pièces de rechange et de les réserver.

Remarque

Il appartiendra à la sous-fonction « lancement » de regrouper ces moyens en assurant leur disponibilité à l'heure H, jour J, ce qui est fondamental pour réduire les gaspillages des temps non productifs (voir § 7.1 et figure 6.6).

□ Besoins en personnel

À partir de la nature des travaux envisagés, il est nécessaire que le préparateur compose une « équipe » à partir de la liste des qualifications et des habilitations présentes. C'est à ce niveau que le choix d'une externalisation est nécessaire, faute de compétences en interne sur le champ requis par la tâche. Notons que le temps prévu et la dimension de l'équipe sont deux facteurs liés (voir figure 6.8).

□ Besoins en moyens matériels

Énumérons les besoins caractéristiques de la logistique de maintenance.

- La *documentation*, sous forme de DTE (plans, schémas, etc.), d'historique de l'équipement concerné, et spécialement la dernière intervention réalisée, et bien sûr la préparation et son BT.
- La *liste des outillages spécifiques* : testeurs, appareils de contrôle, outils hors standard, etc.
- La *liste des moyens spécifiques* : échafaudage, levage, manutention, etc.

- La *liste des matières et des produits* : graisse, solvant, pâte à joint, etc.
- La *liste des fournitures et des pièces de rechange* : de la quincaillerie (vis, roulements, composants, etc.) à la pièce et au module de rechange (carte électronique, distributeur, moteur électrique, etc.).

Afin de réduire les durées MTTR, il est souhaitable que le BT soit accompagné des BSM (bons de sortie magasin) portant la désignation, la codification et les références, le nombre et l'imputation comptable à l'OT ouvert. Cette organisation permet au magasinier de préparer la commande (si nécessaire, émission de DA, demande d'approvisionnement) dans l'attente du « lancement ».

Dans les entreprises et les GMAO, l'OT sera parfois appelé BT et le BT appelé opération ou tâche. De même le BSM sera parfois nommé liste à servir ou réservation, bon de sortie mais l'esprit est le même.

Édition des documents opérationnels

Le préparateur aura à finaliser son analyse du travail par la rédaction et l'émission des documents afférents à l'intervention et destinés à l'ordonnancement ou directement au chef d'équipe suivant l'importance et l'urgence de la tâche.

Choix du support

Les documents peuvent être tout papier, ou tout informatique avec l'aide d'une GMAO performante, ou mixte. Il n'y a pas de bon modèle standard de BT : le bon modèle est celui adapté au contexte du service et établi en concertation avec les techniciens chargés de les utiliser. C'est un bon moyen si l'on veut qu'il soit exploitable en retour d'expérience.

Nature des documents

La base de l'organisation traditionnelle, informatisée ou non, repose sur le tryptique DT, BT, OT.

- DT : demande de travail n° xxxx correspondant à l'ouverture d'un compte d'imputation.
- OT : ordre de travail n° xxxx, destiné à l'ordonnancement.
- BT : bon de travail destiné aux méthodes, qui est un résumé de la préparation. Le BT peut servir de document d'enregistrement du travail effectué, visé par le chef d'équipe.

Dans le cas d'un travail important sera établi un dossier de BT découpé en phases. Chaque phase aura un bon de travail associé à un n° de BT. Le mode opératoire simplifié sera rédigé sur le BT, portant le temps alloué et accompagné si nécessaire :

- des procédures de sécurité ;
- d'une gamme détaillée comportant le détail des opérations et les moyens matériels requis ;
- de la documentation utile (DTE complet ou tirés à part) ;
- des BSM destinés au magasin ;
- du bon de consignation éventuel de l'équipement, destiné à la production.

❑ Cas de la préparation du travail externalisé

La préparation est dans ce cas plus lourde, puisqu'elle doit préciser en plus des clauses techniques :

- les mesures de sécurité, générales pour l'entreprise et particulières pour le travail demandé;
- les modalités d'accès au site;
- la nature de l'aide logistique apportée en interne;
- les compétences du personnel du prestataire et leurs conditions de travail;
- les modalités du contrôle du travail réputé achevé (voir le § 8.4, dédié à l'externalisation de la maintenance).

Il appartient au préparateur de rédiger l'appel d'offre, puis le contrat avec les clauses économiques et, en l'absence de spécialiste du droit, les précautions juridiques : quand nous attirions l'attention sur la nécessaire polyvalence d'un agent des méthodes !

❑ Conclusion : qu'est-ce qu'une bonne préparation ?

C'est une préparation « minimale » en temps passé et en volume rédigé qui aura servi sur le terrain :

- à assurer la sécurité des intervenants;
- à les guider sans ambiguïté lors des opérations successives;
- à anticiper leurs difficultés, réduisant la part d'improvisation;
- à éviter la majorité des temps improductifs (attentes, déplacements inutiles, démontages sans intérêt).

Pour arriver à ce résultat de rentabilité de la préparation, un *climat de confiance réciproque* est indispensable dans le dialogue entre les techniciens et le préparateur, homme de terrain, rappelons-le.

6.5 La préparation des actions de maintenance préventive

6.5.1 Rappel sur la nature des opérations préventives

Ce chapitre complète les éléments exposés dans les paragraphes 2.1, 2.2, 2.3 (les maintenances préventives) et 3.4 (plan de maintenance) à partir desquels nous allons identifier le rôle spécifique du préparateur. Reprenons la définition AFNOR X 60-100 de la maintenance préventive : « Maintenance ayant pour objet de réduire la probabilité de défaillance et de dégradation d'un bien ou d'un service rendu. Les activités correspondantes sont déclenchées selon un échancier établi à partir d'un nombre prédéterminé d'unités d'usage (maintenance systématique) ou de critères prédéterminés significatifs de l'état de dégradation du bien ou du service (maintenance conditionnelle). »

□ Cas de la maintenance systématique

Toutes les interventions préventives systématiques I_{ps} ont en commun d'être déterminées par une période constante T caractérisant un échancier. La préparation consiste à établir ces échanciers par application de la méthode ABAC-ABAD, puis à définir les gammes d'opération pour chaque nature d'activité.

Tableau 6.4 – Nature des interventions I_{ps} à préparer

Nature	Niveaux	Périodicité
Les consignes permanentes de poste	1	1 jour à 1 semaine  1 an ou plus
Les rondes de surveillance sur certains secteurs du site	1	
Les opérations d'automaintenance, dans le cas de la TPM	1	
Les opérations de lubrification	1,2	
Les visites préventives sur les équipements	2	
Les remplacements préventifs de composants et de modules	1,2,3	
Les contrôles périodiques obligatoires		
Les révisions périodiques d'équipement, partielles ou générales	3,4	
Les arrêts périodiques d'unités de production (secteurs)	4	

□ Cas de la maintenance conditionnelle

La maintenance conditionnelle pose un problème différent, puisque la préparer revient à la mettre en œuvre, suivant la méthodologie proposée au paragraphe 2.3.2. La surveillance des paramètres significatifs et des seuils peut se faire de deux manières :

- par surveillance centralisée, la collecte des informations d'états étant automatique ;
- par surveillance *in situ*, la collecte des informations se faisant par rondes systématiques. Dans ce cas, la préparation des rondes (fréquence, « route », définition des relevés, procédure d'alarme face à un seuil atteint) s'apparente à la maintenance systématique.

Les interventions préventives conditionnelles I_{pc} peuvent se préparer par analogie avec les interventions correctives I_c prévues. L'alarme génère un OTP (ordre de travail préventif) dont le contenu est prédéfini par le préparateur sur une gamme d'intervention.

6.5.2 Préparation de la maintenance préventive systématique

□ Rôle du préparateur

Dans le cas de la maintenance systématique, le rôle de l'agent des méthodes est double : il a la charge d'analyser les données relatives à une tâche pour en déduire les modalités de sa préparation (figure 6.18).

Le rôle « préparateur » de l'agent des méthodes est indissociable de son rôle « analyste », le systématique devant être vivant, c'est-à-dire progressivement optimisé économiquement en fonction des effets mesurés du préventif et de l'environnement économique de l'entreprise. Techniquement existe la liberté de faire un peu ou beaucoup, pas assez ou trop de préventif systématique : c'est pourquoi la détermination d'objectifs associés à un budget est indispensable, et que ces objectifs doivent être périodiquement révisés.

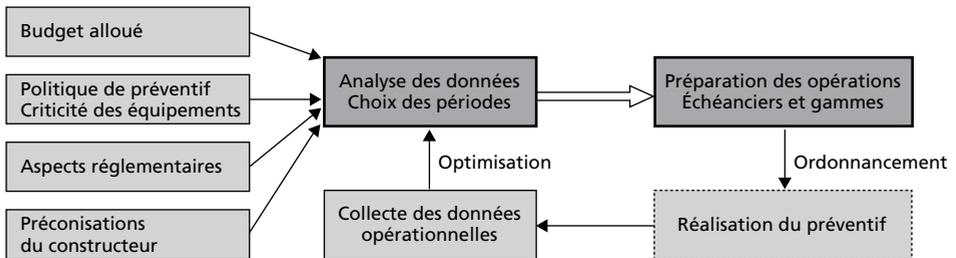


Figure 6.18 – Préparation de la maintenance systématique

En tant qu'analyste, l'agent des méthodes a la responsabilité du choix des unités d'usage (relatives au fonctionnement ou calendaires) et de la prédétermination du nombre d'unités (période T).

En tant que préparateur, il doit établir l'échéancier relatif à un équipement, assurer la cohérence des échéanciers au niveau du site et rédiger les gammes pour chaque type d' I_{ps} (figure 2.6). Le préparateur doit élaborer, pour chaque équipement « sensible » bénéficiant d'une maintenance préventive :

- le plan de maintenance préventive de l'équipement, synthèse des prises en charge préventives ;
- les consignes permanentes (fréquences de 1 jour à 1 semaine) ;
- l'échéancier ABAC-ABAD des visites et des interventions I_{ps} ;
- les gammes de visites et de changements préventifs d'organes (composants, modules ou fluides) ;
- les révisions et autres opérations lourdes de maintenance préventive, avec leurs dossiers d'OTP.

□ Consignes permanentes de poste : l'automaintenance

Rentrent dans ce cadre toutes les procédures de premier niveau de maintenance progressivement transférées aux opérateurs de production, concernant des tâches répétitives simples. Ces tâches, dites d'automaintenance, s'ajoutent aux responsabilités de *conduite de l'équipement* lorsqu'elles sont acceptées par les équipes d'opérateurs

formés à cet effet. L'automaintenance va plus loin, évoluant vers plus d'autonomie : en autodépannage, les opérateurs sont progressivement appelés à prendre des initiatives face à des petites défaillances, des dérèglages, des défauts, etc.

□ **Contenu des consignes permanentes de maintien de premier niveau d'un équipement**

Ces consignes, allant du quotidien à l'hebdomadaire, concernent la propreté, les vérifications à l'arrêt, la « surveillance active » en fonctionnement et l'alerte éventuelle (recours aux techniciens de maintenance). À savoir :

- les consignes de nettoyage, de propreté et de rangement;
- les vérifications visuelles de l'état de zones prédéterminées à l'arrêt et en marche;
- la surveillance « sensible » du bon fonctionnement (bruits, odeurs, points chauds, etc.);
- la surveillance de la normalité de paramètres à relever (pressions, débits, températures, etc.);
- les procédures d'alerte en cas d'anormalité constatée (appel maintenance avec ou sans arrêt d'urgence);
- la liste des petites actions techniques à mettre en œuvre sans démontage. Quelques exemples : resserrer des vis, retendre une courroie, changer une lampe, une carte électronique ou un filtre, purger un circuit, effectuer des réglages et des étalonnages simples, etc.;
- la définition des opérations de lubrification : contrôle des niveaux et appoints si nécessaire.

□ **Importance des consignes d'automaintenance**

Il est important que les cadres, la maîtrise et les opérateurs considèrent ces actions comme fondamentales dans une démarche de progrès, et surtout pas de façon péjorative ! Prenons trois exemples.

- Un nettoyage soigneux, au-delà de la qualité visuelle, permet d'éliminer bien des causes de défaillance liées aux saletés (encrassement, colmatage, etc.). De plus, l'action de nettoyage amène à découvrir des défauts (fuites, rayures, jeux, etc.) sources de défaillance ultérieure.
- La fixation d'éléments desserrés réduit les vibrations (balourd, désalignement, etc.) pouvant induire des conséquences graves.
- Le manque de rigueur concernant la lubrification induit des défaillances mécaniques majeures.

L'ensemble de toutes ces actions est du « préventif à la source », générateur de qualité et d'économies substantielles, etc. Nous renvoyons le lecteur au management participatif et au *kaizen*, paragraphe 9.2.

□ **Rédaction des fiches d'automaintenance**

Ces fiches, étant destinées à une équipe d'opérateurs, doivent être :

- élaborées sur le terrain en concertation avec les opérateurs, puis testées pour validation;
- à disposition immédiate sur le poste (par écran ou papier);

- « visuelles » : usage de pictogrammes, de codes couleurs, de photos, de schémas simplifiés, etc.;
- concises (précises et minimales) et non redondantes (économie de saisie);
- évolutives : suppression, ajout et modification de procédure possible;
- minimales au sens des écritures à reporter par l'opérateur : compromis à trouver entre la croix (action faite) et la colonne « observations, suggestions ». Penser à réduire les temps administratifs.

N°	Opération		Résultat			Observations – Suggestions
	Pictogramme	Désignation	Fait	Bon	Problématique	
40	<input type="checkbox"/>	Contrôle niveau d'huile (jauge j2 sur photo)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Huile « chargée » peut-être à analyser

Figure 6.19 – Exemple de fiche d'automaintenance

Cette suggestion relative à « l'huile chargée », que l'on pourrait peut-être analyser pour décider d'une vidange anticipée, peut prévenir de gros dégâts éventuels.

□ Échéanciers de visites préventives

Ils peuvent être présentés sous forme de planning à exploitation visuelle ou intégrés à un système informatique de gestion qui délivre chaque semaine le listing des opérations préventives à réaliser.

Exemple d'application de la méthode ABAC-ABAD aux visites préventives

Les visites préventives d'un équipement sont fixées ainsi :

- opération 1 toutes les 500 heures de fonctionnement relevées sur le compteur;
- opération 2 toutes les 1 000 heures;
- opération 3 toutes les 2 000 heures;
- opération 4 toutes les 4 000 heures;
- opération 5 toutes les 8 000 heures (coïncidant si possible avec une révision).

Tableau 6.5 – Échéancier de visites préventives systématiques

Heure de marche	500	1 000	1 500	2 000	2 500	3 000	3 500	4 000	...	8 000
Type de visites	A	B	A	C	A	B	A	D	...	E
Opérations	1	1+2	1	1+2+3	1	1+2	1	1+2+ 3+4	...	1+2+ 3+4+5

Pour chaque « opération » sera préparée une « fiche de visite », ou « gamme de visite ». Ici 4 préparations suffisent puisque la révision 5 impliquera sans doute la réalisation d'un dossier complet établi après une inspection préalable de l'équipement.

□ **Gammes d'interventions préventives systématiques**

Les interventions I_{ps} comprennent les visites et les remplacements systématiques de composants, de fluides ou de modules (sous-ensembles). Les visites de maintenance systématique ont un caractère répétitif, qui permet souvent d'établir une « gamme-type » permanente.

□ **Contenu d'une gamme-type de visite**

- Le numéro d'OTP, ordre de travail préventif ouvert pour chaque visite préventive.
- La période T choisie, comprise généralement entre 1 semaine et 6 mois, ou exprimée en heures de marche suivant ABAC-ABAD (tableau 6.5).
- Les procédures de sécurité : consignations à effectuer, protection individuelle, etc.
- Le titre et la définition de chaque phase 10, 20, 30, etc.
- Le graphe d'enclenchement des phases.
- La durée du chemin critique et les durées prévues de chaque phase.

□ **Pour chacune des phases**

- Le libellé chronologique des opérations : description détaillée des démontages pour examen de l'état, des cotes et jeux à relever, des mesures électriques à effectuer, des réglages à reprendre, etc.
- Le nombre et la qualification des techniciens.
- L'outillage et les moyens logistiques nécessaires (autres que standard).
- Les matières et rechanges nécessaires (avec BSM).
- Les éléments d'enregistrement avec au minimum le visa « fait » en face de chaque opération et la place dédiée aux « observations-suggestions ».

□ **Le cas des remplacements systématiques de composants ou de modules**

Ces remplacements concernent soit des composants de faibles coûts, mais dont les conséquences en cas de défaillance sont coûteuses (joints d'étanchéité, balais de moteur, filtres, courroies, etc.), soit des « modules », sous-ensembles sensibles, bien étudiés et dont on a déterminé la période T optimisée pour échange standard. Pour les composants, le remplacement sera intégré par le préparateur à une visite de même période T sous la forme d'une « phase » de remplacement.

Le cas du remplacement d'un module est plus délicat, et pose le problème suivant : comment faut-il gérer un remplacement préventif optimisé ?

Soit les périodes « standardisées » à 1 000 et 1 500 heures de la méthode ABABC-ABAD et soit 1 200 heures la période économiquement optimisée (voir § 5.3.5) pour le remplacement systématique d'un module de fiabilité connue. Trois solutions sont envisageables :

- réduire T_{opt} à 1 000 heures entraîne moins de probabilité de défaillances résiduelles avant T (C_i diminue), mais une consommation accrue d'un module coûteux (C_m augmente) avec gaspillage du potentiel d'utilisation restant;

- augmenter T_{opt} à 1 500 heures, ce qui entraîne les conséquences inverses (C_m diminue, mais risque que C_i augmente). Dans ces deux cas, l'intervention sera préparée suivant une gamme intégrée à l' I_{ps} d'échéance 1 000 ou 1 500;
- individualiser la prise en charge du module, par exception (à justifier) à la règle.

□ Les gammes de révision et des autres travaux « lourds »

Les principes d'élaboration sont les mêmes, pour ce qui concerne la décomposition du travail en phases, puis en opérations, chacune faisant l'objet d'une estimation de temps prévu et d'une définition des moyens et des compétences nécessaires. Certaines phases seront traitées en interne, d'autres seront sous-traitées, ce qui implique d'ajouter à la préparation « technique » la définition des procédures administratives (appels d'offre, contrats, etc.) liées à l'externalisation.

□ Quelques remarques

- Lorsque le graphe d'enclenchement devient complexe ($N > 60$ opérations), il est nécessaire de recourir aux méthodes d'ordonnancement de type PERT (voir Ordonnancement, § 7.2).
- À la différence des visites préventives prédéfinies, le travail de préparation sera précédé d'une expertise du site visant à définir les travaux à réaliser. Ici encore, le dialogue « agent des méthodes-opérateurs » sera une condition de réussite, les révisions étant souvent l'opportunité de réaliser des petites modifications.
- Pour les actions d'amélioration, de modernisation, de rénovation, à partir d'une valeur seuil de devis, la gestion sera transférée aux « études-travaux neufs ».

□ Le cas des grands arrêts

Périodicité : de 1 à 5 ans.

La réussite d'un grand arrêt suppose 0 défaut, 0 surcoût, 0 accident et 0 dépassement de délai. Ce qui implique une préparation rigoureuse lourde (sur plusieurs mois) mais rentable. Par une meilleure organisation des chantiers, par le recours maîtrisé à l'externalisation et par une préparation poussée, il est possible de réduire sensiblement les imprévus et les improvisations, causes de retards, de surcoûts et d'accidents. Chronologie des phases de préparation :

- « état des lieux » sur les secteurs concernés;
- liste des travaux de maintenance et d'amélioration établie avec les services concernés;
- synchronisation des tâches par la recherche des « tâches antécédentes » et des priorités;
- intégration de ces tâches à un outil de gestion de projet (type PERT);
- analyse de chaque tâche (temps alloué, effectif et qualifications, ressources matérielles nécessaires);
- optimisation des tâches critiques à partir du chemin critique prévu;
- consultations des tâches à externaliser plusieurs mois à l'avance. Il est possible de laisser le prestataire réaliser sa propre préparation (moyens, délais et prix) et de comparer;

- anticipation de la procédure de gestion des travaux imprévus, de façon à minimiser leur impact;
- définition stricte des contrôles et des essais, le démarrage devant amener une disponibilité immédiate des installations.

Notons que certaines entreprises de services peuvent préparer et gérer ces grands arrêts (voir § 8.4.5).

□ Préparation des tâches de lubrification

Historiquement, la « corporation des graisseurs » était une entité à part, bien qu'appartenant à l'entretien. Cette responsabilité est aujourd'hui intégrée à la maintenance préventive, systématique et conditionnelle.

Sur le plan technique, le défaut de lubrification est une cause première de bien des défaillances majeures. Ce défaut de lubrification peut provenir :

- d'un lubrifiant mal choisi, ou détérioré par effet thermique ou vieillissement en stockage;
- d'un manque de lubrifiant, avec pour conséquence la rupture d'un film d'huile, par exemple;
- d'un « trop plein » d'huile, qui conduit à un échauffement et à une dégradation du lubrifiant;
- d'un lubrifiant pollué (ou contaminé), car trop chargé de particules.

Sur le plan organisationnel, la prise en charge de la lubrification s'intègre naturellement dans les actions de maintenance préventive. À ce titre, les procédures de lubrification sont préparées et intégrées aux consignes permanentes d'automaintenance pour les tâches de surveillance et aux I_{ps} de remplacements (de fluide) pour les vidanges systématiques. Un « plan de lubrification » de synthèse peut être préparé pour chaque équipement.

□ Tâches de lubrification

- La surveillance systématique des systèmes de filtration.
- La surveillance systématique des organes d'étanchéité.
- La surveillance systématique des niveaux.
- Les prélèvements périodiques aux fins d'analyse.
- Les appoints et les vidanges « systématiques » ou « conditionnelles ».

□ Rôle du préparateur : le plan de lubrification

Sa responsabilité commence, à partir des préconisations des constructeurs, à réaliser la « standardisation » des lubrifiants, de façon à réduire le nombre de références. L'établissement de cette nomenclature interne est fait en partenariat avec le fournisseur « pétrolier » choisi. Le problème à résoudre est d'établir le « plan de graissage » d'un équipement donné en appliquant :

- à l'endroit voulu (schéma des « points de graissage » en 3 D);
- au moment choisi (échancier des visites);
- par un personnel qualifié (répartition entre opérateurs et/ou techniciens de maintenance);

- avec un matériel adapté (définition des moyens requis);
- une quantité opportune (prédéterminée après vidange ou estimée pour appoint complémentaire);
- d'un lubrifiant approprié (choisi parmi la nomenclature interne du stock de lubrifiants sélectionnés).

6.5.3 Mise en place d'actions préventives conditionnelles

- ❑ **En quoi consiste la préparation des interventions préventives conditionnelles I_{pc} ?**
- ❑ **Rappel de la méthodologie et rôle du préparateur**

Pour un équipement donné, l'agent des méthodes a la responsabilité de chacune des neuf étapes de la méthodologie de mise en œuvre de la maintenance conditionnelle exposée au paragraphe 2.3.2. Les tâches plus spécifiquement de préparation concernent les étapes 4, 7 et 8.

Étape 4 – Choix du mode de collecte des informations

Dans le cas de rondes de relevés de paramètres, le préparateur doit déterminer la fréquence des collectes, la « route », c'est-à-dire l'itinéraire du technicien et estimer la durée de la ronde. Une « fiche de ronde » comportera :

- la route décrite sur un plan avec, pour chaque installation, un schéma localisant les points de mesures à effectuer ou les indications à relever;
- pour chaque point de mesure, l'outillage nécessaire, (sondes, accéléromètres, appareils de mesures et leur paramétrage, etc.) ainsi que le rappel des valeurs nominales et de seuil d'alerte.

Cette collecte, dans le cas de mesures vibratoires en particulier, peut être chargée directement sur un PC dédié au traitement des informations.

Étape 7 – Définition des procédures après alarmes

À chaque génération d'alarme doit correspondre une procédure destinée, suivant les cas, aux opérateurs sur site, aux techniciens-rondiers ou aux techniciens de service en cas de télésurveillance. La sécurité des personnes et du bien doit guider le préparateur, en fonction de la vitesse de dégradation constatée. La procédure doit préciser la conduite à tenir, entre l'arrêt immédiat ou la poursuite en mode dégradé. L'atteinte d'un seuil d'alarme génère un ordre de travail préventif OT_p .

Étape 8 – Organisation de l'intervention préventive conditionnelle (I_{pc})

La préparation anticipée de l' I_{pc} se fera à l'identique d'une intervention corrective I_c attendue. Le bon de travail préventif BT_p sera accompagné éventuellement d'une gamme d'intervention.

- ❑ **Mise en œuvre d'analyses-diagnostic de vibrations**

Les analyses de vibrations représentent un outil de base de la maintenance conditionnelle, éprouvé depuis longtemps : pensons au mécanicien qui collait son oreille contre le manche d'un tournevis au contact d'un palier ! Ce domaine très

évolutif est abondamment traité par de nombreux ouvrages et articles qui traitent spécifiquement de ce sujet à forte potentialité.

La mise en œuvre des mesures vibratoires dans le cas d'une surveillance centralisée sort du cadre de la seule « préparation » du travail. Aussi n'analyserons-nous que le cas d'une surveillance intermittente, la plus fréquente en PME, à partir de mesureurs analogiques ou des collecteurs de données qui les remplacent progressivement.

Surveillance vibratoire intermittente en off line

Mode opératoire : le matériel est un collecteur de données portatif, doté d'une mémoire qui enregistre une série de mesures collectées au long d'une « route » préétablie allant d'un point de mesure à un autre. À l'issue de la tournée, les mesures sont chargées dans un ordinateur et traitées par un logiciel spécifique.

Certains matériels signalent immédiatement sur le site le dépassement d'un seuil, ce qui a l'avantage de permettre de décider en temps réel la mise en œuvre de mesures complémentaires pour corrélation, diagnostic et décision rapide.

Point important : la crédibilité de l'outil repose sur la « reproductibilité des mesures » pour comparaison et graphes d'évolution, ce qui suppose une fixation correcte du capteur sur la machine, à un endroit précis et bien choisi. L'idéal est qu'il soit prévu à la conception (un taraudage borgne suffit). À défaut, un support magnétique ou un collage est préférable à la « pointe de touche » non fidèle. Notons la possibilité d'utiliser une boîte de jonction, reliée à des capteurs permanents (coût, etc.) sur laquelle se branche le collecteur lors de la tournée.

Préparation : définir la route et les points de mesure

La « route » doit définir la succession des machines prises en charge, et pour chacune d'elle, la chronologie des mesures à entrer en mémoire dans le collecteur. L'interprétation sera d'autant facilitée que le spectre vibratoire s'appuie sur la connaissance spatiale de la zone surveillée. D'où l'intérêt de mesures 3 axes telles qu'illustrées sur l'exemple du palier (tableau 6.6).

Tableau 6.6 – Relevé de mesures pour un palier

Palier	Horizontale	Axiale	Verticale
Amplitude en μm			
Vitesse en $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$			

Préparation : définir la nature des mesures et les paramètres de fonctionnement

Il est indispensable de prendre en compte des mesures auxiliaires (paramètres de fonctionnement) qui influencent les signatures vibratoires. Par exemple, la fréquence de rotation, mais aussi suivant les cas, une intensité, une puissance, une pression,

une température, etc. Choix des paramètres à mesurer avec leurs unités et éventuellement, la durée de mesurage :

- déplacement, vitesse, accélération, valeur efficace, facteur de crête;
- niveau global par bandes de fréquences sélectionnées;
- analyse spectrale (ou fréquentielle) restituant le spectre de vibrations;
- cepstre (transformée inverse du log du spectre) et détection d'enveloppe (démodulation d'amplitude).

Les deux dernières techniques permettent d'établir un diagnostic, mais requièrent une compétence de spécialiste. Une préparation par « fiche de ronde » est possible pour guider la collecte, mais les matériels actuels intègrent la préparation à partir du logiciel dédié à la maintenance conditionnelle par analyse vibratoire.

Mise en œuvre d'analyses-diagnostic de lubrifiants

Principe de l'analyse-diagnostic

Les différentes analyses d'une huile (ou d'un autre fluide tel qu'un réfrigérant) prélevée au cours de son usage dans un matériel mettent en évidence :

- son niveau de dégradation relativement à ses propriétés physico-chimiques (viscosités à 40 °C et à 100 °C, indice d'acide, point d'éclair, etc.);
- son niveau de contamination lié aux particules dont elle se charge progressivement; les particules sont estimées en ppm (parties par million);
- la morphologie et la taille des particules métalliques magnétiques (par ferrographie);
- la nature du polluant.

L'évolution des résultats d'analyse permet un diagnostic de certains phénomènes pathologiques dont la trace se retrouve dans l'huile, selon un principe identique aux analyses d'urine dans le domaine médical. En particulier, il est possible de corréliser les différents types d'usure étudiés au paragraphe 4.2 (adhésive, abrasive, de fatigue, etc.) avec la nature et le taux de particules analysées.

Les moyens nécessaires à l'analyse étant sophistiqués (chromatographie, ferrographie, spectrophotométrie, fluorescence X, etc.), ce service est proposé aux entreprises par les groupes pétroliers fournisseurs de lubrifiants et par quelques laboratoires privés.

Champ d'application

Ce service « analyse-diagnostic » concerne :

- les moteurs thermiques, diesel et réacteurs, utilisés dans l'industrie et les transports (flottes marines, ferroviaires, routières, de travaux publics et aéronautiques);
- les turbines à gaz;
- les circuits hydrauliques industriels;
- les équipements mécaniques lourds contenant une lubrification centralisée ou locale (gros réducteurs de vitesse, par exemple). Roulements, paliers et engrenages ont leur fiabilité conditionnée par le maintien de la qualité du lubrifiant.

En quoi est-ce un outil de maintenance conditionnelle ?

Le suivi de l'évolution des caractéristiques d'une huile industrielle peut permettre :

- de fixer un seuil de détérioration physico-chimique (compatibilité des qualités du lubrifiant avec les conditions d'exploitation) au-delà duquel il est nécessaire de vidanger le lubrifiant;
- de fixer des seuils sur les taux de métaux en suspension, exprimés en ppm, au-delà desquels il faut arrêter l'exploitation du système. La connaissance approfondie de la technologie du système permet à un spécialiste de proposer un « diagnostic » lié à la localisation probable des zones libérant les particules, suivant leur nature : Fe, Cu, Pb, Ni, Mn, Mo, Si, K, Na, etc. Mais jouer avec des ppm n'a de signification que si les conditions du prélèvement sont bien définies et soigneuses !

Lorsqu'un seuil est proche ou qu'il est atteint, le diagnostic réalisé permet de préparer, puis de planifier une intervention préventive conditionnelle bien moins grave de conséquences que l'intervention corrective évitée.

 Exemple 1 : cas d'un moteur thermique

Dans un moteur Diesel, l'augmentation du ppm de sodium indique une fuite d'eau par fissuration progressive probable du joint de culasse (Na est contenu dans l'antigel de l'eau de refroidissement). Des prélèvements réguliers permettent de détecter l'apparition, puis l'évolution de la fissure, puis le franchissement d'un seuil qui implique le changer le joint de culasse en « préventif conditionnel » à un moment de disponibilité du système. Attendre la défaillance « extérieurement détectable » reviendrait à une intervention corrective bien plus coûteuse.

Il est ainsi possible d'évaluer l'état mécanique du moteur (usure des parties hautes ou basses) suivant les ppm et la nature des métaux détectés en suspension dans l'huile. Grâce à ces analyses, les taux de pannes « en ligne » ont ainsi été considérablement abaissés sur toutes les flottes de transport.

 Exemple 2 : cas d'un circuit hydraulique

La qualité de l'huile hydraulique est le garant de la fiabilité et de la longévité d'un système hydraulique. A contrario, la cause première de la majorité des défaillances hydrauliques est une dégradation de la qualité de l'huile.

Le suivi des caractéristiques de l'huile et du niveau de contamination permet de surveiller l'efficacité de la filtration, de localiser les usures dans certains composants et de maintenir la qualité de l'huile par une vidange effectuée « au bon moment » par compromis économique et technique.

 Processus de mise en œuvre

La figure 6.20 illustre la procédure de l'analyse de lubrifiant, à partir de l'organisation de l'entreprise et celle du prestataire de service.

 Rôle du préparateur

Au niveau des prélèvements

Il doit déterminer les périodes de prélèvements de lubrifiants exprimées en unité d'usage (kilomètres parcourus ou temps compteur) et à les intégrer (si possible)

dans l'échéancier des visites préventives systématiques. Cette opération de prélèvement exige une procédure bien définie en terme de soin : où, quand et comment faut-il prélever l'échantillon. Faute de ces précautions initiales, les résultats ne seraient pas exploitables.

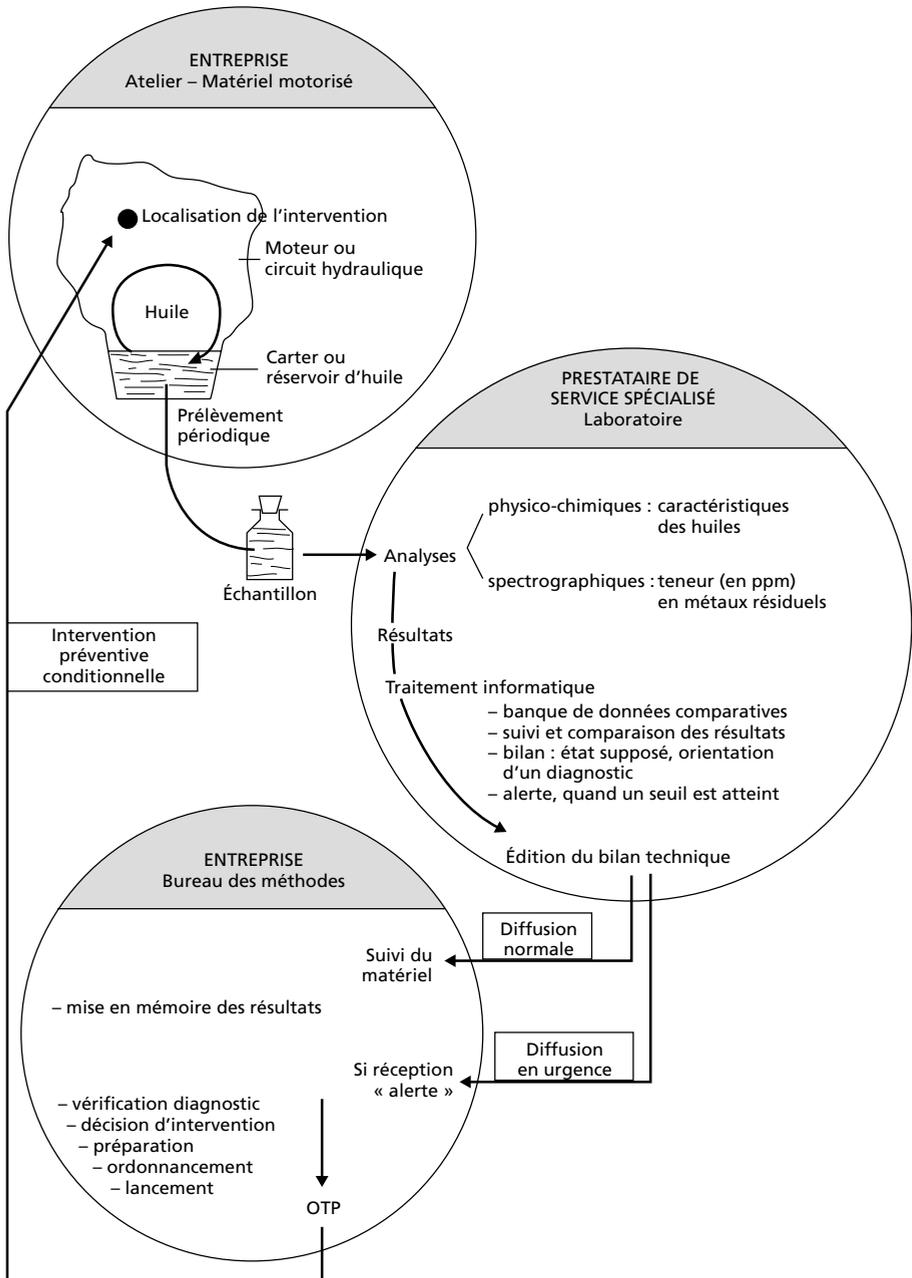


Figure 6.20 – Processus de « l'analyse-diagnostic » des lubrifiants industriels

Au niveau de l'intervention conditionnelle

À la réception d'une « alerte », il doit profiter du diagnostic ou de la localisation du problème pour préparer un bon de travail préventif (BT_p) avec gamme éventuelle, puis planifier l'intervention I_{pc}.

6.6 L'aide au dépannage

6.6.1 Aides à la localisation, au diagnostic et au dépannage

Situation du problème

Le dépannage est une action de maintenance corrective, effectuée avec l'objectif de remettre provisoirement le bien défaillant en état de fonctionner. Pour analyser le rôle de la préparation du travail de maintenance face au dépannage, il est nécessaire de bien aborder la question : *qui a la charge du dépannage ?*

Réponse de l'entretien traditionnel

La réponse est simple : c'est le dépanneur. C'est logique, puisque c'est son métier. « Plus il y a de pannes, plus je dépanne. Plus je dépanne, plus il y a de pannes. » Cette logique apparente n'engendre malheureusement aucun progrès. Au contraire, à force d'être dépannés, les matériels perdent progressivement leur fiabilité. D'où le cercle vicieux de l'entretien et la nécessité d'en sortir. Ce métier étant considéré avec le plus grand respect pour le nécessaire professionnalisme d'un bon dépanneur. D'où la boutade : « un dépanneur qui cherche, ça se trouve ; un dépanneur qui trouve, ça se cherche ».

Réponse en maintenance

La réponse est plus délicate, car en maintenance, l'objectif avoué est de ne plus avoir à dépanner, ou moins souvent. Ce qui passe inévitablement par l'association d'un *dépannage en temps réel* et d'une *réflexion-diagnostic en temps différé*. Ainsi seront associées aux dépannages des mesures correctives sur les causes trouvées. Ces mesures à la fois correctives (par rapport au passé) et préventives (par référence au futur) donnent la clé pour sortir du cercle vicieux. Mais elles ne dispenseront jamais les techniciens de maintenance d'avoir parfois à jouer les pompiers dans l'urgence ou les détectives dans la difficulté de la localisation d'une panne vicieuse. Dans le cas d'un transfert de charge « maintenance vers production », les opérateurs se voient confier des tâches simples de dépannage ou de réglage, avec l'assistance éventuelle des techniciens de maintenance. Dans cette optique, « l'aide au dépannage » devient un outil à la fois opérationnel et pédagogique indispensable. C'est d'ailleurs la vocation première des systèmes experts de diagnostic, dédiés aux opérateurs de production.

Dans le cadre de ce chapitre consacré à la préparation du travail, le rôle du préparateur est donc logiquement de développer les outils destinés à aider les opérateurs, mais aussi les techniciens de maintenance de l'antenne sectorisée.

❑ Localisation et diagnostic, dépannage et améliorations

❑ Actions palliatives, curatives et d'amélioration

« Palliatif » : qui n'a qu'une efficacité momentanée. Le dépannage est une action de nature palliative.

« Curatif » : qui a pour but la guérison. La réparation est une action curative. Les deux agissent sur les organes défaillants localisés, la réparation de niveau 3 nécessitant une mise en œuvre plus lourde que le dépannage, de niveau 1 ou 2.

« Amélioration » : qui a pour but la non-réapparition du problème. L'amélioration vise cet objectif de « vaccin antipannes » par action sur les causes identifiées.

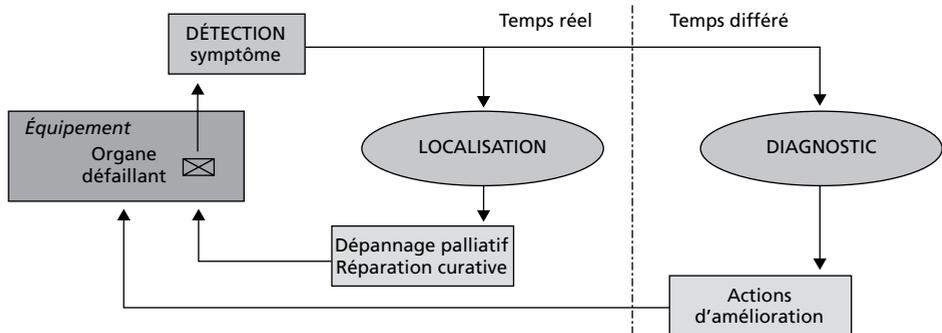


Figure 6.21 – Ne pas confondre aide au dépannage et aide au diagnostic...

❑ Aide au dépannage ou au diagnostic ?

L'objet de ce paragraphe est donc bien de recenser les moyens d'aide au dépannage (ou à la localisation) en temps réel. L'aide au diagnostic, fondement de la démarche d'amélioration, est généralement traitée en temps différé. Elle est abordée par ailleurs au paragraphe 4.3, Méthodologie du diagnostic, et au paragraphe 10.5.3, Groupe d'analyse de panne, en particulier. Remarquons à ce sujet le manque de rigueur de l'usage professionnel, bien des propositions d'aide au diagnostic n'étant que des outils d'aide au dépannage.

Pour bien faire comprendre la *nature différente* des actions menées en temps réel ou différé, prenons l'exemple des sapeurs-pompier forestiers :

- l'action « au feu » implique la mise en œuvre dans l'urgence de moyens élaborés bien maîtrisés par un apprentissage et un entraînement soutenu. Ce qui n'exclut aucunement la réflexion d'adaptation et la coordination (rôle du PC, poste de commandement) dans l'action ;
- la réflexion *a posteriori* (le feu est éteint) organisée en temps différé comporte l'analyse des problèmes rencontrés et la comparaison à l'historique des événements semblables. L'identification des obstacles rencontrés et de leurs causes (*le diagnostic*), la définition de moyens et de procédures plus efficaces constituent la partie positive : c'est par une prise de recul par rapport aux événements que les mesures d'amélioration seront définies.

Les deux organisations sont inexorablement complémentaires, l'efficacité des mesures en « temps différé » ayant pour effet premier de rendre les actions en « temps réel » moins nombreuses, plus faciles et moins dangereuses.

6.6.2 Préparation du dépannage : l'aide au dépannage

□ Les deux formes de dépannage

L'analyse statistique d'un grand nombre de petites interventions correctives, réglages et dépannages confondus, montre l'existence de deux populations :

- des interventions hautement répétitives, intégrées dans la routine professionnelle : « ça se dérègle, je règle » ;
- des interventions très diversifiées en localisation et en nature, auxquelles il faut faire face de façon inattendue.

□ Cas des dépannages répétitifs

La tentation est grande d'en déduire : « les connaissant bien, je dois les préparer ». Or, c'est ici un champ d'action « diagnostic » idéal pour chercher à les supprimer, ou en réduire le nombre, pas pour les préparer. Les graphes de Pareto sont un outil privilégié (si ces microdéfaillances sont saisies !) pour que l'agent des méthodes et le GAP (groupe d'analyse de pannes) cherchent à les minimiser de façon sélective.

Cas particulier : dans le cas de l'automaintenance, il est naturel de transférer la prise en charge de ces événements répétitifs vers les opérateurs. Ce qui nécessite de les former et de leur mettre à disposition des outils formalisés d'exploitation simple et visuelle.

Intégrées aux fiches d'automaintenance, ces procédures élaborées à partir des symptômes observables donneront les minigrammes de dépannage (réalisables sans démontage au-delà d'un carter), et fixeront les « limites » au-delà desquelles le recours à la maintenance s'impose.

Cette préparation n'est qu'un pis-aller, la bonne solution consistant à supprimer la microdéfaillance, donc la fiche d'automaintenance correspondante.

□ Cas des dépannages diversifiés

Face à un symptôme de défaillance, lorsque l'investigation amène le dépanneur sur des voies inédites, le besoin d'une « aide formalisée » complémentaire de la compétence professionnelle se révèle utile.

Beaucoup de ces événements seront résolus par la seule compétence du dépanneur, son métier et son « flair ». D'autres seront moins évidents à résoudre, de par la variété et l'interdépendance des technologies, logiciels y compris. Ces dépannages impliqueront le recours à une aide formalisée spécifique à l'équipement pour éviter le recours à des spécialistes extérieurs. Rappelons quelques paramètres propres au dépannage :

- l'équipement est arrêté ou dégradé : son redémarrage en état de bon fonctionnement n'est pas négociable, son redémarrage dans les meilleurs délais pas beaucoup plus !
- les coûts indirects engendrés par cet arrêt sont souvent disproportionnés au coût direct du dépannage ;
- de ce fait, le dépanneur doit mettre en œuvre une démarche réfléchie en situation de pression (stress) et d'urgence : ce n'est pas simple ;

– le dépannage se fait *in situ*, ce qui n'est pas toujours propice à la consultation d'un PC.

□ Le déclenchement du dépannage

Suivant l'organisation du terrain, la procédure de dépannage démarre toujours par une DT (demande de travail) transmise directement au dépanneur en autonomie sur le secteur, ou transitant par le bureau d'ordonnancement pour enregistrement, ouverture de l'OT ou du BPT (bon pour petits travaux) et imputation au « client » demandeur.

Dans tous les cas, la *traçabilité de l'intervention*, même mineure, doit être totale (BT avec le temps passé, même faible et description des opérations réalisées). L'agent des méthodes ne sera informé qu'a posteriori par le retour du BT ou s'il y a problème pendant le dépannage.

□ Recensement des outils d'aide au dépannage d'après leur origine

Au-delà des plans et schémas relatifs à la description d'un matériel, des outils documentaires ou informatiques d'aide au dépannage peuvent être développés et procurés *par le fournisseur* à la livraison du matériel.

- Spontanément, c'est exceptionnel. Mais il arrive parfois de trouver certains manuels de dépannage très bien réalisés, didactiques et opérationnels pour aider les dépanneurs.
- Par négociation avec le fournisseur, c'est à tenter.
- Par disposition contractuelle lors de l'achat (clause de soutien logistique spécifiant la nature de la documentation technique attendue).
- Par contrat de service, sous forme de télédiagnostic par exemple.

À défaut, il reste au préparateur du bureau des méthodes de développer ces aides en interne, ce qui constitue l'essentiel de sa préparation des dépannages.

□ Recensement des outils d'aide au dépannage d'après leur nature

Nous les avons classés du basique au spécifique, en leur conservant leur appellation usuelle d'aide au diagnostic.

□ Schémas fonctionnels et dessins

Ce sont les outils de base à portée de main du dépanneur. Extraits du DTE (dossier technique de l'équipement), et tenus à jour à chaque modification, ils comprennent pour les parties opératives :

- les plans mécaniques d'ensemble et de sous-ensembles,
- les schémas de puissance (hydrauliques, électriques, etc.),
- les graficets hiérarchisés d'automatisme.

Pour les parties « commande » :

- les schémas des parties commande, avec identification des composants,
- les éléments de programmation des automates,
- les éléments d'interface.

Pour tous les composants, une désignation complète et les références magasin/fournisseurs sont indispensables au dépanneur : que de pertes de temps évitées... Notons que *l'historique de l'équipement* (par consultation locale de la GMAO) peut se révéler utile à l'investigation, un dépannage pouvant en entraîner un autre.

□ Tableaux « effets, causes, remèdes »

Souvent fournis par le fournisseur pour des matériels de grande diffusion, leur usage est simple. Mais ils sont encombrants à développer, étant arborescents : à chaque symptôme sont associées des causes présumées, à chaque cause peuvent correspondre plusieurs actions correctives. De ce fait, ils se révèlent plus utiles pour l'apprenti dépanneur que pour le professionnel, et insuffisants en cas de panne vicieuse.

Tableau 6.7 – Exemple de tableau « effets, causes, remèdes »

Effets visibles (ou constatations ou symptômes)	Causes possibles	Remèdes (ou préconisations)
La broche chauffe anormalement	- - mauvaise arrivée d'huile -	- - nettoyer le filtre -

□ Tableaux « entrée-sorties » de diagnostic rapide

À un effet constaté, ils font correspondre plusieurs causes envisageables, sans hiérarchisation : le dépanneur doit donc « arbitrer » entre deux causes, quelle est la plus probable. Le tableau 6.8 donne un exemple : à l'effet B constaté peut correspondre la cause 3 ou la cause 8.

Tableau 6.8 – Structure d'un tableau « entrées-sorties »

Effets	Causes possibles									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	...
A			↑					↑		
B	→			→						
C										
...										

Ces tableaux ne proposent pas de « remèdes », peu utiles pour un dépanneur dès lors qu'il a situé l'origine de la panne.

L'exemple suivant (figure 6.22), relatif aux défaillances de roulements à billes, est intéressant, car il prend en compte deux entrées « détériorations observées » et « anomalies relevées en fonctionnement » et leur associe une sortie « origine des détériorations ».

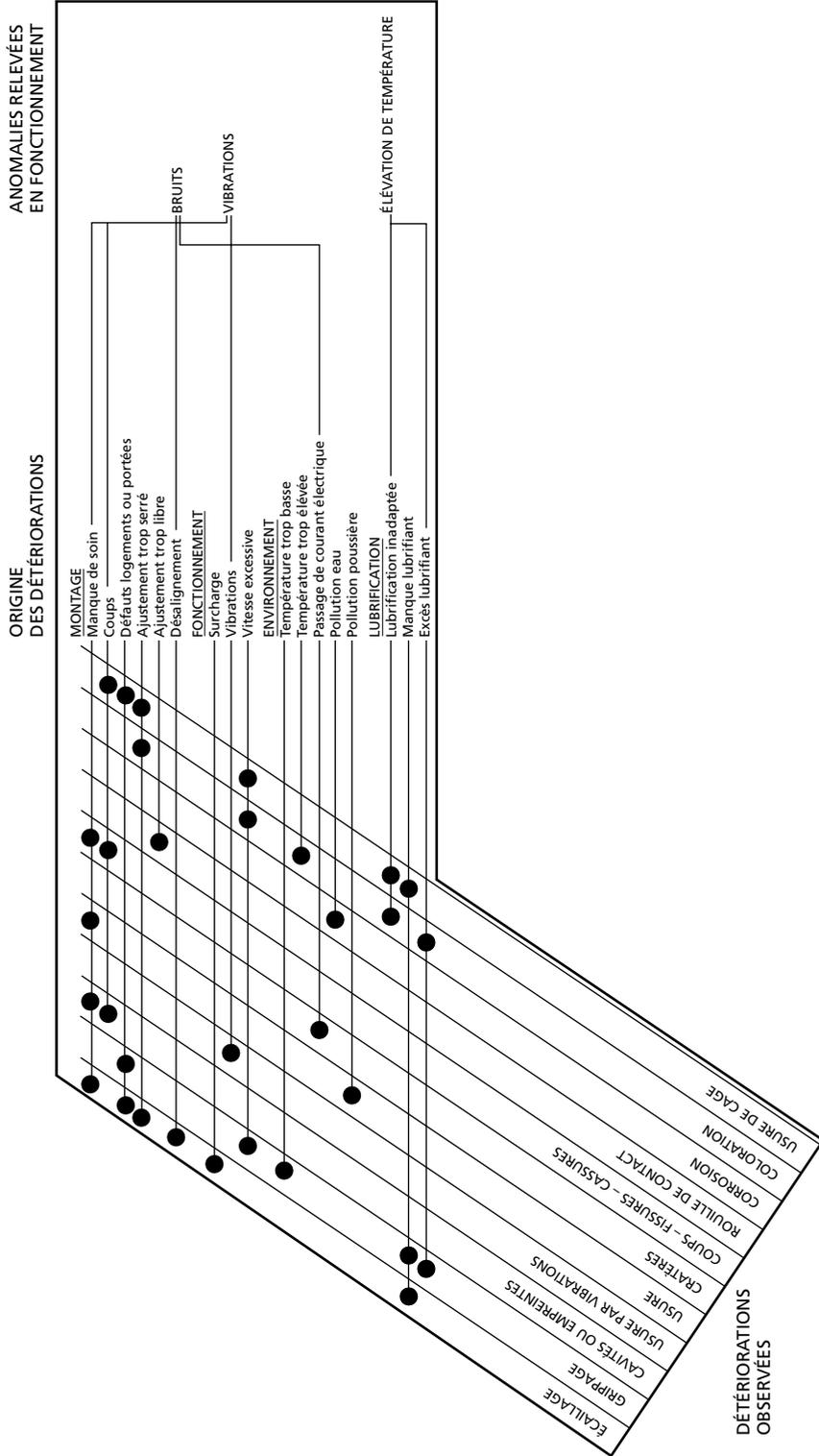


Figure 6.22 – Tableau d'aide au diagnostic de défaillances de roulements

Les anomalies en fonctionnement supposent une surveillance des opérateurs et leur participation au diagnostic. Les détériorations observées supposent une expertise après sciage et polissage du roulement dégradé.

□ Logigrammes de dépannage

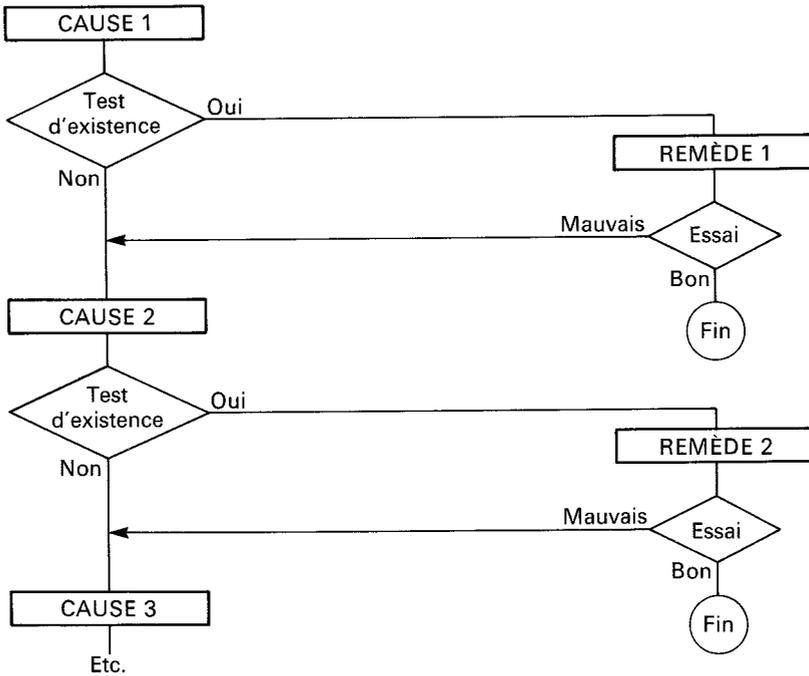


Figure 6.23 – Exemple de structure de logigramme d'aide au dépannage

Cet outil d'aide au dépannage se prête bien à une exploitation informatique. À partir d'un symptôme caractéristique, le logigramme propose une succession de tests d'existence des causes possibles classées suivant leur probabilité d'occurrence. Le REMEDE développé au paragraphe 6.6.3 suivant utilise cette mise en forme, ainsi que certains systèmes experts.

□ Tests de diagnostic

Définition du test : « comparaison des réponses d'un dispositif soumis à une sollicitation avec des réponses de référence ». Des « bancs de test », souvent développés par les fournisseurs spécifiquement à un équipement, permettent la localisation d'un défaut, le contrôle ou un réglage-mise au point.

Exemples

Bancs de tests hydrauliques en maintenance aéronautique, bancs de réglage en automobiles, testeurs de circuit électronique, etc.

Des « tests intégrés » à la conception de systèmes automatisés permettent l'auto-diagnostic par analyse des boucles d'asservissement, mais non la détection de pannes logicielles.

□ Télédiagnostic

C'est un outil de dépannage à distance de systèmes dotés d'automates programmables parfois proposé en contrats de maintenance ou comme service. Le client-utilisateur est muni d'une « valise de terminal ». Il consulte par téléphone la banque de données de l'ordinateur SAV qui lui indique les séquences de tests à mettre en œuvre : c'est le « diagnostic à distance », domaine fortement évolutif.

□ Systèmes experts de diagnostic

Les progrès de l'informatique ont permis le développement des systèmes experts qui rassemblent des « faits » identifiés sur un système, les confrontent aux connaissances « d'experts », proposent une succession de tests, puis des remèdes à mettre en œuvre. Le principe de fonctionnement schématique est donné par la figure 6.24.

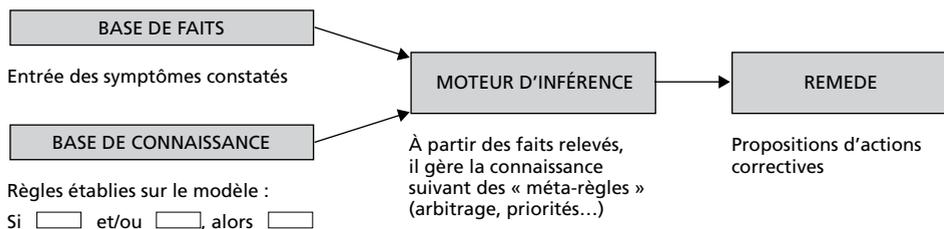


Figure 6.24 – Structure d'un système expert

La base de connaissance est extraite du savoir et du savoir-faire du ou des experts du domaine concerné. Sa représentation se fait le plus souvent par utilisation de règles de production du type : SI (condition a, condition b...) ALORS (action a, action b...).

La base de faits est « l'espace de travail » du système expert. Elle contient les éléments connus de l'étude. Elle s'enrichit au fur et à mesure de l'utilisation du système. Le moteur d'inférence déduit de nouveaux faits en utilisant les règles contenues dans la base de connaissance.

La vocation d'un système expert est de « simuler le comportement de l'expert », de mettre ce comportement à disposition d'un utilisateur. Les systèmes experts de dépannage, situés chez l'utilisateur ou chez le fournisseur, sont principalement destinés à l'automaintenance par des opérateurs pour les systèmes simples ou aux techniciens-dépanneurs pour des systèmes plus sophistiqués. Les écrans de tests et de propositions d'action de dépannage doivent être très « visuels » pour ne pas engendrer de confusion.

Des difficultés freinent l'expansion des systèmes experts : l'extraction des connaissances de l'expert, qui a des difficultés à formaliser et à ordonner ses connaissances, leur utilisation « peu valorisante » sur le terrain, leur justification économique non évidente et leur champ d'application mal connu par l'industrie.

Par contre, ils sont toujours l'objet de recherches évoluées dans le domaine de l'intelligence artificielle (démarche heuristique appuyée sur une stratégie pas à pas, par opposition à la démarche algorithmique des tests).

6.6.3 Une méthode de préparation intéressante : « REMEDE »

REMEDE, ou « recherche méthodique des défaillances », est une méthode d'aide au dépannage développée par la CEGOS comme thème de cercles de qualité. Cette démarche structurée se finalise par un logigramme de test suivant la figure 6.23, d'où l'on peut tirer des fiches d'autodépannage.

□ Méthodologie en 10 étapes

1. Sélection d'un équipement soumis à des dépannages nombreux et délicats.
2. Rassembler les parties concernées : en production, opérateurs et régleur; en maintenance, technicien de l'antenne et l'agent des méthodes-préparateur du secteur.
3. Décomposition fonctionnelle de l'équipement.
4. Lister pour chaque organe toutes les causes possibles de défaillance.
5. Définir l'effet observable que chaque défaillance induira sur l'équipement.
6. Déterminer le test de dépistage correspondant à chaque défaillance, et les moyens nécessaires.
7. Définir le remède à apporter : description du dépannage et des moyens requis.
8. Classer les tests et les dépannages suivant deux critères : facilité et rapidité.
9. Formaliser le logigramme de dépannage (figure 6.23).
10. Rédiger les fiches d'autodépannage.

□ Points particuliers

Étape 5

Étape importante puisqu'il s'agit d'identifier les effets visibles sur site par l'opérateur. La méthode consiste à construire un arbre des causes à quatre niveaux, ainsi que l'illustre la figure 6.25 relative à l'exemple d'une chaîne de conditionnement de paquets de café.

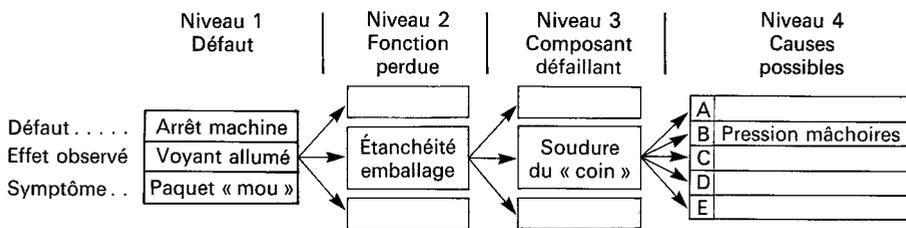


Figure 6.25 – Arbre à quatre niveaux de causes

Étape 8 : classement des tests et les dépannages

L'objectif est de séparer les tests et les dépannages que l'opérateur peut prendre en responsabilité de ceux qui requièrent un technicien de maintenance. Sans oublier que la fonction première de l'opérateur est de conduire son équipement.

Une matrice permet cette répartition des responsabilités, la zone A étant prise en charge en autodépannage, la zone B pouvant progressivement le devenir. En zone C, l'appel à la maintenance est obligatoire (tableau 6.9).

Tableau 6.9 – Matrice de répartition des responsabilités

RAPIDITÉ/ FACILITÉ	Rapide (< 1 minute)	Court (entre 1 et 5 minutes)	Long (> 5 minutes)	Commentaires
Très facile	A	A	B	Ni démontage, ni outillage, ni formation
Facile	A	A	B	Démontages simples, outillage de base
Moyen	B	B	C	Outillage spécifique, formation utile
Difficile	C	C	C	Avec démontage et formation au dépannage nécessaire

Étape 9 : établissement du logigramme

Les entrées du logigramme (voir figure 6.23) sont constituées de la liste des défauts recensés. À partir d'un défaut sélectionné, les causes sont envisagées par ordre décroissant de probabilité, leurs tests associés étant classés à partir du plus rapide et simple (matrice 6.9). Lorsque l'opérateur, ayant affiché un défaut constaté, atteint un écran de PC comprenant un test ou un dépannage de la zone C, il appelle la maintenance.

Étape 10 : rédaction des fiches d'automaintenance

À chaque dépannage de la zone A, éventuellement B correspondra une fiche, mini-gamme d'intervention axée sur une description « visuelle » des points d'intervention. En zone C, le préparateur jugera si une gamme d'intervention est utile au dépanneur.

□ **Conclusions**

Il restera à enrichir progressivement le fichier à partir des nouvelles défaillances qui pourront survenir et à enregistrer le nombre des « consultations ». Cette méthode, menée par exemple sous forme de cercles de qualité mixte, a des effets induits positifs :

- elle participe à la formation technique des opérateurs en présence des dépanneurs, développant l'usage d'un vocabulaire commun et favorisant un dialogue que l'on sait fructueux;
- elle est l'occasion de rechercher des causes de défaillances, ce qui peut permettre de les prévenir et ce qui est mieux que de les dépanner.