

2. DÉFINITIONS, MÉTHODES ET OPÉRATIONS DE LA MAINTENANCE

2.1 INTRODUCTION

Lorsque la politique ou la stratégie de maintenance est définie, on doit choisir ensuite la méthode la plus appropriée pour atteindre les objectifs fixés, le choix de cette méthode dépendra également d'autres paramètres à savoir :

- La connaissance du matériel, de son âge, de son état et de la durée de vie de ces différents organes.
- La probabilité de pannes ; faible ou élevée.
- La facilité d'intervention.
- La possession en stock de pièces de rechange.
- Les moyens disponibles au moment de l'intervention.

a- Les événements qui sont à l'origine de l'action :

- La référence à un échancier ;
- La subordination à un type d'événements prédéterminés (autodiagnostic, information d'un capteur, mesure d'une usure...);
- L'apparition d'une défaillance.

b- Les méthodes de maintenance qui leur sont respectivement associées :

- La maintenance corrective ;
- La maintenance préventive systématique ;
- La maintenance préventive conditionnelle.

c- Les opérations de maintenance proprement dites :

Inspection, contrôle, dépannage, réparation, révision, r&rénovation, etc.

d- Les activités connexes :

Maintenance d'amélioration, travaux neufs, sécurité, etc.

Les opérations de maintenance proprement dites et les activités connexes de maintenance sont décomposées en cinq niveaux d'intervention du simple réglage (1^{er} niveau) à l'opération lourde de maintenance confiée à un atelier central ou à une unité extérieure (5^{ème} niveau) (voir paragraphe 2.6).

Cette réflexion terminologique et conceptuelle représente une base de référence sérieuse pour :

- l'utilisation d'un langage commun pour toutes les parties (conception, production, prestataires de services...)
- La mise en place de systèmes informatisés de gestion de la maintenance.

2.2 LES MÉTHODES DE MAINTENANCE

Le choix entre les méthodes de maintenance s'effectue dans le cadre de la politique de la maintenance et doit s'opérer en accord avec la direction de l'entreprise.

Pour choisir, il faut être informé des objectifs de la direction, des décisions politiques de maintenance, mais il faut aussi connaître le fonctionnement et les caractéristiques des matériels ; le comportement du matériel en exploitation ; les conditions d'application de chaque méthode ; les coûts de maintenance et les coûts de perte de production.

2.2.1 LA MAINTENANCE CORRECTIVE

- **Définition** : « Maintenance effectuée après défaillance. »
- **Défaillance** : « Altération ou cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise. »

On distingue deux formes de défaillance : la défaillance partielle et la défaillance complète.

- **Défaillance partielle** : « Altération de l'aptitude d'un bien à accomplir les fonctions requises. »
- **Défaillance complète** : « Cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise. »

La maintenance corrective a pour objet de redonner au matériel des qualités perdues nécessaires à son utilisation.

Les défauts, pannes ou avaries diverses exigeant une maintenance corrective entraînent une indisponibilité immédiate ou à très brève échéance des matériels affectés ou / et une dépréciation en quantité ou / et en qualité des services rendus.

2.2.2 LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE

- **Définition** : « Maintenance effectuée selon des critères prédéterminés, dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu. »

Elle doit permettre d'éviter des défaillances des matériels en cours d'utilisation. L'analyse des coûts doit mettre en évidence un gain par rapport aux défaillances qu'elle permet d'éviter.

- **But de la maintenance préventive** :
 - Augmenter la durée de vie des matériels ;
 - Diminuer la probabilité des défaillances en service ;
 - Diminuer le temps d'arrêt en cas de révision ou de panne ;
 - Prévenir et aussi prévoir les interventions de la maintenance corrective coûteuse ;
 - Permettre de décider la maintenance corrective dans de bonnes conditions ;
 - Éviter les consommations anormales d'énergie, de lubrifiant, etc.;
 - Diminuer le budget de la maintenance ;
 - Supprimer les causes d'accidents graves.

2.2.2.1 LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE SYSTÉMATIQUE

- **Définition :** « Maintenance préventive effectuée selon un échancier établi selon le temps ou le nombre d'unités d'usage. »

Cette périodicité d'intervention est déterminée à partir de la mise en service ou après une révision partielle ou complète.

Remarque : Même si le temps est l'unité la plus répandue, d'autres unités peuvent être retenues telles que : la quantité de produits fabriqués ; la longueur de produits fabriqués ; la distance parcourue ; la masse de produits fabriqués ; le nombre de cycle effectué ; etc.

- **Conditions d'applications**

Cette méthode nécessite de connaître : le comportement du matériel ; les usures ; les modes de dégradations ; le temps moyen de bon fonctionnement entre deux avaries (MTBF).

Remarque : De plus en plus les interventions de la maintenance systématique se font par échanges standards.

- **Cas d'applications**

La maintenance systématique peut être appliquée dans les cas suivants :

- Equipements soumis à la législation en vigueur (sécurité réglementée). Par exemples : appareil de levage, extincteur (incendie), réservoir sous pression, convoyeurs, ascenseurs, monte-charge, etc.
- Equipements dont la panne risque de provoquer des accidents graves. Par exemples : tous les matériels assurant le transport en commun des personnes, avion, trains, etc.
- Equipements ayant un coût de défaillance élevé. Par exemples : éléments d'une chaîne automatisée, systèmes fonctionnant en continu.
- Equipements dont les dépenses de fonctionnement deviennent anormalement élevées au cours de leur temps de service. Par exemples : consommation excessive d'énergie, allumage et carburation déréglés pour les véhicules à moteurs thermiques.

2.2.2.2 LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE CONDITIONNELLE

- **Définition :** « Maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé, (autodiagnostic, information d'un capteur, mesure d'une usure, etc.), révélateur de l'état de dégradation du bien. »

Remarque : la maintenance conditionnelle est donc une maintenance dépendant de l'expérience et faisant intervenir des informations recueillies en temps réel. On l'appelle parfois maintenance prédictive.

- **Conditions d'applications**

La maintenance préventive conditionnelle se caractérise par la mise en évidence des points faibles. Suivant les cas il est souhaitable de les mettre sous surveillance et à partir de là, nous pouvons décider d'une intervention lorsqu'un certain seuil est atteint, mais les contrôles demeurent systématiques et font partie des moyens de contrôle non destructifs.

□ Cas d'application

Tous les matériels sont concernés. Cette maintenance préventive conditionnelle se fait par des mesures pertinentes sur le matériel en fonctionnement.

□ Paramètres mesurés

Ils peuvent porter par exemple sur :

- Le niveau et la qualité d'une huile ;
- Les températures et les pressions ;
- La tension et l'intensité du matériel électrique ;
- Les vibrations et les jeux mécaniques ;
- Etc.

De tous les paramètres énumérés, l'analyse vibratoire est de loin la plus riche quant aux informations recueillies. Sa compréhension autorise la prise à bon en pleine connaissance de cause des décisions qui sont à la base d'une maintenance préventive conditionnelle. La surveillance peut être soit périodique, soit continue.

□ Avantages

La connaissance du comportement est en temps réel à condition de savoir interpréter les résultats. A ce niveau l'information a un rôle fort intéressant à jouer.

Par exemple : une société a introduit un système de gestion par microprocesseur pour améliorer ou installer un programme de maintenance conditionnelle. Ce système de gestion comporte une centrale de mesure électronique portable, une imprimante et un analyseur de données. Les mesures s'effectuent avec un simple capteur. Les données recueillies sont soit transmises à une imprimante, soit déchargées dans un analyseur de données pour emmagasinage sur une bande magnétique ou sur disquette qui peut fournir les rapports de maintenance automatiquement.

Remarque : Ce matériel devra être très fiable pour ne pas perdre sa raison d'être, il est d'ailleurs souvent onéreux mais pour des cas bien choisis il est rentabilisé rapidement.

□ Conclusion

Pour être efficace, la méthode de maintenance proposée, doit dans tous les cas être comprise et admise par les responsables de production et avoir l'adhésion de tout le personnel.

Ces méthodes doivent être dans la mesure du possible standardisées entre les différents secteurs (production et périphériques). Ce qui n'exclut pas l'adaptation essentielle de la méthode au matériel (par exemple à un ensemble de machines, à une machine ou à un organe). Avec l'évolution actuelle des matériels et leurs tendances à être plus fiables, la proportion des pannes accidentelles sera mieux maîtrisée. La maintenance préventive diminuera quantitativement d'une façon systématique mais s'améliorera qualitativement par la maintenance conditionnelle. La maintenance préventive, hier expérimentale et subjective, tend aujourd'hui à devenir plus scientifique.

2.3 OPÉRATIONS DE MAINTENANCE

2.3.1 OPERATIONS DE MAINTENANCE CORRECTIVE

Ces opérations peuvent être classées en trois groupes d'actions.

- Le premier groupe concerne la localisation de la défaillance ; il comprend les opérations suivantes : le test, la détection, le dépistage et le diagnostic.
- Le deuxième groupe concerne les opérations de la remise en état ; il comprend les opérations suivantes : le dépannage, la réparation et la modification soit et du matériel ou du logiciel.
- Le troisième groupe concerne la durabilité ; il comprend les opérations suivantes : la rénovation, la reconstitution et la modernisation.

2.3.1.1 LA LOCALISATION DE DEFAILLANCE

C'est l'action qui conduit à rechercher précisément le (les) élément(s) par le(s) quel(s) la défaillance se manifeste.

- **Le test** : c'est une opération qui permet de comparer les réponses d'un système à une sollicitation appropriée et définie, avec celles d'un système de référence, ou avec un phénomène physique significatif d'une marche correcte.
- **La détection** : c'est l'action de déceler au moyen d'une surveillance accrue, continue ou non, l'apparition d'une défaillance ou l'existence d'un élément défaillant.
- **Le dépistage** : c'est une action qui vise à découvrir les défaillances dès leur début par un examen systématique sur des équipements apprenant en état de fonctionnement.
- **Le diagnostic** : c'est l'identification de la cause probable de la (ou les) défaillance(s) à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations provenant d'une inspection, d'un contrôle ou d'un test. Le diagnostic permet de confirmer, de compléter ou de modifier les hypothèses faites sur l'origine et la cause des défaillances et de préciser les opérations de maintenance corrective nécessaires.

2.3.1.2 LA REMISE EN ETAT

La remise en état de fonctionnement peut consister à réaliser l'une des opérations suivantes.

□ LE DÉPANNAGE

a) Définition

C'est une action sur un bien en panne, en vue de le remettre en état de fonctionnement ; compte tenu de l'objectif, une action de dépannage peut s'accommoder de résultats provisoires et de conditions de réalisation hors règles de procédures, de coûts et de qualité, et dans ce cas sera suivie de la réparation.

b) Conditions d'applications

Le dépannage, opération de maintenance corrective, n'a pas de conditions d'applications particulières. La connaissance du comportement du matériel et des modes de dégradation n'est pas indispensable même si cette connaissance permet souvent de gagner du temps. Souvent les interventions de dépannage sont de courtes durées mais peuvent être nombreuses.

De ce fait les services de maintenance, soucieux d'abaisser leurs dépenses, tentent d'organiser les actions de dépannage. D'ailleurs certains indicateurs de maintenance, pour mesurer son efficacité, prennent en compte le problème du dépannage.

c) Cas d'applications

Ainsi le dépannage peut être appliqué par exemple sur des équipements fonctionnant en continu dont les impératifs de production interdisent toute visite ou intervention à l'arrêt.

□ LA RÉPARATION

a) Définition

C'est une intervention définitive et limitée de maintenance corrective après défaillance.

b) Conditions d'applications

L'application de la réparation, opération de maintenance corrective, peut être décidée, soit immédiatement à la suite d'un incident, ou d'un d'une défaillance, soit après dépannage, soit après une visite de maintenance préventive conditionnelle ou systématique.

c) Cas d'application

Tous les équipements sont concernés.

□ LA MODIFICATION

C'est une opération à caractère définitif effectuée sur un bien en vue d'en améliorer le fonctionnement, ou d'en changer les caractéristiques d'emploi.

2.3.1.3 LA DURABILITÉ

La durabilité est la durée de vie ou durée de fonctionnement potentielle d'un bien pour la fonction qui lui a été assignée dans des conditions d'utilisation et de maintenance données. Les opérations maintenance qui concernent la durabilité d'un bien sont les suivantes.

- **La rénovation :** inspection complète de tous les organes, reprise dimensionnelle complète ou remplacement des pièces déformées, vérification des caractéristiques et éventuellement réparation des pièces et sou-ensembles défaillants, conservation des pièces bonnes.

La rénovation apparaît donc comme l'une des suites possibles d'une révision générale au sens strict de sa définition.

- **La reconstitution :** remise en l'état défini par le cahier des charges initial, qui impose le remplacement de pièces vitales par des pièces d'origine ou des pièces neuves équivalentes. La reconstruction peut être assortie d'une modernisation ou de modifications.

Les modifications apportées peuvent concerner, en plus de la maintenance et de la durabilité, la capacité de production, l'efficacité, la sécurité, etc.

- **La modernisation :** remplacement d'équipements, accessoires et appareils ou éventuellement de logiciel apportant, grâce à des perfectionnements techniques n'existant pas sur le bien d'origine, une amélioration de l'aptitude à l'emploi du bien. Cette opération peut aussi bien être exécuté dans le cas d'une rénovation, que celui d'une reconstruction.

La rénovation ou la reconstruction d'un bien durable peut donner lieu, pour certains de ses sous-ensembles, à la pratique d'un échange standard.

- **Echange standard** : c'est la reprise d'une pièce, d'un organe ou d'un sous-ensemble usagé, et vente au même client d'une pièce, d'un organe ou d'un sous-ensemble, neuf ou remis en état conformément aux spécifications du constructeur, moyennant le paiement d'une soulte dont le montant est déterminé d'après le coût de remise en état.

Soulte : somme d'argent qui, dans un échange ou dans un partage compense l'inégalité de valeur des lots ou des biens échangés. Afin d'accélérer les procédures et de diminuer les coûts, le recouvrement de la soulte peut être forfaité.

2.3.2 OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE

Ces opérations peuvent être classées en quatre groupes d'actions.

- Le premier groupe concerne l'entretien ; il comprend les opérations suivantes : le nettoyage, la dépollution et le retraitement de surface.
- Le deuxième groupe concerne la surveillance ; il comprend les opérations suivantes : l'inspection le contrôle et la visite.
- Le troisième groupe concerne la révision ; il comprend les opérations suivantes : la révision partielle et la révision générale.
- Le quatrième groupe concerne la préservation ; il comprend les opérations suivantes : la mise en conservation, la mise en survie et la mise en service.

2.3.2.1 L'ENTRETIEN

L'entretien comprend les opérations courantes et régulières de la maintenance préventive tels que le nettoyage, la dépollution et le retraitement de surface qu'ils soient externes ou internes. Par exemple, on peut signaler pour le nettoyage extérieur l'existence de divers types de nettoyage en fonction de la structure et de l'état d'un bien, des produits utilisés et de la méthode employée (les solutions alcalines aqueuses, les solvants organiques, le soufflage aux abrasifs, etc.). Il faut aussi préciser que le retraitement de surface inclut les opérations suivantes de la lubrification et de graissage.

2.3.2.2 LA SURVEILLANCE

Les termes définis ci-après sont représentatifs des opérations nécessaires pour maîtriser l'évolution de l'état réel du bien, effectuées de manière continue ou à des intervalles prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou le nombre d'unités d'usage.

- **L'inspection** : c'est une activité de surveillance s'exerçant dans le cadre d'une mission définie. Elle n'est pas obligatoirement limitée à la comparaison avec des données préétablies. Cette activité peut s'exercer notamment au moyen de ronde.
- **Le contrôle** : c'est une vérification de la conformité à des données préétablies, suivie d'un jugement. Le contrôle peut :
 - comporter une activité d'information,
 - inclure une décision : acceptation, rejet, ajournement,
 - déboucher sur des actions correctives.
- **La visite** : c'est une opération consistant en un examen détaillé et prédéterminé de tout (visite générale) ou partie (visite limitée) des différents éléments du bien et pouvant impliquer des opérations de maintenance du 1^{er} niveau.

2.3.2.3 LA RÉVISION

C'est l'ensemble des actions d'examens, de contrôles et des interventions effectuées en vue d'assurer le bien contre toute défaillance majeure ou critique pendant un temps ou pour un nombre d'unités d'usage donné. Il est d'usage de distinguer suivant l'étendue de cette opération les révisions partielles des révisions générales. Dans les deux cas, cette opération implique la dépose de différents sous-ensembles. Ainsi le terme de révision ne doit en aucun cas être confondu avec les termes visites, contrôles, inspections, etc. Les deux types d'opération définis (révision partielle ou générale) relèvent du 4^{ème} niveau de la maintenance (voir paragraphe 2.6).

2.3.2.4 LA PRÉSERVATION

Elle comprend les opérations suivantes.

- **La mise en conservation** : c'est l'ensemble des opérations devant être effectuées pour assurer l'intégrité du bien durant les périodes de non-utilisation.
- **La mise en survie** : c'est l'ensemble des opérations devant être effectuées pour assurer l'intégrité du bien durant les périodes de manifestations de phénomènes d'agressivité de l'environnement à un niveau supérieur à celui défini par l'usage de référence.
- **La mise en service** : c'est l'ensemble des opérations nécessaires, après l'installation du bien à sa réception, dont la vérification de la conformité aux performances contractuelles.

2.4 LES ACTIVITÉS CONNEXES DE LA MAINTENANCE

Ces activités complètent les actions de la maintenance citées ci-dessus et participent pour une part non négligeable à l'optimisation des coûts d'exploitation.

2.4.1 LES TRAVAUX NEUFS

L'adjonction à la fonction maintenance de la responsabilité des travaux neufs, est très répandue, en particulier dans les entreprises de taille moyenne. Elle part du principe que, lors de tout investissement additionnel de remplacement ou d'extension, il est logique de consulter les spécialistes de la maintenance qui, d'une part, connaissent bien le matériel anciennement en place, et d'autre part auront à maintenir en état de marche le matériel nouveau. A partir de là, on prend souvent la décision de leur confier l'ensemble des responsabilités de mise en place des nouvelles installations. On crée alors un service appelé « maintenance-travaux neufs ». L'étendue des responsabilités en matière de travaux neufs est très variable d'une entreprise à l'autre.

Il peut s'agir de la construction d'un quai ou d'un bâtiment, de la mise en place d'une machine achetée à l'extérieur (raccordement à la source d'énergie, etc.), ou même de la réalisation intégrale de la machine elle-même. Dans certains cas les « travaux neufs » auront recours à la fabrication de l'entreprise qui réalisera les commandes passées par eux-mêmes. Notons que même si la fonction maintenance ne se voit pas adjoindre la fonction « travaux neufs », le service s'occupera des installations succinctes du type modifications (réfection d'un bureau, etc.).

2.4.2 LA SÉCURITÉ

La sécurité est l'ensemble des méthodes ayant pour objet, sinon de supprimer, du moins de minimiser les conséquences des défaillances ou des incidents dont un dispositif ou une installation peuvent être l'objet, conséquences qui ont un effet destructif sur le personnel, le matériel ou l'environnement de l'un et de l'autre. Sachant qu'un incident mécanique, une panne, peuvent provoquer un accident, sachant aussi que la maintenance doit maintenir en état le matériel de protection ou même que certaines opérations de maintenance sont elles-mêmes dangereuses, il apparaît que la relation entre la maintenance et la sécurité est particulièrement étroite. Pour toutes ces raisons ainsi que pour sa connaissance du matériel, le responsable de la maintenance devra participer aux réunions du Comité d'hygiène et de Sécurité en qualité de membre ou à titre d'invité, et développer sa collaboration avec l'ingénieur sécurité lorsque l'entreprise en possède un. Dans une entreprise moyenne où la sécurité n'a pas de service propre, on trouve normal de faire appel au service maintenance pour les interventions concernant la sécurité. Celles-ci sont de deux ordres :

- d'une part celles que l'on peut classer dans la sécurité « officielle ». C'est la tenue des registres concernant les chaudières, les visites d'appareils à pression, le contrôle des installations électriques, etc., la tenue des dossiers des rapports de visite de l'inspecteur du travail, du contrôleur de la sécurité sociale, etc. ;
- d'autre part celles qui, tout en s'inspirant des premières, s'appliquent dans un contexte précis.

2.5 AUTRES FORMES ET METHODES DE MAINTENANCE

2.5.1 LA MAINTENANCE D'AMELIORATION

L'amélioration des biens d'équipements qui consiste à procéder à des modifications, des changements, des transformations sur un matériel correspond à la maintenance d'amélioration.

a) Conditions d'applications

Dans ce domaine beaucoup de choses restent à faire. C'est un état d'esprit qui nécessite une attitude créative. Cette créativité impose la critique. Cependant, pour toute maintenance d'amélioration une étude économique sérieuse s'impose pour s'assurer de la rentabilité du projet. Les améliorations à apporter peuvent avoir comme objectif l'augmentation des performances de production du matériel ; l'augmentation de la fiabilité, c'est-à-dire diminuer les fréquences d'interventions ; l'amélioration de la maintenabilité (amélioration de l'accessibilité des sous-systèmes et des éléments à haut risque de défaillance) ; la standardisation de certains éléments pour avoir une politique plus cohérente et améliorer les actions de maintenance, l'augmentation de la sécurité du personnel.

b) Cas d'application

Tous les matériels sont concernés à condition que la rentabilité soit vérifiée. Cependant une petite restriction pour les matériels à renouveler dont l'état est proche de la réforme, pour usure généralisée ou par obsolescence technique.

c) Conclusion

Même si ces activités sortent du cadre direct de la maintenance, elles s'intègrent bien dans le champ de compétence des professionnels de maintenance. En période de crise économique, certains industriels peuvent se montrer prudent à l'égard des investissements et trouvent des possibilités d'amélioration par l'intermédiaire de ces formes de maintenance.

2.5.2 LA TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE (T.P.M.)

Le concept TPM date de 1971 et il est japonais. C'est S. Nakajima de l'institut japonais de maintenance industrielle qui fait la promotion de la TPM. Mais les origines de la TPM viennent des Etats-Unis où la maintenance productive date de 1954. C'est en 1958 que John Smith vient au Japon enseigner la PM (*productive maintenance*). La TPM est donc une adaptation japonaise de la PM américaine. L'ajoutant du mot total a trois significations majeures : la TPM est un système global et transversal, elle concerne tous les niveaux hiérarchiques, des dirigeants aux opérateurs et comprend l'automaintenance, c'est-à-dire la participation des exploitants à certaines tâches de maintenance.

Nakajima définit la TPM en cinq points :

- la TPM a pour objectif de réaliser le rendement maximal des équipements ;
- la TPM est un système global de maintenance productive, pour la durée de vie totale des équipements ;
- la TPM implique la participation de toutes les divisions, notamment l'engineering, l'exploitation et la maintenance ;
- la TPM implique la participation de tous les niveaux hiérarchiques ;
- la TPM utilise les activités des cercles comme outil de motivation.

La TPM implique donc un décloisonnement de ces services en faisant participer le personnel de production aux tâches de maintenance. Elle vise ainsi à atteindre le zéro panne, en procédant comme suit :

- Les opérateurs sont chargés de tâches de maintenance du 1^{er} niveau (nettoyage, lubrification, examen externe, etc.). Ils ont la responsabilité de leur machine ;
- Le service maintenance intervient comme spécialiste pour des tâches plus complexes ;
- La TPM fait participer des petits groupes analogiques aux cercles de qualités ayant pour objectif l'amélioration de la maintenance dans l'intérêt de l'entreprise.

Les objectifs de TPM sont :

- Réduction du délai de mise au point des équipements.
- Augmentation de la disponibilité, et du taux de rendement synthétique (T.R.S.).
- Augmentation de la durée de vie des équipements.
- Participation des utilisateurs à la maintenance appuyés par des spécialistes de maintenance.
- Pratique de la maintenance préventive systématique et conditionnelle.
- Meilleure maintenabilité des équipements (envisagée à la conception, aide au diagnostic, systèmes experts).

2.5.3 LA MAINTENANCE BASÉE SUR LA FIABILITÉ (M.B.F.)

2.5.3.1 Histoire de la MBF

Les origines de la MBF viennent de la RCM (*reliability centered maintenance*) qui a été introduite en aéronautique vers 1960 aux Etats-Unis pour déterminer les programmes de maintenance. La publication du document MSG (*maintenance steering groupe*) a fixé les bases de la méthode de développement d'un programme de maintenance recevable à la fois

pour les constructeurs d'avions, pour les autorités de l'aviation civile et pour les compagnies. Il faut souligner que la certification de navigabilité des appareils commerciaux est conditionnée à la mise en œuvre de la maintenance MSG (programme MSG 3 pour l'Airbus A320 et les Boeing 757 et 767). L'évolution des versions successives des MSG a traduit la régression de la maintenance planifiée, le développement des actions conditionnelles, puis l'optimisation économique dans le respect de l'objectif prioritaire qu'est la sécurité. C'est en 1984 que la méthode de maintenance RCM a été transposée au nucléaire américain, puis importée par EDF au nucléaire français sous le nom de « projet OMF », optimisation de la maintenance par la fiabilité.

L'OMF peut se définir comme une politique de maintenance ayant pour objet « de définir un programme de maintenance préventive afin de contribuer à maintenir, voire à améliorer la fiabilité des fonctions des systèmes qui sont importantes pour la sûreté et la disponibilité des tranches nucléaires ». En 1991, EDF a pris la décision de généraliser l'application de l'OMF à toutes les tranches 900 MW, puis aux 1 300 MW à partir de 1995. Les objectifs de l'OMF sont :

- le maintien, voire l'amélioration de la sûreté nucléaire ;
- la maîtrise des coûts et l'optimisation économique de la maintenance, suivant le principe : « exercer l'effort au bon endroit » ;
- la mise en œuvre d'une méthode structurée et rationnelle, par analyse de chaque mode de défaillance fonctionnelle ;
- l'utilisation du retour d'expérience pour réajuster les programmes de maintenance et leur pertinence.

Plus pragmatique que la TPM, la démarche MBF repose sur l'analyse technique des équipements, donc sur une forte implication des techniciens de maintenance et de l'encadrement sectoriel, le résultat abouti étant proche de celui obtenu par la démarche TPM : une redistribution des responsabilités dans une nouvelle organisation.

2.5.3.2 Définitions, objectifs et moyens de la MBF

L'objectif de la MBF est de proposer aux entreprises une méthode structurée permettant d'établir un plan de maintenance sélectif à partir de la criticité des équipements, puis de leurs défaillances identifiées. Cela à partir d'une démarche participative.

▪ Définitions de la MBF

Quelques définitions de la MBF, tirées de la littérature récente, donneront l'idée générale de la méthode.

- La RCM est une stratégie de maintenance globale d'un système technologique utilisant une méthode d'analyse structurée permettant d'assurer la fiabilité inhérente à ce système.
- La MBF est une méthode destinée à établir un programme de maintenance préventive permettant d'améliorer progressivement le niveau de disponibilité des équipements critiques.
- La MBF est une méthode reposant essentiellement sur la connaissance précise du comportement fonctionnel et dysfonctionnel des systèmes

▪ Objectifs de la MBF

L'objectif principal est clair : améliorer la disponibilité des équipements sélectionnés comme critiques par leur influence sur la sécurité, sur la qualité et par leur impact sur les flux

de production. Améliorer la disponibilité implique la réduction des défaillances techniques par la mise en place d'un plan préventif « allant à l'essentiel », mais aussi la réduction des durées de pertes de production par une nouvelle répartition des tâches entre production et maintenance. D'autres objectifs sont recherchés :

- la maîtrise des coûts par l'optimisation du plan de maintenance préventive, en faisant porter l'effort de prévention « au bon endroit au bon moment », donc par élimination de tâches préventives constatées improductives ;
- la mise en œuvre d'une démarche structurée, par analyse systématique de chaque mode de défaillance qui permet de justifier les décisions prises ;
- la mise en œuvre d'une démarche participative au niveau des groupes de travail MBF ou au niveau des tâches réparties entre production et maintenance ;
- la rapidité des résultats associés à une faible perturbation de l'organisation en place, par opposition à la TPM qui est une démarche globale de management à objectifs sur le long terme.

▪ **Moyens nécessaires à la mise en œuvre de la MBF**

La méthode s'appuie sur une démarche de type AMDEC et des matrices de criticité pour hiérarchiser les équipements, puis les causes de défaillances. L'utilisation ultérieure d'arbre de décisions permet de déterminer les actions à entreprendre dans le cadre d'un plan de maintenance préventive.

2.6 LES NIVEAUX DE MAINTENANCE

En fonction de la politique de maintenance et du potentiel humain et technique de l'entreprise, les opérations de maintenance sont décomposées en cinq niveaux d'intervention du simple réglage (1^{er} niveau) à l'opération lourde de maintenance confiée à un atelier central ou à une unité extérieure (5^{ème} niveau). Ces niveaux sont donnés à titre indicatif et leur utilisation n'est concevable qu'entre des parties qui sont convenues de leur définition précise selon le type du bien à entretenir (voir tableau 1.1).

Cependant, il est important de noter que la tendance actuelle est de se ramener à trois niveaux seulement dans une logique de TPM. A savoir :

- I = 1 + 2 : c'est la maintenance de première ligne transférée progressivement aux opérateurs de production, assisté si nécessaire par les techniciens de maintenance.
- II = 3 + 4 : domaine d'action privilégié des équipes polyvalents de techniciens de maintenance. Diagnostics, interventions techniquement évoluées, mis en œuvre d'amélioration, etc.
- III = 5 : travaux spécialisés souvent sous-traités pour que la maintenance puisse recentrer ses moyens sur son savoir-faire c'est-à-dire le niveau II.

Tableau 1.1 : Les cinq niveaux de maintenance.

Niveau	Personnel intervenant	Nature de l'intervention	Moyens requis	Interventions et opérations
1	L'exploitant du bien sur place.	Réglages simples, généralement prévus par le constructeur, au moyen d'organes accessibles sans aucun démontage ou aucune ouverture de l'équipement, ou échange d'éléments consommables en toute sécurité tels que voyants ou certains fusibles, etc.	Sans outillage ou outillage léger et à l'aide des instructions d'utilisation et de conduite. Le stock des pièces consommables nécessaires dans ce cas est très faible.	<ul style="list-style-type: none"> - Niveau d'huile moteur ; - Niveau d'eau ; - Indicateur de colmatage ; - Niveau de la réserve de combustible ; - Niveau de la réserve d'huile ; - Régime du moteur ; - Température de l'eau de refroidissement ; - Température d'échappement ; - Test des voyants et indicateurs ; - Purge de circuit d'échappement ; - Nettoyage des filtres ; - Contrôle visuel de l'état des organes ; - Contrôle auditif des bruits de marche.
2	Un technicien habilité* de qualification moyenne ou un ouvrier qualifié de maintenance (dépanneur) sur place. Ce dernier suit les instructions de maintenance qui définissent les tâches, la manière et les outillages spéciaux.	Dépannage par échange standard des éléments prévus à cet effet, ou opérations mineurs de maintenance préventive, par exemple de graissage ou de contrôle de bon fonctionnement.	Outillage standard ou spécial, les pièces de rechanges situés à proximité immédiate sont du type consommables ; filtres, joints, huile, liquide de refroidissement. Suivant les instructions de maintenance.	<ul style="list-style-type: none"> - Remplacement des filtres à gazole ; - Remplacement des filtres à huile moteur ; - Remplacement des filtres à air ; - Prélèvement d'huile pour analyse ; - Vidange de l'huile de moteur ; - Analyse de liquide de refroidissement ; - Contrôle des points signalés pour le 1^{er} niveau ; - Graissage de tous les points en fonction de la périodicité ; - Contrôle des batteries.
3	Un technicien spécialisé ou un ouvrier spécialisé de maintenance sur place ou en atelier de maintenance, avec l'aide d'instructions de maintenance et d'outils spécifiques.	Identification et diagnostic des pannes, réparation par échange de composants ou d'éléments fonctionnels, réparations mécaniques mineures, et toutes opérations courantes de maintenance préventive telles que	Outillage plus appareils de mesure et de réglage ou de calibrage prévus dans les instructions de maintenance, et éventuellement des bancs d'essais et de contrôle des équipements et en utilisant	<ul style="list-style-type: none"> - Réglage des jeux des soupapes ; - Réglages des injecteurs ; - Contrôle des sécurités du moteur ; - Contrôle et réglage des protections électriques ; - Contrôle des refroidisseurs ; - Contrôle du démarreur ;

		réglage général ou réalignement des appareils de mesure.	l'ensemble de la documentation nécessaire à la maintenance du bien, ainsi que les pièces approvisionnées par le magasin.	<ul style="list-style-type: none"> - Remplacement d'un injecteur ; - Contrôle et réglage de la régulation de puissance ; - Contrôle et révision de la pompe ; - Contrôle des turbocompresseurs ; - Remplacement d'une résistance de chauffe ; - Contrôle de l'isolement électrique ; - Remplacement des sondes et capteurs ; - Remplacement d'une bobine de commande, remplacement d'un disjoncteur.
4	Des techniciens bénéficiant d'un encadrement technique très spécialisé, ou une équipe comprenant un encadrement technique très spécialisé, dans des ateliers spécialisés (rectification, réusinage).	Tous les travaux importants de la maintenance préventive ou corrective à l'exception de la reconstruction et de la rénovation. Ce niveau comprend aussi le réglage des appareils de mesure utilisés pour la maintenance et, éventuellement, la vérification des étalons de travail par des organismes spécialisés. Plus les opérations de révision.	Outillage général complet et outillage spécifique (moyens mécaniques, de câblage et de nettoyage). Eventuellement, des bancs de mesures et des étalons de travail nécessaires, à l'aide de toutes documentations générales ou particulières.	<ul style="list-style-type: none"> - Déculassage (révision, rectification) ; - Révision de la cylindrée ; - Contrôle d'alignement du moteur / alternateur ; - Changement des pôles d'un disjoncteur Haute Tension.
5	Une équipe complète polyvalente en atelier spécialisé ou par le constructeur lui même.	Travaux de rénovation, de reconstruction ou exécution des réparations importantes confiées à un atelier spécialisé ou une unité extérieure de maintenance	Moyens proches de ceux de fabrication définis par le constructeur.	Il s'agit d'opérations lourdes de rénovation ou de reconstitution d'un équipement.

* : Un technicien est habilité lorsqu'il a reçu une formation lui permettant de travailler en sécurité sur une machine présentant certains risques potentiels, et en connaissance de cause.

2.7 ORGANISATION TECHNIQUE DES TRAVAUX DE MAINTENANCE

3.7.1 ORGANISATION D'UNE ACTION DE MAINTENANCE CORRECTIVE

Dans les processus industriels, que le fonctionnement soit discontinu ou continu pour le maintien ou la remise en état de l'outil de production, nous chercherons à améliorer la qualité de l'intervention qui doit se traduire par une meilleure qualité du produit fabriqué ou du service rendu et à diminuer le « temps propre d'indisponibilité » par une organisation appropriée et une mise en œuvre de moyens adaptés.

2.7.1.1 Organisation d'une intervention pour le dépannage

L'organisation s'effectue à 3 niveaux afin de réduire les immobilisations des matériels :

- avant la panne,
- au déclenchement de la panne,
- après la panne.

a) Organisation avant la panne

Il faut pouvoir rassembler tous les moyens nécessaires à une intervention rapide. Connaissant l'organisation et la structure du service nous pouvons récupérer rapidement :

- **La documentation** : c'est à dire les dossiers techniques et historiques ; l'organigramme de dépannage ; le tableau de diagnostic ; les informations recueillies auprès de l'utilisateur.
- **Le matériel de première urgence** : matériel pour respect des règlements de sécurité ; matériel de contrôle ; matériel de mesure ; matériel de diagnostic ; etc.

b) Organisation au moment du déclenchement de la panne

A ce niveau nous avons dégagé 3 phases importantes.

1^{ère} phase : enregistrement de l'appel

Il peut provenir d'une alarme, d'un coup de téléphone, d'un télex, d'une communication orale ou par écrit (demande de travaux de maintenance).

2^{ème} phase : l'analyse du travail

- Dans un premier temps, il faut appliquer ou faire appliquer les consignes pour une intervention immédiate. Elles peuvent être liées à la sécurité, aux arrêts de production, au nettoyage préalable des abords.
- Il faut ensuite organiser le poste de travail, rassembler les moyens matériels, constater les anomalies pouvant se présenter et voir le meilleur moyen d'y remédier.

3^{ème} phase : la discussion au niveau de l'analyse

Nous pensons qu'à ce stade il faut se poser les questions de la méthode interrogative : « Quoi ? Qui ? Quand ? Où ? Comment et combien ? » afin de ne pas faire une intervention

trop poussée et choisir entre le dépannage (intervention provisoire) et la réparation (intervention définitive).

c) Organisation après la panne

Après l'intervention en dépannage le technicien a plusieurs tâches à effectuer :

- faire le compte rendu de l'intervention,
- déclencher éventuellement une remise en service du matériel pour le personnel utilisateur,
- mettre à jour le stock de pièces détachées,
- exploiter les résultats des dépannages.

2.7.1.2 Organisation d'une intervention pour la réparation

Comme pour le dépannage l'organisation s'effectue à 3 niveaux :

- avant l'intervention,
- au déclenchement de l'intervention,
- après l'intervention.

a) Organisation avant l'intervention

Cela concerne toute l'activité liée à la préparation de la réparation.

b) Organisation au moment du déclenchement de l'intervention

Contrairement au dépannage, à chaque fois que cela est possible, la réparation se fait dans l'atelier central plutôt que sur le site. Le travail est ainsi réalisé dans de meilleures conditions. Une réparation méthodique passe nécessairement par les étapes suivantes : diagnostiquer les causes de panne ; expertiser le matériel ; décider si l'intervention doit se faire sur le site ou dans l'atelier de maintenance ; préparer le poste de travail ; respecter les consignes de sécurité ; rassembler les moyens matériels et humains.

c) Organisation après l'intervention

Nous avons les mêmes étapes que pour le dépannage, c'est-à-dire : compte rendu de l'intervention, remise en main du matériel, mise à jour du stock, correction de la préparation et exploitation des résultats.

2.7.2 ORGANISATION D'UNE ACTION DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE

2.7.2.1 Organisation relative à la maintenance préventive systématique

Ces opérations étant parfaitement stabilisées dans le temps, permettent une organisation rationnelle. Cependant elles doivent être utilisées à bon escient, le critère « coût » étant un élément déterminant dans le choix de cette méthode. Les interventions se faisant à partir d'un échéancier préétabli, la mise en œuvre des moyens en personnels et en matériels, des procédures de sécurité, des procédures d'intervention (chronologie des opérations, réglages) se fait avec un minimum d'aléas. Les types de travaux entrant dans le cadre de cette maintenance autorisent une préparation rigoureuse, précise et conséquente. La répétitivité de ces tâches permet de rentabiliser facilement l'aspect méthode. Le compte rendu d'intervention est très

important notamment pour les opérations de surveillance (inspection et visite) et permettra une exploitation ultérieure.

2.7.2.2 Organisation relative à la maintenance préventive conditionnelle

Le choix du matériel où sera appliquée cette méthode étant fait (matériel stratégique d'un processus de production), nous pouvons mettre en évidence les différentes étapes du suivi du matériel en exploitation. Cette méthode de maintenance implique la mise en œuvre de techniques de contrôle en cours de fonctionnement. A ce titre se posent deux questions fondamentales :

- quelle(s) technique(s) utilisée(s) ?
- quelles modalités de mise en œuvre adopter ?

a- Parmi les techniques de contrôle en cours de fonctionnement nous avons : l'analyse des huiles de lubrification, l'analyse des vibrations, l'évaluation et le suivi des performances, la thermographie, etc. La technique vibratoire est celle qui donnera le plus grand nombre de renseignements notamment dans le domaine des machines tournantes.

b- Modalités de mise en œuvre pour une analyse de vibrations

1. Prendre connaissance des principales causes de vibrations, exemples : balourds, défauts d'alignements, lubrification insuffisante ou/et les caractéristiques mal adaptées, défauts de fixation au sol, perturbations dues à la circulation des fluides, phénomènes de résonance, mauvaise mise à la terre des rotors et des stators pour les moteurs, etc.
2. Identifier la ou les causes les plus probables.
3. Avoir une idée sur la nature des vibrations. Sachant qu'une vibration correspond à un mouvement oscillatoire, ce mouvement peut être périodique, aléatoire ou transitoire.
4. Choisir le facteur le mieux adapté permettant d'interpréter les vibrations. Trois paramètres peuvent décrire une vibration :
 - le déplacement qui est la distance parcourue par le point de mesure depuis sa position neutre. Il est proportionnel à la contrainte dans le matériau et se mesure en millimètres (mm) ;
 - la vitesse qui est la rapidité à laquelle se déplace le point de mesure. Elle se mesure en millimètres par seconde (mm/s) ;
 - l'accélération qui est la variation de la vitesse avec le temps. Elle est proportionnelle à la force appliquée sur l'objet, et se mesure en mètres par seconde au carré (m/s^2).

Les valeurs de ces trois paramètres sont reliées entre elles par une fonction de la fréquence f et du temps, ce qui permet, en détectant l'accélération, de pouvoir convertir ce signal en terme de vitesse à l'aide d'intégrateurs électroniques.

Les mesures des déplacements sont effectuées pour le contrôle de phénomènes vibratoires à basse fréquence. Les mesures d'accélération sont utilisées pour les détections de phénomènes vibratoires à haute fréquence. Cependant la vitesse de vibration est souvent considérée comme le meilleur paramètre utilisable sur une large gamme de fréquence.

5. Choisir l'accéléromètre sachant que l'accéléromètre idéal devrait avoir une très grande sensibilité, une large gamme de fréquence, un très faible poids.

Ces conditions étant incompatibles, il faut trouver un compromis idéal. Certains accéléromètres ont été étudiés pour supporter d'extrêmes conditions d'environnement.

6. Choisir l'emplacement de l'accéléromètre en fonction de critères prédéterminés et d'indications proposées par le fabricant du matériel de contrôle des vibrations.
7. Définir les précautions à prendre au montage de l'accéléromètre.
8. Choisir la mesure la mieux appropriée au cas considéré.

Il y a deux façons de rendre utilisables les signaux de vibrations :

- mesure du niveau global des vibrations à l'aide d'un simple mesureur de vibrations ;
- analyse en fréquence qui consiste à découper le signal de vibrations en bandes de fréquences dans chacune desquelles le niveau est mesuré.

La mesure du niveau donne l'indication de la sévérité des vibrations, mais quand on veut connaître les causes d'une vibration excessive, la possibilité d'en mesurer la fréquence est d'une aide précieuse.

L'enregistrement des mesures et des graphiques des courbes de tendance se fait :

- soit sur microfilm,
- soit sur ordinateur avec sortie sur imprimante.

9. Analyser le spectre.

La technique d'analyse la plus puissante est l'analyse spectrale en fréquence :

- car des variations mineures de certaines composantes spectrales n'affecteront pas nécessairement le niveau vibratoire global, mais seront décelables dans le spectre de fréquence, et indiqueront souvent la naissance d'une panne
- car une augmentation du niveau vibratoire global indique que quelque chose s'est modifié, mais ne donne aucune indication quant à la source du changement, tandis que ceci est souvent indiqué par la fréquence à laquelle le changement est intervenu.

10. Détecter la future défaillance.

L'une des approches du problème de la détection d'un défaut dans les conditions de fonctionnement est la comparaison des niveaux vibratoires avec des critères standard.

11. Diagnostiquer les causes de défaillance.

La fréquence à laquelle apparaît une variation dans le spectre donne une information fondamentale sur la source probable, qui est souvent reliée par exemple à l'une des vitesses de rotation.

c- Les matériels : les appareils peuvent être installés de façon permanente ou être utilisés manuellement en capteur mobile.

L'utilisation rationnelle par la mesure d'ondes de choc offre les avantages suivants : elle assure une surveillance objective de l'état des roulements, elle supprime le risque d'un arrêt inopiné de la production, elle permet de planifier le travail de maintenance corrective à effectuer et donne le moyen d'utiliser chaque roulement au maximum de ses possibilités.

2.8 LES SYSTÈMES EXPERTS

Un système expert met en évidence les savoirs et savoir-faire des « experts techniciens » dans un domaine bien précis, il suit donc la même démarche intellectuelle que ces dits « experts ».

Les systèmes experts utilisés en maintenance corrective permettent :

- de traiter les divers aspects de maintenance corrective pour une famille d'équipements donnée,
- de guider pas à pas l'intervenant selon un cheminement de moindre coût par une intégration judicieuse du savoir-faire correspondant et des faits observés,
- de prendre en compte aisément les adaptations qui se révèlent nécessaires,
- de reprendre éventuellement et de renforcer « l'organigramme de dépannage » qui peut être valorisé en le rendant plus accessible.

Si le système expert rassemble les connaissances et est programmé pour les utiliser de manière analogue à celles des spécialistes, cela ne se fait pas sans difficulté. Le dialogue homme-machine est actuellement le principal obstacle à l'utilisation des systèmes experts ainsi que les limitations dues à l'utilisation de systèmes non initialement conçus pour des micro-ordinateurs.

Les systèmes experts peuvent aider les industriels à résoudre des problèmes faisant appel aux spécialistes. Ils ne les remplacent pas en totalité, dupliquent leurs connaissances et ainsi font profiter à un plus grand nombre, compétence et savoir-faire des dits « experts ». Ainsi ces systèmes doivent contenir toutes les connaissances du domaine et être capables d'avoir une méthode de résolution analogue au raisonnement humain.

Pour améliorer la maintenabilité, il est nécessaire de faciliter le diagnostic des pannes et de diminuer les temps d'immobilisation. Dans cette optique, le système expert est un auxiliaire précieux.

Le système expert offre l'avantage de s'appuyer sur les méthodes du raisonnement humain et de pouvoir s'enrichir en fonction de la propre expérience des utilisateurs. Il doit être capable :

- de résoudre les problèmes (trouver la cause de la panne) ;
- d'expliquer les résultats ;
- d'apprendre par expérience ;
- de restructurer ses connaissances ;
- de transgresser une règle ;
- de juger de la pertinence d'une donnée ;
- de juger sa compétence à résoudre un problème.