

Introduction

Pour établir des programmes de maintenance efficaces, il faut bien connaître le comportement des équipements dans le temps et s'assurer que les interventions effectuées améliorent la situation par rapport à la sécurité, à la fiabilité et aux coûts globaux.

L'historique qui suit présente comment les nouvelles philosophies de maintenance se sont développées dans l'aviation. Des notions importantes sur les fonctions cachées et sur les types de défaillances sont expliquées avant de passer aux principes mêmes de la maintenance basée sur la fiabilité.

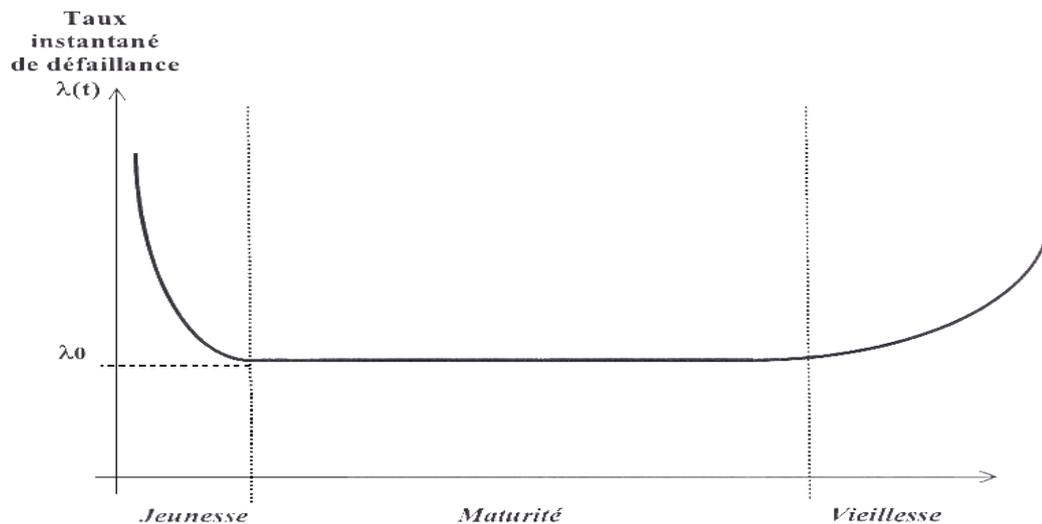
II.1 Historique

C'est principalement entre 1960 et 1980 que se sont développées les nouvelles philosophies de maintenance dans l'aviation. Dans les années 60, les programmes d'entretien étaient fondés sur des périodicités fixes de remplacement de composants calculées empiriquement.

Pour rendre plus intelligent les programmes, le « Maintenance Steering Group » a été formé avec des experts opérateurs et concepteurs d'aéronefs. Il en a résulté la méthodologie MSG, laquelle est devenue MSG-2 après expérience.

MSG-2 a comme philosophie : que peut-on faire pour empêcher un composant de tomber en panne ?

En 1978, la Marine américaine a mandaté un groupe d'ingénieurs à étudier le comportement en fiabilité des composants d'avions. Depuis longtemps la théorie de la fiabilité utilise la courbe en forme de baignoire (figure II.1) comme le modèle de référence. On leur étude démontre que 4% des composants suivent cette règle, ce sont les composants qui s'usent tels que les roulements à billes. D'autres modes de comportement sont alors développés. Fait le plus remarquable, 68% des composants ont une courbe montrant des problèmes de jeunesse au début, mais par la suite un taux de défaillance stable, par exemple les composants électroniques, les logiciels.



FigureII- 1 : Courbe de baignoire

Une méthodologie d'établissement de programmes de maintenance appelée **MBF** (**maintenance basée sur la fiabilité**) a alors été mise au point.

L'augmentation importante des coûts de carburant et l'amélioration de la fiabilité des nouveaux composants ont exercé une pression pour réviser encore l'approche pour donner plus d'importance aux réductions de coûts. C'est devenu MSG-3, laquelle a utilisé l'approche logique de la MBF. [5]

II.2 ORIGINES

RCM : stratégie de maintenance globale d'un système utilisant une méthode d'analyse structurée permettant d'assurer la fiabilité inhérente à ce système.

MBF : méthode destinée à établir un programme de maintenance préventive permettant d'améliorer progressivement le niveau de disponibilité des équipements critiques. La méthode repose essentiellement sur la **connaissance** précise du comportement fonctionnel et dysfonctionnel des systèmes.

La MBF ou RCM a été introduite dans l'aéronautique aux états unis vers 1960 pour déterminer les programmes de maintenance. La publication d'un document appelé MSG a fixé les bases de la méthode de développement d'un programme de maintenance pour tous les intervenants de la maintenance aéronautique. L'évolution des directives MSG s'est traduite par une régression de la maintenance planifiée au profit des actions conditionnelles, puis l'optimisation économique dans le respect prioritaire de la sécurité.

En France, c'est en 1984 que le concept RCM a été introduit sous l'impulsion d'EDF qui désirait l'appliquer à ses installations nucléaires. C'est le projet OMF qui se définit comme une

politique de maintenance ayant pour objet « de définir un programme de maintenance préventive afin de contribuer à maintenir, voire améliorer la fiabilité des fonctions des systèmes qui sont importantes pour la sécurité et la disponibilité des tranches nucléaires ». Les objectifs de l'OMF sont le maintien et l'amélioration de la sûreté nucléaire, la maîtrise des coûts et l'optimisation économique de la maintenance, la mise en œuvre d'une méthode structurée par analyse des défaillances fonctionnelles, l'utilisation du retour d'expérience pour réajuster les programmes de maintenance.

L'idée d'adapter la RCM à l'industrie a été développée en France vers 1996. La démarche repose sur l'analyse technique des équipements et sur une implication forte des agents de maintenance. L'objectif est toujours d'améliorer la disponibilité des équipements [5]

II.3 Moyens nécessaires à la mise en œuvre de la MBF

La méthode s'appuie sur une démarche de type analyse des modes de défaillance, de leur effets et de leur criticités (AMDEC) ou des matrices de criticités pour hiérarchiser les équipements, puis les causes de défaillance. L'utilisation ultérieure d'un arbre de décisions permet de déterminer les actions à entreprendre dans le cadre d'un plan de maintenance préventive.

MBF=AMDEC+ organisation de la maintenance

Dans notre étude, nous nous baserons sur la méthode AMDEC pour faire notre plan de maintenance, car les causes du mode de défaillance et les moyens de détection sont les éléments qui vont nous permettre d'établir ce plan de maintenance. En effet si l'on détecte les causes de panne, par une vérification périodique des éléments d'une installation, on garantit sa fiabilité en anticipation par des actions correctives.

L'objectif principal est d'améliorer la disponibilité (plus importante au niveau industriel que la seule fiabilité) des équipements critiques (pour la sécurité ou la qualité).

Améliorer la disponibilité passe par :

- ⇒ Une réduction des défaillances par la mise en place d'une maintenance préventive efficace ;
- ⇒ Une réduction des durées de pertes de production par une répartition des tâches entre la production et la maintenance.

D'autres objectifs sont aussi recherchés :

1. Maîtrise des coûts par l'optimisation des plans de maintenance par des interventions « au bon endroit au bon moment », donc par l'élimination d'opérations de maintenance préventives constatées improductives.

2. Mise en œuvre d'une démarche structurée d'analyse des modes de défaillance.
3. Mise en œuvre d'une démarche participative par la création de groupes de travail MBF incluant des acteurs de la production et de la maintenance.

Les trois principes de la fiabilité sont :

1. **Principe d'auto limitation** : ou de sélection systématique. Il s'applique aux criticités des équipements et à des niveaux successifs : équipements critiques → sous-ensembles fragiles → leurs défaillances → les causes → les tâches de maintenance.
2. **Principe de subordination** : les tâches de maintenance dépendent obligatoirement de la connaissance fiabiliste des défaillances et de leurs causes ; ce qui implique une connaissance fonctionnelle et dysfonctionnelle des équipements.
3. **Principe de participation** : la MBF repose sur des groupes de travail impliquant tous les acteurs liés au processus (production, maintenance, qualité).

II.4 Les domaines d'application de MBF

La MBF peut être mise en œuvre dans tous les secteurs industriels. Néanmoins, elle est particulièrement adaptée lorsque les enjeux concernant la sécurité ou les coûts de maintenance sont importants. Aujourd'hui, on la trouve le plus souvent dans la production d'énergie, ainsi que dans l'aéronautique, l'agroalimentaire, la pharmaceutique, ou encore l'armement.

II.5 Les étapes de la MBF

Les étapes de MBF sont décrites sur l'organigramme suivant :

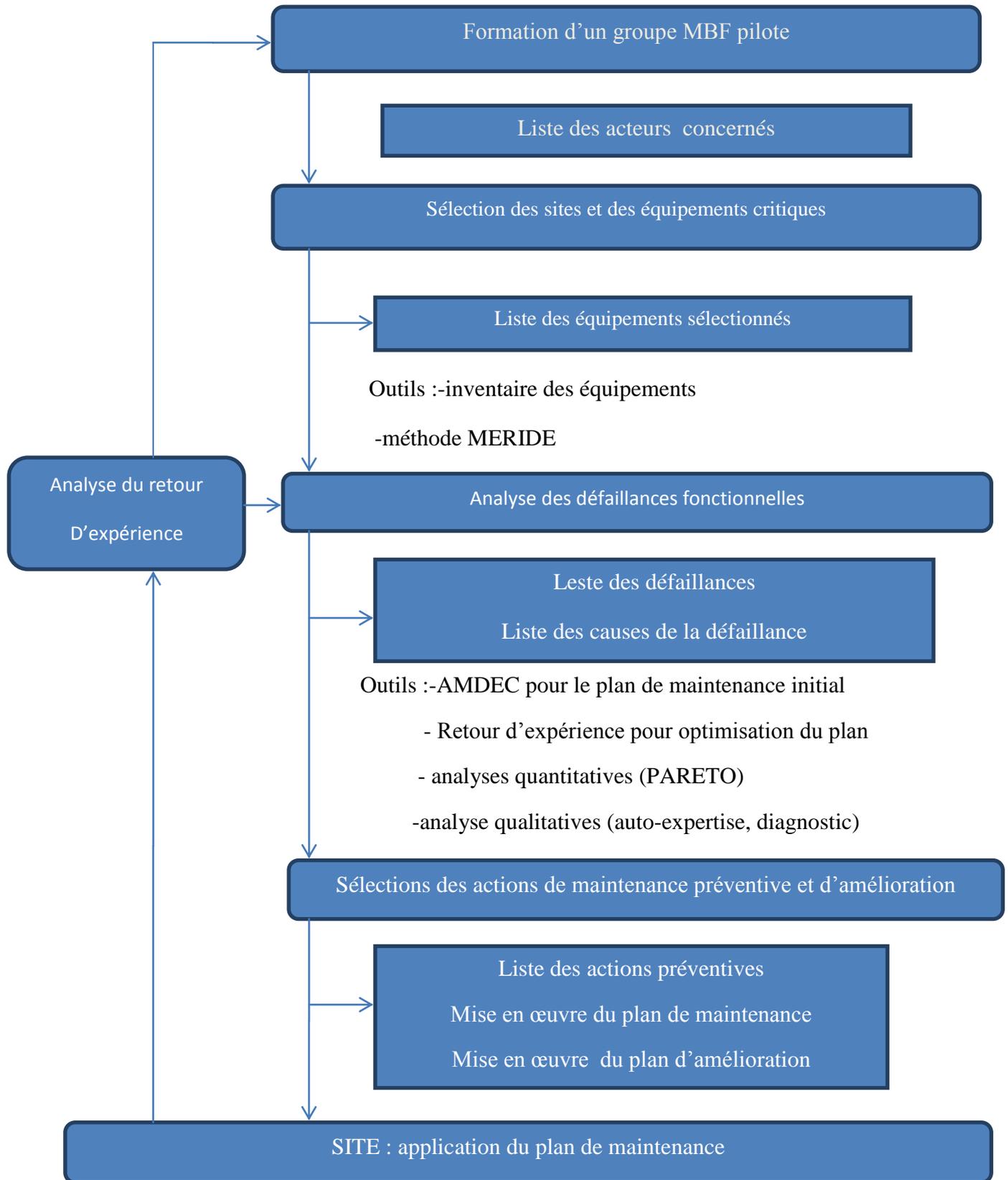


Figure II- 2: l'organigramme de MBF

II.6 Les bases de la MBF

II.6.1 Les fonctions cachées

Une fonction évidente est une fonction dont la défaillance sera évidente à l'équipage durant le cours normal des opérations.

Une fonction cachée est une fonction dont la défaillance ne sera pas évidente à l'équipage durant le cours normal des opérations.

Un équipement peut avoir plusieurs fonctions dont certaines sont cachées. Certaines tâches de maintenance auront donc pour but de vérifier le bon fonctionnement de ces fonctions cachées. Les programmes d'inspection comportent beaucoup de ces tâches.

II.6.2 Les types de défaillances

Un équipage d'opération n'est pas souvent en mesure de rapporter une défaillance comme tel. Il constate plutôt une condition d'opération insatisfaisante, un symptôme. Cette condition peut toutefois être conforme aux normes ou être une réelle défaillance. Sachant qu'une défaillance se définit par une condition insatisfaisante, il y a deux types de défaillances :

- ⇒ **Défaillance fonctionnelle** : une défaillance fonctionnelle est l'incapacité d'un article (ou de l'équipement qui le contient) à rencontrer un niveau de performance spécifique.
- ⇒ **Défaillance potentielle** : une défaillance potentielle est une condition physique identifiable indiquant qu'une défaillance fonctionnelle est imminente. Le seuil de la défaillance potentielle est fonction de l'intervalle entre les inspections.

II.6.3 Les principes

A) Réfection systématique d'équipements

Un équipement complexe est sujet à de multiples modes de défaillances. Parfois, un de ces modes peut être dominant et faire ressortir une situation où le taux de défaillance augmente avec l'âge.

Cependant, les études effectuées à partir d'équipements en service ont permis de constater que pour un équipement complexe : après une période de démarrage, le niveau de fiabilité est plutôt stable avec le temps ; l'âge a peu d'influence sur le niveau de fiabilité.

Les cas où l'âge est important sont principalement pour des articles simples tels que roulements à billes, les engrenages, freins ou autres pièces d'usure.

En fait, plusieurs cas de réfection systématique d'équipements complexes ont eu plutôt comme effet d'augmenter le nombre de défaillances en introduisant des problèmes de jeunesse dans des équipements qui autrement étaient stabilisés.

Du point de vue maintenance préventive, le facteur important n'est pas tant de prédire quand un équipement tombera en panne, mais plutôt de savoir si la réduction du niveau de résistance au bris peut être détectée grâce à une évidence physique afin de prévenir une défaillance imminente.

La réfection systématique d'équipements complexes selon une périodicité fixe doit donc se limiter à des composants qui ont démontré un ou plusieurs modes de défaillance qui augmentent avec l'âge.

b) Une logique basée sur la sécurité :

L'établissement de la MBF repose sur quelques questions souvent considérées comme évidentes :

- ⇒ Comment la défaillance survient-elle?
- ⇒ Quelles en sont les conséquences?
- ⇒ Une tâche de maintenance préventive peut-elle être applicable et efficace?

La logique MBF est basée sur la sécurité. Pour définir un programme de maintenance initial, l'équipe d'analyse se pose une série de questions concernant les effets de la défaillance :

1. Est-ce que l'apparition de la défaillance est évidente à l'équipage durant le cours normal des opérations?
2. Est-ce que la défaillance cause la perte d'une fonction ou une avarie secondaire ayant des répercussions sur la sécurité opérationnelle de fonctionnement?
3. La défaillance entraîne-t-elle des répercussions directes sur les capacités opérationnelles du bien dans son ensemble?

Un diagramme logique de ces questions a été mis au point. Si la sécurité n'est pas directement en cause, ce sont les règles économiques qui dictent la marche à suivre. Il faut cependant avoir une évaluation objective des coûts économiques d'une réduction de la capacité opérationnelle d'un équipement, car ces coûts sont généralement beaucoup plus importants que les coûts de maintenance dans la prise de décision. Ensuite ce sont les modes d'intervention qui sont questionnés :

- ⇒ Existe-t-il une tâche de nettoyage, de graissage ou de lubrification applicable et efficace ?

- ⇒ Existe-t-il une inspection ou un contrôle de fonctionnement applicable et efficace capable de détecter une défaillance potentielle?
- ⇒ Existe-t-il une tâche de réparation applicable et efficace ayant pour effet de réduire le taux de défaillance ?
- ⇒ Existe-t-il une mise au rancart préventive applicable et efficace pour éviter les pannes ou pour réduire le taux de défaillance?

Une réponse négative à ces questions entraîne qu'il n'y a aucune tâche préventive à effectuer. Si le niveau de sécurité requis n'est pas atteint ou que les conséquences économiques sont importantes, la seule solution est alors la préconception de l'équipement.

C) Fiabilité intrinsèque

Le rôle important des règles économiques dans la prise de décision avec la MBF est de clarifier la nature de la fiabilité intrinsèque des équipements. Cette dernière n'est pas la période de temps qu'un équipement va survivre sans défaillance mais plutôt le niveau de fiabilité obtenu lorsque l'équipement est entretenu avec un programme de maintenance préventive, un service et une lubrification adéquate.

La maintenance n'a pas pour effet d'augmenter la fiabilité d'un objet mais de maintenir son niveau de fiabilité intrinsèque tel qu'établi par les paramètres de conception et d'opération.

II.7 Comment rendre une maintenance efficace

La remise en question des programmes de maintenance nous amène à définir ce que sont les tâches qui sont applicables et efficaces et quelles sont les 4 tâches de base en maintenance pour ensuite évaluer quels sont les meilleurs intervalles d'intervention et clarifier la classification des formes de maintenance.

Dans le développement d'un programme de maintenance en mode MBF, une tâche doit être applicable et efficace.

II.7.1 Tâche applicable : une tâche de maintenance est applicable si elle peut être mise en œuvre de façon pratique.

II.7.2 Tâche efficace : une tâche de maintenance est efficace si elle permet de contrôler l'évolution d'une dégradation connue. Elle doit permettre de réduire le taux de défaillance ou de ramener la probabilité de défaillance à un niveau préétabli.

Dans un contexte de MBF, les 4 tâches de base en maintenance préventive sont :

A) Tâches périodiques suivant l'état

Des inspections périodiques sont programmées afin de détecter des défaillances potentielles, tâches suivant l'état ou contrôles de fonctionnement. Ces inspections déclenchent le retrait ou la réparation des composants qui ne rencontrent pas la norme. Ces tâches sont donc ciblées sur des modes de défaillance spécifiques et ne sont applicables que si une évidence physique de dégradation peut être constatée. Le graphique qui suit illustre la logique :

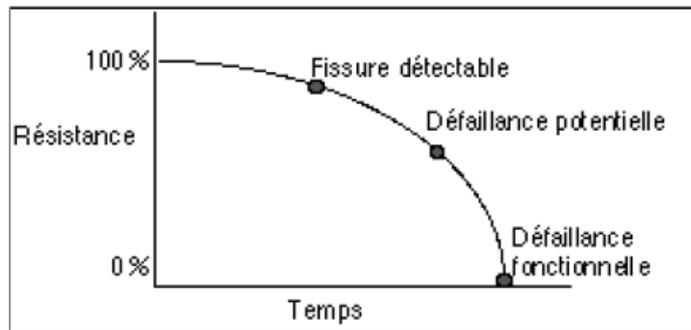


Figure II- 3 : modes de défaillance

À l'entretien du matériel roulant du métro, pour la mesure des fissures sur les roues, le niveau de défaillance potentielle est plus bas pour une inspection à l'entretien mineur par rapport à celui de l'entretien majeur pour des motifs économiques de coût et de fréquence d'inspection.

B) Tâches de réfection systématique :

Une tâche de réfection systématique peut être considérée applicable seulement si les critères suivants sont rencontrés :

- ⇒ Il doit y avoir un âge identifiable auquel l'article démontre une augmentation rapide de la probabilité de défaillance ;
- ⇒ Une grande proportion de la population doit survivre jusqu'à cet âge ;
- ⇒ Il doit être possible de restaurer le niveau de résistance d'origine par une réfection.

Lors de la mise en service d'un équipement, il est donc important que les défaillances coûteuses soient identifiées et mises dans un programme d'évaluation de l'effet du vieillissement du matériel afin de découvrir le plus tôt possible si des tâches de réfection systématiques sont judicieuses.

Les premiers équipements mis en service peuvent servir d'éclaireurs. Ils sont utilisés comme échantillons pour une inspection plus poussée. Les échantillons d'opportunité sont des équipements retirés du service suite à une défaillance ou autre raison pour lesquels on en profite pour procéder à un examen plus approfondi des parties non touchées par la défaillance.

Il n'est donc pas toujours nécessaire de mettre en place des périodicités systématiques pour effectuer une évaluation des effets du vieillissement.

C) Tâches de retrait préventif

Un retrait préventif avec mise au rebut est imposé seulement lorsque la sécurité est en jeu, il s'agit d'une défaillance critique. Des données de test doivent démontrer qu'aucune défaillance n'est probable en deçà d'une limite de vie sûre.

Il peut y avoir des retraits préventifs pour raisons économiques (limite de vie économique), dans ces cas les conditions suivantes sont présentes :

- ⇒ L'article est sujet à une défaillance ayant un impact économique majeur mais sans conséquence sur la sécurité ;
- ⇒ Il doit y avoir un âge identifiable auquel l'article démontre une augmentation rapide de la probabilité de défaillance ;
- ⇒ Une grande proportion de la population doit survivre jusqu'à cet âge.

D) Tâches de détection de défaillance

Lorsqu'un équipement est sujet à des défaillances de fonctions cachées à l'opérateur, il faut prévoir des tâches de détection de défaillance afin d'assurer la disponibilité de la fonction. Ainsi de telles tâches sont nécessaires afin d'éviter des défaillances multiples qui auraient des conséquences désastreuses

II.7.3 Les intervalles

La difficulté d'établir des intervalles de maintenance est essentiellement un problème d'information. Le concept de base est que la première inspection devrait être assez loin dans le temps pour permettre la détection de certaines évidences physiques. La période de répétition de l'inspection doit être assez courte afin de s'assurer qu'un composant soit retiré dans la période de défaillance potentielle avant que ne survienne la défaillance fonctionnelle.

II.8. Les formes de maintenance

Les formes de maintenance suivantes sont définies ainsi :

- ⇒ **Entretien correctif** : forme d'entretien visant à maintenir l'opération normale d'un objet suite à une analyse de son état, sa condition de marche, son rendement, l'évolution des coûts, les causes de panne. Par exemple : le remplacement de composants suite à une inspection.

- ⇒ **Entretien curatif** : forme d'entretien visant à rétablir l'opération normale d'un objet, en réparant les composants qui font défaut (par bris, panne, etc.). C'est un cas particulier de réparation. Les signalements en service génèrent de l'entretien curatif.
- ⇒ **Entretien préventif** : forme d'entretien s'appliquant aux interventions qui tentent de réduire la probabilité de panne. Par exemple : l'inspection visuelle, l'analyse des vibrations, l'analyse des huiles. Suite à un entretien préventif, il peut résulter de l'entretien correctif à faire.
- ⇒ **Modifications** : travaux qui modifient un objet dans le but d'améliorer son utilisation et son efficacité.
- ⇒ **Programme d'entretien** : ensemble de tâches déterminées à réaliser sur un équipement.

II.9 conception de programme efficace

Les étapes définies pour concevoir un programme de maintenance initial selon l'approche MBF sont les suivantes :

1. Découper l'équipement en systèmes et sous-systèmes pour identifier les articles qui demanderont une analyse intensive.
2. Identifier les articles significatifs dont la défaillance a un impact sur la sécurité ou sur les coûts d'exploitation et toutes les fonctions cachées qui demandent une maintenance périodique.
3. Évaluer les besoins en maintenance de chaque article significatif et fonction cachée en fonction des conséquences des défaillances et choisir seulement les tâches qui rencontrent ces besoins.
4. Identifier les articles pour lesquels aucune tâche n'est applicable et efficace afin de recommander des préconceptions si la sécurité est touchée ou ne pas assigner de maintenance périodique tant qu'il n'y a pas d'information justifiant une action.
5. Choisir des intervalles initiaux conservateurs pour chacune des tâches et les regrouper en programmes rationnels pour les implanter.
6. Établir un programme d'évaluation de l'effet du vieillissement du matériel pour fournir l'information factuelle requise pour valider et réviser les programmes établis.

II.10 les bénéfices de la MBF

Les résultats d'une analyse de MBF sont une meilleure connaissance des fonctions, une compréhension de comment un équipement peut défaillir et quelles en sont les causes premières pour converger sur une liste de tâches proposées qui soient applicables et efficaces. L'effet global

d'une telle approche est de développer un travail d'équipe rigoureux et motivant. Les bénéfices pour l'entreprise comprendront plusieurs des effets suivants :

- ⇒ plus grande sécurité et intégrité environnementale;
- ⇒ meilleure performance opérationnelle;
- ⇒ plus grande efficacité économique de la maintenance;
- ⇒ durée de vie prolongée d'équipements coûteux;
- ⇒ plus grande motivation du personnel.

Une analyse de MBF ne produira pas de résultats magiques. Toutefois cette approche ramène l'attention aux endroits significatifs. Les programmes qui en résulteront assureront le maximum de fiabilité dont l'équipement est capable et n'incluront que les tâches qui soutiennent cet objectif à un coût économique.

II.11 Rendre les programmes de maintenance dynamiques

II.11.1 Objectifs des programmes de maintenance

Un programme de maintenance d'exploitant a quatre objectifs:

- ⇒ Assurer la réalisation des niveaux de sécurité et de fiabilité inhérents aux équipements.
- ⇒ Établir la sécurité et la fiabilité des équipements à leurs niveaux inhérents lorsqu'une détérioration a eu lieu.
- ⇒ Obtenir l'information nécessaire pour améliorer le design des composants dont la fiabilité inhérente est inadéquate.
- ⇒ Accomplir ces objectifs au meilleur coût total possible, incluant les coûts d'entretien et le coût des défaillances résiduelles.

II.11.1.1 Applicabilité et efficacité des tâches

- **Programmes de maintenance dynamiques**

Un programme de maintenance périodique doit être dynamique. Tout programme établi avant la mise en service est basé sur une information limitée et l'organisation de l'équipement doit être préparée à recueillir et à réagir aux données historiques basées sur l'expérience opérationnelle.

La gestion d'un programme de maintenance en cours d'utilisation requiert un système d'information organisé pour la surveillance et l'analyse de la performance de chaque article selon les conditions d'opération en place. Cette information est requise pour deux fins :

- ⇒ pour établir les raffinements et modifications à faire aux programmes initiaux de maintenance (incluant l'ajustement des intervalles d'intervention) ;
- ⇒ pour déterminer les besoins d'amélioration au produit.

L'information dérivée de l'expérience opérationnelle suit la hiérarchie d'importance suivante :

- ⇒ les défaillances qui pourraient affecter la sécurité ;
- ⇒ les défaillances qui ont des conséquences opérationnelles;
- ⇒ les modes de défaillance des articles retirés à cause d'une défaillance;
- ⇒ l'état général des composants sans défaillance faisant partie d'unités qui ont subi une défaillance;
- ⇒ l'état général des composants inspectables évalués comme échantillons.

Au moment du développement des programmes initiaux de maintenance, l'information disponible permet de déterminer les tâches nécessaires pour protéger la sécurité et les capacités opérationnelles de l'équipement. Toutefois, l'information requise pour déterminer l'intervalle optimal entre les interventions et l'applicabilité des limites d'âge ne peut être obtenue que par l'exploration des âges expérimentés avec les équipements en service.

Avec tout équipement, il y a toujours la possibilité de modes de défaillance imprévus. La première occurrence de toute défaillance sérieuse imprévue déclenche immédiatement le cycle suivant d'amélioration du produit :

- ⇒ une tâche sur condition est développée pour prévenir la répétition de la défaillance en attendant que l'article soit reconçu et modifié ;
- ⇒ après que la modification ait démontré son efficacité, la tâche spéciale est éliminée du programme de maintenance.

L'amélioration du produit, fondé sur l'identification des caractéristiques de fiabilité de chaque article selon l'évolution de son âge, fait partie du cycle normal de développement de tout équipement complexe.

Résumé graphique de la méthode

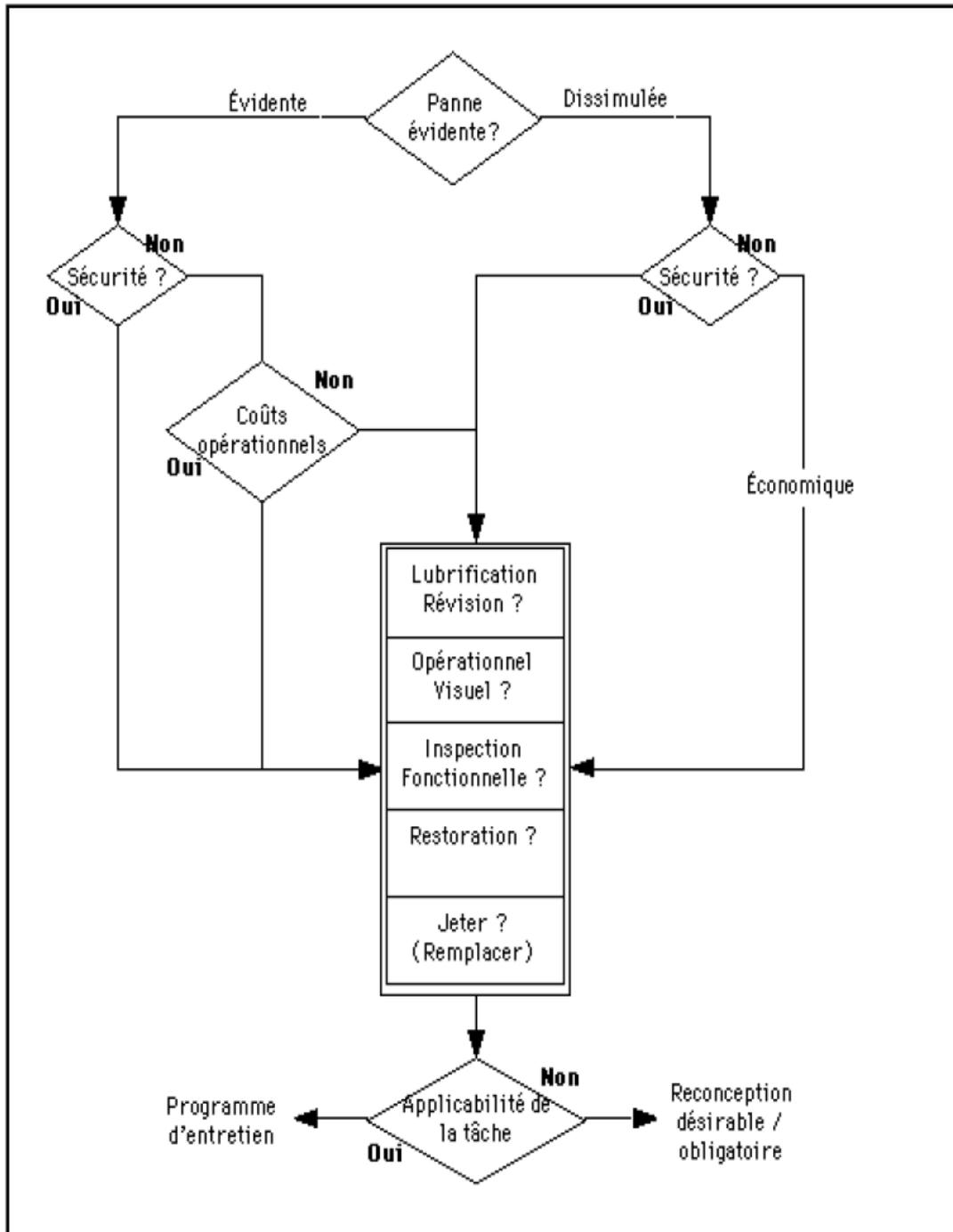


Figure II- 4: Organigramme de maintenance dynamique

Conclusion

Grace à ce chapitre nous concluons que la Maintenance Basée sur la Fiabilité est une application pour élaborer un plan de maintenance « analyse de défaillance plus un plan de maintenance élaboré »

MBF= analyse de défaillance+ organisation de la maintenance