

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA
FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT D'AERONAUTIQUE

03/04

(2ER)



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

en vue de l'obtention du diplôme des études universitaire appliquées
(D.E.U.A) en Aéronautique

OPTION : PROPULSION

THEME

Méthodologie d'AMDEC
application sur le circuit de graissage
du moteur TV3-117

Réaliser par :

Mr : Ramdhani Omar

Encadré par :

M me : y. Summar
Mr : Nadji Aissam

--- Promotion 2002/2003 *2004*

Remerciements

Je tien en premier lieu à remercier ALLAH le tout-puissant qui a donné le courage et la volonté pour pouvoir achever ce travail vers le bon chemin de la Lumière et de savoir.

J'exprime mes sincères remerciements à mes parents qui m'ont aidé beaucoup durant mes études.

A tous les enseignants de ma cycle courriel d'étude.

Je tiens à présenter mes chaleureux remerciements en guise de reconnaissance pour le bien fait afin d'élaborer ce petit ouvrage à :

Mon promoteurs M^{me} : Summar Y

M' : Nadji Issam

Je remercie aussi profondément l'ingénieur Benaissa nour eddine à leurs merveilleux d'aide. Et M' Benachenhou Kamel et M' Mokhtari Djamel à leurs intérêts et collaborations.

Je tiens à remercier aussi les membres du jury pour l'honneur qu'il m'accorde, en acceptant de juger mon travail.

Je remercie en coeur Magherbi Rabah, Mougari Rachid, Necira Issam et Othmane Asma à leurs soutiens logistiques.

Merci à toute personne ayant contribué de près ou de loin pour l'accomplissement de ce travail par main, par mot, par cœur.....

Tous les amis de l'institut d'aéronautique, et de l'université Saad dahleb de Blida.

Omar Ramdhani

Liste des Abreviations

Symbole	Notation
AFNOR	Association Française de Normalisation
AMDE	Analyse des modes de défaillance et leurs effets
AMDEC	Analyse des modes de défaillance, leurs effets et leur criticité
CEI	Commission électrotechnique internationale
CENT	Centre National d'études des télécommunications
CHV	Cheval de vapeur anglais (736 watts)
FAA	Federal Aviation authorities
FMDS	Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité, Sécurité
FMECA	Failure Mode, Effects and criticality analysis
ISO	International Standard Organisation
MBF	Maintenance basée sur la Fiabilité
MDT	Mean Down Time
MSG	Maintenance Steering Group
MTBF	Mean Operating Time Between Failures
MTTF	Mean Time To Failure
MTTR	Mean Time To Repair
MUT	Mean Up Time
NASA	National Air Space Agency
RCM	Reliability Centered Maintenance
TMD	Temps Moyen de Disponibilité
TMI	Temps moyen d'indisponibilité

Glossaire :

Chapitre I

Figure (I.1) : Défaillances fonctionnelles et potentielles

Figure (I.2) : Evolution de la fiabilité opérationnelle pendant la durée de vie

Figure (I.3) : Rôle de la fiabilité dans la MBF

Figure (I.4) : Causes, modes, effets et propagation des défaillances.

Figure (I-5) : Disciplines scientifiques associées aux développements du programme MBF

Chapitre II

Figure (II.1) : Allure d'une fonction R (t)

Figure (II.2) : Disponibilité en fonction du temps

Figure III-31 : Chaînage temporel des activités de détection et de remise en service

Figure (II.4) : Allure de la courbe de la maintenabilité

Figure (II.5) : Diagramme des différents concepts de maintenance

Chapitre III

Figure (III.1) : Les modes d'érosion par cavitation

Figure (III.2) : Le pompage dans un étage compresseur axial.

Figure (III-3) : Phénomène d'érosion-corrosion

Figure (III.4) : Cause d'avarie

Figure (III.5) : Usure par frottement

Tableau III.1 : Liste des modes des défaillances (AFNOR)

Chapitre IV

Figure (IV.1) : Compétences des rédacteurs et utilisateurs des AMDEC

Tableau (IV.1) : exemple de hiérarchisation de probabilité de défaillance

Tableau (IV.2) : Tableau de gravité de la norme MIL-STD A

Tableau (IV.3) : d'indice de détection

Chapitre V

Figure (V-1) : Vue de gauche du moteur TV3-117

Figure (V-2) : Vue de droite du moteur TV3-117

Figure (V.3) : Système de lubrification du moteur TV3-117

Figure (V.4) : Réservoir d'huile

Figure (V.5) : Chemas synoptique du circuit de graissage

Sommaire :

Chapitre I : Introduction à la maintenance basée sur la fiabilité

I.1. Naissance de la maintenance basée sur la fiabilité (MBF).....	3
I.2. Définitions et objectives	4
I.3. Développement d'un programme de Maintenance Basée sur la Fiabilité.....	7
I.3.1. Recherche des matériels critiques	7
I.3.2. Sélection des tâches de maintenance.....	7

Chapitre II : Concepts et la Fonction maintenance

II.1. Introduction	10
II.1. Concepts de base en sûreté de fonctionnement.....	10
II.1. Sûreté de fonctionnement	11
II.1.2. Fiabilité.....	11
II.1.3. Disponibilité	12
II.1.4. Maintnabilité.....	14
II.1.5. La sécurité	15
II.2. La Fonction Maintenance	16
II.2.1. Maintenance préventive	16
II.2.1.1. Maintenance préventive systématique	17
II.2.1.2. Maintenance préventive conditionnelle	17
II.2.1.3. Maintenance prévisionnelle	18
II.2.1.4. Maintenance proactive	18
II.2.1.5. Maintenance basée sur la fiabilité (MBF)	18
II.2.2. Maintenance corrective	19
II.2.2.1. Maintenance palliative	19
II.2.2.2. Maintenance curative	19
II-2-3- Valeurs des différentes catégories de la maintenance	20
II.2.4. Taches de maintenance	22
II.2.3.1. Classification par niveaux de maintenance	23

Chapitre III : Terminologie des défaillances

Introduction	26
III.1. Terminologie des défaillances	26
III.1.1. Définition de la défaillance fonctionnelle	26
III.1.2. Définition de la défaillance potentielle	27
III.1.3. Définition d'une dégradation	27
III.1.4. Cause de la défaillance	27
III.1.5. Mode de défaillance	28
III.1.6. Classification des défaillances	29
III.1.6.1. Classification des défaillances en fonction des causes	29
III.1.6.2. Classification des défaillances en fonction du degré	29
III.1.6.3. Classification des défaillances en fonction de la vitesse d'apparition	30
III.1.6.4. Classification de défaillance d'apparition en fonction de la vitesse d'apparition et du degré	31
III.1.6.5. classification des défaillances par rapport aux conséquences	32
III.2. Défauts et pannes	32
III.2.1. Définitions et classification des pannes	33
III.2.2. Notion de défaut	33
III.3. Mécanismes de ruine des matériels	33

Chapitre III : Terminologies des défaillances :

Introduction	33
III.3.1. Modes de rupture	33
III.3.2. Ruine des matériels par fatigue	34
III.3.3. Ruine des matériels par abrasion	35
III.3.4. Ruine par cavitation	35
III.3.5. Ruine par abrasion des gouttelettes liquides	37
III.3.6. Ruine par fluage	37
III.3.7. Le pompage	37
III.3.8. Ruine par relaxation	38
III.3.9. Ruine par corrosion	39
III.3.10. Ruine par corrosion – érosion	40
III.3.11. Mécanismes de ruine induits par la conception et la fabrication	41
III.3.12. Mécanismes d'usures dus aux régimes de lubrification	43
III.3.13. Les vibrations	44

VI.5. filtre d'aspiration.....	78
VI.6. reniflard.....	79
VI.7. radiateur.....	80
VI.8. clapet de sûreté (soupape de réduction).....	81
VI.9. canalisation d'asservissement.....	82
VI.10. capteurs.....	83
VI.11. bloc de commande.....	84
VI.12. aptitude de jugement d'expert et d'analyse.....	85
/ Evaluation de la criticité.....	86
Conclusion	
Annexe	
Résumé	

Chapitre IV : la méthodologie des défaillances

Introduction.....	46
IV-1- L'analyse fonctionnelle.....	47
VI.2. Rédaction des tableaux AMDEC.....	48
IV-3- Tableau d' AMDEC.....	55

Chapitre V : Description du circuit de graissage du moteur TV3-117

Introduction	56
V.1. Evolution des paramètres à travers les modules du moteur.....	57
V.1.1.l'entrée d'air	57
V.1.2.Le compresseur	57
V.1.3. la chambre de combustion	59
V.1.4. la turbine liée	59
V.1.5. La turbine libre	59
V.1.6. la tuyère d'échappement	60
V.2.Principe de fonctionnement	62
V.3. Système de lubrification	63
V.4. les constituants du circuit de graissage	66
V.4.1. le réservoir	66
V.4.2.Les pompes	66
V.4.3. Les filtres	67
V.4.4. Le séparateur (reniflard)	67
V.4.5. Radiateur d'huile	69
V.4.6. Injecteurs huile	69
V.4.7.Tuyauteries d'huile	69
V.6. Circulation d'huile	69

Chapitre VI : L'étude AMDEC

Introduction	72
VI.1. Huile de graissage.....	73
VI.2. pompe de refoulement.....	75
VI.3. pompe d'aspiration.....	76
VI.4. filtre de refoulement.....	77

INTRODUCTION:

Handwritten note: *Handwritten*

Considéré presque toujours, comme un poste inévitable de dépenses dans les entreprises, assimilé à des actions de dépannage ou d'entretien, le rôle de la maintenance est rarement considéré comme une activité stratégique au sein des entreprises. De plus, les services de maintenance font figure de parents pauvres par rapport aux services de production. Cette situation, en cours d'évolution, peut en partie s'expliquer par le fait que cette discipline transverse ne disposait pas de méthodologie d'approche de la fonction maintenance des systèmes.

La complexification des systèmes de production qui en découle rend leur exploitation à la fois plus performante et plus fragile. Plus performante, parce que la fiabilité du matériel a progressé considérablement et permet des rendements théoriques de plus en plus élevés. Mais l'exploitation est aussi plus fragile, car le moindre aléa non désirable peut remettre en cause la production ou mettre en péril le système lui-même, et ce n'est pas le personnel de plus en plus rare dans les usines, qui peut compenser instantanément les défaillances.

Cependant sous les effets conjugués de la crise économique et de la concurrence internationale, entraînant des contraintes incontournables liées aux exigences de la baisse des coûts de production des biens et des services, la fonction d'entretien évolue à la fonction maintenance dans un sens favorable par l'apparition des méthodes prouvées issues de la sûreté de fonctionnement (fiabilité, disponibilité, maintenabilité, et sécurité) dont les preuves de leur efficacité ont été démontrées dans l'aéronautique, le spatial et le nucléaire.

Dans le fonctionnement réel des installations, l'exploitation confronté par rapport aux prévisions. La disponibilité sera plus basse, les défaillances seront plus nombreuses et non prévues ; ... C'est dans ce contexte d'exploitation que la décision d'optimiser les politiques de maintenance se justifie. En quoi consiste-t-elle ?

Optimiser les politiques, c'est rechercher les meilleurs compromis possibles entre les coûts de maintenance, la disponibilité résultante et le niveau de sûreté de fonctionnement, dans la réalité, l'optimisation se traduira par des actions sur la consistance et la fréquence d'application des tâches de maintenance, certaines tâches seront supprimées parce qu'inadaptées, d'autres modifiées dans leurs contenus..... plus simples à énoncer qu'à mettre en pratique ?

La collecte et l'utilisation des données relatives aux défaillances doivent être ordonnés de façon rigoureuse. Il faut pouvoir relier les modes des défaillances matérielles aux effets sur les fonctions réalisées. Sans méthode pour aborder ce problème complexe, les désillusions sont loin ! Il convient d'avoir une vision claire du formidable effort de la méthode à réaliser pour aborder le problème de l'optimisation de la maintenance en exploitant les données de la fiabilité.

La fiabilité joue un rôle primordial dans les procédures d'identification de la criticité des modes de défaillance ont un impact significatif sur la sécurité, disponibilité, maintenabilité, ... et pour la sélection des intervalles entre les opérations de maintenance préventive et des tâches de maintenance efficaces et applicables pour atteindre le niveau de fiabilité requis des fonctions assurées. Ce travail est bien modéré dans la méthode quantitative et qualitative AMDEC : Analyse des modes de défaillance, leurs effets et leur criticité. Dans notre travail on étudie cette méthodologie structurelle et formelle et approche à l'appliquer sur un système aéronautique est ' LE CIRCUIT DE GRAISSAGE DU TURBOMOTEUR TV3-117' équipant les hélicoptères russes MI8, MIL MI 171, MI 24, ... pour une telle optimisation du maintenance préventive.

L'identification des matériels critiques par la méthode AMDEC est l'un des deux étapes principales de la maintenance basée sur la fiabilité, pour cela on introduit notre mémoire par des généralités sur la et le développement de leur programme initial.

Puisque de toute évidant, l'AMDEC fait appel à l'évaluation de la fiabilité intrinsèque, un paragraphe spécifique est consacré aux rappels théoriques sur les définitions et les théorèmes avec les autres exigences complémentaires : maintenabilité, disponibilité, sécurité en l'élargissant aux outils de la sûreté de fonctionnement dans la maintenance.

La maintenance caractérise l'ensemble des actions destinées à maintenir ou rétablir une entité dans un état dans lequel elle peut accomplir une fonction requise. Il est important de définir les activités de maintenance pour maîtriser les technologies et les méthodes de tous les politiques de maintenance, qui sont spécifiés dans l'autre paragraphe de la chapitre 2.

Quand la vie de maintenance déroule sur les défaillances, qui subies sans que l'on puisse prévoir leurs instants d'apparition, et pour les études quantitatives et qualitatives le chapitre 3 clarifier les notions théoriques sur les défaillances, les pannes, les défauts et leurs classification, et exposer les critères de ruine des matériaux.

Le chapitre 4 a été conçu pour servir de guide méthodologique des AMDE et les AMDEC, qui sont figurent parmi les outils indispensables pour l'établissement d'une politique de la MBF (maintenance basée sur la fiabilité), les AMDE fonctionnelles permettent d'identifier les fonctions critiques tandis que les AMDEC sont mises en œuvre pour déterminer les matériels critiques et les causes des défaillances devant faire l'objet d'une maintenance préventive. Les analyses AMDEC ne se résument pas à des tableaux remplis par des tableurs seulement ; les AMDE et les AMDEC sont des outils qui servent pendant tout le cycle vie d'un procédé (conception, fabrication, exploitation, maintenance, soutien logistique). Les AMDE et les AMDEC utilisent une démarche inductive. Il s'agit d'une analyse fonctionnelle consistant à identifier de façon systématique les risques de dysfonctionnement des systèmes puis à en chercher les origines et les conséquences.

Dans les derniers chapitres, on appliquant la méthodologie de l'AMDEC sur notre procédé choisie 'circuit de graissage', en établir la description matèrio/fonctionnel et par la collection des experts on rédacteur les tableaux AMDEC. Pour objectif de recenser les points critiques de fonctionnement et d'optimiser la grandeur MTBF (Mean Time Between failures) pour sélectionner un modèle de maintenance préventive ...qu'est notre objectif de ce modeste travail.

Chapitre I

Introduction à la Maintenance Basée sur la Fiabilité

I.1. Naissance de la maintenance basée sur la fiabilité (MBF) :

Les principes de la maintenance basée sur la fiabilité (MBF) ont été introduits en aéronautique à la fin des années 1960 aux Etats-Unis sous le nom de maintenance MSG-1 (*Maintenance Steering Group*). La MSG-1 a été mise au point pour l'avion Boeing 747 par des groupes de travail comprenant le constructeur, les compagnies aériennes et les autorités de certification. L'autorisation de navigabilité de la FAA (*federal aviation authority*) approuvée un programme de maintenance préventive très étendus indiqué à l'usage de tous les opérateurs de propriétaires des avions. Connaître la taille du B747 (*jumbo*) trois fois autant de passagers que B707 ; ses nombreux moteurs et les technologies avancées dans la structure et l'avionique, les lignes aériennes ne pourraient pas probablement actionner cet avion d'une mode commerciale profitable. Ce développement a mené l'industrie aéronautique commerciale sous la prise une réévaluation complète du stratégie d'entretien préventif. Cette stratégie lance un examen complet de pourquoi l'entretien a été fait, et de la façon dont il devrait mieux être accompli, ce qui a résulté la nouvelle approche entière qui a utilisé un processus d'arbre de décision pour ranger des taches d'entretien préventif cet avère nécessaire pour préservé des fonctions critiques d'avion pendant le vol. Par cette approche de 139 composants constituant le B 747 seulement 10% nécessitaient des démontages programmés. Depuis, dans cette industrie, la technique s'est affinée à la publication de 4 version successives MSG-1 (1969), MSG-2 (1970), EMSG (*European Maintenance System Guide*) (1972), MSG-3 (1980-1988). La RCM (*Reliability Centered maintenance*), développé en 1973 dans le domaine militaire aux Etats-Unis, résulte d'une étude réalisée par la compagnie *united airlines* pour le compte du département américain de la défense et a été publiée pour la première fois en décembre 1978. Elle a fait l'objet de modifications contenues dans le document « MIL-STD-2173 (AS)- *Reliability Centered Maintenance Requirements for Naval Support, Weapons Systems and Support Equipment* ». Décrivant la méthode de développement d'un programme de maintenance, et appliqué aujourd'hui par tous les constructeurs et les grandes compagnies aériennes.

I.2. Définitions et objectifs :

La Maintenance Basée sur la Fiabilité correspond à une politique de maintenance qui identifiée d'abord les matériels critiques dont les conséquences des défaillances fonctionnelles sont importantes pour les objectifs de l'entreprise (disponibilité, sécurité, coûts, qualité,...). La MBF a pour objectif d'éviter l'apparition des défaillances fonctionnelles et potentielles dont les effets sont répercutent en terme de coûts directs et indirects pour l'entreprise.

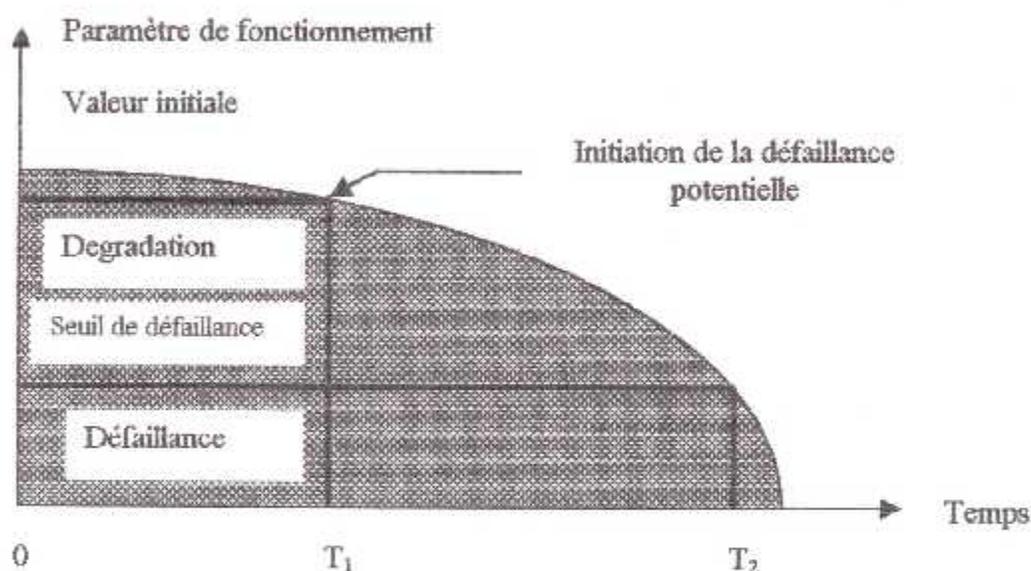


Figure (I.1) : Défaillances fonctionnelles et potentielles

Une défaillance fonctionnelle est l'altération ou la cessation de l'aptitude d'un ensemble ou d'un matériel à accomplir sa ou ses fonctions requise (s) avec les performances définies dans les spécifications techniques.

Une fois qu'une défaillance fonctionnelle particulière a été définie, une condition physique qui indique que la défaillance est imminente peut souvent être identifiée. Dans ces circonstances, il devient possible de retirer l'élément en service avant le point de la défaillance potentielle.

Le principe d'une maintenance préventive efficace repose sur la détermination des symptômes non ambigus qui permettront la détermination de l'instant où l'on se trouve au point de défaillance potentielle comme le montre la figure I.1

Ensuite, La MBF ne fait appel qu'à des tâches de maintenance préventive efficaces et applicables pour prévenir uniquement l'apparition de modes de défaillances sur les matériels critiques. Elle s'attache principalement à détecter l'apparition de défaillances potentielles.

Les objectifs d'un programme de maintenance efficace sont les suivants :

- Assurer réellement les niveaux de sécurité et de fiabilité intrinsèques du matériel ;
- Rétablir les niveaux de sécurité et de fiabilité à leurs valeurs intrinsèques, lorsqu'une dégradation se produit ;
- Se procurer les données permettant d'améliorer la définition des éléments dont la fiabilité intrinsèque s'avère insuffisante ;
- Réaliser ces objectifs pour un coût total minimal, incluant les coûts relatifs à la maintenance ainsi que les coûts relatifs aux défaillances résiduelle ;

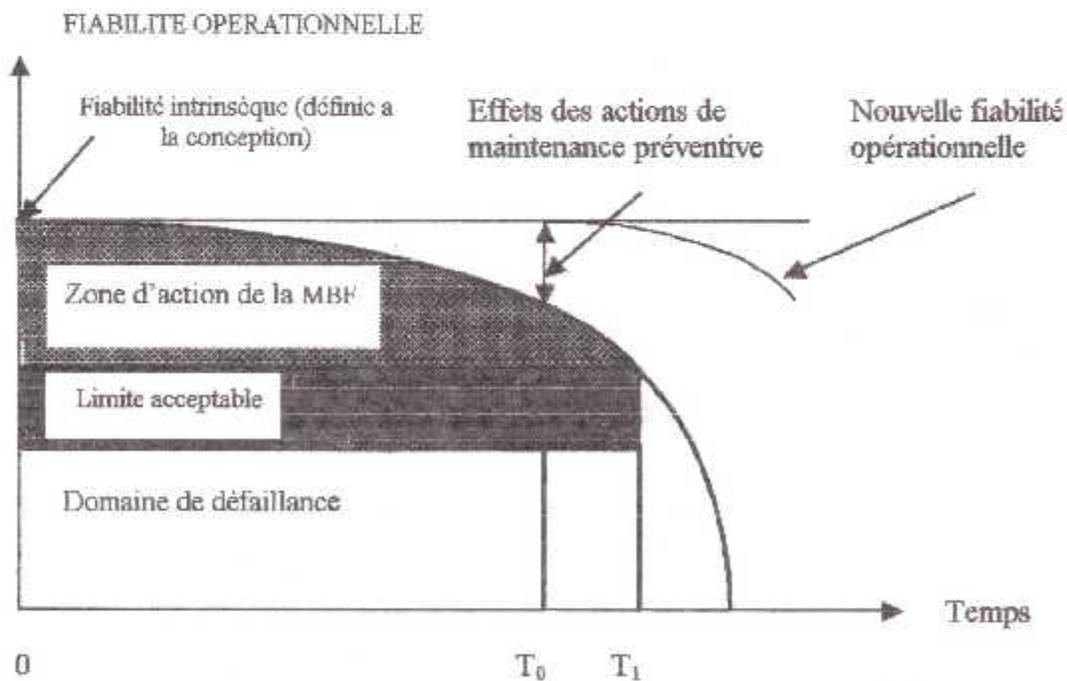


Figure (I.2) : Evolution de la fiabilité opérationnelle pendant la durée de vie

La fiabilité intrinsèque correspond à celle définie lors de la conception, une politique de maintenance efficace ne pourra jamais fournir une fiabilité opérationnelle supérieure à la fiabilité intrinsèque, sauf en cas de modification ou de reconception des matériels. La particularité de la Maintenance Basée sur la Fiabilité s'attachant à restaurer la fiabilité opérationnelle au niveau de la fiabilité intrinsèque.

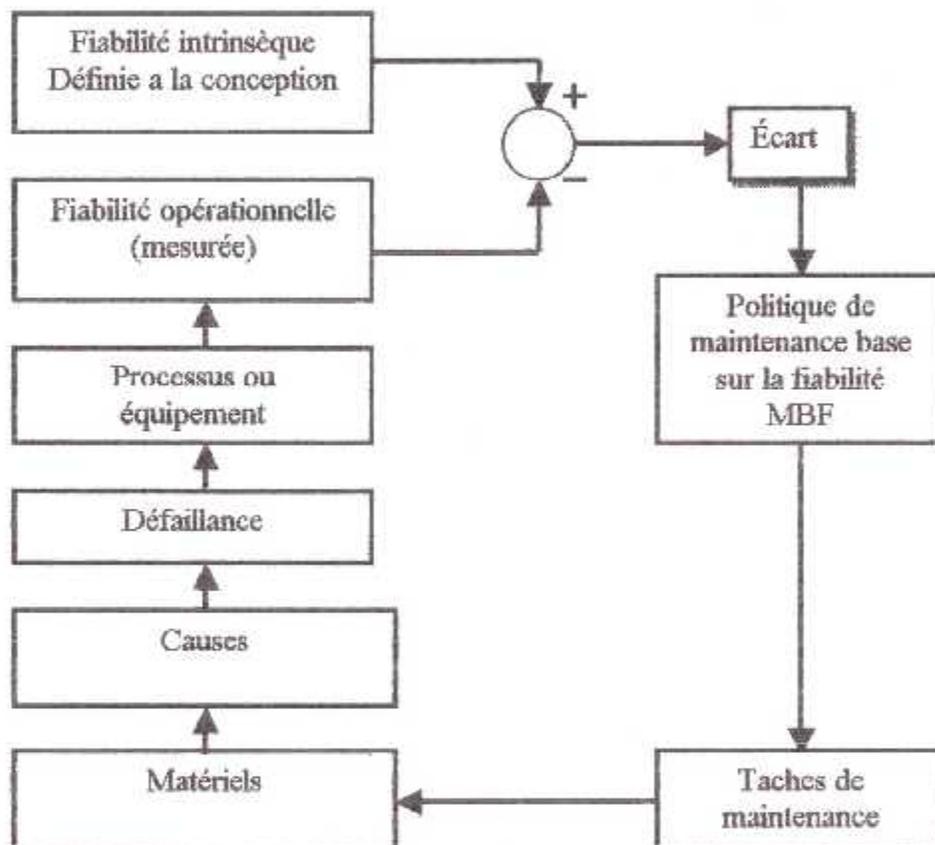


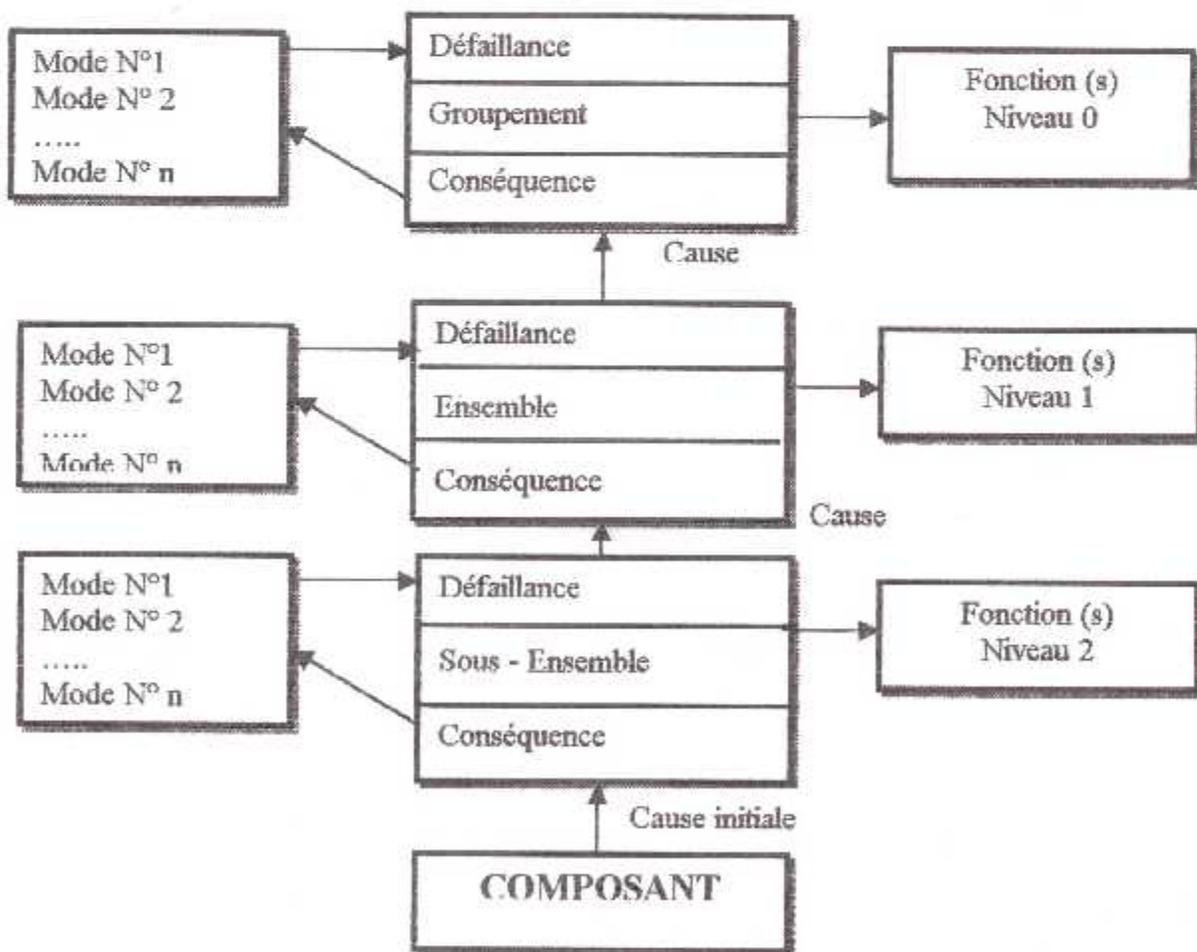
Figure (1.3): Rôle de la fiabilité dans la MBF

L'intérêt de la MBF, à condition de respecter l'esprit et la méthodologie des normes MSG-3 de donner un cadre précis et des règles pour établir un programme de maintenance à l'aide d'une méthode d'analyse structurée et rationnelle qui complète l'action des experts des matériels. En effet, chaque mode de défaillance fonctionnelle et sa criticité sont analysés de manière systématique ; les raisons qui conduisent à préférer tel type de tâche de maintenance sont explicitées formellement.

I.3. Développement d'un programme de Maintenance Basée sur la Fiabilité :

I.3.1. Recherche des matériels critiques :

La recherche des matériels critiques d'une installation industrielle repose sur la détermination du cheminement et des conséquences de leurs modes de défaillance fonctionnelle sur les fonctions principales assurées par le processus ou l'équipement. Cette recherche des matériels critiques fait appel à des décompositions hiérarchiques ascendantes ou descendantes fonctionnelles, matérielles ou mixtes du procédé, en systèmes, sous-systèmes et matériels. Les objectifs de ces décompositions fonctionnelles sont d'identifier pour chaque niveau de décomposition, les causes, les modes de défaillance, leurs modes de propagation et leurs effets. Le but final étant de déterminer les modes de défaillance des matériels les plus critiques qui devront faire l'objet de tâches de maintenance préventive pour réduire leurs effets. Cette étape, très importante dans le développement d'une démarche du MBF.



Figure(1.4) : Causes, modes, effets et propagation des défaillances.

Les outils les plus utilisés dans cette phase sont l'analyse fonctionnelle, les AMDE (analyse des modes de défaillance et de leurs effets) fonctionnelles ou matérielles et les AMDEC (analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité). L'utilisation des données de fiabilité permet de déterminer de façon qualitative ou quantitative la criticité et la gravité des modes de défaillance.

Très souvent, en l'absence des données de fiabilité pertinentes, la détermination des matériels critiques est assurée par jugement collectif d'experts.

I.3.2. Sélection des tâches de maintenance :

Pour les matériels critiques, le contenu du programme de maintenance se compose de deux groupes de tâches applicables et efficaces :

➤ Un groupe de tâches préventives prévues pour être exécutées à des intervalles spécifiés. Leurs objectifs sont d'identifier et de prévenir la dégradation des niveaux intrinsèques de sécurité et de fiabilité, en employant un ou plusieurs des moyennes : Lubrification, surveillance de fonctionnement, vérification opérationnelle, remise en état.....

➤ Un groupe de tâches non programmées qui ont leurs origines dans :

Les tâches programmées exécutées à fréquences spécifiés ; les rapports traitant des défauts ; l'analyse des données

Tâche applicable :

Une tâche est applicable si elle peut être mise en œuvre de façon pratique. La surveillance vibratoire d'un arbre de machine tournante est une tâche applicable pour détecter les mauvaises vibrations.

Tâche efficace :

Une tâche 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 rétabli. Par exemple : Les techniques de contrôle non destructif permettent de quantifier la taille et l'orientation d'une fissure.

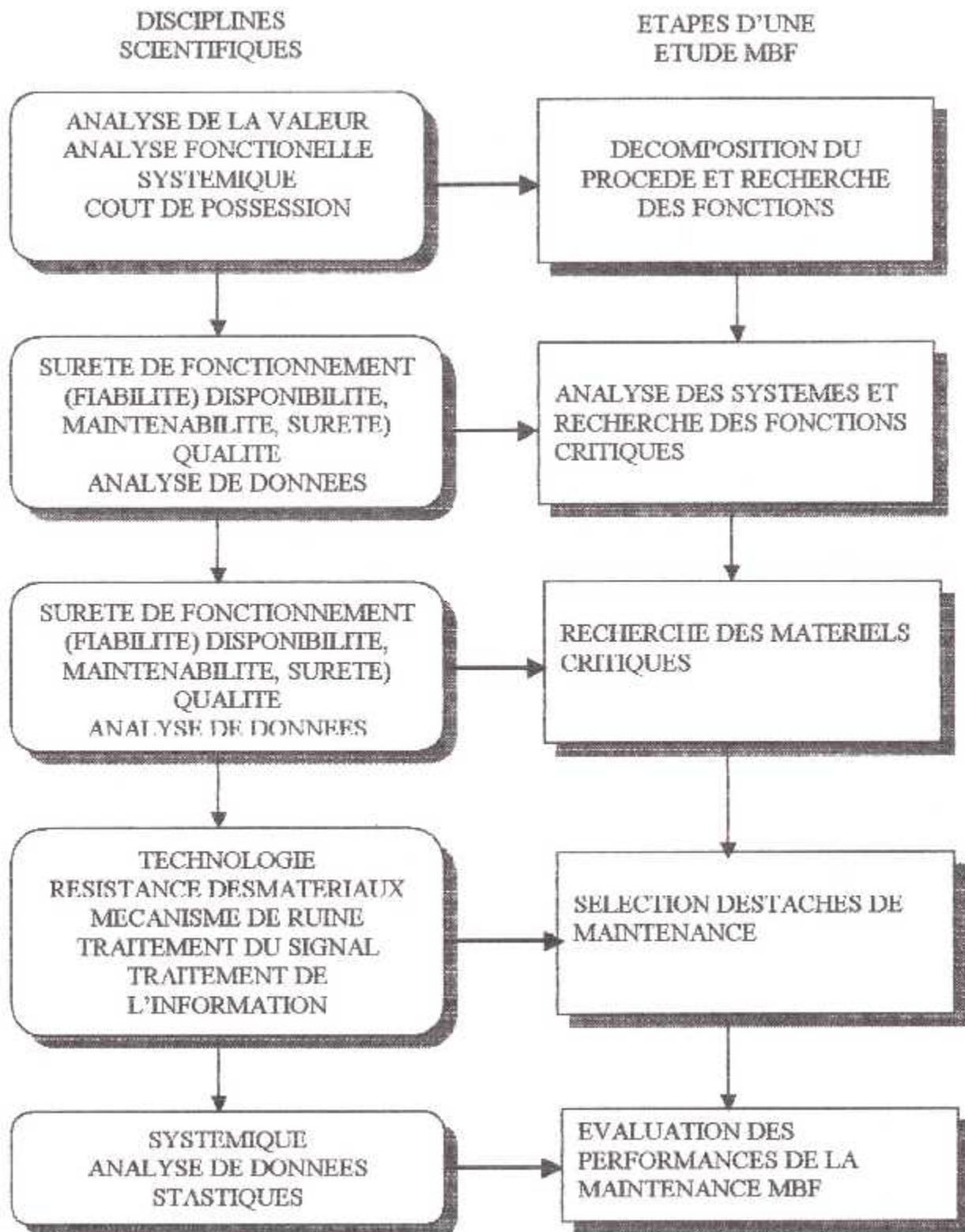


Figure I-5 : Disciplines scientifiques associées aux développements du programme MBF

Chapitre II

Concepts

et la Fonction maintenance

Introduction :

Avant de décrire sous leurs aspects théoriques et pratiques, les exigences de maintenance, il est essentiel d'utiliser des concepts et une terminologie précise s'appuyant sur des normes nationales et internationales. En effet, pour des applications industrielles et des diagnostics, il apparaît souvent des terminologies différentes pour la conduite et la maintenance des processus. Il est donc fondamental, pour la suite de mémoire, d'avoir des définitions précises pour le diagnostic des défaillances, des pannes et des défauts. La difficulté majeure rencontrée dans la description des concepts et de la terminologie provient du fait que l'on peut les aborder sous deux angles très différents suivant les origines et les formations des intervenants : Les concepteurs dans les bureaux d'études et les opérateurs ont tendance à utiliser un vocabulaire privilégiant les aspects fonctionnels mais, par contre, les personnels de maintenances ont souvent une approche matérielle pour décrire les défaillances. Ce fossé cependant est en train de se combler avec l'apparition de nouvelles politiques de maintenance tels que la maintenance basée sur la fiabilité qui privilégie une approche globale fonctionnelle. En 1994 et 1995, les différentes instances internationales de normalisation (CEI, ISO, AFNOR, CEN) ont entrepris de réviser la terminologie utilisée dans le domaine de la maintenance et de la sûreté de fonctionnement. Il est donc recommandé de se référer aux nouvelles normes en cours de révision pour la rédaction des réponses à des appels d'offres nationaux et internationaux relatifs au domaine de la maintenance et de la sûreté de fonctionnement.

II .1. Concepts de base en sûreté de fonctionnement :

Les circonstances et les conséquences des catastrophes et des accidents sont variables. Elle montre que le risque présente deux aspects : un aspect probabilisme et un aspect consécutif qui se caractérise par la sécurité : protection des personnes, de l'environnement mais aussi protection de l'outil de production.

Pour réduire les risques deux voies peuvent être pratiquées:

- Diminution de la probabilité d'occurrence de « l'évènement indésirable ».
- Atténuation des conséquences de « l'évènement indésirable ».

II.1. Sûreté de fonctionnement (SDF) :

La sûreté de fonctionnement est également appelée science des « défaillances ». elle se caractérise à la fois par l'étude structurelle (statique) et dynamique des systèmes du point de vue prévisionnel, mais aussi opérationnel est expérimental (essais, accidents), en tenant compte des aspects probabilités et conséquences des défaillances. Cette discipline intervient non seulement au niveau du produit fini (système existant) mais aussi au niveau conceptuel pour la réalisation d'un système ou la connexion de plusieurs sous-systèmes (surtout s'ils sont de nature différente).

La sûreté de fonctionnement consiste à connaître, évaluer, prévoir, mesurer, et maîtriser les défaillances des systèmes. Les grandeurs fondamentales utilisées dans cette discipline sont définies dans les paragraphes suivants :

II.1.2. Fiabilité (*reliability*) « F » :

La norme NF X 60-500 définit la fiabilité comme l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant un intervalle de temps donné.

L'entité « E » désigne un composant, sous-système ou système et la fonction requise est la ou les fonctions que doit accomplir le dispositif pour pleinement remplir la tâche qui lui est assignée.

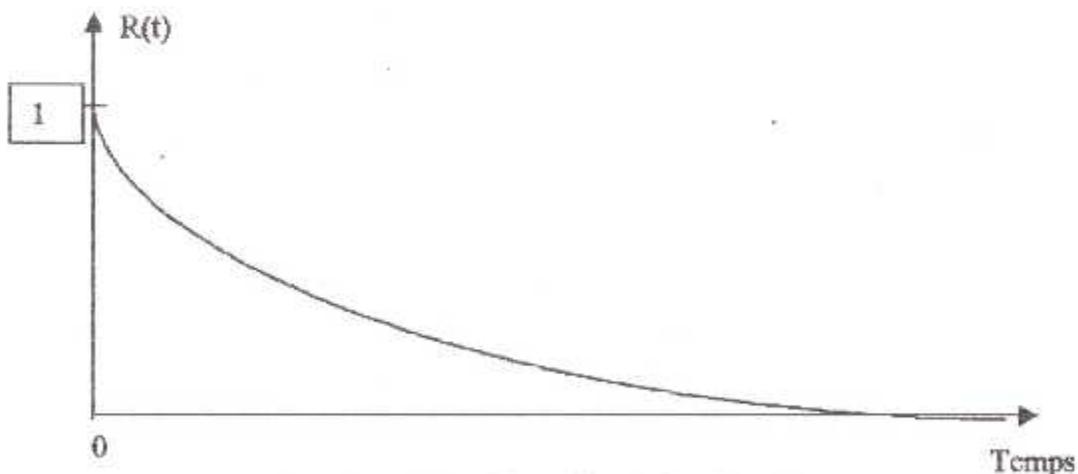


Figure (II.1) : Allure d'une fonction $R(t)$

Par extension, on appelle également fiabilité la probabilité associée $R(t)$ à cette notion alors qu'elle n'en est qu'une mesure. Elle définit sur un durée de temps par :

$$R(t) = P(E)$$

On distingue plusieurs types de fiabilité :

- La fiabilité opérationnelle (observée ou estimée) :

Déduite de l'analyse d'entités identiques dans les mêmes conditions opérationnelles à partir de l'exploitation d'un retour d'expérience.

- La fiabilité prévisionnelle (prédite) :

Correspondant à la fiabilité future d'un système et établie par son analyse connaissant les fiabilités de ses composants.

- La fiabilité extrapolée :

Déduite de la fiabilité opérationnelle par extrapolation ou interpolation pour des conditions ou des durées différentes.

- La fiabilité intrinsèque :

Où inhérente découle directement des paramètres de conception. Sans modification des conceptions des entités, la maintenance visera à maintenir la fiabilité opérationnelle à un niveau au plus égale à la fiabilité intrinsèque.

Une grandeur moyenne associée à la fiabilité souvent utilisée est le temps moyen de fonctionnement d'une entité ou moyenne de temps de vie avant la première défaillance, MTTF (*Mean Operating Time to Failure*).

$$MTTF = \int_0^t R(t) dt .$$

II.1.3. Disponibilité (*Availability*) «D» :

La norme NF X 60-500 définit la disponibilité comme l'aptitude d'une entité à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou pendant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires de maintenance soit assurée .

La probabilité associée $A(t)$ à l'instant t est aussi appelée disponibilité et s'exprime par :

$$A(t) = P(E \text{ non défaillant à l'instant } t).$$

- Attention : La disponibilité $A(t)$ est une grandeur instantanée. L'entité peut donc avoir subi une panne puis une réparation avant l'instant « t », contrairement à la fiabilité $R(t)$ qui est une grandeur mesurée sur une durée intervalle $[0, t]$.

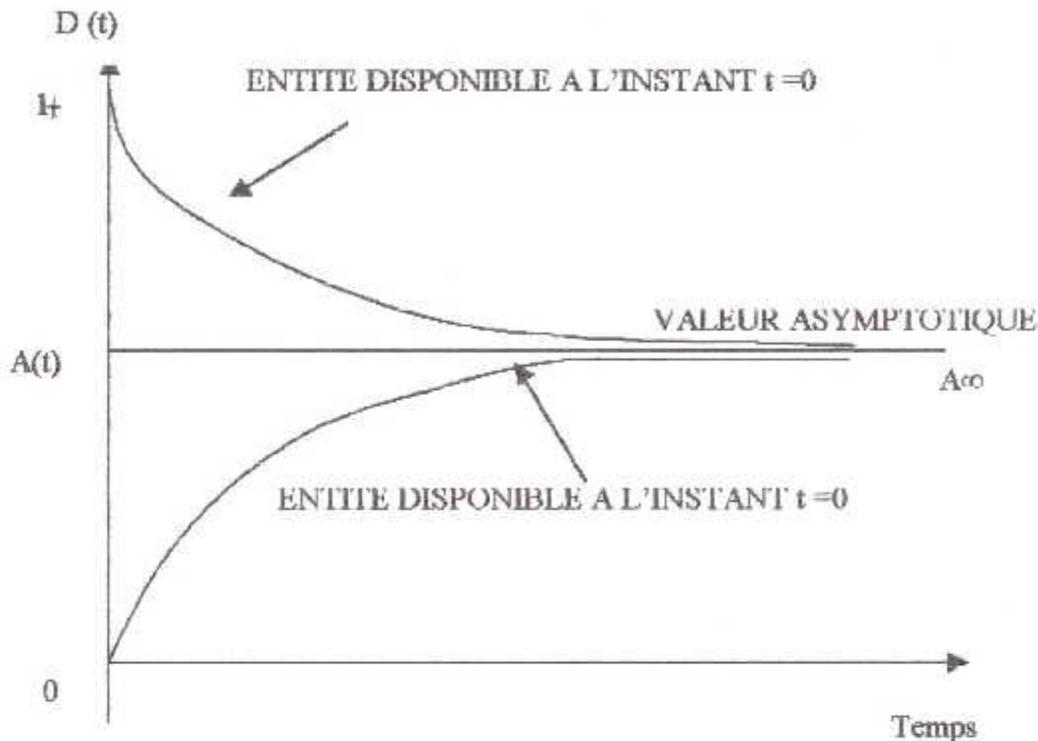


Figure (II.2) : Disponibilité en fonction du temps

Comme la fiabilité, plusieurs types de disponibilités peuvent être utilisés :

- La disponibilité instantanée prévisionnelle (définie ci-dessus).
- La disponibilité moyenne : moyenne sur un intervalle de temps donné $[t_1, t_2]$ de la disponibilité instantanée, ou mesurée en phase opérationnelle par la durée de fonctionnement effectif divisé par la durée donnée.

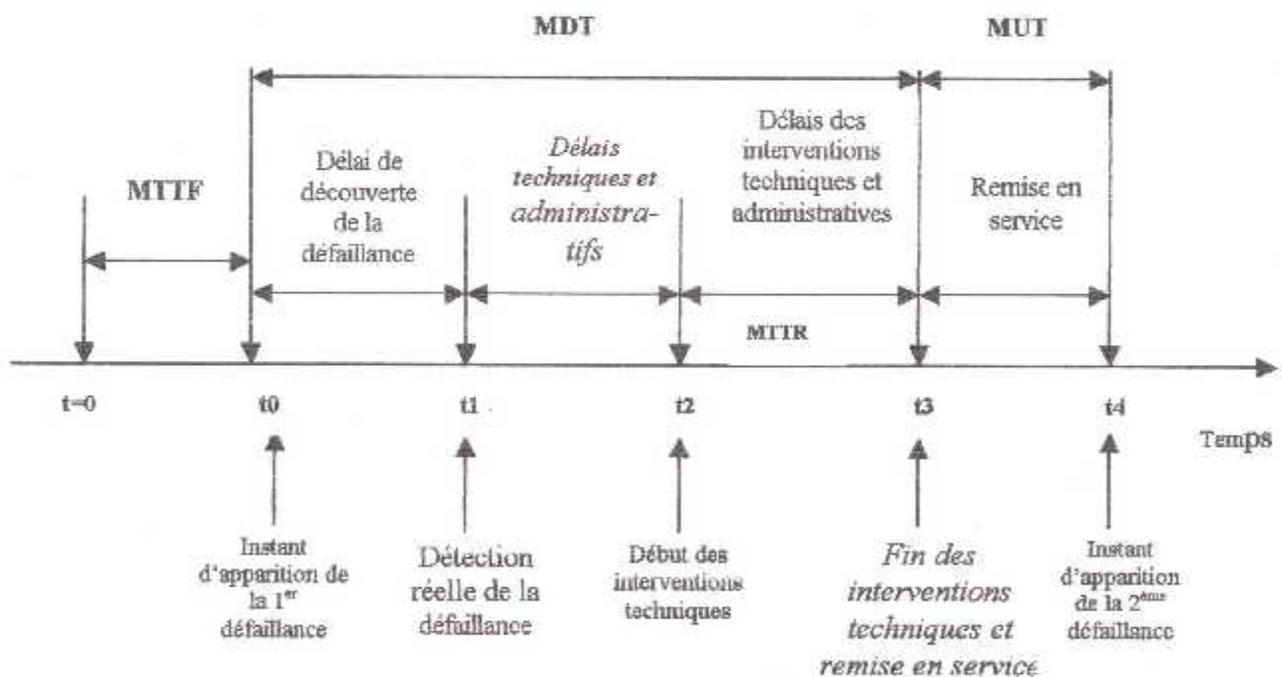
Les grandeurs moyennes associées à la disponibilité les plus courantes sont :

- Le TMD (Temps Moyen de Disponibilité) ou durée de bon fonctionnement après réparation, ou MUT (Mean Up Time) : La durée moyenne de fonctionnement après réparation et avant la défaillance suivante.
- Le TMI (Temps Moyen d'Indisponibilité) ou durée moyenne d'indisponibilité, ou MDT (Mean Down Time) : la durée moyenne entre une défaillance et la remise en état suivant.
- La durée moyenne entre défaillance notée MTBF (Mean Time Between Failures) la durée moyenne entre deux défaillances consécutives de l'entité. En général, on a la relation : $MTBF = MIT + MDT$

II.1.4. Maintenabilité (*maintainability*) «M » :

Dans les conditions données d'utilisation, c'est aptitudes d'une entité à être maintenue ou rétablie, c'est un intervalle de temps donné, dans un état dans lequel elle peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits.

D'après la norme NFX 60-500, la maintenabilité est l'ensemble des actions destinées a maintenir ou rétablir une entité dans un état dans lequel elle peut accomplir une fonction requise.



Figure(III-3) : Chaînage temporel des activités de détection et de remise en service

La maintenabilité d'une entité repérable est caractérisé par une probabilité $M(t)$, soit achevée au temps « t » sachant que E est défaillante au temps $t=0$: $M(t)=P$ (la maintenance de E est achevée au temps t) $-1-P(E$ non réparé sur la durée $[0, t])$.

Il s'agit donc d'un équivalent à la fiabilité mais appliqué à la réparation au lieu de la défaillance.

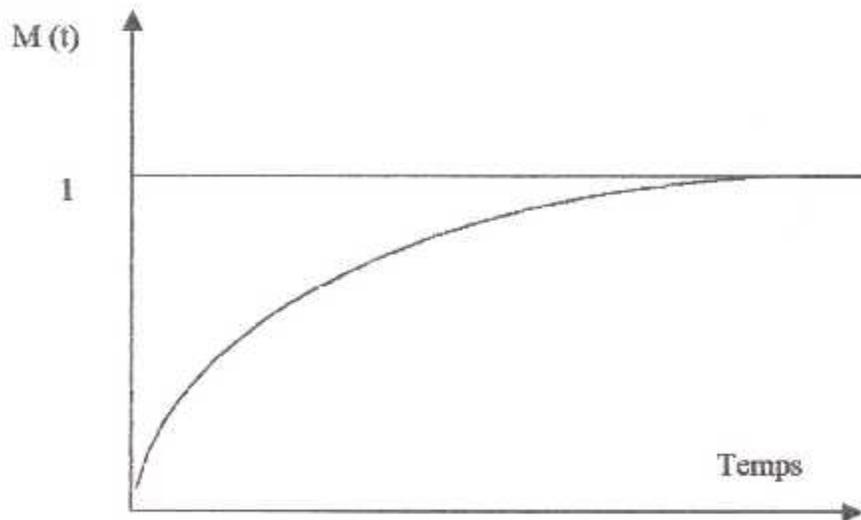


Figure (II.4) : Allure de la courbe de la maintenabilité

II.1.5. La sécurité (*safety*) « s » :

La sécurité restant un terme très général, il n'existe pas actuellement de consensus pour une normalisation. La terminologie en usage en France ne fait pas la différence entre les termes anglais « security » et « safety ».

Le terme 'security' concerne les aspects réglementaires de la sécurité (respect des normes, ...), tandis que le terme 'safety' enseigné aux Etats unis sous le nom « *d'industriel safety* » recouvre les aspects techniques de la sécurité.

Le niveau de risque acceptable prend en compte des paramètres non seulement techniques, économiques, identiques, sociaux voir politiques. Ces niveaux acceptables sont pour industries à risques définis par des autorités administratives sous la direction des autorités de ministérielles de tutelle. Comme l'aéronautique en France, le risque de catastrophe aérienne est d'un accident par 10^{17} vols. Ainsi; le risque acceptable pour la probabilité de fusion du cœur d'une centrale nucléaire est fixé à $5 \cdot 10^{-8}$ par réacteur et par an. Les études de sécurité, où la maintenance joue un rôle non négligeable dans la mesure ou de nombreux accidents sont liés à des défaillances techniques ou humaines, couvrent un spectre technique étendu.

Les méthodes utilisées en sécurité doivent en particulier :

- Identifier les modes de fonctionnement anormaux pouvant conduire à une situation dangereuse, un politique de maintenance efficace comme la maintenance basée sur la fiabilité s'intéresse principalement aux matériels dont les défaillances ont des conséquences sur la sécurité des biens et des personnes.
- Analyser la combinaison et l'enchaînement d'évènements peu probables, pris isolement qui conduisent à des accidents. L'expérience montre en effet que de nombreuses catastrophes ont été le résultat de séquences de défaillances mineures.
- Evaluer la probabilité d'occurrence d'un accident et lui assigner une gravité sur une échelle appropriée pour juger si le risque est acceptable économiquement ou écologiquement compte tenu des enjeux de la mission.
- Maintenir le risque à son niveau acceptable grâce, par exemple, à la maîtrise de la fiabilité des matériels obtenue par des politiques efficaces de maintenance.

II.2. La Fonction Maintenance :

La terminologie préconisée par la norme AFNOR NF X 60 010 révisée en 1994, va être intégralement reproduit par souci de précision. La définition de maintenance cette formule :

Toutes les activités destinées à maintenir ou à rétablir un bien dans un état ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement, pour accomplir une fonction requise. Ces activités sont une combinaison d'activités techniques, administratives et de management.

La maintenance est donc l'ensemble d'opération d'entretien préventif et curatif destiné à accroître la fiabilité ou pallier les défaillances des biens pour les maintenir en état de marche et fournir aux exploitants un matériel sûr, efficace, économique et dans les délais.

II.2.1. Maintenance préventive :

Maintenance ayant pour objet de réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation d'un bien ou d'un service rendu. Les activités correspondantes sont déclenchées selon un échéancier établi à partir d'un nombre prédéterminé d'usage (maintenance systématique) et / ou des critères prédéterminés significatifs de l'état de dégradation du bien ou du service (maintenance conditionnelle).

Lorsque au cours d'une tâche préventive un composant interne du matériel est trouvé ou jugé défaillant, sa réparation ou son remplacement doivent être considérés comme de la maintenance corrective. S'il est trouvé non défaillant mais dégradé, même au-delà de la valeur de défaillance potentielle, sa réparation ou son remplacement sont de nature préventive. On notera qu'une dégradation qui n'atteint pas le point de défaillance potentielle n'est en principe pas à réparer.

II.2.1.1. Maintenance préventive systématique :

Ce type de maintenance comprend l'ensemble des actions destinées à restaurer, en totalité ou partiellement, la marge de résistance des matériels non défaillants, lorsque ces tâches sont décidées en fonction du temps ou de la production, sans considération de l'état des matériels à cet instant.

Elle comprend le remplacement systématique de certains composants critiques en limite d'expiration de leur durée de vie, le remplacement de composants peu coûteux pour éviter les dépenses d'évaluation de leur état et l'essentiel des opérations de service (remplacement de fluides, filtres, etc.).

Ce type de défaillance concerne les composants dont on connaît de façon précise la durée de vie moyenne ou lorsque des contraintes réglementaires ou juridiques (clauses de garanties) sont obligatoires.

II.2.1.2. Maintenance préventive conditionnelle :

Ce type de maintenance comprend toutes les tâches de restauration de matériels ou de composants non défaillants, entreprises en application d'une évaluation d'état et de la comparaison avec un critère d'acceptation préétabli (défaillance potentielle).

Il apparaît immédiatement que ce type de maintenance préventive requiert des tâches additionnelles pour évaluer le niveau de dégradation. Ces tâches sont considérées comme appartenant à la maintenance conditionnelle, car elles sont au cœur de la procédure de décision, bien que la plupart d'entre elles soient effectuées selon une programmation régulière.

II.2.1.3. Maintenance prévisionnelle :

Maintenance préventive subordonnée à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs de la dégradation du bien, permettant de retarder et de planifier les interventions.

II.2.1.4. Maintenance proactive :

La maintenance proactive est un terme de plus en plus utilisé aux Etats-Unis par les industriels et prestataires de service en maintenance. La maintenance proactive est une forme avancée de maintenance prévisionnelle consistant à déterminer les causes initiales des défaillances à partir de l'état de défaillance potentielle. Elle requiert une très bonne connaissance des mécanismes de ruine des matériels et des relations de cause à effet entre les symptômes externes et leurs causes matérielles. La mise en œuvre de cette maintenance implique l'accumulation d'un retour d'expérience d'excellente qualité.

II.2.1.5. Maintenance basée sur la fiabilité (MBF) :

La Maintenance Basée sur la Fiabilité (MBF) dérivée de *Reliability Centered Maintenance* et de la MSG-3, utilise un ensemble de méthodes structurées et formelles. Elle ne sélectionne que des tâches efficaces et applicables de maintenance préventive pour atteindre le niveau de fiabilité requis (intrinsèque) des fonctions assurées par les matériels en optimisant les coûts de maintenance.

Cette méthode exhaustive et rationnelle, issue du monde de l'aéronautique, recherche les matériels critiques dont les modes de défaillances ont un impact significatif sur la sûreté, la disponibilité, la qualité, l'environnement, etc. Fondée sur la connaissance des taux de fiabilité des matériels pour dimensionner l'optimisation des politiques de maintenance, elle implique une maintenance préventive ou une modification de conception uniquement pour les matériels critiques et une maintenance corrective pour les matériels non-critiques.

II.2.2.Maintenance corrective :

Ensemble des activités réalisées après les défaillances du bien , ou la dégradation de sa fonction pour lui permettre d'accomplir une fonction requise, au moins provisoirement : ces activités comportent notamment la localisation de la défaillance et son diagnostic, la remise en état avec ou sans modification, le contrôle de bon fonctionnement .

Soulignons que les activités de maintenance corrective sont subics et découlent directement des conséquences de l'apparition d'une défaillance.

II.2.2.1.Maintenance palliative :

Activités de maintenance corrective destinées à permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou partie d'une fonction requise. Appelée couramment dépannage, cette maintenance palliative est principalement constituée d'actions à caractères provisoires qui devront être suivies d'actions curatives.

II.2.2.2.Maintenance curative :

Activités de maintenance corrective ayant pour projet de rétablir un bien dans un état spécifié ou de lui permettre d'accomplir une fonction requise. Le résultat des activités réalisées doit présenter un caractère permanent. Ces activités peuvent être des réparations, des modifications ou aménagements ayant pour objet de supprimer la ou les défaillances (s).

II.2.3. Valeurs des différentes catégories de la maintenance :

Chaque catégorie de maintenance comprend un domaine privilégié correspond à un optimum en vue d'atteindre des niveaux de fiabilité et de sûreté tout en minimisant les coûts de maintenance. Pour des équipements complexes (centrales nucléaires, avions, navets spatiale,...) il existe une telle variété de modes de défaillances que l'on a recours pratiquement à toutes les catégories de maintenance.

La maintenance corrective ne correspond pas une stratégie qui subit les défaillances, mais si le taux de défaillance un effet contrôlable et n'ont pas d'impacts significatifs sur le fonctionnement elle peut s'avérer être l'option la plus économique. Cette option envisagée également pour des systèmes redondants non-opérationnels.

Par exemple, dans le domaine aéronautique civil, la maintenance corrective représente environ les deux tiers des activités de maintenance, ceci est liée à deux facteurs : la très faible probabilité de prendre les fonctions redondantes pendant un vol d'une durée maximale de 12 heures et la possibilité de réparer des composants défaillants entre deux vols sans compromettre gravement leur fréquence de rotation.

Il existe deux cas où la maintenance systématique peut être utilisée pour les matériels soumis à une réglementation administrative ou dans la garantie contractuelle l'ors d'un achat de matériels neufs, cette option est obligatoire pour des systèmes en fonctionnement continu elle est exigée après un nombre d'heures fixées ou après des cycles définies.

On peut remarquer si la maintenance systématique hors contrainte réglementaire, est efficace, elle ne correspond pas nécessairement à l'option la plus économique pour un parc réduit de machines. En effet, même en fixe une limite de vie sure, il se peut que les composants mis au rebut possèdent encore un potentiel de vie, un autre inconvient dans l'arrêt du fonctionnement qui induise sur la disponibilité.

Les tâches de maintenance conditionnelle, quand elles sont applicables et efficaces, sont toujours préférables aux tâches de maintenance systématique, car elles permettent de réduire le taux de défaillance par un suivi périodique ou en ligne d'évolution de la dégradation et autorisent la diminution des coûts. Elles offrent l'avantage de déterminer l'état de santé des matériels. De ce fait chaque élément est utilisé avec son maximum de potentiel de durée de vie.

Les tâches de la maintenance prévisionnelle et les tests fonctionnels sont réalisées lors de fonctionnement permettent d'allonger les intervalles entre démontages et inspection.

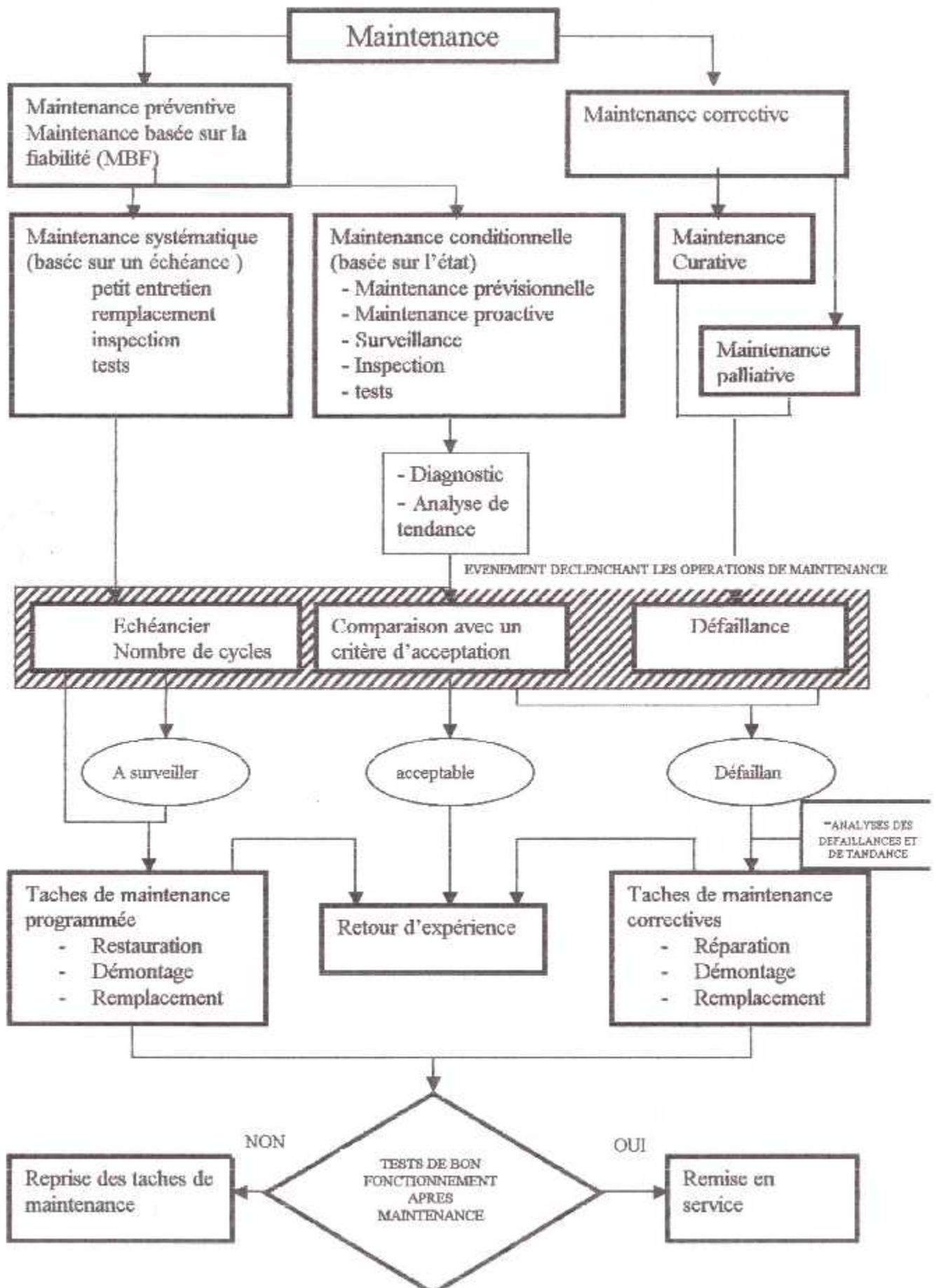


Figure (II.5) : Diagramme des différents concepts de maintenance

II.2.4. Taches de maintenance :

La classification et le contenu des taches de maintenance doivent être définis clairement pour identifier les compétences des différents intervenants amenés à réaliser la maintenance des équipements. Ces éléments d'information sont indispensables pour constituer les équipes de maintenance avec toutes les qualifications pour des interventions de qualité.

1- contrôle :

Vérification de la conformité par rapport à des données préétablies, suivi d'un jugement.

Par exemple : le contrôle de débit d'une pompe alimenteuse d'huile.

2- surveillances en service :

Technique qui repose sur l'analyse des variations de paramètres de fonctionnement du matériel, visant à évaluer son état de dégradation, pour décider la nécessité d'une inspection ou d'une réparation préventive afin d'éviter sa défaillance.

Par exemple : surveillance du niveau vibratoire d'un arbre du réacteur par un collecteur des données (tachymètre).

3- inspection :

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.

Examen visuel ou recourant à des moyens non destructifs, utilisée par exemple évaluer l'état des structures métalliques (tel que les appareils à pression ou les composant métalliques massifs).

4- essai en exploitation :

Tache qui mesure l'aptitude du matériel à assurer ses fonctions, ou son niveau de performance. Dans des conditions d'exploitation normales ou incidentelles.

Par exemple : le contrôle du calibrage d'un capteur ou l'essai d'endurance d'une batterie.

5- visite :

Opération de maintenance préventive 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 de premier niveau (réglage simple).

Par exemple : visite de l'intérieur de la volute d'une pompe hydraulique.

6- révision :

Ensemble des actions d'examen, de contrôle et des interventions effectuées en vue d'assurer le bien contre toutes les défaillances majeures ou critiques pendant un temps donné ou pour un nombre d'unités d'usages donné.

Par exemple : révision du groupe pneumatique auxiliaire du démarrage (APU).

7- Modification :

Opération à caractère définitif effectuée sur un bien en vue d'en améliorer le fonctionnement ou d'en changer les caractéristiques d'emploi.

Ce concept est souvent associé aux changements, dans les procédures de conduite ou la mission de l'unité. Cependant, c'est également une technique disponible pour corriger ou prévenir les défaillances des matériels, notamment dans le cas où l'origine de problème est en fiabilité intrinsèque insuffisante. Dans ses applications à la maintenance, la modification consiste la plupart de temps en une correction locale de la conception ou de procédé de construction, pour éviter le retour d'un mode de défaillance à un emplacement donné.

II.2.3.1. Classification par niveaux de maintenance :

Les 5 niveaux normalisés sont donnés à titre indicatif pour servir de guide et leur utilisation pratique est recommandée entre les paramètres selon le type de bien à maintenir. Une politique de maintenance bien définie doit clairement identifier les niveaux de maintenance réalisés à l'intérieur de l'entreprise et ceux confiés à des entreprises de sous-traitance ou à des constructeurs. Ils permettent en outre d'identifier le niveau de diagnostic auquel on s'intéresse : système, sous-système, matériels, composants élémentaires.

1^{er} niveau :

Réglages simples prévus par les constructeurs au moyen d'éléments accessibles sans aucun démontage ou ouverture de l'équipement, ou échanges d'éléments consommables accessibles en toutes sécurités, tels que voyants ou certains fusibles etc. »

Note : Ce type d'intervention peut être fait par l'exploitant du bien, sur place sans outillage et à l'aide des instructions d'utilisations.

2^{ème} niveau :

Dépannages par échanges standard des éléments prévus à cet effet et opérations mineures de maintenance préventive, telles que graissage ou contrôle de bon fonctionnement.

Note : Ce type d'intervention peut être effectué par un technicien habilité de qualification moyenne, sur place avec l'outillage portable défini par les instructions de maintenance et à l'aide de ces mêmes instructions on peut se procurer les pièces de rechanges transportables nécessaire sans délai et à proximité immédiate du lieu d'exploitation.

3^{ème} niveau :

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 réglage général ou réaligement des appareils de mesures.

Note : Ce type d'intervention peut être effectué par un technicien spécialisé sur place ou dans le local de maintenance, à l'aide de l'outillage prévu dans les instructions de maintenance ainsi que les appareils de mesures et de réglages et éventuellement des bancs d'essais et de contrôle des équipements et en utilisant l'ensemble de la documentation nécessaire à la maintenance du bien, ainsi que les pièces approvisionnées par le magasin.

4^{ème} niveau :

Tous les travaux importants de maintenance corrective ou préventive à l'exception de la rénovation et de la reconstruction. Ce niveau comprend aussi le réglage des appareils de mesures utilisés pour la maintenance et éventuellement la vérification des étalons de travail les organismes spécialisés.

Note : Ce type d'intervention peut être effectué par une équipe comprenant un encadrement technique très spécialisé, dans un atelier spécialisé doté d'un outillage général (moyens mécaniques, de câblage, de nettoyage, etc.) et éventuellement de bancs de mesure et des étalons de travail nécessaires, à l'aide de toutes documentations générales ou particulières.

5^{ème} niveau :

Rénovation, reconstruction ou exécution des réparations importantes confiées à un atelier central ou à une unité extérieure.

Note : Par définition, ce type de travaux est donc effectué par le constructeur, ou par le reconstruteur, avec les moyens définis par le constructeur et donc proches de la fabrication. Ainsi, en aéronautique la grande visite d'un avion ou l'on inspecte et rénove les différents systèmes est une opération de maintenance de 5^e niveau.

Chapitre III

Terminologie des défaillances

Introduction :

Le diagnostic industriel possède des applications dans les domaines de la conduite et dans la maintenance des procédés industriels et il est primordial de définir et de préciser sans ambiguïté les notions de défaillances, pannes et défauts. En effet, les actions techniques à mener sont de nature différente dans la conduite et la maintenance. Lors d'un dysfonctionnement constaté lors de la conduite d'une installation industrielle, l'équipe de conduite devra mettre en œuvre rapidement, après diagnostic.

III.1. Terminologie des défaillances :

III.1.1. Définition de la défaillance fonctionnelle :

Une défaillance est l'altération ou la cessation de l'aptitude d'un ensemble à accomplir sa ou ses fonctions requise(s) avec les performances définies dans les spécifications techniques.

Un ensemble est défaillant si ses capacités fonctionnelles sont interrompues (panne ou arrêt volontaire par action d'un système interne de protection ou une procédure manuelle équivalente). Dans le cas d'une dégradation sans perte total de la fonction, on considère qu'il s'agit d'une défaillance si sa performance tombe en dessous d'un seuil défini, lorsqu'un tel seuil minimum est contenu dans les spécifications fonctionnelles du matériel.

Cette définition inclut de façon très explicite la perte de la fonction d'une entité et pour cette raison elle porte souvent à des interprétations différentes suivant les intervenants.. Certains secteurs industriels, pour lever cette ambiguïté ont dressé des listes standardisées de défaillances fonctionnelles. Par exemple si on considère un moteur électrique dont la fonction principale est de convertir une énergie électrique en énergie mécanique, le refus de démarrage est une défaillance fonctionnelle du moteur. Dans d'autres secteurs industriels, adoptant une approche matérielle de la défaillance, une perte de l'isolement du stator sera considérée comme une défaillance matérielle. Cette grande différence d'approche constitue une réelle difficulté pour entreprendre de façon efficace dialogue entre les concepteurs, les exploitants et les responsables de la fonction maintenance. Pour clarifier ces différences, le recours à des décompositions fonctionnelles et matérielles des systèmes permet les solutions possibles.

III.1.2. Définition de la défaillance potentielle :

Lorsque une valeur de défaillance a été fixée pour évaluer la dégradation d'un matériel ou d'un composant, on définit une autre valeur du même critère, en avance la précédente, comme état le « point de défaillance potentielle ». Cette valeur est choisie de telle sorte que si la dégradation ne l'atteint pas, le risque de défaillance avant prochaine inspection est jugé acceptable. Il n'est donc pas nécessaire d'intervenir avant cette valeur.

Ce concept de la défaillance potentielle est à la base des techniques modernes de maintenance (conditionnelle ou prévisionnelle). Il sera utilisé comme critère de décision de restauration.

III.1.3. Définition d'une dégradation :

Une dégradation est l'état d'ensemble qui présente :

- ❖ Une perte de performances d'une fonction assurées par l'ensemble (si les performances sont au-dessous du seuil d'arrêt défini dans les spécifications fonctionnelles, il n'y a plus dégradation mais défaillance).
- ❖ Un sous-ensemble lui-même dégradé, voir défaillant (sans conséquence fonctionnelle sur l'ensemble).

III.1.4. Cause de la défaillance :

La norme définit la cause de défaillance par les circonstances liées à la conception, la fabrication ou l'emploi et qui entraîné la défaillance .

Cette définition est fondamentale en diagnostic industriel puisque l'on recherche la cause première de la défaillance en fonction de symptômes externes qui sont observés. N'oublions jamais qu'une bonne politique de maintenance passe obligatoirement par une maîtrise parfaite des mécanismes de ruines liées à la conception, à la construction et l'exploitation des matériels.

III.1.5.Mode de défaillance :

Effet par lequel une défaillance est observée.

Tableau III.1 : Liste des modes des défaillances (AFNOR)

1. Défaillance structurelle	18. Mise en marche erronée
2. Blocage physique ou coincement	19. Ne s'arrête pas
3. Vibrations	20. Ne démarre pas
4. Ne reste pas en position	21. Ne commute pas
5. Ne s'ouvre pas	22. Fonctionnement prématuré
6. Ne se ferme pas	23. Fonctionnement après le délai prévu
7. Défaillance en position ouverte	24. Entrée erronée (augmentation)
8. Défaillance en position fermée	25. Entrée erronée (diminution)
9. Fuite interne	26. Sortie erronée (augmentation)
10. Fuite externe	27. Sortie erronée (diminution)
11. Dépasse la limite supérieure tolérée	28. Perte de l'entrée
12. Est en dessous de la limite inférieure tolérée	29. Perte de la sortie
13. Fonctionnement interpestif	30. Court-circuit (électrique)
14. Fonctionnement intermittent	31. Circuit ouvert (électrique)
15. Fonctionnement irrégulier	32. Fuite (électrique)
16. Indication erroné	33. Autres conditions exceptionnelles de défaillance suivant les caractéristiques des systèmes, les conditions de fonctionnement et les contraintes opérationnelles.
17. Ecoulement réduit	

III.1.6. Classification des défaillances :

III.1.6.1. Classification des défaillances en fonction des causes :

1. Défaillance due à un mauvais emploi :

Défaillance attributive à l'application de contraintes au-delà des possibilités données du dispositif.

Par exemple : C'est le cas de la rupture d'une enceinte sous pression au-delà de la pression pour laquelle a été conçue.

2. Défaillance due à une faiblesse inhérente :

Défaillance attribuable à une faiblesse au dispositif lui-même lorsque les contraintes ne sont pas au-delà des possibilités données du dispositif.

C'est le cas par exemple d'une faiblesse de la conception.

3. Défaillance première :

Défaillance d'un dispositif dont la cause directe ou indirecte n'est pas la défaillance d'un autre dispositif.

Par exemple cela correspond à la rupture d'une ailette statorique d'un compresseur axial.

4. Défaillance seconde :

Défaillance d'un dispositif dont la cause directe ou indirecte est la défaillance d'un autre dispositif.

Par exemple: Si la défaillance d'un palier d'un arbre rotorique est liée à la défaillance du boîtier d'entraînement des accessoires (GEAR BOX).

III.1.6.2. Classification des défaillances en fonction du degré :

1. Défaillance partielle :

Défaillance résultant de déviations d'une ou des caractéristiques au-delà des limites spécifiques, mais telle qu'elle n'entraîne pas une disparition complète de la fonction requise.

2. Défaillance complète :

Défaillance résultant de déviations d'une ou des caractéristiques au-delà des limites spécifiées telle qu'elle entraîne une disparition complète de la fonction requise.

3. Défaillance intermittente :

Défaillance d'un dispositif subissant pendant une durée limitée à la fin de laquelle le dispositif retrouve son aptitude à accomplir sa fonction requise, sans avoir été soumis à une action corrective externe quelconque .

III.1.6.3. Classification des défaillances en fonction de la vitesse d'apparition :

1. Défaillance soudaine :

Défaillance qui n'aurait pas pu être prévue par un examen de évolution des caractéristiques des dispositifs.

2. Défaillance progressive :

Défaillance qui aurait pu être prévue par un examen ou une surveillance antérieur.

III.1.6.4. Classification de défaillance d'apparition en fonction de la vitesse d'apparition et du degré :

1. Défaillance catalectique :

Défaillance qui est à la fois soudaine et complète.

2. Défaillance par dégradation :

Défaillance qui est à la fois progressive et partielle.

III.1.6.5.classification des défaillances par rapport aux conséquences :

1.Défaillance mineure :

Défaillance, autre que critique, qui ne réduit pas l'aptitude d'un dispositif plus complexe à accomplir sa fonction requise. Elle nuit au bon fonctionnement du dispositif en causant des dommages négligeables soit au système soit à l'environnement. Ainsi une fuite de liquide froid sur une bride d'une tuyauterie rentre dans cette catégorie.

2.Défaillance majeure :

Défaillance, autre que critique, qui risque de réduire l'aptitude d'un dispositif plus complexe à accomplir sa fonction requise.

Elle est appelée également défaillance significative. Elle ne cause pas le dommage notable au système, à l'environnement ou à l'homme. A titre d'exemple la dégradation d'un palier d'un arbre de réacteur, peut être assimilée à une défaillance majeure.

3.Défaillance critique :

Défaillance qui risque de causer des blessures à des personnes ou des dégâts importants aux matériels. Cette défaillance entraîne la perte d'une (ou des) fonction (s) essentielle (s) du dispositif avec un impact sur l'environnement, les systèmes et les personnes. Comme exemple le blocage du train d'atterrissage lors atterrissage .

4. Défaillance catastrophique :

Défaillance qui entraîne la perte d'une (ou des) fonction (s) essentielle (s) d'un dispositif en causant des dommages importants au système, à l'environnement et put entraîner la mort d'homme.

De nombreux exemples récents dans les domaines du nucléaire (Tchernobyl), de l'aéronautique (accident de Tamanrasset B 737-200 à l'Algérie) et des industries chimiques (l'incendie d'usine chimique du Toulousc à la France),.....

III.2. Défauts et pannes :

III.2.1. Définitions et classification des pannes :

La diversité des activités du diagnostic industriel conduit très souvent à utiliser sans trop les préciser les termes de pannes et de défauts. Bien que les différences entre les concepts de défaillances, pannes et défauts soient souvent très subtiles et quelque fois subjectives, nous proposons quelques définitions généralement admises.

La panne est l'inaptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise. Il est clair que dès l'apparition d'une défaillance, caractérisée par la cessation du dispositif à accomplir sa fonction. On déclarera le dispositif en panne. Par conséquent, une panne résulte toujours d'une défaillance. Les classifications des pannes sont similaires à celles définies pour les défaillances. On qualifiera alors les pannes de mineures majeures, critiques, partielles, totales, etc.....Cependant il existe une classification particulière aux pannes qui est fonction de l'aptitude aux pannes à être constatées.

1. Panne intermittente :

Panne d'un dispositif subsistant sur une durée déterminée et limitée. Après cette durée le dispositif est apte à assurer la fonction ou la mission pour lequel il a été conçu sans avoir fait l'objet d'une action corrective. » En pratique ce sont les défauts les plus difficiles à diagnostiquer.

2. Panne fugitive :

Panne d'un dispositif qui est intermittente et difficilement observable. » Les défauts fugitifs sont extrêmement difficiles à diagnostiquer car leur apparition est de nature aléatoire.

3. Panne permanente :

Panne d'un dispositif qui subsiste tant qu'une opération de maintenance corrective n'a pas été effectuée.

4. Panne latente ou cachée :

Panne d'un dispositif qui existe mais qui n'a pas pu être détectée.

III.2.2. Notion de défaut :

Le concept de défaut est important dans les opérations de surveillances pour la conduite et la maintenance des processus industriels. On considère comme un défaut tout écart entre la caractéristique observée sur le dispositif et la caractéristique de référence lorsque celui-ci est en dehors des spécifications. Comme pour les défaillances et les pannes, on applique les concepts de défaut mineure, majeure, critique, catastrophique, etc.....

Il est clair qu'une défaillance conduit à un défaut puisqu'il existe un écart entre la caractéristique constatée et la caractéristique spécifiée. Inversement un défaut n'induit pas nécessairement une défaillance. En effet, le dispositif peut très bien conserver son aptitude à assurer sa mission principale si les défauts affectant les systèmes et composants n'ont pas d'impacts significatifs sur la mission principale.

Cette notion de défaut est essentielle pour les diagnosticiens. En effet l'art du diagnostic consiste à détecter de façon précoce un défaut avant qu'il ne conduise à un état de défaillance donc de panne.

III.3. Mécanismes de ruine des matériels :

Introduction :

La compréhension des mécanismes de ruine qui sont susceptibles d'apparaître sur les éléments constitutifs d'un matériel est une démarche primordiale à entreprendre pour établir les tâches de maintenance préventive dans le cadre d'une politique de maintenance basée sur la fiabilité, les mécanismes de ruine ont trois causes principales les méthodes de conception, les conditions d'exploitation et le vieillissement des matériaux.

III.3.1. Modes de rupture :

L'analyse des modes de rupture d'un élément d'une pièce mécanique est très importante pour anticiper sur les conséquences et les délais d'apparition de la défaillance. Ce paragraphe fournit l'essentiel des contenus des descriptions des modes de ruine et de leurs causes physiques.

1. Modes de rupture fragile :

Le mode de rupture fragile survient quand on applique un choc important sur la pièce composée d'un matériau fragile par nature. L'analyse au microscope ou à la loupe de la cassure fragile permet aux experts de classer le mode de rupture en deux catégories :

-la rupture fragile transcristalline ou la décohésion des cristaux se fait suivant les plans de clivage, ce qui se traduit visuellement par des facettes planes brillantes ; la rupture intercrystalline au contraire présente un aspect différent avec des facettes courbes.

2. Modes de rupture semi-fragile :

Ce mode de rupture concerne principalement les grandes structures qui sont capables d'emmagasiner une très grande énergie. En présence d'un point faible ou d'une déchirure. L'énergie se libère très rapidement, se propageant avec une vitesse de l'ordre de 1500 m/s .

3. Modes de rupture ductile :

En présence d'un effort appliqué en tension à une pièce métallique rectiligne telle qu'une tige de métal, on observe un phénomène de ductilité : en fonction du temps d'application.

on constate tout d'abord un allongement de la tige puis la naissance d'un amincissement appelé striction. En prolongeant l'application de la force, la pièce se rompt par rupture ductile au niveau de la zone de striction.

III.3.2. Ruine des matériels par fatigue :

La rupture d'une structure métallique par fatigue est la conséquence principale d'efforts cycliques liés aux conditions d'exploitation. Elle se traduit par l'apparition de fissures. La présence d'une telle fatigue est souvent difficile à identifier sans moyens spécialisés. En effet, ce mécanisme de ruine est relativement sournois dans la mesure où il n'affecte pas la forme externe de la pièce. Dans le cadre de maintenance préventive, il sera donc indispensable de faire appel aux techniques de contrôles non destructifs, la vitesse de propagation de la fissure varie avec l'intensité du niveau de contrainte. Ce mécanisme de ruine est connu sous le nom de « fissuration progressive par contraintes cycliques »,

les paramètres principaux qui influent sur ce phénomène sont nombreux :

- *Contraintes mécaniques ;*
- *Contraintes thermiques ;*
- *Contraintes liées à l'environnement ;*
- *Contraintes liées à des contacts superficiels.*

III.3.3. Ruine des matériels par abrasion :

Le phénomène de ruine des matériels par abrasion peut se définir comme l'enlèvement de matériel, consécutif à des frottements ou à des contacts avec des particules abrasives, selon Mousser on distingue :

- ❖ L'abrasion par enlèvement du métal (gougeage) par effet de coupe sous l'effort de chocs importants, appelée gouging en anglais, elle se manifeste sur certaines machines outils ou en présence de l'impact de pièces mécaniques sur des structures ;
- ❖ L'abrasion due à des champs important de pression. Appelé *grinding* en anglais, on rencontre ce phénomène dans les industries minières (broyeurs), l'industrie agroalimentaire (meuneries) et généralement dans les industries où l'on transforme des matières premières par broyage ou concassage ;
- ❖ L'abrasion ou érosion par abrasion, qui met en jeu des fluides chargés, circulant à haute vitesse avec les champs faibles de pression, sous l'impact des particules dures et abrasives circulant à très haute vitesse, on arrache des parties du matériau impacté, les machines de sablage destinées au nettoyage de murs d'immeubles mettent en œuvre ce principe.

III.3.4. Ruine par cavitation :

Ce phénomène de cavitation se produit dans des matériels en contact avec un fluide (pompe, hélices de bateaux,...). En présence d'une baisse de pression brutale du fluide à proximité de la surface du matériel, il se produit des bulles de vapeurs qui apparaissent très rapidement (quelques millisecondes) et qui implosent ensuite. le phénomène d'érosion par cavitation apparaît en présence de dépressions suffisamment importantes pour qu'une vaporisation puisse apparaître localement suivant la figure III-1.

Le phénomène d'érosion par cavitation se produit dans le domaine de collapse des bulles, dans lequel on enregistre des ondes de pression très importantes. Lors de leurs implosions, les bulles provoquent des ondes de pression très brèves (de 10^{-4} à 10^{-5}) mais très intenses (10^3 à 10^6 bars). Ces modes de pression détruisent la structure du matériau, entraînant ainsi la perte de la matière.

Trois phénomènes thermodynamiques expliquent l'érosion par cavitation comme le représente ci-dessous : les ondes de choc, les jets rentrants et les tourbillons.

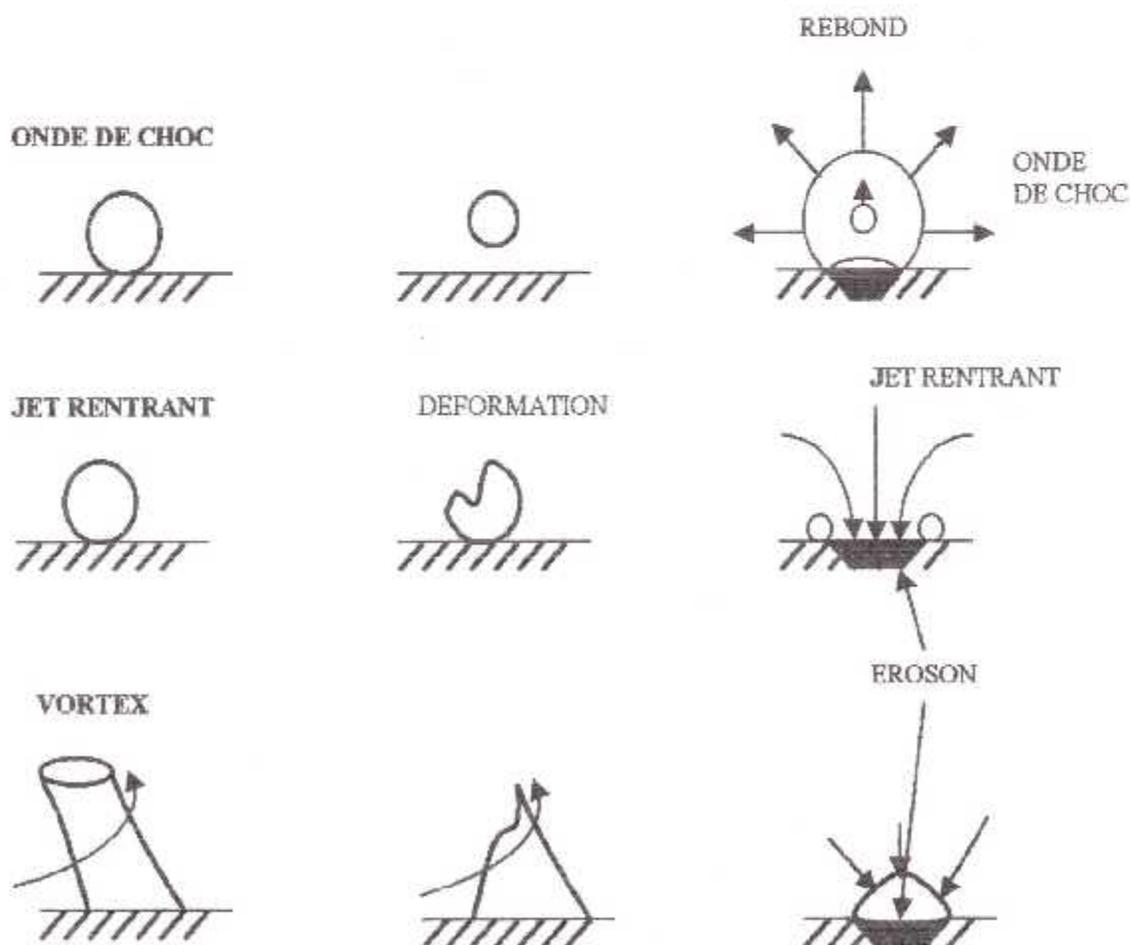


Figure (III.1) : Les modes d'érosion par cavitation

III.3.5. Ruine par abrasion des gouttelettes liquides :

Ce phénomène se rencontre principalement dans des matériels où on trouve de la vapeur non sèche, circulant à haute vitesse (turbine, compresseurs, tuyauteries, etc....) sous l'effet de l'énergie cinétique très élevée des gouttelettes contenues dans le fluide, les structures du matériau subissent des dégradations se traduisant par des pertes de matières. Lors d'un arrêt pour révision d'une centrale électrique, on observe que l'extrémité des aubes de la turbine a l'apparence d'une éponge.

III.3.6. Ruine par fluage :

Le fluage d'un matériau métallique dépend principalement de la température d'exploitation. On constate que si la température de fusion de l'alliage est égale à K_0 (en degré Kelvin), le fluage apparaît à partir d'une température de $0.4 K_0$ sous le régime de fluage. Le matériau est l'objet d'une déformation plastique qui peut se traduire rapidement (fluage rapide) ou lentement (fluage lent) par rupture. La rupture ductile que l'on observe est consécutive à un allongement de la pièce au-delà de sa limite de résistance. On obtient une perte de la section de la pièce qui entraîne une rupture par striction. Comme exemple dans les aubes des turbines des réacteurs.

III.3.7. Le pompage :

au régime de marche nominale du compresseur axial, l'air s'écoule régulièrement sur les aubes. Aux autres régimes de marche du moteur, cet écoulement régulier est compris et s'accompagne de décollements au décrochage. Le décrochage aérodynamique des filets d'air sur les premiers étages consécutifs aux angles d'incidence trop élevés entraîne une perte d'efficacité. Comme le débit est freiné par ces derniers, cette contre-pression entraîne l'inversion du débit. Cette inversion amène une augmentation d'incidence sur les derniers étages qui deviennent inefficaces et la contre-pression diminue, ce qui permet au débit de redevenir normal. Ceci entraîne de nouveau une diminution d'incidence sur les derniers étages. Et une augmentation de la contre-pression d'où l'inversion de débit. Le même cycle recommence, donc le moteur pompe d'où l'apparition du phénomène de pompage. Alors l'écoulement d'air n'est plus régulier, il devient pulsatoire.

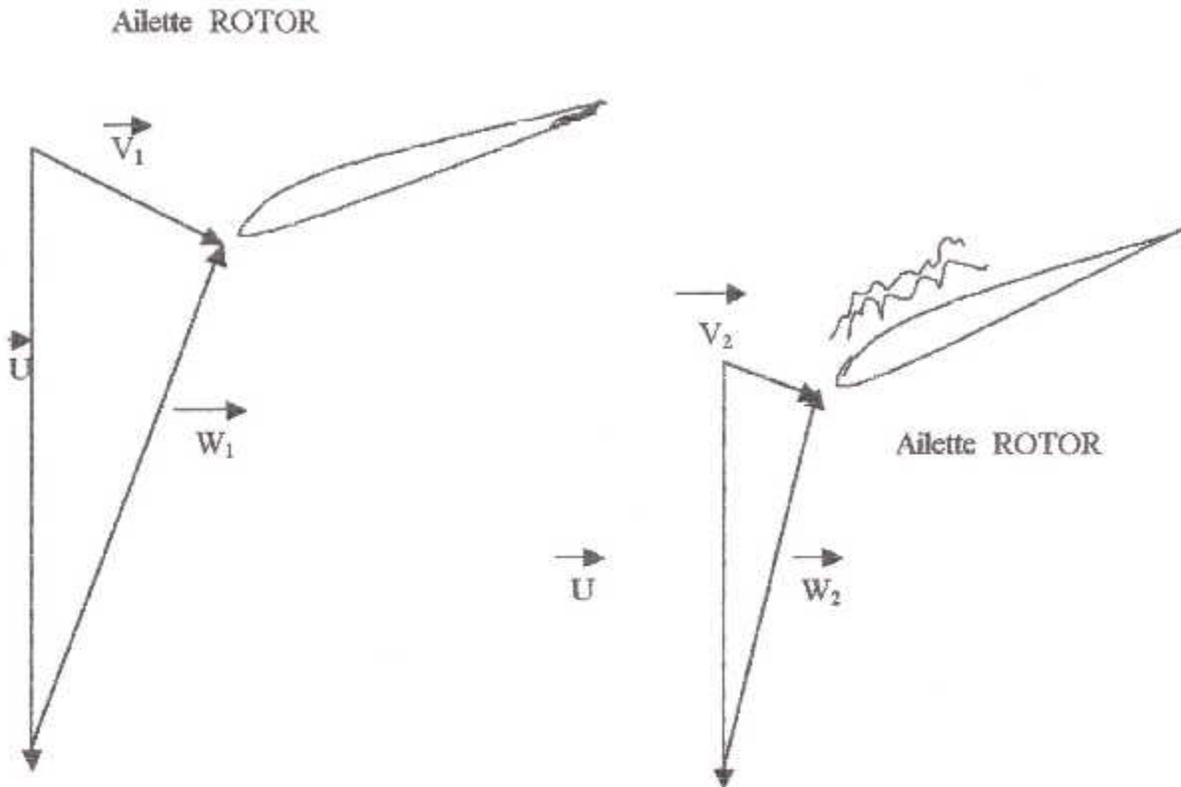


Figure (III.2) : Le pompage dans un étage compresseur axial.

On peut dire que le pompage est un décrochage aérodynamique sur les aubes rotor pouvant se traduire par l'inversion de l'écoulement et fatigue des aubages qui induise leur rupture. Le pompage crée par des divers causes :

- faible régime
- obstruction thermique
- conditions et manœuvres des vols (altitude, la marche d'air,...)

III.3.8. Ruine par relaxation :

Lorsqu'un matériel est maintenu mécaniquement sous contraintes en fonctionnement normal (boulonneries, soudures) il se produit un phénomène de relaxation des contraintes quand on le libère. Ce phénomène va se traduire par un allongement, dans le cas de la boulonnerie, ou bien par des contraintes résiduelles dans les soudures. Après remontage, si des précautions ne sont pas prises, pour rétablir le champ de contraintes, on risque de voir apparaître la rupture des éléments concernés. Les remèdes à apporter consisteront à rétablir le tensionnement, mécaniquement ou par traitement thermique.

III.3.9. Ruine par corrosion :

1. Corrosion généralisée :

L'enlèvement de matière par corrosion généralisée présente la particularité d'être uniforme sur toute la paroi. Il provient de réactions électrochimiques de réduction et d'oxydation dans le milieu aqueux où a entièrement plongé le métal. Les différentes hétérogénéités dans le matériau constituent de micro-cathodes et micro-anodes qui entraînent par électrolyse la dissolution du métal. Pour contrer cette corrosion, on peut soit protéger le métal par une surface isolante, soit ajouter des produits chimiques, pour inhiber la corrosion ou bien conditionner chimiquement l'eau.

2. Corrosion par aération différentielle :

Ce phénomène se rencontre par exemple, quand une paroi métallique est baignée dans un milieu contenant de l'oxygène et se couvre de gouttes.

La présence d'une alternance de gouttes et de surfaces libres, contribue à la création d'un ensemble de micro-piles (effet dit « d'Evans »). Ces micro-piles vont entraîner par électrolyse au bord des gouttes, une dissolution du métal.

C'est ce type de corrosion que l'on rencontre des matériels baignés dans un brouillard salin (voiture, bateau).

3. Corrosion galvanique :

La corrosion galvanique intervient chaque fois que des assemblages de pièces métalliques sont immergés dans un milieu électrolytique. Lorsque l'on immerge une pièce constituée d'un métal unique, il s'établit, après un certain temps, un potentiel électrique appelé potentiel de dissolution. Ce potentiel dépend du métal et de l'électrolyte et sera d'autant plus élevé que le métal est noble, dans des conditions d'équilibre. En présence d'un assemblage composé de deux métaux différents, les potentiels d'équilibre étant différents, celui-ci se comporte comme une pile, où l'un des métaux sera consommé par électrolyse. Le matériau à plus faible potentiel d'équilibre servira d'anode et sera consommée, alors que le métal le plus noble sera protégé cathodiquement.

4. La corrosion bactérienne :

Se produit quand le métal est baigné dans un liquide qui ne possède pas de garantie de non-pollution par des germes externes. Elle se rencontre aussi bien dans l'industrie agroalimentaire que dans les autres secteurs industriels. Les bactéries contenues dans les eaux industrielles, consomment, non seulement des éléments organiques, mais aussi des éléments métalliques. Certaines d'entre elles peuvent consommer du fer ou produire de l'acide sulfurique, entraînant ainsi des pertes de matière.

Il y a des autres types des corrosions particulières comme :

- o La corrosion par piqûres
- o La corrosion caverneuse
- o La corrosion intercrystalline
- o La corrosion sous tension

III.3.10. Ruine par corrosion – érosion :

La corrosion – érosion est provoquée lorsque la surface d'un métal fonctionnant à haute température est baignée dans un milieu (liquide ou gazeux), circulant avec une vitesse donnée. Les mécanismes de corrosion – érosion sont très complexes et s'expliquent par les échanges d'ions entre le métal et le milieu. Plusieurs théories ont été développées pour expliquer ce phénomène. Elles reposent sur trois étapes résumées sur la figure III-7.

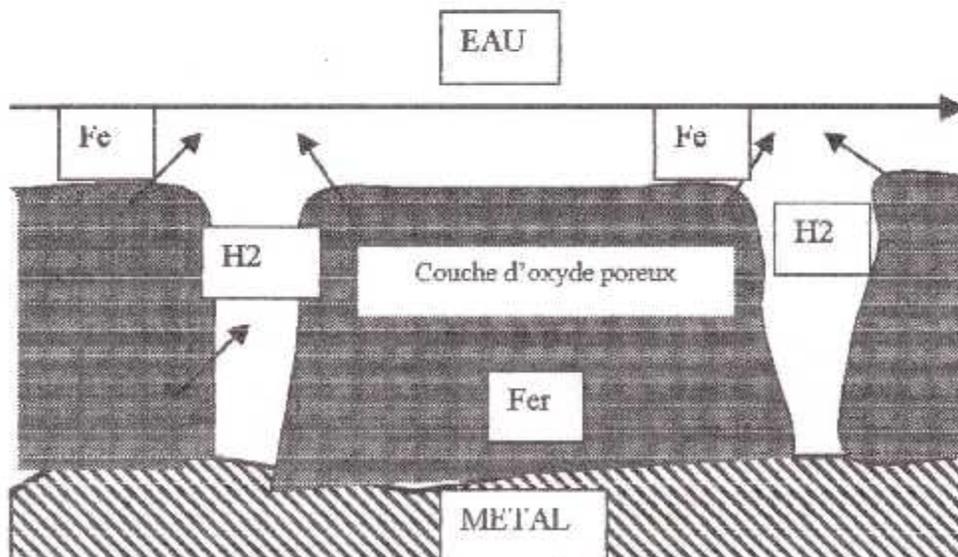


Figure (III-3): Phénomène d'érosion-corrosion

- Oxydation de l'acier par l'eau et production de différents oxydes.
- Diffusion dans l'eau la fraction de fer soluble dégagé par les réactions chimiques.
- Transport par le fluide (érosion) des éléments ferriques dégagés par les réactions chimiques, se propageant à la surface du métal.

III.3.11. Mécanismes de ruine induits par la conception et la fabrication :

Une politique de maintenance basée sur la fiabilité des matériels doit impérativement prendre en compte les paramètres qui ont retenus lors de leurs conceptions et de leurs fabrications.

En effet, la connaissance précise des matériaux et des méthodes de fabrication se montre à l'usage très bénéfique pour identifier et ainsi anticiper l'apparition des dégradations. Cela avant qu'elles entraînent des défaillances et ensuite le vieillissement des matériels. Les causes potentielles de défaillances trouvent leurs origines aussi bien dans des raisons techniques qu'organisationnelles comme le résume le schéma de la figure III.8.

Le vieillissement débute à partir du moment où il sort des chaînes de fabrication. Il se poursuit ensuite pendant la phase de stockage et le fonctionnement. Ce phénomène se traduit par le changement des caractéristiques physiques des matériaux avec lesquels est construit le composant : dimensions, dureté, ductilité, résilience, conductivité, ...etc.

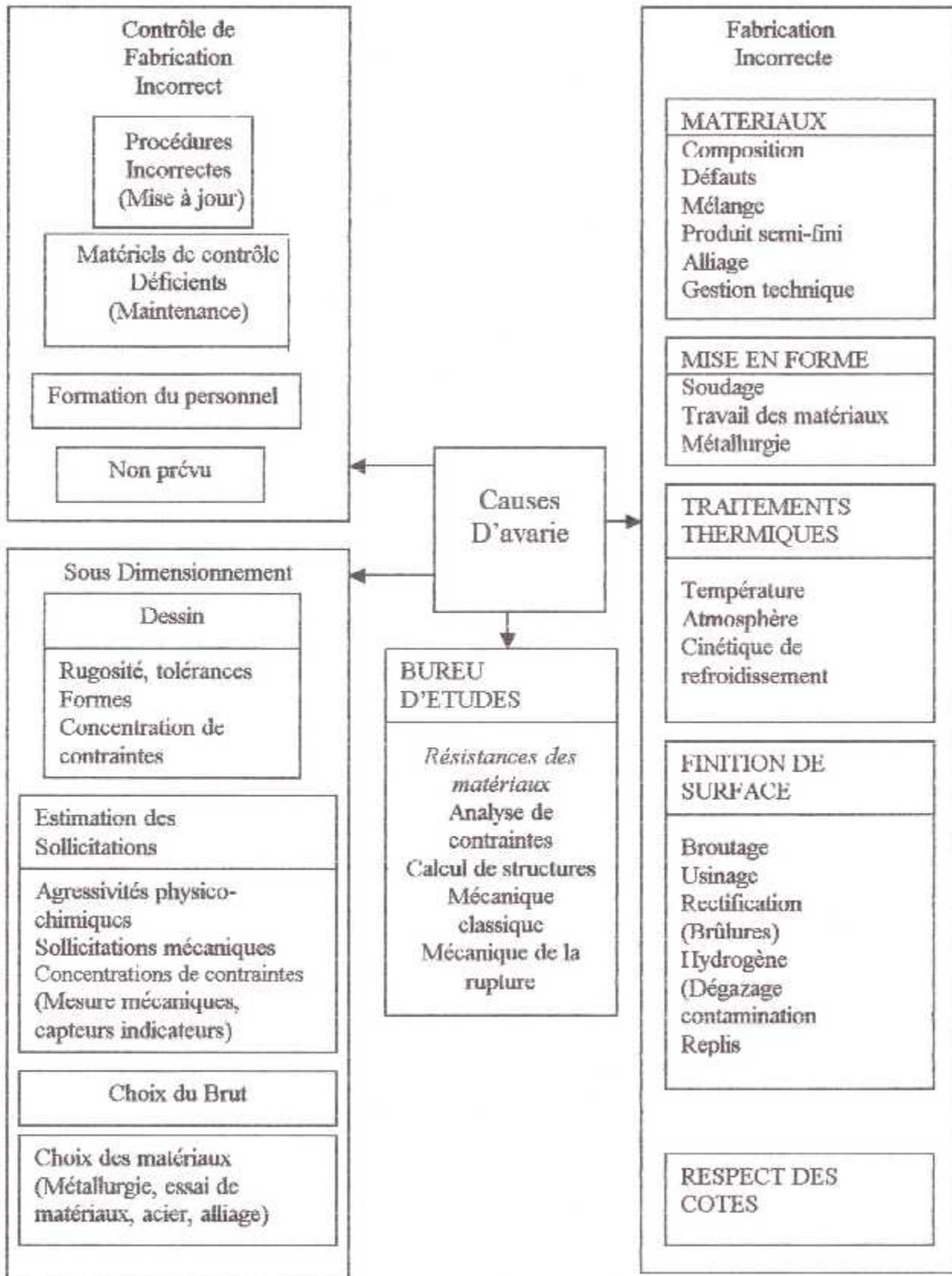


Figure (III.4) : Cause d'avarie

III.3.12. Mécanismes d'usures dus aux régimes de lubrification :

Les machines tournantes industrielles utilisent des principes de lubrification qui sont fonction de leurs tailles et de leurs vitesses de rotation. Les surfaces en contact dynamique sont le siège de frottement et d'usure. Le frottement résulte de la résistance au mouvement et l'usure provient de la perte de matière des parties en contact. Les surfaces sont séparées par un lubrifiant conçu pour diminuer le frottement et réduire l'usure en interposant un film d'épaisseur suffisante pour éviter le contact direct métal-métal. Ceci implique en pratique, que l'épaisseur minimale du film soit plusieurs fois égale à la somme des rugosités des différents métaux en contact comme le montre ci dessous figure IV.14

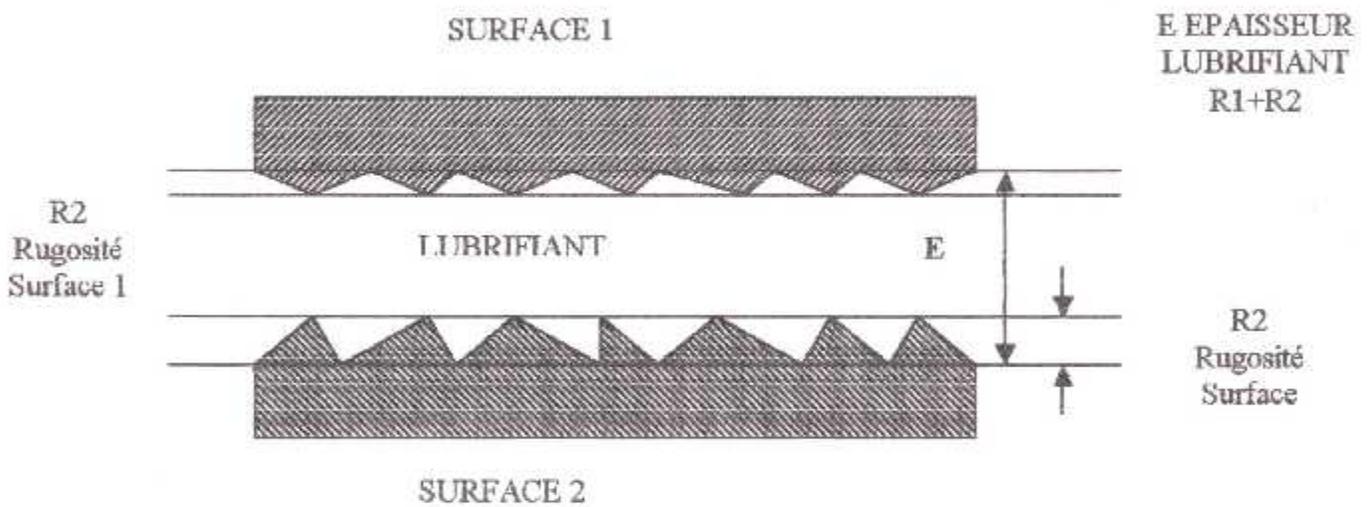


Figure (III.5) : Usure par frottement

Le maintien d'un tel film dans le cas d'un lubrifiant liquide peut être réalisée à l'aide d'un système de mise sous pression (lubrification hydrostatique), par des géométries appropriés de surface ou bien par une vitesse suffisante d'entraînement (lubrification hydrodynamique). La lubrification élastodynamique apparaît lorsqu'au point de contact se crée de très fortes pressions (cas des engrenages).

Les conditions défavorables de fonctionnement qui induisent une dégradation des performances de la lubrification (densité, viscosité, l'onctuosité, point d'inflammation, le point de congélation, décohésion des molécules,...) Sont les charges excessives, les vitesses faibles, les hautes températures et le manque de lubrifiant, le contact métal-métal, avec pour conséquences l'apparition de frictions intenses, d'usure ou même de grippage.

Les principaux débris qui contaminent l'huile proviennent de différentes formes d'usures : abrasion, adhésion, cavitation, corrosion, érosion, fatigue, érosion-corrosion.

Seules les usures à l'abrasion et l'adhésion feront l'objet de description précises.

1. Usure abrasive :

Se produit lors du déplacement de matière d'une des deux surfaces qui sont en mouvement relatif. L'usure est causée par la présence de protubérances dures sur la deuxième surface ou par des particules dures entre les surfaces. La sévérité de l'usure dépend de la taille et de la nature des particules ou protubérances.

2. Usure adhésive :

Survient quand la couche formée par le film lubrifiant et située entre les aspérités des deux surfaces se trouve déplacée. Ces aspérités en contact se déforment par contact mutuel et dans certains cas peuvent entraîner soudures froides entre elles, causant ainsi l'arrachement de matière.

III.3.13. Les vibrations :

Toutes les machines sont réalisées avec des éléments avec des éléments mécaniques assemblés avec des jeux mécaniques dont les tolérances sont définies à la conception. Après un certain nombre d'heures de fonctionnement, les jeux mécaniques s'amplifient et donnent lieu à des vibrations souvent de nature non linéaire. Le spectre vibratoire contient des sous-harmoniques de la vitesse nominale de rotation.

Les principales anomalies apparaissant sur les machines tournantes sont rappelées brièvement :

1. Balourd :

Est un défaut qui se rencontre en présence du déséquilibre de l'arbre d'une machine tournante. Ce phénomène se produit à la vitesse de rotation et est causé par une mauvaise répartition spatiale des masses dans la structure, entraînant un déplacement du centre de gravité en dehors de l'axe géométrique du rotor de la machine tournante.

2. Désalignement :

Se produit de machines tournantes sont couplées entre elles sur un même axe géométrique. Si les deux axes ne sont pas parallèles, on observe des vibrations induites par le désalignement. Pour réduire ce phénomène on place entre les deux machines un dispositif d'accouplement qui joue le rôle de filtre et d'amortisseur mécanique.

Et des autres anomalies : Détérioration des paliers (lisses à billes, à rouleaux), Détérioration d'engrenages, Fissuration d'arbres et les aubages des compresseurs et des turbines, Rupture de film de huile, Excitation électrique et hydromécanique, Erosion et corrosion d'aubes de pompes, Détérioration des supportage des machines (massifs, tables de supportage, ...),.....

Chapitre IV

Méthodologie de l'AMDEC

Introduction :

Les analyses des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE) sont très utilisés pour les études de sûreté de fonctionnement lors de la conception de systèmes, elles sont indispensables pour s'assurer que les paramètres de fiabilité, de maintenabilité, de disponibilité et de sécurité sont conformes aux spécifications.

Elles prennent en compte toutes les défaillances plausibles et analysent les conséquences sur les missions et fonctions des systèmes, ce qui permet l'identification des matériels sensibles devant éventuellement faire l'objet d'un changement de conception ou bien d'une redondance matérielle au stade de la réalisation. Pour des installations déjà opérationnelles, il est également possible de faire ces analyses a posteriori pour identifier les « matériels dont la fiabilité » est insuffisante et pour lesquels il sera indispensable d'entreprendre des actions de surveillance particulière.

La procédure d'analyse des modes de défaillance et de leurs effets fait l'objet de la norme AFNOR X 60 - 510 et de la norme CEI 812 - 1985. L'analyse AMDE est une technique déductive et qualitative avec laquelle les effets (conséquences) des défaillances des composants élémentaires sont systématiquement identifiés.

L'analyse AMDEC (Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité) utilise une démarche similaire à celle de l'AMDE en indiquant de plus la criticité des effets de la défaillance. La réalisation d'une AMDE (C) est souvent basée sur des informations telles que :

- ❖ La décomposition d'un système en éléments matériels ou fonctionnels ;
- ❖ La représentation graphique de la structure fonctionnelle du système par exemple à l'aide d'un Bloc diagramme matériofonctionnel ou bien un arbre fonctionnel ;
- ❖ La collecte des différentes données nécessaires à la réalisation de l'AMDE ;
- ❖ La définition précise des modes de défaillances associés à chaque niveau de décomposition fonctionnelle ;
- ❖ La notion de criticité pour la réalisation des AMDEC.

IV-1- L'analyse fonctionnelle :

La méthode de l'AMDEC basée sur les techniques de modélisation issue l'analyse fonctionnelle des systèmes et des matérielles.

D'après la norme NF X60.012, un matériel englobe tout ensemble livré par un producteur à un client avec la perspective d'une durée de vie. La description d'un matériel possède deux volets distincts :

- Une description matérielle qui explique comment le matérielle est réalisée physiquement à partir des composants élémentaires. Les termes qui sont très largement utilisées pour cette discipline sont : pièce, organe, mécanisme, dispositif, appareil, matériel, machine, installation.
- Une description fonctionnelle qui décrit les fonctions assurées par le matérielle et les fonctions internes assuré par les composants élémentaires qui s'assemblent le sous-système, le système .Ces fonctions soit principales, secondaires, de protection, d'estimation, superflues

Le principe des méthodes de modélisations des défaillances fonctionnelles et d'établir a priori et de manière formelle et exhaustive les liens entre les causes initiales des défaillances et de leurs effets mesurables par les opérateurs ou les systèmes de traitement de l'information.

Les méthodes d'analyse fonctionnelles permettent :

- Une description du besoin de l'utilisateur en terme de fonctions indépendamment des solutions matérielles. A chaque fonction, prise au sens << d'actions d'un produit ou de l'un des ses constituants, exprimé exclusivement en terme de finalité >> , on attribuent des critères d'appréciations et de leur niveau . la non satisfaction des critères con duit a conclure a la non-satisfaction du besoin,
- Une description des choix technologique que l'on impose au concepteur en termes de contraintes. Les contraintes peuvent être de nature technique ou imposées par le client
- Une vérification pour chaque fonction de l'adéquation des objectives et de ça stabilité dans le temps,
- Une description du produit envisagé comme solution, en terme de fonctions de services (satisfaction du besoin) et en terme de fonction technique (solution technique retenus pour la réalisation).
- Une optimisation du besoin aussi bien au plan économique qu'au plan technique (disponibilité , sûreté et fiabilité).

La mise en oeuvre de l'analyse fonctionnelle se déroule en trois grandes phases :

- ❖ L'analyse fonctionnelle externe qui a pour objectifs de formaliser de valider l'analyse du besoin en considérant le produit comme une <<une boîte noire>> recevant des entrées et fournissant des sorties.
- ❖ L'analyse fonctionnelle interne identifier de façon précise les fonctions techniques et les solutions technologiques préconisées pour réaliser la boîte noire.
- ❖ La vérification de l'optimisation technico-économique du couple besoin produit.

VI.2. Rédaction des tableaux AMDEC :

la rédaction d'un dossier d'AMDEC nécessite dans la première phase industrielle un nombre de niveaux jugés nécessaires pour la mise au point d'un programme de maintenance basée sur la fiabilité. À l'aide de ces études il est possible de déterminer les fonctions, les défaillances fonctionnelles. Ensuite par une utilisation du retour d'expérience on pourra déterminer la fréquence, la gravité, la criticité de chacun des modes de défaillance.

Pour les autres informations sur les méthodes de détection, les moyens de prévention ou les actions correctrices, il est indispensable de faire appel aux concepteurs, aux personnels d'exploitation de maintenance, de maintenabilité ou du soutien logistique.

La réalisation des dossiers d'analyse d'AMDEC nécessite des compétences multidisciplinaires. La figure suivante représente la compétence des rédacteurs et utilisateurs des dossiers AMDEC.

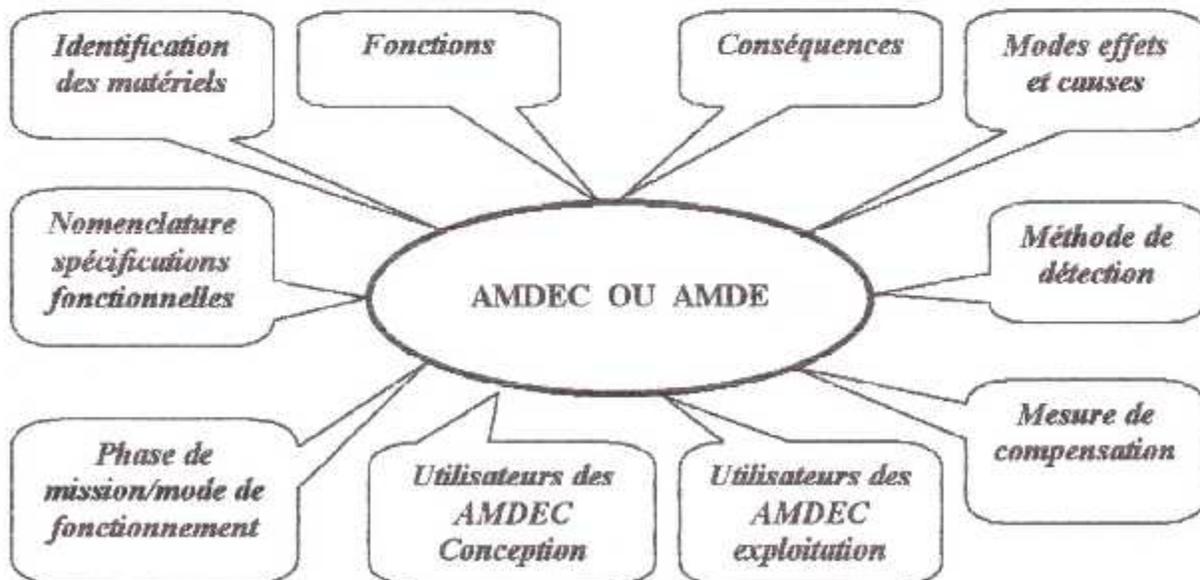


Figure (IV.1) : Compétences des rédacteurs et utilisateurs des AMDEC

La réalisation d'une analyse AMDE nécessite tout d'abord la détermination du niveau de décomposition à partir duquel l'analyse est effectuée. Un système pourra faire l'objet d'une décomposition hiérarchique en autant de niveau qu'il sera nécessaire. Le dernier niveau correspondant en général au dernier composant remplaçable. Le niveau de décomposition doit être compatible avec la connaissance de tous les modes de défaillances et de leurs effets. Le résultat de ces analyses est ensuite regroupé dans un tableau qui résume les effets des défaillances premières des composants sur les fonctions assurées par les éléments du système. Le contenu de ces tableaux varie suivant les secteurs industriels et contient en général les informations suivantes :

- Le nom de l'élément matériel ou fonctionnel du système analysé.
- La fonction remplie par cet élément.
- Le repère d'identification.
- Les modes de défaillances.
- Les causes de défaillances.
- Les effets des défaillances.
- Les méthodes de détection ou de découverte.
- La criticité de la défaillance pour les AMDEC.
- La probabilité d'apparition de la défaillance première.
- Une colonne « remarques ou observations. »

La réalisation des dossiers d'AMDEC représentent la partie la plus visible de « l'iceberg » du dossier d'analyse. Les informations portées dans les colonnes doivent faire impérativement l'objet de description détaillées et de justification rationnelles dans des paragraphes bien identifiés du dossier pendant toutes ces phases d'élaboration. Sinon, leur vérification par des auditeurs externes sera rendue difficile, et les utilisateurs, non rédacteurs, ne leur approche qu'un crédit très limité. Ce-dessous la majorité des éléments communs des tableaux AMDEC :

1. Numéro ou nom de l'élément :

Correspond en général à celui défini pendant la décomposition matérielle ou fonctionnelle de l'installation.

2. Repère fonctionnel ou nomenclature :

Le repère fonctionnel est spécifique et interne à l'entreprise et il correspond au découpage fonctionnel adopté.

Le numéro de nomenclature de l'élément reprend par souci de cohérence celui utilisé par les services achats, approvisionnements ou de gestion des stocks.

3. Fonction remplie par l'élément :

Pour le niveau de décomposition fonctionnel analysé, on doit trouver sous cette rubrique la fonction remplie par l'élément en respectant les règles sémantiques. La fonction d'un moteur électrique sera énoncée ainsi : convertir une énergie électrique en énergie mécanique.

4. Modes de défaillance :

Comme chaque élément peut posséder plusieurs modes de défaillance, cette rubrique définira chacun de ces modes. Ainsi pour un moteur électrique, les modes de défaillance peuvent être extraits de la liste non exhaustive tel que : s'arrête de fonctionner, ne démarre pas, ne s'arrête pas,....(exposés dans le chapitre III.1.5).

5. Causes de défaillance :

Cette rubrique est délicate à remplir si l'on ne tient pas compte de niveau de décomposition qu'il lui est associé. Suivant les cas une cause sera la défaillance de l'élément fonctionnel ou matériel de rang immédiatement inférieur ou bien la cause première physique de la défaillance (érosion, corrosion, fatigue,.... sont planifier dans le chapitre III.3). C'est ce point qui introduit souvent des malentendus entre les rédacteurs des dossiers AMDEC et leurs utilisateurs.

6. effets des défaillances :

Les effets à reporter dans cette colonne peuvent appartenir aux catégories suivantes :

- effet local
- effet au niveau immédiatement supérieur de la décomposition
- effet final sur le procédé

7. Méthode de détection :

Les informations répertoriées sous cette rubrique doivent décrire avec quel moyens physiques il sera possible d'assurer la détection de la défaillance. Pour la MBF cela permettra de classer la défaillance comme évidente ou cachée.

8. Action corrective :

Dans cette colonne sont listées les actions que doivent interprendre les personnels qui conduite ou de la maintenance. Pour compenser les effets d'une défaillance.

9. Remarques :

Dans le cas où il existe des particularités dans l'analyse du système elle doit être consignées dans cette colonne.

10. Fréquence :

la fréquence ou la probabilité d'occurrence de la défaillance doit être estimer soit à l'aide de retour d'expérience prenant d'industrie similaire ou par jugement d'expert .suivant les secteurs industriels des échelles des fréquences comportant de 5 a plus de 10 niveaux à valeur numérique ou symbolique ont été établit. En générale pour un indice numérique en le note F.

Tableau IV.1 : Exemple de hiérarchisation de probabilité de défaillance

Très improbable	1 fois tous les 1000 ans
Improbable	1 fois tous les 100 ans
Occasionnelle	1 fois tous les 10 ans
Probable	1 fois par ans
Fréquente	1 fois par mois ou plus.

11- Gravité : (G)

La gravité des conséquences de défaillance est souvent évaluée à l'aide d'un indice de gravité également spécifique à chaque secteur industriels. Pour la maintenance basée sur la fiabilité, il sert à établir, en conjonction avec d'autres paramètres, la nature critique ou non-critique d'une fonction ou d'un matériel.

IV. 2 III. 3

L'indice est noté souvent par convection G. les figure 5.60 et 5.61 représentent respectivement le tableau de gravité recommandé par la norme MIL-STD 1629.

Tableau IV.2 : Tableau de gravité de la norme MIL-STD A

Catégorie	Explications
IV	Catastrophique : défaillance qui peut conduire à la mort de personnes ou la perte de système d'armes.
III	Critique : défaillance qui peut conduire à la blessure de personnes. A des dommages sur les bâtiments ou sur les systèmes d'armes qui peuvent conduire à la perte de la mission.
II	Majeure : défaillance qui peut conduire à la blessure de personnes, à des dommages sur les bâtiments ou sur les systèmes d'armes qui peuvent conduire à des retards ou perte de disponibilité ou la dégradation de la mission.
I	Mineure : défaillance pas assez sérieuse pour causer des blessures de personnes, des dommages sur les bâtiments ou sur les systèmes d'armes mais qui peuvent conduire à des taches.

12. Indice de non-détection : (N)

L'indice de détection D est un jugement qualitatif destiné à quantifier la probabilité que la défaillance soit détectée par l'utilisateur final. Cette information est utile dans l'élaboration d'un programme de la MBF pour séparer les défaillances évidentes des défaillances cachées. La figure ci-dessous donne un exemple de tableau de détection (ou non-détection) à quatre niveaux.

Tableau IV.3 : *Indice de détection*

Niveau	Description
1	Signes (bruit, vibration, échauffement) avant coureur de défaillance que les exploitants pourront éviter par une action préventive.
2	Il existe un signe avant la coureur de la défaillance, mais il y a risque qu'il ne soit pas perçu par les exploitants.
3	Il existe un signe avant coureur de la défaillance, mais il y a risque qu'il ne soit pas perçu par les exploitants.
4	Il n'existe aucun signe avant coureur de la défaillance.

13 indice de criticité ou de sévérité :

Les indices de fréquences, gravité et détection peuvent être utilisée seuls ou en même temps pour établir la sévérité des conséquences d'une défaillance. Plusieurs méthodes ont été élaborées pour juger de la sévérité ou de la criticité des défaillances.

La première méthode consiste à remplir le produit FGD, à condition évidemment que toutes les valeurs F, G, D soient numérique. Dans les industries à risques écologiques ou humaines, ce mode de calcul n'est pas très adapté car on est amené a calculer la valeur $0 \times \infty$. La valeur 0 correspond à une probabilité très faible et ∞ , la valeur associée aux conséquences d'une défaillance. Pour cette raison. On préfère garder un plan ou les axes retenus sont les probabilités d'apparition et la gravité de la défaillance. On peut alors utiliser directement ce plan pour situer la criticité de la défaillance (montrer sur le figure suivant) ; ou bien lui préférer une matrice de criticité comme le montre la figure IV-8 pour une application sur les défaillances d'une turbine à gaz.

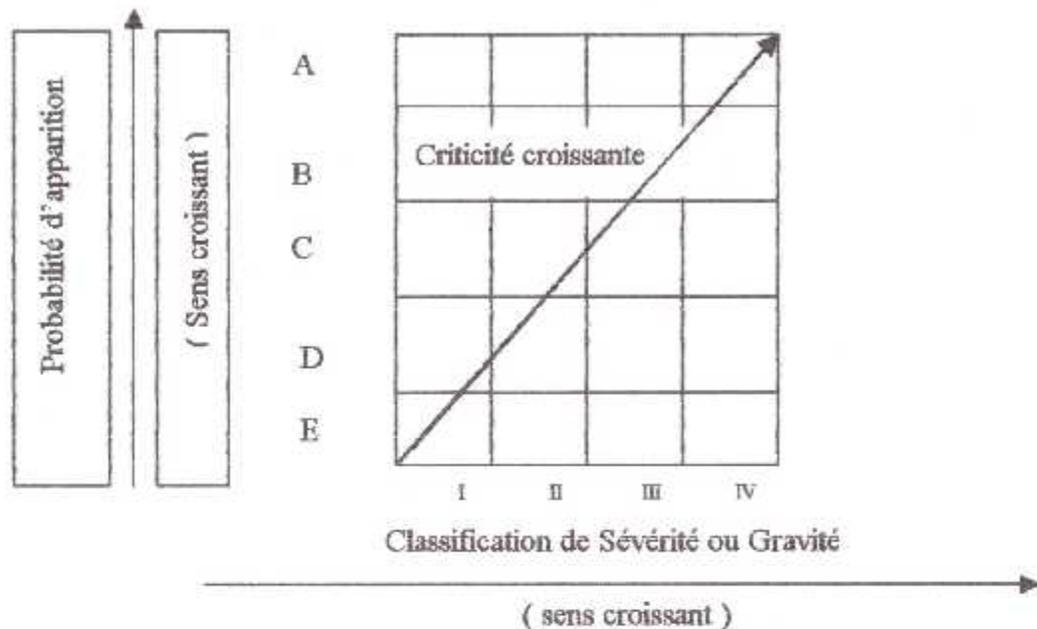


Figure (IV.2) : Criticité suivant la norme MIL-STD 1629 A

FREQUENCE D'OCCURRENCE DU MODE DE DEFAILLANCE

Non critique	Critique pour la production	Critique pour les coûts	Critique pour l'environnement	Critique pour la sûreté
Non critique	Critique pour la production	Critique pour les coûts	Critique pour l'environnement	Critique pour la sûreté
Non critique	Critique pour la production	Critique pour les coûts	Critique pour l'environnement	Critique pour la sûreté
Non critique	Non critique	Non critique	Non critique	Critique pour la sûreté

NON GRVE GRAVE POUR LA PRODUCTION GRAVE POUR LES COÛTS GRAVE POR L'ENVIRENEMENT GRAVE POUR LA SURETE GRAVITE DU MODE DE DEFAILLANCE

Figure (IV.3) : Matrice de criticité pour une turbine à gaz

IV-3- Tableau d' AMDEC (analyse des modes de défaillance, leurs effets et leur criticité) :

ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITE							AMDEC MACHINE	
	Système.....		Phase de Fonctionnement :		Date de l'analyse :	page :	
	Sous-système :							
Elément	Fonction	Mode de Défaillance	Cause	Effet	Détection	T 1	Criticité F G N C	Action Corrective
Indiquer le Premier Elément	→ Lister toutes les fonction devant être assurées par l'élément	Pour la première des fonctions → Lister tous les modes de défaillances	Pour les premiers modes de défaillances → Lister toutes les causes primaires possibles	Pour la première des causes : → Lister successivement les effets les plus graves , les détections les plus possibles. → Estimer le temps d'intervention. → Evaluer les niveaux de fréquence, gravité, probabilité de non-détection et criticité de la combinaison cause-mode-effet → Lister les propositions d'actions correctives.				
			Pour chaque mode suivante : → Effectuer les opérations ci-dessus.					
			Pour chaque des fonction suivante : → Effectuer les opérations ci-dessus					
Passer en suite à l'élément suivant.								

Chapitre V

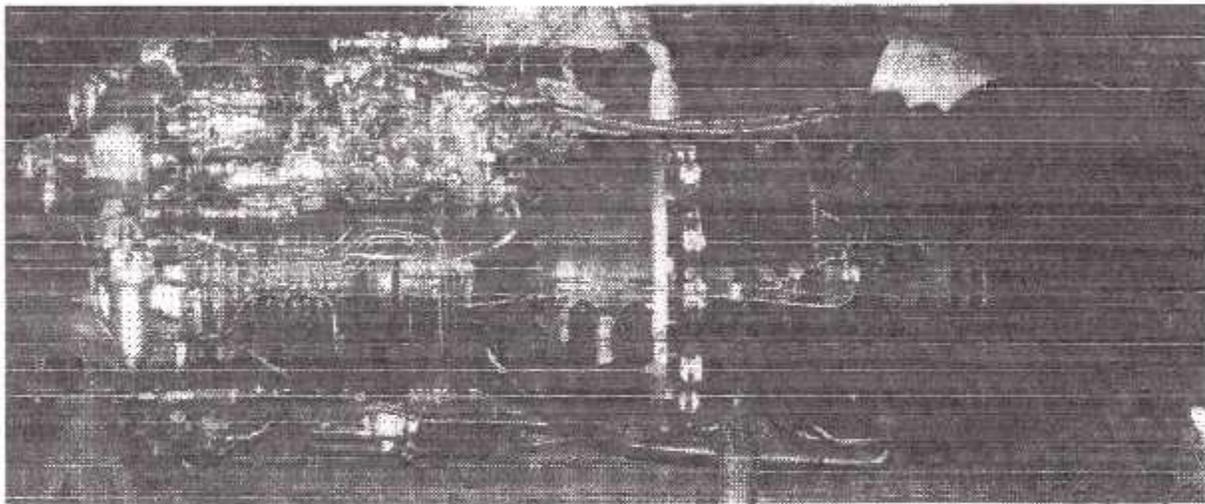
Description

du circuit de graissage
du moteur TV3-117

Introduction :

Le moteur tv3 est un turbopropulseur destiné par sa technologie, ses caractéristiques techniques et ses qualités d'exploitation l'installation de propulsion d'hélicoptère assurée réellement par deux moteurs Droit et gauche, d'une puissance au décollage 2225 CHV chacun, Le tv3 représente une turbine libre (turbine d'entraînement du rotor sustentateur), cette dernière non relié cinématiquement avec le rotor du turbocompresseur, fournie au réducteur une puissance effective nécessaire à la sustentation de l'appareil.

Dans quelques versions du moteur tv3, on pourra rencontrer en option une installation anti-poussière au niveau de l'entrée d'air (particularité relevée sur les hélicoptères MI 24, MIL MI 171, MI8)



➤ Comparaison des caractères des versions moteurs TV3-117 :

moteurs	Conditions énergétiques			Poids sèche kg.	Hélicoptère
	urgence (H-0, $M_{PL}=0$)	décollage (H-0, $M_{PL}=0$)			
	énergie, CHV	énergie, CHV	SFC, kg/CH-h		
TV3-117VM	2200	2000	0,215	293	Mi-8MTV/AMT/MT, Mi-14, Mi-17, Mi-171, Mi-172
TV3-117VMA	-	2200	0,215	293	Ka-29, Ka-32, Ka-50, Ka-52, Mi-28, Ka-27, Ka-32T, Ka-32A, Ka-32S, Mi-24, Mi-24D, Mi-24D
TV3-117VM, Séries 02	2200	2000	0,210	293	Mi-8MTV/AMT
TV3-117VMA, Séries 02	2400	2200	0,210	293	Ka-32A, Ka-32
AGUSTA 1A-1 FRANCE	1875	1818	0,218	290	SIPIR PLIVA

V.1. Evolution des paramètres à travers les modules du moteur :

V.1.1.l'entrée d'air :

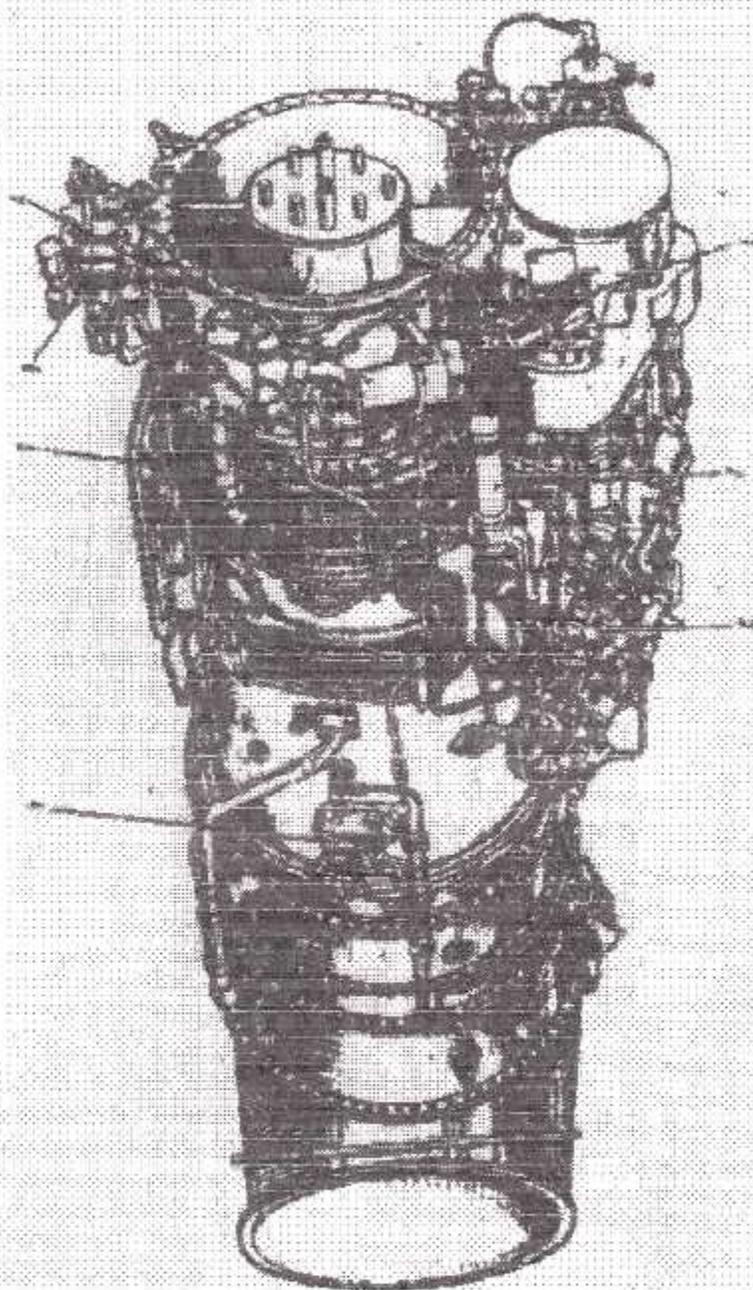
Il représente dans l'ensemble la bouche qui assure l'admission de l'écoulement de l'air jusqu'au compresseur, on peut rencontrer dans quelques constructions du tv3 un filtre protecteur anti-sable.

V.1.2.Le compresseur :

Le compresseur est du type axial à 12 étages, mono corps dont les aubages directeurs de l'entrée et des quatre premiers étages sont orientés. Cette caractéristique permet d'éviter le pompage donc faciliter le démarrage du moteur et d'assurer un rendement élevé stable dans la gamme dans différents régimes d'utilisations.

Le compresseur comporte aussi les technologiques suivantes :

- Les aubages directeurs réglables sont disposés en palettes doubles.
- un mécanisme de conjugaison formé de deux demi-plattes au niveau du cinquième étage.
- des soupapes pay-pass de prélèvement d'air depuis une chambre en aval du septième étage.
- L'ensemble du compresseur est composé de quatre cavités circulaires aux quelles se fixent les palettes de l'appareil orientable des quatre premiers étages.
- Le rotor du compresseur est conçu en disque tambour et comporte des paliers, le premier palier avant à galet placé sur le corps du premier appui. Le deuxième palier arrière à roulement est placé sur le corps du deuxième appui qui se fixe à l'appareil de conjugaison.
- Un tourillon arrière muni des cannelures internes assurant la transmission du moment de pivotement à partir de la turbine du compresseur vers le rotor.
- Le corps du première appui assure la transmission du mouvement de l'arbre du compresseur vers la boîte d'ou le commande et la pompe d'huile à l'aide des palettes pivotantes.
- Le compresseur est fixé au corps du premier appui du moteur par la bride avant et se fixé au troisième appui (appui du corps externe du diffuseur de la chambre de combustion) par la bride arrière.
- Le prélèvement d'air pour les besoins des systèmes de bord se fait en aval du deuxième étage du compresseur.



1. Pompe du carburant centrifuge
2. Le compensateur principal
3. Unité de commande débit de carburant
4. Bloc de jonction de thermocouple
5. Déclencheur de système d'arrêt de moteur
6. Bloc de pompe d'huile
7. Filtre d'essence avec l'émetteur des différences de pression

Figure V-1: Vue de gauche du moteur TV3-117

V.1.3. la chambre de combustion :

La chambre de combustion est du type annulaire se compose essentiellement des éléments suivants :

- Boite extérieur et boîtier intérieur du diffuseur formant le diffuseur annulaire de la chambre de combustion.
- Collecteur à deux circuits d'alimentation en combustible de douze injecteurs.
 - Deux bougies d'allumage.

V.1.4. la turbine liée :

La turbine liée est cinématiquement reliée au rotor du turbocompresseur de forme axial à deux étages. Le couple crée par la turbine est utilisée pour l'entraînement du rotor du compresseur et des organes annexes du moteur.

- Le stator se compose du corps, de palettes, situés sur les roues actives du premier et du second étage. Les palettes sont des formes creuse permettant ainsi un refroidissement uniforme par l'écoulement d'air.
- Le rotor se compose des deux disques épaulés par des cannelures et fixées par douze boulons.
- Au niveau de l'appui avant du rotor de la turbine se situe le tourillon arriéré du compresseur sur lequel s'appuie le rotor de la turbine par la ceinture de centrage.
- Au niveau de l'appui arrière se situe le palier à galet sur lequel s'appuie le rotor de la turbine par le tourillon arrière empalé sur le disque du deuxième étage.

V.1.5. La turbine libre :

La turbine libre est dite encore turbine d'entraînement du rotor sustentateur de l'hélicoptère et aussi axial. Cette turbine comporte aussi :

- Le stator : se compose du corps, d'une double tuyère
- Le rotor se compose de deux disques épaulés par des cannelures à pavés fixés par des douze boulons.
- La puissance fournie par la turbine se transmet au ressort de connexion à travers les cannelures placées dans la queue du disque du deuxième étage.
- Pour réduire les contraintes thermiques dans le moteur, les roues rotors des turbines sont refroidies par l'air prélevé en aval du septième étage du compresseur.

V.1.6. la tuyère d'échappement :

La tuyère d'échappement sert à canaliser l'écoulement des gaz en aval des turbines, et à évacuer les gaz brûlés à l'atmosphère. Elle comprend un diffuseur annulaire avec montants, un coude déflecteur traversé par un cône porteur central.

Données techniques sur le moteur :

Données géométriques :

- Longueur totale..... 2085mm
- Largeur..... 640mm
- Hauteur..... 725mm
- Sens de rotation : anti-horaire.

Modules du moteur :

- entrée d'air.
- Compresseuraxial à 12 étages.
- Turbine liée.....axiale à 02 étages.
- Turbine libre..... axiale à 02 étages.
- Chambre de combustion.....annulaire avec 12 injecteurs.
- Tuyère d'échappement.....non réglable.

Accessoires moteurs :

- Boîte d'engrenages :
 - Alternateur
 - Pompes hydrauliques
 - Pompes à carburant
 - Pompes d'huile
 - Démarreur pneumatique.
- deux boîtes d'allumage
- Pompe régulatrice.

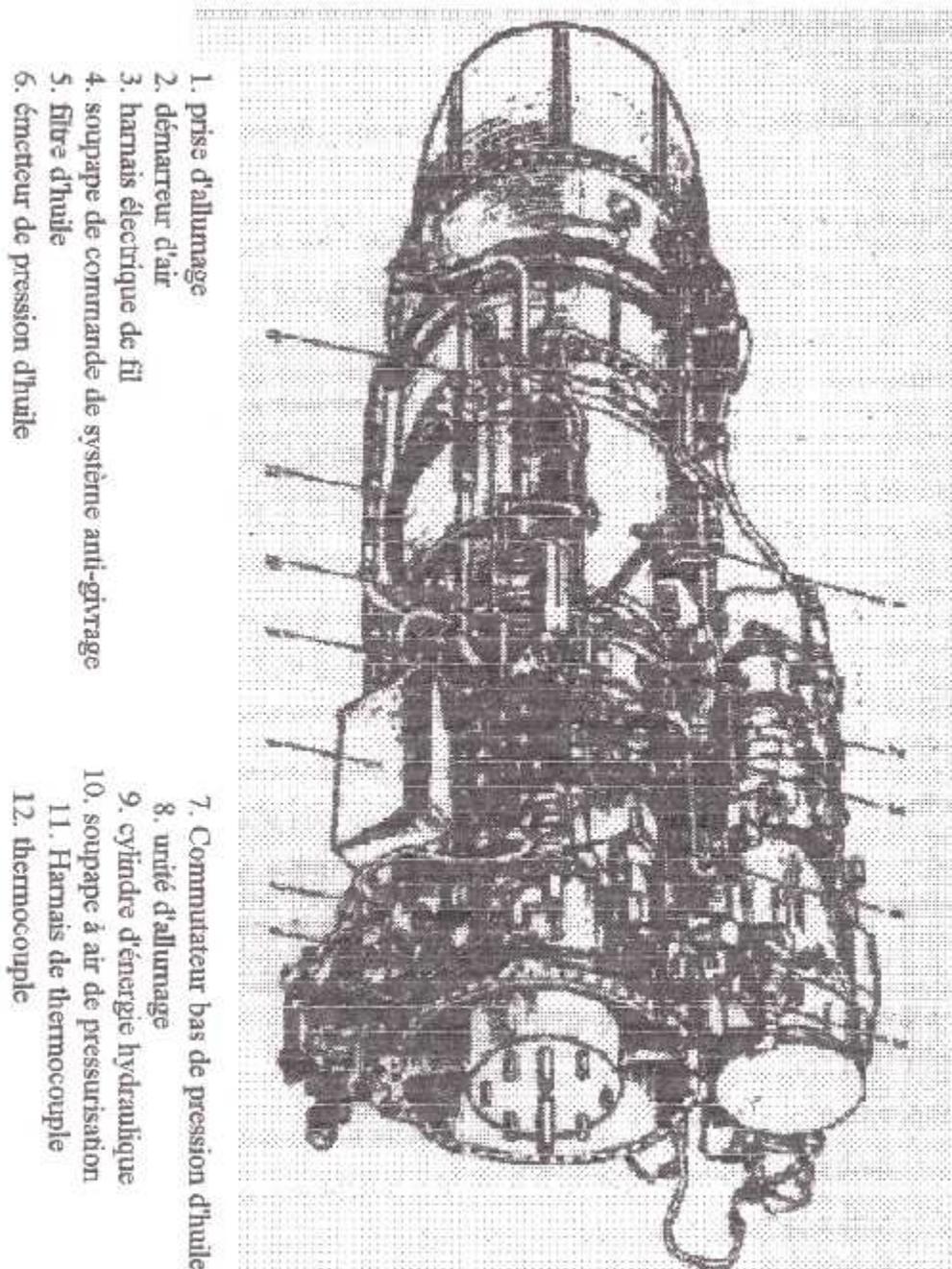


Figure V-2: Vue de droite du moteur TV3-117

V.2.Principe de fonctionnement :

Le fonctionnement du moteur tv3 est analogue au principe au turbo propulseur et en suivant le chemin de l'air, à travers tous les modules et les différentes transformations qu'il subit chaque module, en pourra mieux comprendre le principe de fonctionnement.

L'air arrive dans l'entrée d'air qui le canalise pour le présenter à l'entrée du compresseur dans des meilleures conditions possibles. Et cela dans tous les domaines de vol.

Au niveau du compresseur l'air arrive avec un débit de $Q = 8.4 \text{ Kg} / \text{m}^3$, cet air est fortement comprimé puis orienté vers la chambre de combustion par un diffuseur.

A l'entrée de la chambre de combustion, l'air émanant du compresseur est divisé en deux flux : primaire et secondaire.

◆ **Flux primaire** : il entre dans le tube en passant par le tourbillonnaire qui lui assure un bon mélange avec le carburant injecté à ce niveau et enflammé de façon continue, il représente 30 % de flux total arrivant à l'entrée de la chambre de combustion.

◆ **Flux secondaire** : il consiste un écoulement d'air à travers les parois externes du tube, assurant ainsi son refroidissement et l'orientation de la flamme par le biais ports des bagues gaufré.

Les deux flux se rejoignent à la sortie de la chambre de combustion sous forme des gaz chauds qui traversant la turbine du compresseur à laquelle ils cèdent une partie de leur énergie qui servira entraîner le compresseur et les accessoires.

Les gaz poursuivant leur détente au niveau de la turbine pour fournir enfin une certaine énergie qui servira à l'entraînement du rotor sustentateur de l'hélicoptère.

Dans un turbo-réacteur, la turbine ne fait qu'extraire de l'énergie pour entraîner le compresseur et les accessoires, tandis que dans notre turbopropulseur, la turbine du tv3 est conçue pour extraire l'énergie pour pouvoir entraîner le rotor sustentateur en plus de compresseur et des accessoires. Une faible de cette énergie reste dans les gaz chauds qui se détentes dans la tuyère pour produire une poussé additionnelle.

Handwritten signature or initials.

V.3. Système de lubrification :

Le système de lubrification est destiné à :

- > Maintenir un film d'huile entre les pièces en frottement au cours du fonctionnement afin d'éviter les détériorations.
- > Assurer une protection contre la corrosion.
- > Evacuer les calories.
- > Nettoyer les éléments frottantes.

Le système d'huile se compose de deux circuits :

Le circuit de refoulement contient :

- Pompe de refoulement
- Soupape de réduction
- Filtre
- Injecteurs et des canalisations
- Capteur de pression
- Capteur de pression minimal MSTB 2.5
- Clapet anti-retour.

Le circuit de récupération contient :

- (6) six pompes de récupération
- Capteur de température P-2
- Capteur de signalisation des copeaux CC-78
- Clapet anti-retour
- Canalisation
- Radiateur
- Réservoir

Pour l'émission opportune du signal sur l'état des éléments et les ferrures du moteur et sur la présence des particules ferromagnétiques dans la canalisation d'huile venant du moteur, on a installé le détecteur de limaille CC-78 à l'entrée de radiateur d'huile. Le voyant LIMAILLE MOTEUR GAUCHE et LIMAILLE MOTEUR DROIT installé à la planche de bord gauche signale s'il y a de la limaille dans l'huile. Et à la planche de bord gauche on installe deux voyants avec le filtre jaune PEU PM MOTEUR GAUCHE DROIT, connectés aux avertisseurs de moteur installés dans les canalisations d'amené d'huile du réservoir.

Caractéristiques techniques :

- Type d'huile utilise GASTROL-98
- Consommation horaire 0.3 L/H
- Pression d'huile ralentie $> 2 \text{ Kg/cm}^2$
- Pression huile de travail a tous les régimes $3.5 \pm 0.5 \text{ Kg/cm}^2$
- Capacité d'huile maximale dans le réservoir 12 L.
- Capacité d'huile minimale dans le réservoir 8 L.
- Température maximale 150°C
- Température minimale 30°C
- Température recommande $80 \pm 140^\circ \text{C}$

Donnés de fonctionnement :

- Température d'huile à la sortie du moteur :
 - o Maximalc..... $+150^\circ \text{C}$.
 - o Minimale..... $+30^\circ \text{C}$
 - o Recommandée..... de 80 à 140°C

- Débit de consommation d'huile..... 0.3 litres/heure.

- Pression d'huile :
 - o Au régime inférieure..... $\approx 2 \text{ kgf/cm}^2$.
 - o Au régime moyen..... $3.5 \pm 0.5 \text{ kgf/cm}^2$.
 - o oscillation tolérée de pression lors des différents régimes.....
..... $\pm 0.25 \text{ kgf/cm}^2$.

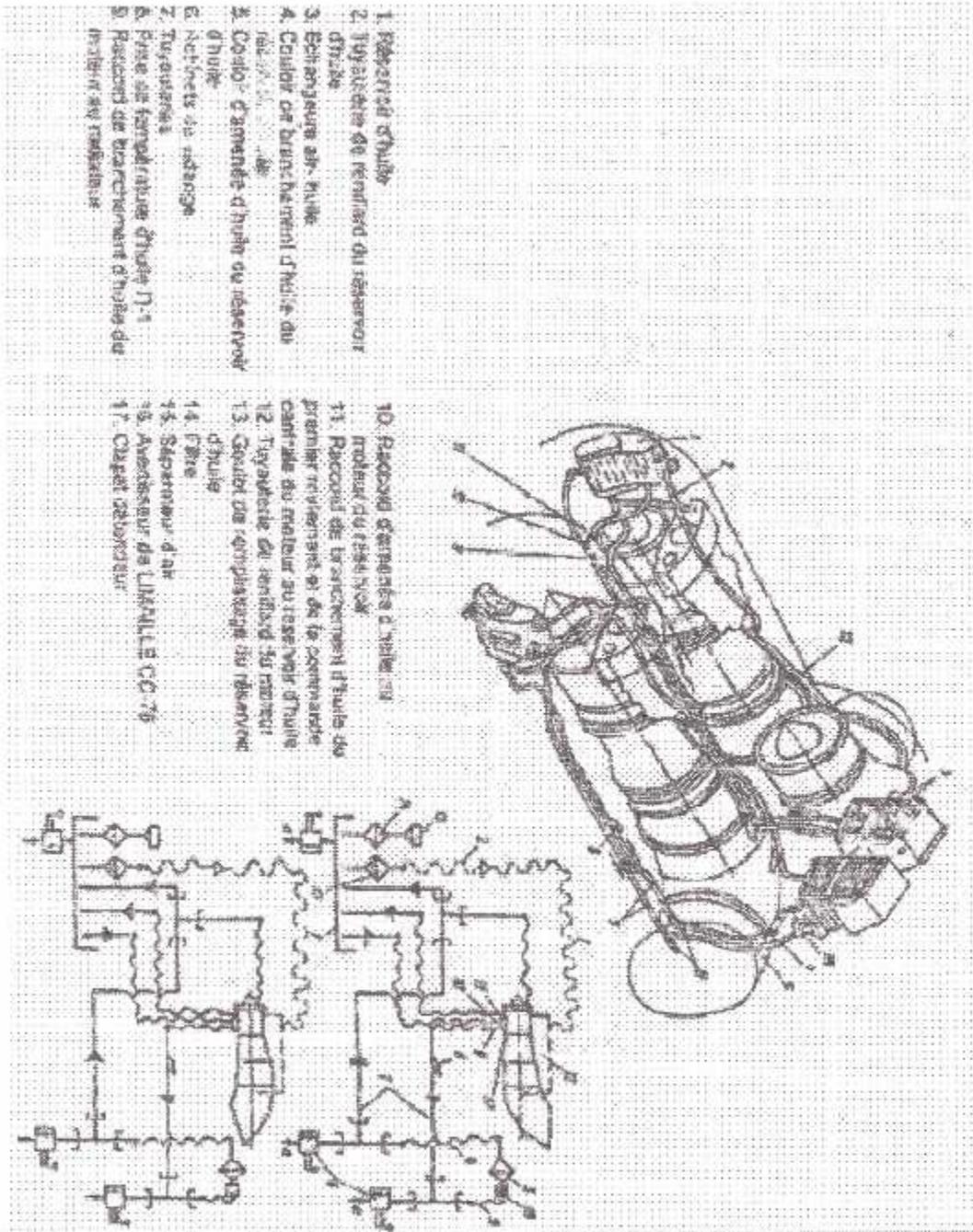


Figure V.3 : Système de lubrification du moteur TV3-117

V.4. les constituants du circuit de graissage :

V.4.1. le réservoir :

Le réservoir d'huile est de structure soudée, il est muni de goulot de remplissage(3), du cadre avec le verre de jaugeur d'huile(2), avec les index PLEIN 11L ; REMPLIS-10L ; 9A MIN-8L du raccord (1) d'amené d'huile de réservoir au moteur, du raccord (7) d'amené d'huile du radiateur d'huile, de raccord d'amené d'huile de premier roulement et de la commande centrale du moteur, du raccord(5) de reniflard du réservoir d'huile, du réservoir de reniflard(4) et de robinet de vidange.

A l'intérieur du réservoir d'huile, il y a deux diaphragmes en zones d'installation des bandes de fixation. Ces diaphragmes sont soudés à la virole à l'aide du soudage par points. Du haut, à l'intérieur du réservoir on soudé le réservoir de reniflard, qui aux cônes de labyrinthe, servant à séparer l'huile de l'air qui par les systèmes de reniflard du réservoir d'huile et du moteur, est évacué dans l'atmosphère.

Le goulet de remplissage est muni du filtre grille (5) du panneau (3), et la vidange d'huile se fait par le robinet de vidange.

En fonctionnement normal le réservoir est pressurisé à une pression l'air de pressurisation par le volume d'expansion est amené par les pompes de récupération depuis le relais d'accessoires lors de l'arrêt du moteur l'air de pressurisation s'évacue lentement vers l'extérieur et ne permet de vérifier le niveau d'huile que cinq à quinze minutes après l'arrêt du moteur en ouvrant le bouchon de remplissage manuel.

V.4.2. Les pompes :

On a la ou les pompes de refoulement et les pompes de récupération toutes ces pompes sont du type à engrenages.

Le débit des pompes de récupération doit toujours être supérieur à celui de la Pompe de refoulement car l'air de pressurisation des paliers va se mélanger à l'huile de lubrification augmentant ainsi le volume à évacuer.

En parallèle sur la pompe de refoulement on a toujours un clapet de surpression. Le but de ce clapet est d'éviter les coups de bélier et de faciliter le démarrage lorsque la température de l'huile est très basse.

Précision qu'une pompe à engrenages est toujours constituée d'un pignon Et d'un pignon mené l'admission d'huile se fait côté dégrèvements des pignons et la Sortie côté engrènement, Tant que la pression d'huile sortie pompe est inférieure à la pression du ressort

taré du Clapet toute aspirée par la pompe est envoyée dans le circuit lubrifiant. Si la pression aval pompe est supérieure à la pression du ressort du clapet La bille se soulèvera autorisant un retour d'huile vers l'amont pompe en évitant ainsi Une surpression des canalisations aval.

V.4.3. Les filtres :

Le lubrifiant drainera les particules métalliques arrachées par l'usure aux pièces En frottement ainsi qu'un certain nombre d'impuretés telles que les poussières véhiculées Par l'air de pressurisation des paliers si toutes ces particules sont recyclées dans le circuit De lubrification, elles entraîneront à cause de leur dureté une usure plus rapide et un Arrachement plus important de particules des pièces de frottement augmentant ainsi le Pouvoir corrodant du lubrifiant il ne faut pas non plus oublier les possibilités de dépôt et D'obstruction en certains points du circuit pour éviter tous ces risques on interpose Des filtres dans le circuit ces filtres généralement à tamis, ont une efficacité chiffrées Tous les filtres à huile sont aisément démontables.

Tant que la pression d'huile dans le filtre est inférieure à la pression du ressort taré Toute l'huile passe le filtre (ou le radiateur) lorsque la pression entrée filtre est supérieure A la pression de « tarage » du ressort, la bille se soulève de son siège et autorise un Passage d'huile en parallèle sur l'élément by-passé ce dispositif permet, en cas d'obstruction du filtre de continuer à assurer un débit d'huile vers le moteur.

V.4.4. Le séparateur (reniflard) :

Il sert à séparer l'air de l'huile récupérer à partir des consommateurs contient de l'air et du gaz qui se vient difficile refroidissement dans le radiateur.

Pendant la rotation de mélange air /huile dans le tambour de reniflard l'huile est rejeté vers la préfinie d'ou il revient dans le radiateur huile /carburant. L'air échappe à travers de l'arbre creux vers la boîte d'entraînement des accessoires. De plus la séparation d'air d'huile peu se faire sur les tamis.

Pour éviter la pénétration d'huile dans la partie du passage de moteur et pour diminuer ce débit d'huile chaque roulement doit être placé dans une cavité. Cette dernière rendu étanche pendant le fonctionnement. Le séparateur d'huile est lié à l'augmentation de la pression à la suite du chauffage et de la vaporisation ainsi que la fuite des gaz par des joints d'huile.

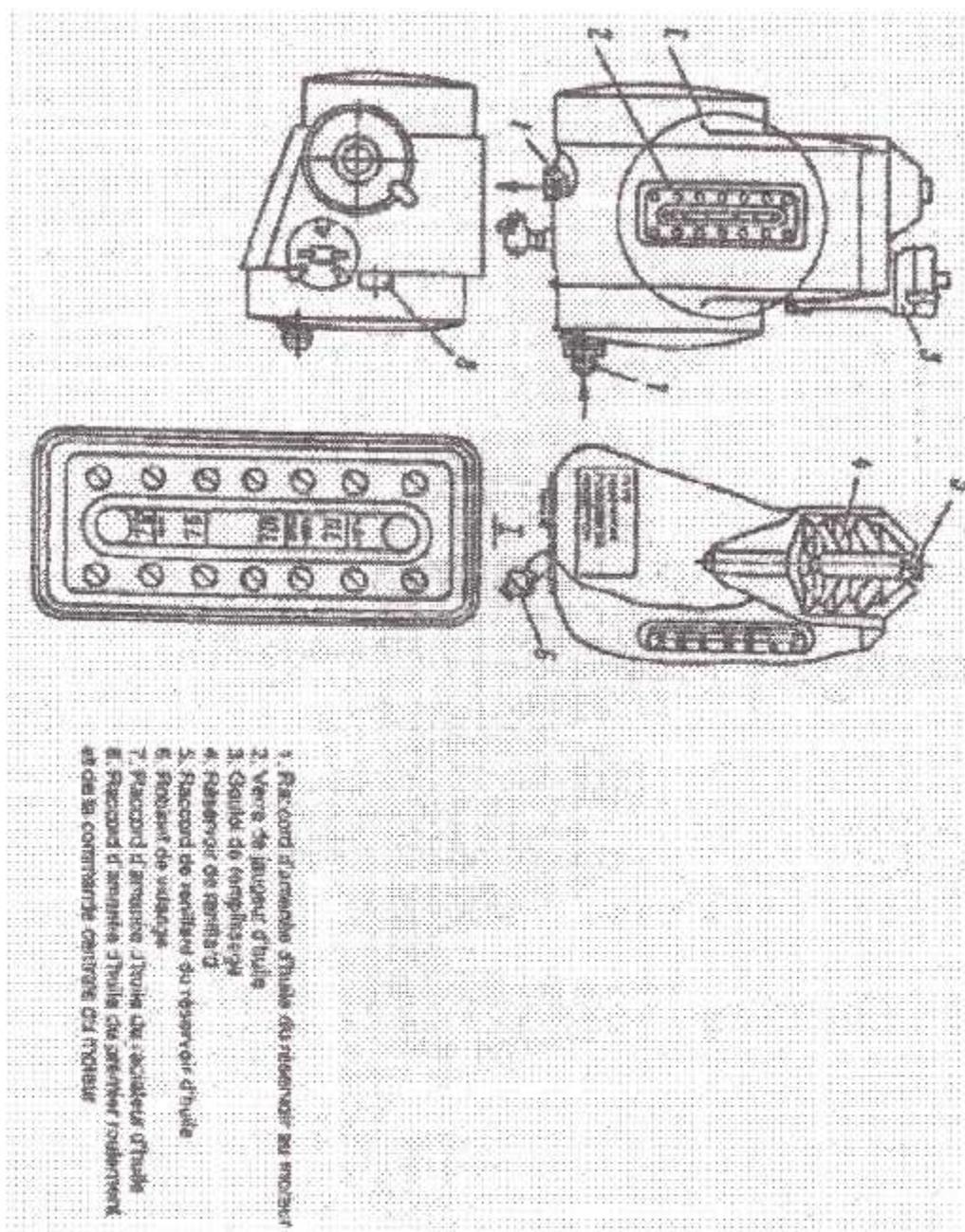


Figure (V.4) : Réservoir d'huile

V.4.5. Radiateur d'huile :

Le volume du réservoir d'huile est de 10 à 20% plus à la quantité d'huile à mettre car l'huile qu'y revient après le graissage à une haute température et un grand volume. Pour avoir une bonne prise d'huile pendant le vol on renverse l'huile à une crépine sur le corps du réservoir pour le refroidissement il y a un radiateur de construction de nit d'abeille des types cuivre à un diamètre de 3 à 4 fois les tubes passe l'air que les tubes passe d'huile.

V.4.6. Injecteurs huile :

Il sert à doser et pulvériser l'huile quand m'amené vers surfaces frottantes. On utilise largement des injecteurs à jet et injecteurs centrifuges. Les injecteurs à jet sont simples munies des gicleurs à un diamètre de 1 à 2.5mm. La capacité d'éjection dépend de la pression différentielle et de la température et de diamètre de l'orifice au libre. Dans le corps injecteur centrifuge l'huile se filtre par l'intermédiaire du tourbillonnaire sur la surface à graissé ont un grand angle de pulvérisation fine d'huile. les injecteurs centrifuges cédant leur place aux injecteurs à jet à cause du mélange instance avec de l'air ce qui diminue la récupération de la chaleur à partir des paliers.

V.4.7. Tuyauteries d'huile :

Se fait du tube en acier ou en duralumin pour éviter les vibrations des tubes doivent se fixées auxquels entre eux a l'aide des polires de serrage. le diamètre de tube de refoulement doivent être fait en fonction de la quantité d'huile qui doit passer avec une vitesse égale à peu pris de 1.5 à 3m/s .le diamètre de type de récupération et plus grand par au diamètre du tube de refoulement et aussi est grand de 1.5 fois en fonction du capacité du pompe d'huile de récupération. Il est noté que l'huile à vidangé et plus chaud ce qu'augmenté le volume.

V.6. Circulation d'huile :

La pompe de refoulement aspirer l'huile a partir de réservoir et le refoule sous pression de 3 à 4 Kg/cm² cet pression est réglé par le clapet de réduction vers le filtre a partir ce dernier l'huile passe par la canalisation externe pour le graissage des paliers 2^{ème}, 3^{ème}, 4^{ème} et le 5^{ème} et par la canalisation interne dans la boîte d'entraînement moteur pour le graissage du 1^{er} palier et la boîte d'entraînement.

Retour d'huile par le bloc d'aspiration se fait au moyen de cinq (05) pompes d'aspiration installées dans le bloc pompes à huile sous le moteur et une pompe (06) sur la boîte d'entraînement.

- ❖ 1^{ère} pompe et 2^{ème} pompe aspirent l'huile du 1^{er} palier. 3^{ème} pompe aspire l'huile du 4^{ème} palier.
- ❖ 3^{ème} pompe aspire l'huile du 4^{ème} palier.
- ❖ 4^{ème} pompe aspire l'huile du 5^{ème} palier.
- ❖ 5^{ème} pompe aspire l'huile du 3^{ème} palier.
- ❖ 6^{ème} pompe aspire l'huile de la boîte d'entraînement.

Ensuite l'huile passe à travers les capteurs pénètres dans le radiateur pour le refroidissement, après il passe dans la bache de la dilatation où il sera aussi la séparation d'huile d'air et des gaz après l'entrée dans le réservoir. Cet air venant du compresseur qui se fait d'une manière suivante :

- L'air venant du 5^{ème} étage du compresseur assure la surpression du 1^{er} et 4^{ème} palier. L'air du 7^{ème} étage du compresseur assure la surpression du 3^{ème} et la 5^{ème} paliers et une partie d'air pour le refroidissement de la turbine libre.
- La sous-pression du 2^{ème} appui puis se fait par une partie d'air qui vient par le flux secondaire.

Pour l'évacuation d'air en a prévue :

- L'évacuation de l'air à partir 2^{ème} appui se fait par évacuation vers l'atmosphère.
- L'évacuation d'air du 1^{er}, 3^{ème}, 4^{ème} et 5^{ème} paliers se fait par les pompes d'aspiration et la bache de dilution (reniflard) qui se trouve dans le réservoir.

La bache de dilution assure la séparation primaire d'huile et le reste sera envoyé au reniflard qui assure la séparation complète.

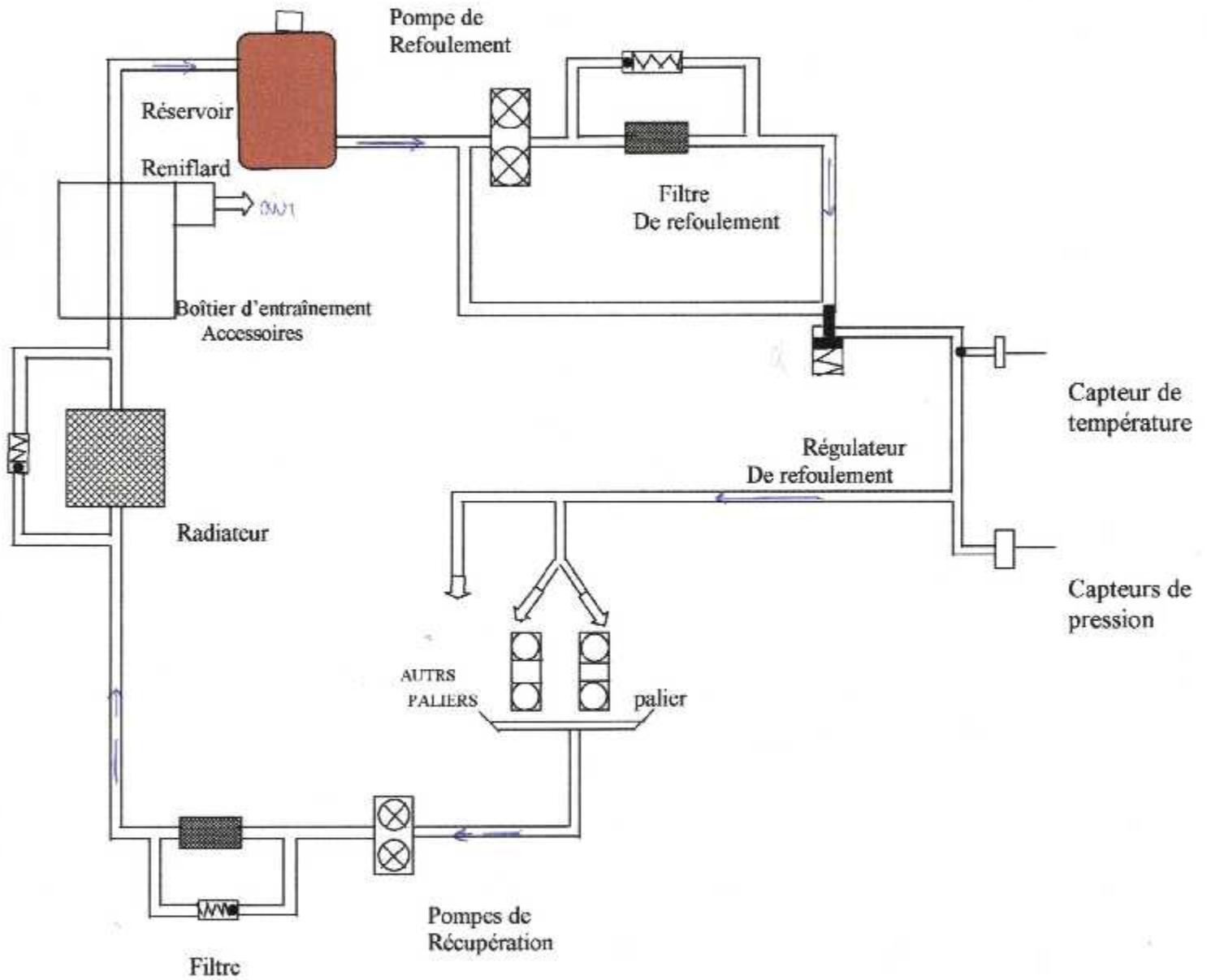


Figure V-5 : Chémas synoptique du circuit d'huile

Chapitre IV

L'étude AMDEC

Introduction :

Pour montrer la méthode AMDEC on impose une application sur ' le circuit de graissage du moteur tv3-117'. Les tableaux d'AMDEC suivants résument la chronologie des pannes d'un échantillon. À l'absence du récupérativité des pannes dans le travail atelier on adopte le jugement d'experts comme base des donnés.

L'unité de la fréquence F est 100 heures de fonctionnement. Et les trois paramètres fréquence, gravité, non-détection sur une échelle de 1 à 4 *avec* *avec - F = 0*

Cette approche permet de détecter les fonctions les plus critiques et de limiter ensuite l'AMDEC " physique " aux composants critiques qui réalisent tout ou partie de ces fonctions.

Avant de se lancer dans la réalisation proprement dite des AMDEC, il faut connaître précisément le système et son environnement. Ces informations sont généralement les résultats de l'analyse fonctionnelle, de l'analyse des risques et éventuellement du retour d'expériences.

Il faut également déterminer comment et à quel fin l'AMDEC sera exploitée et définir les moyens nécessaires, l'organisation et les responsabilités associées.

Dans un second temps, il faut évaluer les effets des modes de défaillance. Les effets de mode de défaillance d'une entité donnée sont étudiées d'abord sur les composants directement interfacés avec celui-ci (effet local) et de proche en proche (effets de zone) vers le système et son environnement (effet global).

Il est important de noter que lorsqu'une entité donnée est considérée selon un mode de défaillance donné, toutes les autres entités sont supposées en état de fonctionnement nominal.

Dans un troisième temps, il convient de classer les effets des modes de défaillance par niveau de criticité, par rapport à certains critères de sûreté de fonctionnement préalablement définis au niveau du système en fonction des objectifs fixés (fiabilité, sécurité, etc.).

Les modes de défaillance d'un composant sont regroupés par niveau de criticité de leurs effets et sont par conséquent hiérarchisés.

Cette typologie permet d'identifier les composants les plus critiques et de proposer alors les actions et les procédures " juste nécessaires " pour y remédier entre des intervalles déterminés. Cette activité d'interprétation des résultats et de mise en place de recommandations constitue la dernière étape de l'AMDEC.

Analyse des modes de défaillance, leurs effets et leur criticité

Insitut d'aéronautiqu e Blida.	Système : circuit de graissage des moteurs TV3-117		Phase de fonctionnement : régime moteur normal (journalière 5 HDV)		Date de l'analyse 01-10-2003		Criticité				Action corrective	
							F	G	N	C		
L'élément	fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet	Détection	T						
							F	G	N	C		
1) huile de graissage [GASTROL 98]	<u>Matière</u> : - lubrifiante - refroidissant - nettoyeuse	- Lubrifiant non conforme. (mauvais graissage)	- pertes des caractéristiques par l'usure abrasive ou adhésive	- $T_H > T_{H_{MAX}}$	- capteur de température P_2	- Lors du fonction nement	- Lors des inspects ions après vol	0.2	2	3	1.2	-s'il y a présence de carburant il y a deux cas soit le joint de la pompe MYTH.70 ou le joint de la pompe régulatrice HP-3.

Analyse des modes de défaillance, leurs effets et leur criticité

L'élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet	Détection	T	Criticité				Action corrective
							F	G	N	C	
Institut d'aéronaut ique Elida	Système : circuit de graissage des moteurs TV3-117			Phase de fonctionnement : régime moteur normal (journalière 5 HDV)		Date de l'analyse 01-10-2003		Page : 1			
			-erreur humaine.	- $T_e > T_{max}$	-capteur de température p2	Lors du fonctionne ment ou après 5 jours	0.5	4	0.1	0.2	-Instruction des personnels.
		- insuffisance d'arriver d'huile aux pièces lubrifiées.	- mauvaise étanchéité du système (fuite interne ou externe).	- présence des limailles engendre des détériora- tion des paliers et des engrenages	- capteur de signalisation des copeaux cc-78		0.5	4	2	4	- inspection spectrométrique d'huile.
			- condition des vol défavorables(gel té d'huile).				0.2	3	3	1.2	- réviser le moteur et changer le en cas des vibrations graves.
			- vibrations de moteur.				0.5	4	2	4	

Analyse des modes de défaillance, leurs effets et leur criticité

Institut d'aéronautique Elida		Système : circuit de graissage des moteurs TV3-117		Phase de fonctionnement : régime moteur normal (journalière 5 HDV)		Date de l'analyse 01-10-2003				Page : 1	
L'élément	fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet	Détection	T	Criticité				Action corrective
							F	G	N	C	
3) pompe d'aspiration	- aspirer l'huile.	- obturation. - fuite.	- impuretés dues à l'usure raccords desserrés par vibrations ou joints défectueux. - rupture interne d'accouplement nl. - usure interne des aubes	- perte le débit d'huile. - excès d'aération dans le circuit.	- jaugeur visuel du réservoir d'huile.	-lors du fonctionnement ou bien après de 5 HDV par les inspections piste.	0	4	1	0	- analyse spectrométrique d'huile (SOAP).
							0.2	3	3	1.2	

Analyse des modes de défaillance, leurs effets et leur criticité

Institut d'aéronautique Blida		Système : circuit de graissage des moteurs TV3-117		Phase de fonctionnement : régime moteur normal (journalière 5 HDV)		Date de l'analyse 01-10-2003		Page : 1			
L'élément	fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet	Détection	T	Criticité				Action corrective
							F	G	N	C	
4) filtre de refoulement	- filtrer d'huile refoulée	- colmatage totale ou partiel.	- présence des impuretés.	- mauvaise lubrification (détérioration des paliers)		- Lors du mainten- ance prévent- ive système- tique.	.25	3	3	2	Vérifier le filtre et changer le si colmate
							- mauvaise filtrage.	- usure des crépines.	- croissance de pression d'huile.	-indicateur de pression.	

Analyse des modes de défaillance, leurs effets et leur criticité

Insitut d'aéronautique Blida	Système : circuit de graissage des moteurs TV3-117		Phase de fonctionnement : régime moteur normal (journalière 5 HDV)		Date de l'analyse 01-10-2003		Page : 1				
	L'élément	fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet	Détection	T	Criticité			
F								G	N	C	
5) filtre d'aspiration	- filtrer d'huile aspirer	- colmatage totale ou partiel.	- présence des impures.	- mauvaise lubrification	indicateur de pression.	avertisseur des limailles CC-78.	1	4	2	8	Vérifier le filtre et changer le si colmate

Analyse des modes de défaillance, leurs effets et leur criticité

Insitut d'aéronaut- ique Blida	Système : circuit de graissage des moteurs TV3-117				Phase de fonctionnement : régime moteur normal (journalière 5 HDV)		Date de l'analyse 01-10-2003				Page : 1
	L'élément	fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet	Détection	T	Criticité			
F								G	N	C	
6) renillard	- séparer l'huile/ air	- pas de rotation.	- casse de l'arbre de rotation.	- Augmenta- tion de pression.	- jaugeur visuel du réservoir - lors du MP.	- lors du mainten ance après vol (5HDV)	0	3	2	0	Vérifier le couple d'entraînement et les joints étanchéités
		- obturation des joints de sortie d'huile par la force centrifuge.	- présence des impuretés.	- exès d'aération dans les canalisations.			0.5	3	3	4.5	

Analyse des modes de défaillance, leurs effets et leur criticité

Institut d'aéronautique Blida	Système : circuit de graissage des moteurs TV3-117		Phase de fonctionnement : régime moteur normal (journalière 5 HDV)		Date de l'analyse 01-10-2003				Page : 1		
	L'élément	fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet	Détection	T				
						Criticité				Action corrective	
						F	G	N	C		
7) radiateur	- refroidissement	contamination par des impuretés d'air. - engorgement des sections des passages d'air entre les tuyauteries du radiateur d'huile.	- sable et la boue en été. - neige et glace a hiver.	- $T_b > T_{max}$ - Fumage d'huile. - augmentation du volume d'huile.	indicateur de température P2. - jaugeur visuel.	- lors du fonctionnement.	2	3	2	12	Vérifier le radiateur et nettoyer le si contaminé.
						- lors du maintien préventive.	0.5	2	3	3	

Analyse des modes de défaillance, leurs effets et leur criticité

Insitut d'aéronauti que Blida	Système : circuit de graissage des moteurs TV/3-117				Phase de fonctionnement : régime moteur normal (journalière 5 HDV)		Date de l'analyse 01-10-2003		Page : 1		
	L'élément	fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet	Détection	T	Criticité			
F								G	N	C	
8) clapet de sûreté (soupape de réduction)	- éviter une suppression dans le circuit de refoulement	- blocage	- fatigue du ressort.	- $P_h > P_{max}$ consommati on excessive d'huile.	Indicateur de pression ID-8.	- lors du fonction nement	0.5	3	3	3	Tester le bon fonctionnement et Changer le si usure.
										1.2	
				- corrosion							

Analyse des modes de défaillance, leurs effets et leur criticité

Institut d'aéronautique Blida	Analyse des modes de défaillance, leurs effets et leur criticité										
	Système : circuit de graissage des moteurs TV3-117				Phase de fonctionnement : régime moteur normal (journalière 5 HDV)		Date de l'analyse 01-10-2003				Page : 1
L'élément	fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet	Détection	T	Criticité				Action corrective
							F	G	N	C	
10) capteurs	transformer les paramètres des systèmes en signaux électriques ou en jaugues visuels.	- détérioration	- usure par des contraintes répètes.	- pas des indications sur les paramètres d'huile.	- testeur exprimant ale.	- au régime ralenti	0.1	3	0.5	.15	Tester le bon fonctionne ment et changer les avec leurs asservisse- ments si ils usures.
							- pas d'alimentation électrique.	- par contrôle électrique des capteurs.	0.5	3	

Analyse des modes de défaillance, leurs effets et leur criticité

Insitbur d'aéronauti que Blida		Système : circuit de graissage des moteurs TV3-117		Phase de fonctionnement : régime moteur normal (journalière 5 HDV)		Date de l'analyse 01-10-2003		Page : 1			
L'élément	fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet	Détection	T	Criticité				Action corrective
							F	G	N	C	
11) bloc de commande	- surveiller les paramètres d'huile. - avertisseur sur les régimes dangereux.	dysfonctionne ment. - alerte eronie.	- détérioration - pas alimentation électrique.	- absence de toutes formes de commande.	- testeur exprimen t ale visuelle. - contrôle autonatiq ue.	- au régime ralenti sur piste ou bien immédia tément sur le bloc comman de.	0	4	0.1	0	Tester le bon fonctionnement et changer les avec leurs asservisse- ments si ils usures.
						0.5	4	0.1	0.2		

Analyse des modes de défaillance, leurs effets et leur criticité

Institut d'aéronautique Blida	Analyse des modes de défaillance, leurs effets et leur criticité						Page : 1				
	Système : circuit de graissage des moteurs TV3-117			Phase de fonctionnement : régime moteur normal (journalière 5 HDV)		Date de l'analyse 01-10-2003					
L'élément	fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet	Détection	T	Criticité				Action corrective
							F	G	N	C	
12) aptitude de jugement d'expert et d'analyse.	- exploitation et maintenance	- mauvaise exploitation.	- insuffisance d'expert.	- réduire la fonction maintenance	- résultat d'exploitation.		0.5	4	3	6	L'instruction des personnelles.

Evolution de la criticité :

Le choix de la criticité limite est basée sur la maintien d'un niveau de fonctionnement sure et une régularité de maintenabilité par les moyennes exigeants pour d'aborder le meilleur compris des politiques de maintenance avec le moindre coût. En retenant la seuil de criticité admissible $C_{lim} = 6$, donc chaque composant pour lequel $C > 6$ figure parmi les points critiques.

$1 \leq C < 6$	Criticité légère	Maintenance corrective
$6 < C < 12$	Criticité moyenne	Maintenance préventive systématique
$12 \leq C < 18$	Criticité élevée	Maintenance conditionnelle
$C \geq 18$	Criticité interdite	Arrêt d'exploitation

D'après l'analyse des tableaux d'AMDEC on voit que les points critiques de dysfonctionnement de la tribologie Mode-Cause-Effet sont:

- L'usure d'huile de graissage qui induise la détérioration des paliers moteur.
- La contamination des filtres qui figure par présence des limailles d'huile.
- La contamination du radiateur par les impuretés d'air.
- Les pertes d'huile à cause les problèmes d'étanchéité.

Et pour sélectionner des intervalles de maintenance préventive, on optimisant la grandeur MTBF (*Mean Time Between Failure*) pour les éléments constituants.

Pour un hélicoptère de combat à une réglementaire de vol par jour, par mois, par année et des visites programmés aprèsvol, prévol, visites A, B,... et pour le système de graissage qu'est à simple conception, sa moyenne de criticité n'atteint pas le niveau critique on optimisant la grandeur MTBF sur la loi exponentiel :

La fiabilité $R(t) = e^{-\lambda t}$ et la maintenabilité $M(t) = 1 - e^{-\lambda t}$

$$MTTF = 1 / \lambda$$

$$MTTR = 1 / \mu$$

Un système sans redondance et réparable sur un petit temps n'inclure pas sur la régularité d'exploitation et pour simplifier l'étude on constate que MTTR=1 à 20 Heures et pour le grandeur MTTF on a l'estimation ponctuelle (voir l'annexe) :

$\lambda = r / T_f$ (λ : taux de défaillance, T_f : unité de fréquence = 100Heures, r : nombre des pannes).

$$MTTF = T_f / r = 1 / \lambda \text{ (taux de défaillance)}$$

et la MTBF=MTTF+MTTR=MTTF±MARGES.

Pour un fonctionnement sûr, régularité d'exploitation et petite encombrement du volume et par des marges de sécurité on adopte les critères de MTBF suivants :

L'huile : - Après chaque 50HDV inspecte spectrométrique l'huile (SOAP).

- Après chaque 150 HDV changer l'huile.

Filtre : Après chaque 50 HDV vérifier le colmatage et si colmaté changer le.

Radiateur : Après chaque 25 HDV inspecté la et maintien la si en panne.

Les paramètres de fonctionnement : ramenée les paramètres après chaque vol et avant le surtout l'avertisseur des limailles CC-78.

Pour les autres éléments on adopte deux classes de maintenance systématique :

Après 250 HDV :

- inspecter tous les étanchéités des joints des paliers, des pompes, ...
- vérifier les tuyauteries.

Après 500 HDV :

- vérifier le bloc-pompe.
- Tester le fonctionnement réel de tous les capteurs, le bloc commande.

Après le calcul de la MTBF on arrive sur ce tableau qui basée sur les données historiques des agents d'experts qui ne vient pas un programme de maintenance réel.

Heures de vol	Lors du montage moteur	25±5	50±5	75±5	100±10	125±5	150±5	175±5	200±10	225±5	250±20	500±50
Analyse (SOAP) d'huile	-	-	+	-	+	-	Changer l'huile	-	+	-	+	+
Filtre 'huile	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	+
Radiateur	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Avertisseur de limailles	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Contrôle des paramètres : - Ralenti -Autres régimes	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Conclusion :

Historiquement L'AMDEC a été employée pour la première fois à partir des années 1960 dans le domaine de l'aéronautique pour l'analyse de la sécurité des avions. La méthode initiale est appelée Analyse des modes de défaillances et de leurs effets (AMDE). Il s'agit d'une méthode d'analyse préventive de la sûreté de fonctionnement (fiabilité, disponibilité, maintenabilité, sécurité).

Le principe de la prévention repose sur le recensement systématique et l'évaluation des risques potentiels d'erreurs susceptibles de se produire à toutes les phases de réalisation d'un système. Cette approche permet de détecter les fonctions les plus critiques et de limiter ensuite l'AMDEC " physique " aux composants qui réalisent tout ou partie de ces fonctions.

On établit une distinction entre l'AMDEC produit, centrée sur l'amélioration, en conception, des performances du produit, et l'AMDEC procédé, qui s'intéresse aux moyens de production (machines, lignes, installations), ainsi qu'au processus de production (gammes de fabrication). D'autres applications sont possibles, notamment dans le domaine de l'organisation, de la sécurité, et plus généralement des services.

Une des difficultés est dans l'optimisation de l'effort entre le coût de l'analyse AMDEC (dépendant de la profondeur de l'analyse) et le coût de l'amélioration à apporter. La solution pour surmonter le volume des entités à étudier est de conduire des AMDEC fonctionnelles.

+ Dans la réalisation des AMDEC ou lors de la sélection des tâches de maintenance, on fait appel au jugement d'experts pour palier l'absence d'analyses formelles ou pour des raisons de rapidité ou d'économie.

Bien qu'ayant subi de nombreuses critiques dues au coût et à la lourdeur de son application, elle reste néanmoins une des méthodes les plus répandues et l'une des plus efficaces. Elle fournit une autre vision du système et des supports de réflexion de décision et d'amélioration.

La méthode AMDEC a ajouté l'estimation de la dimension des risques et des politiques de maintenance.



Bibliographie

[1] La maintenance basée sur la fiabilité; GRILLES
ZWINGELSTEIN. Hermes 1996

[2] Diagnostic des défaillances; GRILLES ZWINGELSTEIN. Hermes

[3] Reliability Centered Maintenance, ANTHONY M.SMITH. Mc
Graw-Hill

[4]Circuits et contrôle du turboréacteur. G.Lehmann et P.Lepourry.
ENAC (Toulouse) 1989

[5] Thèse de fin d'étude ' description et entretien du moteur TV3-
117'.Promoteur D.HABBES; Etudiant NAADJI AISSAM. Promotion
2001/2002

[6] Manuel d'entretien du moteur TV3-117(SPARK Russa 1985).

[7] www.isotov.com

Annexe

donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires soit assurée. Elle prend en compte à la fois la fiabilité et la maintenabilité.

La disponibilité en mission est définie par :

$$D = [1 / (t_2 - t_1)] \int_{t_1}^{t_2} D(t) dt$$

La disponibilité moyenne (*availability* et notée aussi *A*) est la valeur limite de la précédente :

$$D = \lim_{T \rightarrow \infty} \left[\left\{ \int_0^T D(t) dt \right\} / T \right]$$

Le MTBF (Mean Time Between Failure), moyenne des temps entre défaillances n'est défini que pour des systèmes réparables donc pas pour des composants. Sa traduction française par Moyenne des Temps de Bon Fonctionnement prête à confusion.

Les anglo-saxons définissent aussi le MUT (Mean Up Time : temps moyen de disponibilité : le système n'est pas nécessairement entièrement réparé s'il y a redondance) et le MDT (Mean Down Time, durée moyenne d'indisponibilité) qui comprend la détection, la réparation de la panne et la remise en service :

$$\begin{aligned} \text{MTBF} &= \text{MUT} + \text{MDT} && \text{pour les systèmes redondants (défaillance} \neq \text{panne)} \\ \text{MTBF} &= \text{MTTF} + \text{MTTR} && \text{pour les systèmes non redondants.} \end{aligned}$$

NORME La sécurité de fonctionnement est l'absence de conditions qui peuvent causer la blessure ou la mort des personnes, des dommages, des pertes de bien.

Les défaillances sont classées selon leur criticité, les plus critiques devant être les moins probables.

NORME La sûreté de fonctionnement (*dependability*) est la probabilité d'éviter un événement à redouter pour l'application considérée et permet de placer une confiance justifiée dans le service délivré.

C'est un concept global recouvrant la F-M-D et la sécurité.

I.C. - LOIS DE PROBABILITE

I.C.1 - Loi exponentielle

Lorsque les taux de défaillance et de réparation sont constants, les lois de probabilité $R(t)$ et $M(t)$ sont exponentielles :

il vient :	$R(t) = e^{-\lambda t}$	$M(t) = 1 - e^{-\mu t}$
	$\text{MTTF} = \theta = 1/\lambda$	$\text{MTTR} = 1/\mu$
	écart type = $1/\lambda$	écart type = $1/\mu$

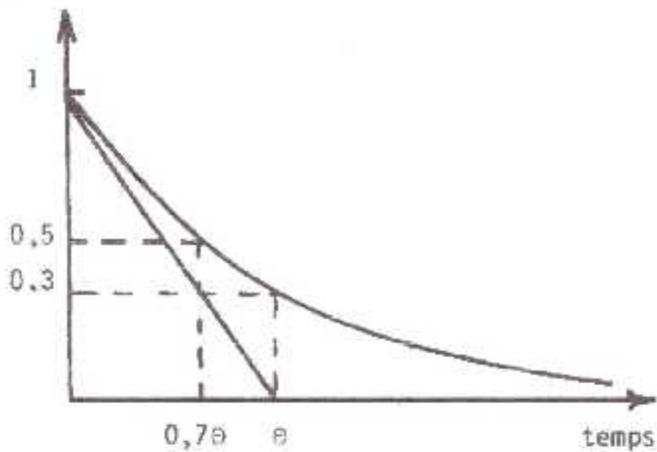


Figure 11 - Loi exponentielle

Au temps θ la fiabilité R ne vaut plus que 0,368. $R = 0,5$ est obtenue pour la médiane $0.69/\lambda$.

Pour un dispositif sans redondance et réparable, les deux états possibles sont "en service" et "en panne" avec les probabilités P_1, P_0 . La disponibilité instantanée est égale à la probabilité de l'état opérationnel P_1 :

$$dP_1 = -\lambda P_1 dt + \mu P_0 dt$$

avec :

$$P_0 + P_1 = 1$$

$$dP_1/dt = -(\lambda + \mu) P_1 + \mu$$

Lorsque λ et μ sont constants l'intégration est aisée :

$$P_1(t) = D(t) = \mu/(\lambda + \mu) + \lambda e^{-(\lambda + \mu)t}/(\lambda + \mu)$$

La disponibilité asymptotique ou moyenne s'obtient en régime stationnaire sans intégrer :

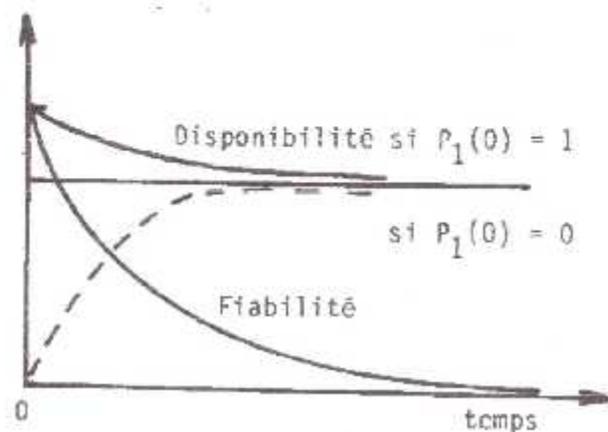


Figure 12 - Disponibilité

$$D = \mu/(\lambda + \mu) = \text{MTTF}/(\text{MTTF} + \text{MTTR}) = 1 / (1 + \lambda / \mu) = 1 / (1 + \lambda m)$$

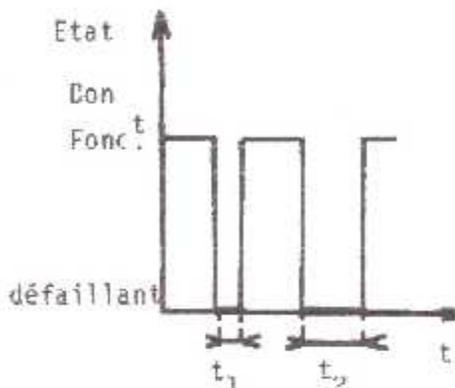
D = temps de fonctionnement correct/temps total

m = moment de la loi de réparation (théorie du renouvellement).

D = MTTF/MTBF $D \sim 1$ (μ grand) $D \sim \mu/\lambda$ (μ petit)

avec :

MTBF = MTTF + MTTR



$MTTR = (t_1 + t_2) / 2$

$D = 1 - (t_1 + t_2) / T$

Plans d'essais

Pour estimer la valeur de $\lambda = 1/\theta$ on désigne par T_f la durée de fonctionnement totale de l'ensemble de dispositifs en essai et r le nombre de défaillances observées.

Si l'essai noté $[n, V, T]$ est effectué en remplaçant les pièces défectueuses pendant une durée T avec n pièces, la méthode du maximum de vraisemblance conduit à (annexe A) :

$T_f = nT$ (non biaisé)

Si l'essai est effectué sans remplacer les pièces défectueuses il peut être :

- censuré après r défaillances (noté $[n, M, r]$) par expériences de laboratoire:

$T_f = (n + 1 - r) t_r + \sum_{i=1}^{r-1} t_i$ (non biaisé)

t_i étant la durée jusqu'à la $i^{ème}$ défaillance et t_r le temps jusqu'à la $i^{ème}$ défaillance.

- tronqué au bout du temps T (noté $[n, M, T]$) par retours d'exploitation :

$T_f = (n - k) T + \sum_{i=1}^k t_i$ (biaisé)

Estimation ponctuelle

Avec remplacement

$\hat{\lambda} = 1/\hat{\theta} = r/T_f$

ou : $\hat{\lambda} = (r - 1)/T_f$

sans remplacement (non biaisé).

En électronique, le nombre de défaillance est petit, même avec un grand nombre de composants et un temps long, ce qui pose des problèmes d'estimation. Lorsque $r = 0,015$ peut admettre une probabilité $1/2$ et :

$$\hat{\lambda} \sim (0.3 \text{ à } 0.7) T_f$$

Une autre méthode pour déterminer λ consiste à représenter $\log R(t)$ et à tracer la meilleure droite passant par $R = 1$ à $t = 0$.

Estimation par intervalle

L'intervalle de confiance bilatéral à l'intérieur duquel la vraie valeur de λ a la probabilité $1-(\alpha+\beta)$ de figurer est donné par la loi du Khi-deux :

$$\chi^2_{2r; 1-\alpha} / 2T_f < \lambda \leq \chi^2_{2r; \beta} / 2T_f$$

pour un essai censuré et

$$\chi^2_{2k; 1-\alpha} / 2T_f < \lambda \leq \chi^2_{2(k+1); \beta} / 2T_f$$

pour un essai tronqué.

$\chi^2_{2r; \beta}$ représente la valeur de la variable de la loi de khi-deux à $2r$ degrés de liberté qui a la probabilité β d'être dépassée (Annexe B). Les valeurs $\alpha - \beta = 0,05$ sont normalisées.

Des méthodes graphiques permettent de déterminer de la borne supérieure de λ en fonction de T_f , du nombre de défaillances et du niveau de confiance : cette borne se rapproche de r/T_f si le nombre de défaillances est grand.

Lorsque l'intervalle est unilatéral, sa limite supérieure vaut :

$$\text{ou : } \lambda \leq (\chi^2_{2r; \beta} / 2r) \hat{\lambda}$$

$$\lambda \leq (\chi^2_{2(k+1); \beta} / 2k) \hat{\lambda}$$

selon que l'essai est censuré ou tronqué. $\alpha = 0,1$ est normalisé.

Des tests d'ajustement permettent de confirmer l'hypothèse que la distribution est bien exponentielle : χ^2 , Kolmogorov-Smirnov, durées cumulées (cours de statistiques).

I.C.2 - Loi de Weibull

C'est encore une loi exponentielle mais disposant de trois paramètres ajustables :

Résumé:

L'analyse des modes de défaillances, leurs effets ^{sur criti} dans le secteur aéronautique à la fin années 1960. L. maintenance basée sur la fiabilité.

L'objectif de notre travail est d'analyser les étapes indispensables pour réaliser une étude AMDEC pour surveiller les points critiques et retenir des intervalles de maintenance préventive.

Le principe de cette méthodologie structurelle et rationnelle, est identifier les matériels dont les modes de défaillance ont des conséquences significatives sur les objectifs de l'entreprise (productivité, sécurité, qualité, coût,...) pour établir un programme de maintenance préventive.

Summary:

The failure modes, theirs effects and their Criticality analysis (FMECA) was born in aeronautics in the end years 1960. Today is the tool motor coach of the reliability centred maintenance.

The objective of our work is to analyze the essential stages to make a study FMECA to supervise the critical points and to retain intervals of preventive maintenance.

The principle of this structural and rational methodology is to identify the materials whose modes of failure have significant consequences on the objectives of the company (productivity, safety, quality, cost...) to establish a program of preventive maintenance.

ملخص:

طريقة تحليل أشكال الخلل ونتائجه وخرجيته ظهرت في ميدان الطيران مع نهاية الستينات، هي اليوم محرك دراسات الصيانة المعتمدة على عوال المواد.

الهدف من عملنا هو تحليل المراحل الأساسية في تكوين هذه الطريقة لاستخراج النقاط الحرجة للعمل و تعيين فواصل صيانة مبرمجة.

مبدأ هذه الطريقة المبرمجة و الجذرية هو تعيين العناصر المعرضة لأحرج الاختلالات التي لها تأثيرات واضحة على المؤسسة (الإنتاجية، الأمن، النوعية، التكلفة...) من اجل بناء برنامج للصيانة المسبقة.