

M/S31.643

Université du 8 mai 1945 – Guelma
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Mécanique



Mémoire de fin d'étude
Pour l'obtention du diplôme de Master

Option : Maintenance Industrielle

Présenté par : LAYADA Omar

=====

***Optimisation d'une politique de maintenance en
milieu industriel cas de l'entreprise FERTIAL-Annaba***

=====

Sous la Direction de :

Dr. DJEBALA Abderrazek

Année universitaire 2012/2013

Remerciements

Je remercie le bon dieu pour le courage qui m'a donné pour surmonter toutes les difficultés durant mes années d'étude.

*Ce travail est le fruit de la collaboration de plusieurs personnes qui méritent toute mon gratitude spécialement **Mon père, ma mère,** mes frères et mes sœurs.*

*Je remercie vivement mon encadreur **Dr. Djebala Abderezzak.** et THD. **KEBABSA Tarek** pour m'avoir guidé tout au long de ce travail.*

Je remercie enfin tous mes amis, houssin, Ahmed, Issam, et mes camarades de promotion à savoir Amine, ala eddine, oussama, Mohamed, ainsi que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la bonne réalisation et l'achèvement de ce modeste travail.

13/2902

LAYADA OMAR

Sommaire :

Introduction générale	01
Chapitre I: Politiques de maintenance état de l'art	
1-Introduction.....	03
2- Politiques de maintenance dans l'entreprise	04
2.1- Définitions et stratégies	04
2.2- Où en est notre entreprise en matière de maintenance ?	05
3- Intégration d'une politique de maintenance en milieu industriel	07
3.1- démarche	07
3.2- Les étapes d'implantation d'une politique de maintenance	10
4- Optimisation de la politique de maintenance par application de l'approche sûreté de fonctionnement	11
4.1- Sûreté de fonctionnement	11
4.2- Eléments constitutifs de la sûreté de fonctionnement	12
5- Techniques de sûreté de fonctionnement	13
5.1- La méthode de l'industrie aéronautique MSG-3	13
5.2- Maintenance basée sur la fiabilité RCM/MBF	14
5.3- Optimisation de la maintenance par la fiabilité (OMF)	16
6- Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leurs Criticités (AMDEC)	17
6.1- Présentation	17
6.2- Méthodologie	18
6.3- Conclusion	19
7- Arbre de Défaillance	19
7.1- Principe	20
7.2- Définition et objectifs	20
8- Diagramme de Fiabilité (DF)	21
9- Méthode de l'Espace des Etats (MEE)	21
10- Réseaux de Petri (RdP)	22
11- Travaux récents réalisés sur les politiques de maintenance	22
Conclusion du chapitre.....	24
Chapitre II : Etude critique de la politique de maintenance existante	
1- Présentation de l'entreprise d'accueil	25
1.1- Historique de l'entreprise	25
1.2- Situation géographique	25
1.3- Principales activités	26
1.4- Les objectifs de l'entreprise	27
1.5- Structures de l'entreprise FERTIAL	27
1.6- Techniques et moyens utilisés	30
2-Evaluation de la politique de maintenance existante a l'entreprise par la méthode de Lavina	32
3- Critique et propositions	45
Conclusion du chapitre	46

Chapitre III : Optimisation de la SDF d'une installation importante	
I- Présentation de la centrale II et du turbo-alternateur GZ 1164	47
1- Introduction	47
2- Structure de la centrale	47
2.1- Section de pompage d'eau de mer	47
2.2- Section dessalement de l'eau de mer	47
2.3- Section déminéralisation	47
2.4- Section chaudière	47
2.5- Section compression d'air	47
2.6- Circuit de refroidissement	48
2.7- Section turbo-alternateur	48
3- Description du turbo-alternateur GZ1164.....	49
3.1- Caractéristiques techniques de la turbine à vapeur	49
3.2- Caractéristiques techniques du réducteur	50
II-Application de l'approche OMF pour optimiser la sûreté de fonctionnement du turboalternateur GZ-1164.....	51
1- Analyse fonctionnelle du turbo-alternateur	51
1.1- Définition	51
1.2- La démarche générale de l'analyse fonctionnelle des équipements	52
1.3- Les outils utilisés pour l'analyse fonctionnelle dans l'étude de sûreté de fonctionnement.....	54
1.4 Application de l'analyse fonctionnelle sur le turbo-alternateur GZ-1164.....	54
2- Analyse des modes des défaillances de leurs effets et de leurs criticité.....	56
2.1- Tableau de classification des éléments par leurs criticités	61
3- Arbre de défaillance	61
III-Etude de la fiabilité du turbo-alternateur GZ-1164	64
1-Présentation des Temps de Bon Fonctionnement (TBF)	64
2- Etude de la fiabilité.....	64
2.1- Résultats.....	65
2.2- Représentation graphique des fonctions de fiabilité	65
3- Test d'adéquation des modèles de fiabilité : Test de Kolmogorov-Smirnov.	68
Conclusion du chapitre	70
 Chapitre IV : Stratégie de suivi et de diagnostic vibratoire	
I- Introduction à l'analyse vibratoire	71
2- Classement « VIS » des machines.....	72
3- Proposition d'une démarche de suivi vibratoire pour les machines importantes de l'entreprise FERTIAL- ANNABA	73
3.1- Exemple de diagnostic vibratoire d'une machine stratégique de l'entreprise FERTIAL-Annaba	73
3.2- Résultat et discussion	74
Conclusion du chapitre	78
Conclusion générale.....	79

Introduction

Dans le nouveau contexte industriel, les entreprises subissent de grandes pressions de la part de leurs clients. Ces derniers deviennent de plus en plus exigeants et demandent, en outre, des produits et des services de bonne qualité, à moindre coût, livrés rapidement et au bon moment et un service après-vente défiant la compétition. Pour satisfaire la demande en qualité et en quantité tout en respectant les délais de livraison et les coûts, l'entreprise manufacturière doit disposer d'un outil de production fiable, donc bien entretenu.

Maintenir l'appareil de production n'est pas une tâche facile. Les concepts de la maintenance définissent des façons de faire pour maximiser la performance globale de l'entreprise. La mise en œuvre de ces concepts exige des ressources humaines compétentes, des outils et du matériel adaptés aux équipements et aux installations à entretenir, un système de gestion de pièces de rechange adéquat et un système d'information bien pensé pour assurer un échange efficace entre les différents intervenants. Cependant, pour les entreprises, l'acquisition de ces ressources ainsi que la complexité du système de maintenance constituent souvent un frein à l'implantation d'un système de maintenance sérieux et efficace. Les audits de maintenance effectués auprès de plusieurs entreprises indiquent que le système de maintenance est généralement considéré comme un centre de coûts et est conçu selon une vision interne. Cet audit fait aussi ressortir que les problèmes d'implantation d'un système de maintenance économique, techniquement efficace et ayant un impact stratégique se résument généralement à la pénurie de ressources humaines compétentes, à la carence de ressources matérielles nécessaires et à la déficience d'un système d'information capable de nous indiquer qui fait quoi, quand et comment. Les informations disponibles, consignées par les différents intervenants sont souvent incomplètes, non fiables et complètement éparpillées. Un des facteurs responsables de cette anarchie est le manque de vision des responsables et l'absence d'un système d'information qui, non seulement, puisse recueillir et stocker l'information, mais aussi la valider et la gérer de manière à permettre à tous les intervenants de prendre des décisions éclairées et de partager intelligemment l'information.

Dans l'industrie, on parle de plus en plus de sûreté de fonctionnement. Cette discipline, qui a acquis ce nom et sa forme actuelle principalement au cours du dernier demi-siècle et dans les secteurs de la défense, de l'aéronautique, de l'espace, du nucléaire, puis des télécommunications et des transports, serait désormais utile, voire indispensable, à tous les secteurs de l'industrie et même d'autres activités. La sûreté de fonctionnement est une riche palette de méthodes et de concepts au service de la maîtrise des risques. Elle n'est pas un but en soi, mais un moyen ou un ensemble de moyens : des démarches, des méthodes, des outils et un vocabulaire. Le but qui impose le recours à la sûreté de fonctionnement est plus reconnaissable sous le terme de « maîtrise des risques ».

Dans ce contexte notre travail vise à optimiser une politique de maintenance existante à l'entreprise FERTIAL-Annaba et proposer la sûreté de fonctionnement en tant qu'un outil principal de cette politique. Le mémoire contient trois parties distinctes, la première se résume à évaluer la politique de maintenance existante à l'entreprise FERTIAL-Annaba, cibler les points faibles et apporter les modifications nécessaires. La deuxième partie est consacrée à l'amélioration de la fiabilité des

équipements industriels par application de l'approche sûreté de fonctionnement. La troisième partie concerne la proposition d'une stratégie de suivie et de diagnostic vibratoire des installations stratégiques de l'entreprise. Cela s'inscrit dans le cadre d'une politique de maintenance prévisionnelle des outils de production industrielle.

CHAPITRE I

POLITIQUES DE MAINTENANCE : ETAT DE L'ART

1-Introduction

Dans le monde industriel actuel, les équipements sujets à des pannes et/ou détériorations sont nombreux. Souvent critiques, ces équipements doivent être maintenus afin de continuer à remplir les missions pour lesquelles ils ont été conçus. La maintenance joue ainsi un rôle primordial permettant de garantir la disponibilité pour la production. Toutefois, cette fonction a souvent été négligée car trop fréquemment perçue comme une source de dépenses. Mais cet état d'esprit tend à changer avec l'évolution des équipements et des techniques de production, qui plus est, les machines sont de plus en plus complexes et les industriels cherchent à les exploiter à leur plein régime dans un souci de compétitivité et de respect des délais tout en cherchant à garantir les exigences de qualité et de sécurité requises. Ces objectifs peuvent difficilement être atteints sans une maintenance adéquate [3].

Pour rester compétitives, les entreprises concurrentes sont obligées de chercher à faire au moins aussi bien que les autres. Une politique judicieuse de maintenance peut y contribuer efficacement. La fonction maintenance constitue une nécessité. Elle se révèle en effet être indispensable pour assurer la disponibilité des équipements. Donc la fonction maintenance présente également une grande importance pour la sécurité des personnes et des biens. Outre son importance pour la sécurité des personnes et des biens et sa place dans la qualité des produits finis, la maintenance est nécessaire pour la durée de vie des outils et des installations [4].

Toutes les personnes impliquées doivent associer leurs efforts pour établir un service de maintenance efficace. Chaque membre de l'entreprise doit être réceptif à cette idée. Il appartient à la direction de diffuser les directives nécessaires et d'appuyer totalement le responsable de la maintenance. L'efficacité du système dépend d'une bonne action combinée des principaux départements qui y participent et notamment : l'engineering (étude, recherche et développement), la production, la comptabilité, le magasin, les approvisionnements et le personnel. Chacun de ces services ayant son propre point de vue, la direction peut agir comme arbitre et ajouter des détails au plan qui conduira aux meilleurs résultats. La souplesse de fonctionnement du service exige que les aspects suivants soient clairement définis et parfaitement compris :

- la position de la maintenance dans l'entreprise,
- l'organisation interne du département,
- les fonctions et les responsabilités des cadres.

La réalisation de ces définitions servira de base à une collaboration harmonieuse et efficace entre les départements. Il est évident que la définition des devoirs, des limites d'autorité et des responsabilités est d'autant plus importante que l'entreprise est plus

grande. Les frictions et les malentendus ne seront évités que par l'établissement d'une structure satisfaisante grâce aux efforts combinés des intéressés [5].

2- Politiques de maintenance dans l'entreprise

2.1- Définitions et stratégies

Les politiques d'entretien ou de maintenance vont de l'absence totale à des définitions très élaborées. Souvent le responsable est abandonné à sa seule initiative, la consigne étant que les machines tournent au moindre frais. La prévision est inconnue : on voit des révisions générales stoppées parce qu'on remplace la machine, et des machines laissées à l'abandon alors qu'elles vont être très sollicitées. Dans d'autres cas la direction fixe à la maintenance et en accord avec elle des objectifs précis ainsi que les moyens nécessaires, ceci pour un temps déterminé. A échéance on fait le point et on révisé les objectifs. Le responsable d'entretien connaît donc la ligne à suivre et conserve le maximum de liberté dans les décisions d'action prises à son niveau. Une véritable politique ou stratégie de maintenance doit combiner des moyens d'intervention, techniques, économiques, financiers et humains. Elle est fondée sur la rentabilité, elle tient compte des moments ; tantôt on recherchera le coût minimum en période d'austérité, tantôt le maximum de disponibilité en période de croissance. Des études de fiabilité permettent de définir les probabilités de panne donc les moyens nécessaires. Un contrôle de gestion permet de vérifier que la maintenance se trouve au voisinage de l'optimum, et que les choix sont effectués en fonctions des gains escomptés : une dépense importante peut être plus rentable qu'une dépense moindre s'il y a gain de délai, ou de durée de vie, ou de disponibilité ou de qualité sur le produit [1].

Une étude a montré que les politiques de maintenance sont rarement définies et qu'elles existent très rarement sous forme écrite. Citons l'American Management Association, *Controls of Maintenance Costs* : « Les politiques de maintenance sont ordinairement issues de l'expérience, de façon assez empirique, au lieu d'avoir été conçues pour réaliser des objectifs spécifiques à la maintenance. Relativement peu d'entreprises disposent de politiques écrites de maintenance. L'uniformité et la continuité de ces politiques tendent à manquer, car elles existent surtout dans la tête des chefs de l'entretien. Cette situation peut partiellement être attribuée au peu d'attention qu'attribue la direction à la maintenance. On peut trouver une explication encore meilleure dans les difficultés rencontrées pour appliquer l'analyse quantitative à l'établissement des objectifs de maintenance. »

La politique de la maintenance est la définition, au niveau de l'entreprise, des objectifs technico-économiques relatifs à la prise en charge des équipements par le service maintenance. C'est dans le cadre de cette politique que le responsable du service de maintenance met en œuvre les moyens adaptés aux objectifs fixés ; on parlera alors de stratégie pour le moyen terme et de tactique pour le court terme. La gestion de maintenance prend essentiellement en compte les aspects technique, économique et financier des différentes méthodes utilisables (corrective, préventive

systématique et préventive conditionnelle) en vue d'optimiser la disponibilité des matériels. Elle s'organise en prenant pour base le budget affecté au service ; à partir de l'analyse d'observations, chiffrées ou non, calculées, relevées ou mesurées ; ce qui implique des choix. La définition des objectifs ne peut se faire qu'en concertation avec la direction technique et les services de production ou d'exploitation. La mise en œuvre d'une politique de maintenance représente un investissement, dont on attend des bénéfices. Le responsable de maintenance doit obtenir de la direction les moyens compatibles avec les objectifs fixés [1].

Dans cette politique on doit s'attacher à la prévision des pannes aléatoires pour les études d'inspection (entretien suivant diagnostic), faites à partir de relevés méthodiques et périodiques. On étudie la vie du matériel sur plusieurs années. Ces études de fiabilité vont servir à la détermination des probabilités de pannes, donc à la consommation des pièces détachées et des différentes charges. Ce n'est qu'à partir de ces données qu'on peut élaborer les prévisions et le budget de maintenance. Avec une politique de maintenance et une bonne stratégie on ne subit plus la panne car elle est prévue et le contrôle budgétaire reste un contrôle normal, car dans la stratégie, on aura à calculer la probabilité d'apparition des pannes et leurs conséquences pour ne plus les subir et l'on cherchera à rentabiliser toute action d'entretien. La maintenance sera donc amenée à considérer alors les :

- ❖ **Prévisions à long terme** : liées à la politique de l'entreprise permettant l'ordonnancement des charges, des stocks, des investissements en matériel.
- ❖ **Prévisions à moyen terme** : la volonté de maintenir le potentiel d'activité de l'entreprise conduit à veiller à l'immobilisation des matériels à des moments qui perturbent le moins possible le programme de fabrication. Dès lors il faut fournir nécessairement et suffisamment tôt le calendrier des interventions de maintenance. Celle-ci ayant une influence sur l'ordonnancement des fabrications.
- ❖ **Prévisions à court terme** : dans ce cas le service de maintenance s'efforcera à réduire les durées d'immobilisation du matériel et les coûts de ses interventions. Sachant que les réductions des coûts et d'immobilisations ne sont possibles que si le matériel et les interventions ont fait l'objet d'une étude préalable, il est donc nécessaire de préparer le travail et d'étudier les conditions de fonctionnement, les défaillances possibles et les conditions d'exécution des interventions. Le service technique lié à cette fonction doit fournir toutes les informations qualitatives et quantitatives susceptibles d'influencer les politiques particulières de l'entreprise

2.2- Où en est notre entreprise en matière de maintenance ?

Comment procéder pour établir un premier bilan sommaire de l'état de la maintenance dans l'entreprise ?

2.2.1- Première étape : faire son autodiagnostic

Le but d'un tel exercice est de chercher à connaître les plus récents développements dans ce domaine d'activité et de porter un jugement sur l'état de leur fonction au service de la maintenance. L'évaluation des écarts constatés entre la situation idéale et celle vécue réellement dans l'entreprise devrait avoir pour résultat d'amorcer une réflexion en profondeur sur une démarche renouvelée en maintenance industrielle. Cette auto-évaluation s'inscrit à l'intérieur d'un cadre de gestion de la production d'avant-garde, définie dans un contexte de qualité totale.

2.2.2- Deuxième étape : évaluer ses propres besoins en maintenance

L'organisation de la fonction « maintenance » dans l'entreprise doit répondre exactement aux exigences de l'équipement en place et au rythme des cadences de production; rien de plus, rien de moins. C'est à partir d'un bilan des « façons de faire » de la maintenance et une remise en question de celles-ci qu'un projet peut être mis de l'avant.

Pour en assurer la réussite, l'appui de spécialistes de la question ou encore celui d'une firme conseil est de nature à écarter les erreurs de parcours qui peuvent être très onéreuses si l'on tient compte de la valeur de plus en plus élevée de l'équipement de fabrication.

2.2.3- Troisième étape: réussir son projet d'une « maintenance » renouvelée

Les chances de succès sont en faveur d'une démarche structurée basée sur l'expérience acquise de longue main. Ainsi il y a lieu, au départ, d'examiner avec soin le service de la maintenance des firmes avant-gardistes dans ce domaine d'activité. La réussite d'un projet d'une maintenance renouvelée passe nécessairement par un engagement des gestionnaires de premier niveau de l'entreprise. Ce sont eux finalement qui décident directement ou, par délégation de pouvoirs, du contenu réel du projet « maintenance » et de son implantation.

Pour l'essentiel, le projet « maintenance » doit comporter les éléments suivants:

- la mise en place d'une politique « maintenance » centrée sur la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité de l'appareil productif;
- l'organisation des ressources matérielles, financières et humaines du service de la maintenance;
- la planification, la gestion et le contrôle des travaux à effectuer en maintenance;
- le suivi périodique des procédures, méthodes et améliorations à mettre de l'avant.

Enfin, les études de faisabilité démontrent, de toute évidence, qu'un investissement en maintenance industrielle permet de réduire au minimum les arrêts de production, de prolonger la vie de l'équipement et de la machinerie et d'augmenter la sécurité et la productivité du personnel de tout l'appareil de production.

3- Intégration d'une politique de maintenance en milieu industriel

3.1- démarche

L'amélioration et l'optimisation d'une politique de maintenance est aussi délicate que l'intégration d'une nouvelle. La démarche essentielle dans ce cas se résume à évaluer la politique actuelle, cibler les points faibles et apporter les modifications nécessaires. Nous proposons le questionnaire suivant inspiré des travaux de Lavina [6]. Ce questionnaire est établi en 12 rubriques. Pour chaque rubrique, une série de questions est posée. Pour chaque question, cinq choix de réponses sont offerts. Pour chaque réponse, un pointage est attribué. A la fin de chaque rubrique, le total des points est additionné.

L'exemple qui suit issu des travaux de HÉDI KAFFEL [7] est une application de cette approche (nous ne présentons qu'une partie car l'exemple est très long).

A - Organisation générale	Non	Plutôt non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1. Avez-vous défini par écrit et fait approuver l'organisation de la fonction maintenance ?	0	10	-	-	30
2. Existe-t-il des fiches de fonction pour chacun des postes d'exécutant ?	0	-	-	15	20
3. Vous réunissez-vous périodiquement avec les ouvriers pour examiner les travaux à effectuer ?	0	-	5	-	10
.
.
.
.
.

B - Méthode de travail	Non	Plutôt non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1. Disposez-vous de modes opératoires écrits pour les travaux complexes ou délicats ?	0	-	15	-	30

2. Avez-vous une procédure écrite définissant les autorisations de travail pour les travaux à risque ?	0	-	5	-	10
3. La documentation est-elle strictement classée et facilement accessible ?	0	5	-	-	20
.
.
.
.

C - Suivi technique des équipements	Non	Plutôt non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1. Sur le site, tout équipement a-t-il son numéro d'identification visible ?	0	-	5	-	10
2. Les modifications, nouvelles installations ou suppression d'équipements, sont-elles enregistrées systématiquement ?	0	-	-	20	30
3. Possédez-vous un historique des travaux pour chaque équipement ?	0	5	-	-	20
.
.
.
.
.

Pour interpréter les résultats du questionnaire, nous proposons le tableau (1.1) tiré de Lavina [6]. Ce tableau présente les résultats d'un questionnaire réalisé dans une entreprise. Pour chaque domaine, le score obtenu est comptabilisé et le pourcentage par rapport au maximum possible est calculé. Dans les colonnes du tableau, on trouve

respectivement les domaines d'analyse, le score obtenu pour chaque rubrique, le maximum possible et finalement le rapport du score obtenu par rapport au maximum possible.

Tableau 1.1 : Dépouillement du questionnaire (Lavina [6])

Domaines d'analyses	Scores obtenu	Max.possible	Pourcentage
a. Organisation générale	60	250	<u>24</u>
b. Méthode de travail	235	250	94
c. Suivi technique des équipements	240	250	96
d. Gestion du portefeuille de travaux	290	300	97
e. Stock de pièces de rechange	105	200	<u>53</u>
f. Achats et approvisionnement des pièces	101	200	<u>55</u>
g. Organisation matérielle de l'atelier	145	200	73
h. Outillage	55	200	<u>28</u>
i. Documentation technique	155	200	78
j. Personnel et formation	240	400	<u>60</u>
k. Sous-traitance	235	250	94
l. Contrôle de l'activité	190	300	<u>63</u>
SCORE TOTAL	2060	3000	69 %

Le tableau (1.1) permet d'identifier six domaines présentant des faiblesses ou dont l'action est prioritaire. Ce sont les domaines dont le pourcentage indiqué à la quatrième colonne du tableau (1.1) est inférieur à celui du score total (organisation générale, stock de pièces de rechange, achats et approvisionnement de pièces, outillages, personnel et formation et contrôle de l'activité).

3.2- Les étapes d'implantation d'une politique de maintenance

Nous ne pouvons établir un programme efficace de gestion de la maintenance sans connaître l'état des installations de production et celui de la fonction maintenance. Il faudra connaître l'état actuel du système de production, les ressources disponibles, la façon dont les pièces de rechange sont gérées, les processus de maintenance déjà implantés et les priorités accordées aux machines de production et leur criticité. Pour y parvenir, nous utilisons une méthodologie d'implantation des trois étapes suivantes :[7]

3.2.1- Collection d'informations

Cette collecte touche plusieurs aspects de la production et de la maintenance. Dans un premier temps, il faut prendre connaissance de l'unité de production concernée. Il est important de connaître : les caractéristiques de fonctionnement (fonctionnement saisonnier ou continu) l'horaire de travail (nombre de plages de travail), la configuration de l'unité à maintenir (un ou plusieurs sites) et l'historique des interventions effectuées sur les équipements. Dans un deuxième temps, nous prenons connaissance de la politique de production de l'entreprise ainsi que de la structure organisationnelle de la fonction maintenance. Il est question de l'organigramme de la fonction maintenance et des ressources humaines qui sont affectées. Pour chaque ressource humaine, il faut connaître les champs d'expertise et d'action et l'expérience dans les interventions de maintenance. Dans un troisième temps, nous évaluons le coût associé à la maintenance. Le dernier point de cette collecte sert à établir l'impact de la maintenance sur l'unité de production [7].

3.2.2- Les objectifs possibles [8]

Les objectifs à atteindre dépendent des quatre principaux facteurs sur lesquels repose le fonctionnement du service. En réalité l'objectif principal est un compromis entre les quatre.

- Objectifs opérationnels
 - ❖ Niveau de fiabilité
 - ❖ Niveau de disponibilité
 - ❖ Rendement
 - ❖ Niveau des interventions
- Objectifs économiques
 - ❖ Maitrise des coûts
 - ❖ Maitrise des stocks-rechange
 - ❖ Productivité
- Objectifs humains
 - ❖ Niveau de sécurité souhaité
- Objectifs organisationnels
 - ❖ Type de maintenance
 - ❖ Change de travail
 - ❖ Niveau d'ordonnement
 - ❖ Recours à la sous-traitance
 - ❖ Approvisionnement

3.2.3- La mise en œuvre [1]

Sachant que les responsables opérationnels n'ont pas le pouvoir de définir la politique, nous pouvons dire qu'elle relève des décisions de la direction générale. Un certain retard a été pris dans ce domaine, trop peu de directions sont informées de l'existence d'outils d'aide à la décision ou de l'élaboration de doctrines permettant la réalisation d'une maintenance efficace et économique.

Une politique de maintenance peut s'articuler et s'organiser autour du concept suivant :

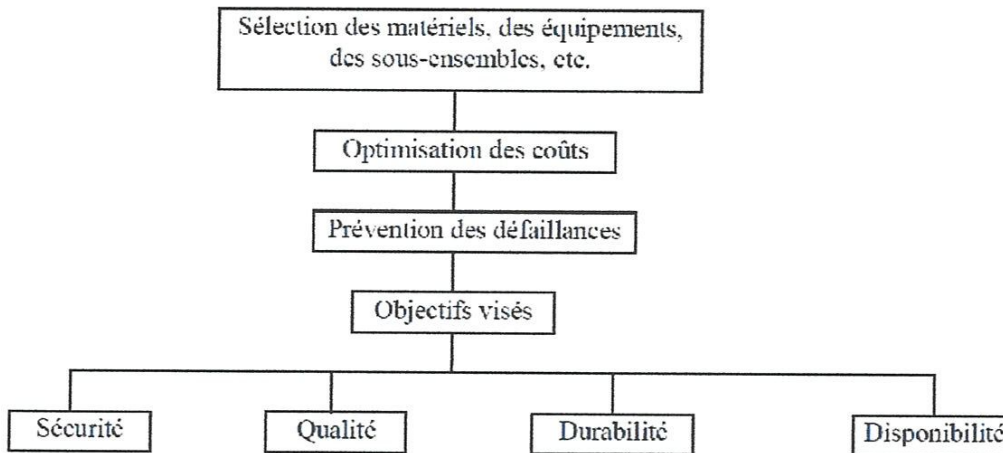


Figure 1.1 : Le concept d'une politique de maintenance

4- Optimisation de la politique de maintenance par application de l'approche sûreté de fonctionnement

4.1- Sûreté de fonctionnement [14]

Historique

Bien qu'il soit possible d'en trouver des prémices dans l'histoire à différentes époques, la sûreté de fonctionnement est une science jeune dont les concepts continuent à évoluer. Les années 1950 ont vu apparaître la fiabilité en tant que discipline de l'ingénieur pour formuler les chances de bon fonctionnement d'un bien sur un intervalle de temps donné [9]. On se préoccupe alors de calculer la probabilité de non-défaillance d'un équipement complexe et ainsi les chances de succès de la mission qu'il remplit. Il faut attendre les années 1980 pour voir émerger la **sûreté de fonctionnement** comme discipline scientifique ainsi qu'une notion plus large que la fiabilité afin de traduire la confiance qu'un utilisateur peut avoir dans un bien (matériel, logiciel, système complexe, ...etc.). Définie alors comme « l'ensemble des propriétés qui décrivent la disponibilité et les facteurs qui la conditionnent : fiabilité, maintenabilité et logistique de maintenance ». La sûreté de fonctionnement est la traduction du terme anglais « *dependability* », synonyme dans le langage courant de disponibilité. Le TC 56 (comité technique horizontale) change de nom en 1989 pour s'appeler « sûreté de fonctionnement (*dependability*) » et entériner ainsi la naissance de ce nouveau concept (figure 1.2).

Aujourd'hui

La réglementation et les certifications qu'elle impose, a eu un double effet : le développement de l'utilisation des outils de sûreté de fonctionnement, mais également une certaine idée de la couverture des risques [13]. N'a-t-on pas oublié que, malgré

les études, les précautions, les systèmes de sauvegarde, les protections, le risque existe toujours.

Dans les procès qui font suite aujourd'hui à la plupart des accidents, il semble que la notion de risque ait été peu à peu effacée pour laisser place à celle de tort ou responsabilité. Comme si tous les risques de notre vie courante pouvaient être prévus et annihilés. En parallèle, la compétition continue que se livrent les grands groupes les forces à disposer d'une productivité la meilleure possible, et donc à réduire les arrêts de production et à maximiser la disponibilité de leurs équipements.

Enfin, la sécurité des biens et des personnes n'a jamais semblé aussi importante qu'aujourd'hui aux yeux de nos concitoyens. En témoignent les actions vigoureuses autour de la notion de malveillance (intrusion par effraction, attaque, vol, piratage).

4.2- Eléments constitutifs de la sûreté de fonctionnement [15]

La démarche et le raisonnement de la sûreté de fonctionnement s'appuient sur des grandeurs qui seront précisées dans les paragraphes suivants.

Différents auteurs définissent la SdF comme :

- la fiabilité, la disponibilité, la maintenabilité et la sécurité [Fournier, 1993] ;
- la science des défaillances [Villemeur, 1988] ou la confiance justifiée dans le service délivré [Laprie et al., 1995] ;
- le maintien de la qualité dans le temps [Mortureux, 2001].

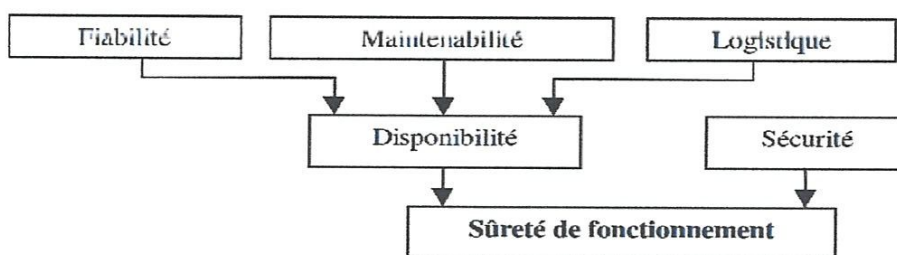


Figure 1.2 : Eléments constitutifs de la sûreté de fonctionnement

La définition « Fiabilité, Disponibilité, Maintenabilité et Sécurité » qu'on retrouve dans l'acronyme FDMS (RAMS en anglais), fait référence aux définitions de ces termes et met en avant leur complémentarité. Si la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité ou la sécurité sont aussi des performances d'un système, la SdF ne se réduit pas uniquement à une de ces performances, elle se construit à travers toutes ces performances.

La définition « science des défaillances » suppose la connaissance, l'évaluation, la prévision, la mesure et la maîtrise des défaillances. Ainsi la sûreté de fonctionnement apparaît davantage comme l'aptitude d'une entité à satisfaire une ou plusieurs fonctions requises dans des conditions données.

La définition « confiance justifiée dans le service délivré » dépend principalement de la perception des utilisateurs. Le service délivré par un système est

son comportement perçu par son, ou ses utilisateurs, sachant qu'un utilisateur est un autre système (humain ou physique) qui interagit avec le système considéré.

La définition « maintien de la qualité dans le temps » prend en compte la conformité aux exigences (explicites ou non). Elle présente le défaut de laisser supposer qu'une activité SdF se conduit nécessairement dans le cadre d'une démarche qualité, ce qui est insuffisant.

La définition de la SdF sera considérée globalement comme la conjugaison de ces quatre définitions. L'ensemble de ces définitions est cohérent et fournit une image plus complète de la SdF prise selon plusieurs points de vue

5- Techniques de sûreté de fonctionnement [14]

5.1- La méthode de l'industrie aéronautique MSG-3 [9]

a) Historique

Au milieu des années 1960, l'industrie aéronautique a fait la constatation que les révisions systématiques d'équipements complexes ne semblaient pas avoir beaucoup d'effet sur leur fiabilité. Elle s'est donc lancée dès 1968 dans le développement d'une méthode pour déterminer la **maintenance préventive du Boeing 747**.

b) Principes

L'objectif majeur du MSG-3 (*Maintenance Steering Group*) est de **définir la maintenance qui permet d'assurer la sécurité des avions**. Si la sécurité est l'objectif premier, le transport aéronautique est fortement soumis aux lois du marché et le critère économique est aussi pris en compte. Il n'apparaît cependant pas comme l'objectif majeur de la méthode.

Le principe du MSG est d'**organiser le choix des tâches de maintenance en fonction des conséquences des défaillances**. Le but d'une action de maintenance préventive n'est pas directement d'assurer qu'un équipement soit en état de marche mais plutôt d'**éviter les conséquences de son dysfonctionnement**. Il y a là une nuance importante, car **de matérielle l'approche devient fonctionnelle**.

Le cœur de la méthode est la logique de sélection des tâches de maintenance qui, en fonction des conséquences des défaillances, orientera vers les actions les plus efficaces et les plus économiques.

Le MSG-3 distingue **trois types d'analyses** :

- L'analyse des **systèmes et ensembles propulsifs** (moteurs, systèmes auxiliaires...);
- L'analyse des **structures**, c'est-à-dire les éléments soumis à des charges (voilure, fuselages, supports moteur, train d'atterrissage...);
- Les **inspections de zones**.

5.2- Maintenance basée sur la fiabilité RCM/MBF

a) définition

La maintenance basée sur la fiabilité (RCM – ReliabilityCentred Maintenance) est une technique de maintenance qui a fait son apparition dans l'industrie aéronautique vers la fin des années 1960 et au début des années 1970 aux États-Unis [10]. Cet outil a le risque à l'œil en considérant de manières fortes structurées, les conséquences et la probabilité d'une défaillance. La RCM essaye de minimiser les conséquences d'une défaillance en cherchant et en exécutant les tâches critiques de maintenance. En particulier, elle identifie des défaillances cachées et aide à améliorer la disponibilité. L'objectif principal de la maintenance basée sur la fiabilité est de réduire le coût de la maintenance en se focalisant essentiellement sur les fonctions les plus importantes du système, tout en reléguant au second plan ou en évitant les actions de maintenance qui ne sont pas strictement nécessaires.

La maintenance basée sur la fiabilité est une approche de maintenance préventive. Elle est basée sur l'hypothèse que la fiabilité inhérente à un équipement est fonction de la conception et de la qualité de construction. Une maintenance préventive efficace devra assurer que cette fiabilité soit réalisée.

b) Mise en étude de la démarche MBF

La mise en place de la démarche se fait par une organisation "groupe de projet" dans lesquels différents acteurs sont impliqués (figure 1.3) [11].

La mise en place d'un programme de maintenance planifié se fait en quatre étapes. Ces étapes utilisent bon nombre d'informations et de supports faisant référence à la production, à la qualité et à la maintenance. Au travers de ces différentes étapes, les groupes impliqués doivent en permanence déterminer les objectifs qui sont prioritaires et valider les résultats à toutes les phases pour poursuivre sans une dispersion excessive (figure 1.4).

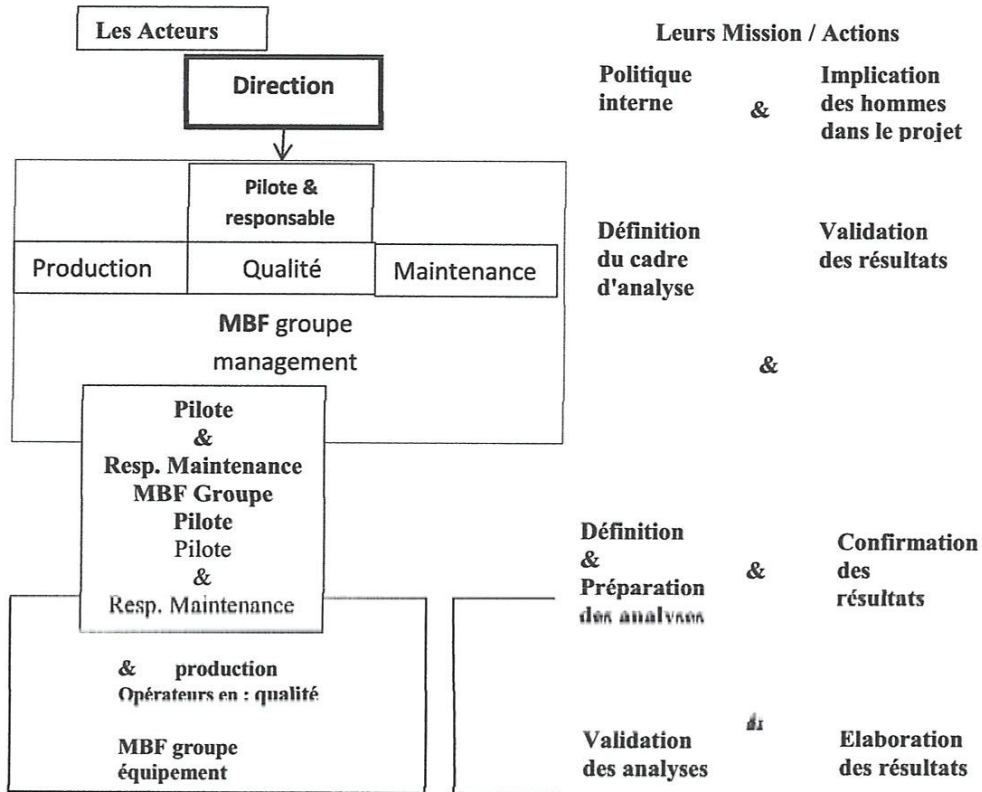


Figure 1.3 : Les acteurs de la méthode MBF

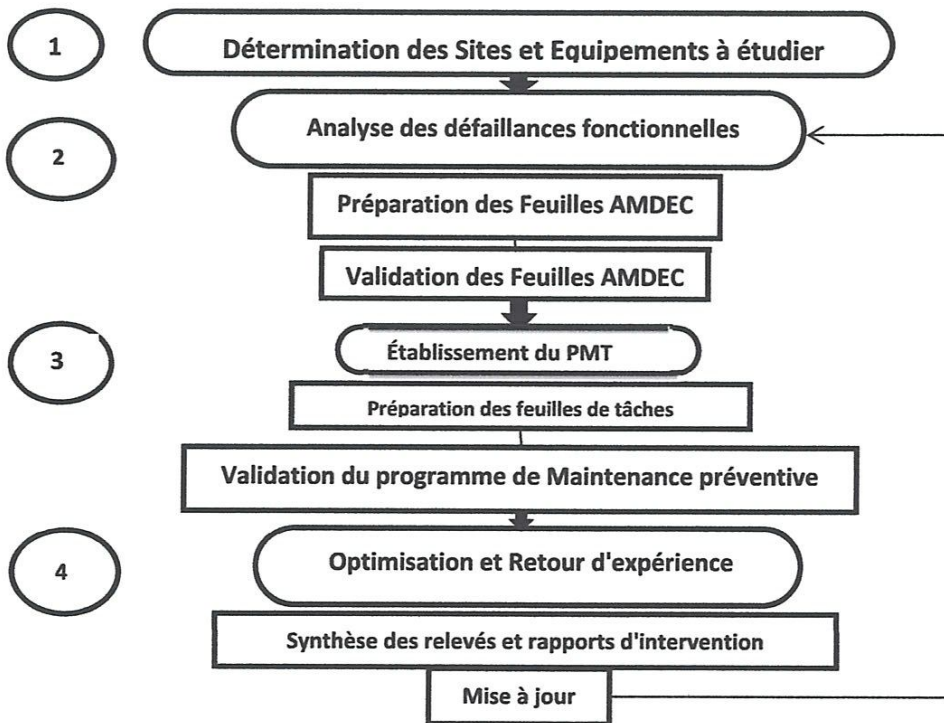


Figure 1.4: Les quatre étapes principales de la démarche MBF

5.3- Optimisation de la maintenance par la fiabilité (OMF)

a) Historique

L'optimisation de la maintenance par la fiabilité a été développée par EDF à partir de 1990 sur la base du MSG-3 et de la méthode RCM de l'EPRI (l'Electric Power Research Institute). Des études pilotes menées sur différents systèmes de centrales nucléaires ont permis d'établir les bases de la méthode. Celle-ci a ensuite été généralisée sur les **centrales nucléaires** et mise en œuvre dès 1993 sur une cinquantaine de systèmes considérés comme les plus importants vis-à-vis des critères de sûreté, de disponibilité, et de coûts d'exploitation [9].

La méthode a été adaptée dès 1995 pour être utilisée sur d'autres types d'installations (centrales thermiques au charbon, turbines à combustion, lignes de transport d'électricité, éoliennes...). Des sociétés prestataires de services en maintenance l'ont transféré à d'autres secteurs industriels (automobile, offshore...).

Une méthode de seconde génération a été développée en 2003 pour permettre notamment la révision des programmes de maintenance préventive établis avec la méthode initiale, et l'analyse des systèmes de moindre importance.

b) Principes

La méthode d'Optimisation de la Maintenance Basée sur la Fiabilité constitue une approche globale d'aide à la décision pour déterminer les actions de maintenance préventive permettant de maîtriser les coûts et le niveau requis de disponibilité d'une installation ou d'un système [12], et plus largement, pour garantir un niveau de sûreté de fonctionnement.

C'est une démarche rationnelle qui vise à limiter au mieux les conséquences des défaillances d'origine matérielle, sur le fonctionnement de l'installation. L'étude des systèmes et des matériels permet de déterminer :

- où les actions préventives sont nécessaires (sur quels matériels),
- quelles sont les actions à effectuer,
- quand (avec quelle fréquence) on doit les réaliser.

La figure (1.5) décrit les trois phases de la méthode OMF.

La phase de retour d'expérience consiste à rechercher ce qui s'est passé sur les matériels ou composants en termes de fiabilité, de disponibilité et de coûts, et les actes de maintenance ou modifications réalisées. La phase d'évaluation des risques consiste à envisager les événements graves qui pourraient se passer et met en œuvre les techniques d'analyse de fonctionnement et de dysfonctionnement. Ce travail est complet par la prise en compte de l'historique de maintenance. Pour prévenir les défaillances qui présentent une gravité et qui ont des chances de se produire il faudra envisager d'effectuer des tâches de maintenance préventive.

La phase d'optimisation de la maintenance détermine les tâches à effectuer ainsi que leur fréquence de réalisation, tout en envisageant éventuellement des améliorations ou des modifications.

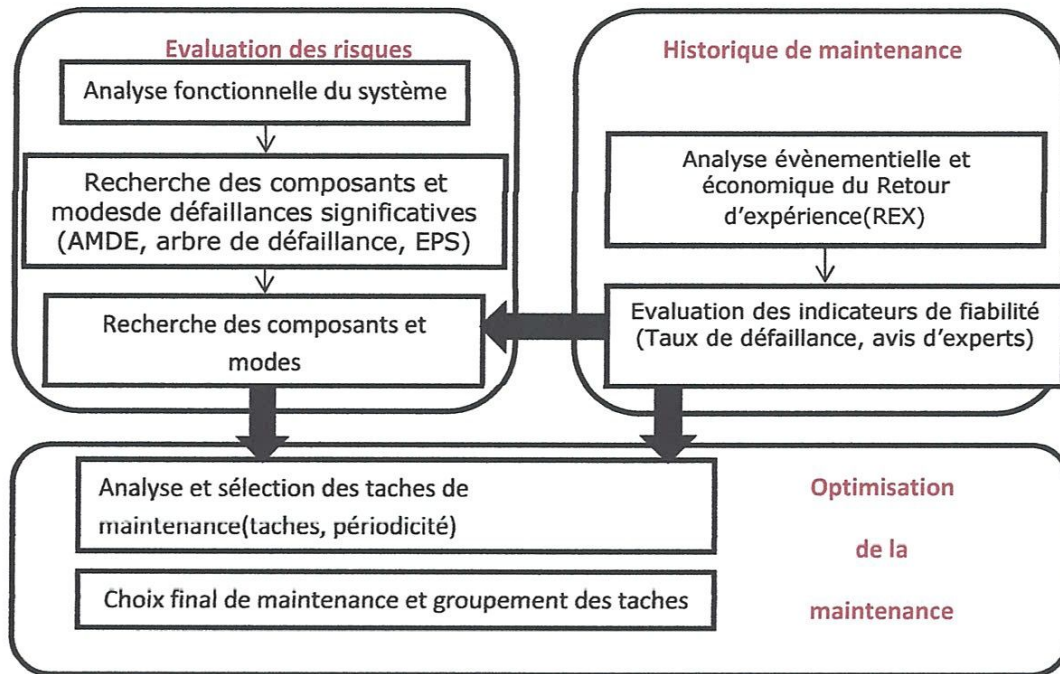


Figure 1.5 · La méthode OMF

6- Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leurs Criticités (AMDEC) [16]

L'AMDEC est une Technique spécifique de la sûreté de fonctionnement, l'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC) est avant tout une méthode d'analyse de systèmes (systèmes au sens large composé d'éléments fonctionnels ou physiques, matériels, logiciels, humains ...), statique, s'appuyant sur un raisonnement inductif (causes conséquences), pour l'étude organisée des causes, des effets des défaillances et de leur criticité.

6.1- Présentation

Historiquement, 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). Développée aux Etats-Unis, dans l'industrie aéronautique, au début des années soixante, elle a pris son essor en Europe au cours des années soixante-dix dans l'industrie automobile, chimique, nucléaire. La méthode AMDEC a ajouté l'estimation de la dimension critique des risques.

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.

Les aspects originaux de la méthode sont les suivants :

- l'AMDEC a pour but d'évaluer l'impact, ou la criticité, des modes de défaillances des composants d'un système sur la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité et la sécurité de ce système,
- appliquée en groupe de travail pluridisciplinaire, elle est recommandée pour la résolution de problèmes mineurs dont on veut identifier les causes et les effets,
- la démarche AMDEC consiste à recenser les modes de défaillance des composants, d'en évaluer les effets sur l'ensemble des fonctions de ce système, d'en analyser les causes,
- en phase de conception, l'AMDEC est associée à l'analyse fonctionnelle pour la recherche des modes de défaillances spécifiques à chaque fonction ou contrainte des composants. Elle peut intervenir à titre correctif pour l'amélioration de systèmes existants,
- cette méthode est qualifiée d'inductive au sens où elle s'appuie, pour l'analyse des défaillances, sur une logique de décomposition d'un système en sous-ensembles successifs pour parvenir au niveau des composants élémentaires. On s'intéresse alors aux défaillances liées au mauvais fonctionnement de ces composants et à leurs répercussions aux niveaux supérieurs du système,
- 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.

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 mise en œuvre s'est longtemps limitée à l'utilisation dans le cadre d'études de fiabilité sur du matériel. 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 est en effet de plus en plus utilisée en sécurité, maintenance et disponibilité non seulement sur le matériel, mais aussi sur le système, le fonctionnel et le logiciel. Aussi est-elle maintenant largement recommandée au niveau international et systématiquement utilisée dans toutes les industries à risque, comme le nucléaire, le spatial et la chimie, dans le but de faire des analyses préventives de la sûreté de fonctionnement.

Dans le ferroviaire, la méthode a été expérimentée sur le logiciel critique dans le cadre des projets SACEM de la RATP et MAGGALY de SEMALY. Une adaptation de cette méthode a donné naissance à la méthode AEEL (Analyse des Effets des Erreurs du Logiciel) qui ressemble beaucoup à l'AMDEC.

6.2- Méthodologie

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 étudiés 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 " justes nécessaires " pour y remédier. Cette activité d'interprétation des résultats et de mise en place de recommandations constitue la dernière étape de l'AMDEC.

6.3- Conclusion

Bien que simple, la méthode s'accompagne d'une lourdeur certaine et la réalisation exige un travail souvent important et fastidieux. 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. 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. La cohérence entre d'une part la gestion des AMDEC et des améliorations préconisées et d'autre part, les différentes versions du système est l'une des autres principales difficultés à résoudre.

Aussi, la méthode n'est pas bien adaptée aux projets en temps réel car elle ne permet pas de bien appréhender l'aspect temporel des scénarios.

Néanmoins l'AMDEC fournit :

- une autre vision du système,
- des supports de réflexion, de décision et d'amélioration,
- des informations à gérer au niveau des études de sûreté de fonctionnement et des actions à entreprendre.

7- Arbre de Défaillance

Contrairement à l'analyse des modes de défaillances, l'arbre de défaillances est une méthode déductive (déductif : procédant d'un raisonnement logique

rigoureux). Elle permet de savoir comment un système peut être indisponible. Il s'agit de représenter les différents événements et leurs liaisons par des portes de logique (fonction ET ou fonction OU selon que la défaillance du matériel se produit lorsque les événements se réalisent ensemble ou séparément).

7.1- Principe

Cette méthode déductive (de l'effet vers ses causes) a pour objet la recherche de toutes les combinaisons de défaillances élémentaires pouvant aboutir à un événement redouté, parfois identifié par une AMDEC. A partir de cet « événement sommet », on construit une arborescence (schéma graphique en forme d'arbre inversé) représentant l'enchaînement logique des « événements intermédiaires » jusqu'à la mise en cause des « événements élémentaires » (défaillance d'un composant). Cela par utilisation du symbolisme logique de l'algèbre de Boole. Il est ainsi possible d'identifier toutes les défaillances élémentaires pouvant conduire à l'événement redouté, puis de quantifier celui-ci par son taux de défaillance λ obtenu à partir des taux de défaillances λ_i de chaque composant mis en cause.

Ce type d'analyse permet, dans le domaine de la maintenance :

- d'améliorer la conception ;
- de faire un diagnostic rapide ;
- de prévoir une meilleure logistique.

Pour établir cet arbre, il est souhaitable de s'aider de l'analyse des modes de pannes et défaillances décrits précédemment en AMDEC.

7.2- Définition et objectifs

L'arbre de défaillances est une représentation graphique de type arbre généalogique (la filiation d'une famille). Il représente une démarche d'analyse d'événement. L'arbre de défaillances est construit en recherchant l'ensemble des événements élémentaires, ou les combinaisons d'événements, qui conduisent à un événement redouté (E.R.). L'objectif est de suivre une logique déductive en partant d'un événement redouté pour déterminer de manière exhaustive (exhaustif : sujet traité à fond) l'ensemble de ses causes jusqu'aux plus élémentaires.

Les objectifs sont résumés en quatre points :

- La recherche des événements élémentaires, ou leurs combinaisons qui conduisent à un E.R.,
- La représentation graphique des liaisons entre les événements. Remarquons qu'il existe une représentation de la logique de défaillance du système pour chaque E.R. Ce qui implique qu'il y aura autant d'arbres de défaillances à construire que d'E.R. retenus,
- Analyse qualitative : cette analyse permet de déterminer les faiblesses du système. Elle est faite dans le but de proposer des modifications afin d'améliorer la fiabilité du système. La recherche des éléments les plus critiques est faite en déterminant les chemins qui conduisent à un E.R. Ces chemins critiques représentent des scénarios qui sont analysés en fonction des différentes modifications qu'il est possible d'apporter au système. L'analyse

des scénarios qui conduisent à un E.R. est faite à partir des arbres de défaillances, il est alors possible de disposer des "barrières de sécurité" pour éviter les incidents,

- Enfin, il est possible d'évaluer la probabilité d'apparition de l'E.R. connaissant la probabilité des événements élémentaires. C'est l'analyse quantitative qui permet de déterminer d'une manière quantitative les caractéristiques de fiabilité du système étudié. L'objectif est en particulier de définir la probabilité d'occurrence des divers événements analysés. Les calculs reposent sur : les équations logiques tirées de la structure de l'arbre de défaillances et des probabilités d'occurrence des événements élémentaires.

8- Diagramme de Fiabilité (DF)

La Méthode du Diagramme de Fiabilité (DF) est utilisée pour analyser et calculer la fiabilité des systèmes. Elle est aussi dénommée Méthode du Diagramme de Succès. L'analyse par DF a pour but de représenter l'architecture du système.

Pour cette modélisation, des blocs représentent généralement des composants, des sous-systèmes ou des fonctions. La modélisation consiste à rechercher les liens entre ces blocs.

Un bloc est considéré comme un interrupteur fermé lorsque l'entité est en état de fonctionnement ou un interrupteur ouvert lorsque l'entité est en état de panne. Le système est déclaré en état de fonctionnement si le "signal" qui entre dans le diagramme est récupéré à la sortie, sinon le système est en panne.

D'une part, le DF permet une analyse qualitative en déterminant les chemins qui conduisent à la réussite de la mission du système et la recherche des composants apparaissant dans le plus grand nombre de ces chemins et les scénarios qui conduisent à l'échec de la mission, pour éviter les incidents.

D'autre part, le DF permet une analyse quantitative qui a pour objectif en particulier de définir la probabilité de bon fonctionnement du système. Les calculs reposent sur les probabilités de réussite des missions des constituants du système.

La méthode a ses limites d'application : il faut s'assurer de l'indépendance entre les blocs et ne permet pas de modéliser des systèmes dynamiques.

9- Méthode de l'Espace des Etats (MEE)

La Méthode de l'Espace des Etats (MEE) (ou processus de Markov) permet l'analyse de fiabilité des systèmes réparables.

Supposons un système constitué par des composants, chaque composant ayant un nombre fini d'états de fonctionnement et de panne ; on construira un graphe dont les sommets correspondront aux différents états du système et les arcs correspondront aux transitions (panne et réparation) entre états. Pour un système à n composants, si chaque composant a deux états (fonctionnement et panne), le nombre maximum d'états est 2^n . Le calcul de la fiabilité est réalisé à partir de différents états du système.

Le principal avantage de cette méthode est de permettre la modélisation de systèmes réparables.

La méthode est souvent difficile à appliquer pour des systèmes de grande taille caractérisés par une explosion des états.

10- Réseaux de Petri (RdP)

Un réseau de Petri est un graphe orienté constitué de places, de transitions et d'arcs:

- les places sont représentées graphiquement par des cercles et peuvent être marquées par une ou plusieurs marques appelées jetons. L'ensemble des jetons associés aux différentes places constitue le marquage de réseau et correspond à un état du système modélisé ;
- les transitions sont représentées par des rectangles et agissent, sous certaines conditions, sur le marquage du réseau,
- les arcs sont représentés par des flèches qui lient une place à une transition (arc amont) ou inversement une transition à une place (arc aval). Un poids (entier positif) peut leur être affecté. Par défaut, il est égal à 1.

L'ensemble des places, transitions et arcs constitue la structure du réseau de Petri (partie statique). L'évolution du réseau (partie dynamique) est obtenue par des franchissements de transition qui affectent son marquage. Dans le modèle réseau de Petri d'un système, le marquage du réseau représente l'état du système. Le comportement du système est simulé par les franchissements de transitions qui changent l'état du système.

Pour qu'une transition soit franchie, il faut qu'elle soit valide ou sensibilisée, c'est à dire que toutes les places amont de la transition doivent posséder un nombre de jetons au moins égal au poids de l'arc qui les relie à la transition. Elle peut alors être franchie et ce franchissement consiste à retirer un nombre de jetons égal au poids de l'arc amont de chacune des places amont associées et à ajouter un nombre de jetons égal au poids de l'arc aval dans chacune des places aval associées. Le nouveau marquage du réseau correspond au nouvel état atteint par le système.

Le principal avantage des RdP est la possibilité d'analyser le comportement d'un système en présence de défaillances. Cette modélisation dynamique permet d'obtenir des mesures en termes de fiabilité, en assignant des valeurs numériques aux paramètres du modèle. Un RdP permet de modéliser d'une part le fonctionnement normal d'un système et d'autre part les occurrences de défaillances.

11- Travaux récents réalisés sur les politiques de maintenance

- De nombreuses publications depuis les années 50-60 proposent des modèles mathématiques permettant de définir la politique de maintenance optimale à adopter [12]. Plusieurs types de politiques ont ainsi été développés: Politique basée sur l'âge, Politique de remplacement par blocs et Politique de maintenance conditionnelle [20].

- La TPM: Total Productive Maintenance, concept Japonais a fait l'objet de plusieurs travaux. Son but principal est de réduire autant que possible les arrêts d'activités pour cause de maintenance [17].
- Des développements et des optimisations des politiques de maintenance basées sur l'approche OMF (Optimisation de la Maintenance par la Fiabilité), développée par EDF (Electricité de France), ont été proposés [11].
- Une nouvelle méthodologie de conception des systèmes de maintenance a été proposée dans [7]. Elle constitue un système d'aide à la décision pour la gestion des processus de maintenance.
- Une optimisation des stratégies de maintenance pour les systèmes multi-composants a été proposée dans [12], cette méthode est ainsi construite dans le but d'évaluer quantitativement des politiques de maintenance complexes en se basant sur la description du comportement du matériel, du système et de la stratégie de la maintenance étudiée.
- Le travail présenté dans [11] portant sur l'application de l'approche OMF pour développer et optimiser les politiques de maintenance dans les scieries dans plusieurs usines en Europe.
- Utilisation du concept sûreté de fonctionnement des systèmes complexes en phase de conception [21].
- Application de l'approche RCM (ReliabilityCentred Maintenance) pour l'optimisation de la sûreté de fonctionnement des installations industrielles dans une entreprise Algérienne (FERTIAL ANNABA) [14].

Conclusion du chapitre

Ce chapitre était destiné à la présentation de l'état de l'art des politiques de maintenance. Une attention particulière a été réservée aux techniques d'évaluation, d'intégration et d'optimisation d'une politique de maintenance existante dans une entreprise. En effet notre travail consiste d'abord en une évaluation critique de la politique de maintenance déjà appliquée dans l'entreprise avant d'en proposer une optimisation, raison pour laquelle la maîtrise de ces techniques est indispensable. Le chapitre comprend également une présentation des différentes approches de sûreté de fonctionnement, technique que nous proposons d'appliquer dans le cadre d'une nouvelle politique de maintenance, visant essentiellement à minimiser les risques d'avaries, notamment pour les installations stratégiques, et donc d'en améliorer la fiabilité.

CHAPITRE II

ETUDE CRITIQUE DE LA POLITIQUE DE MAINTENANCE EXISTANTE

1- Présentation de l'entreprise d'accueil

1.1- Historique de l'entreprise

A l'aube de l'indépendance, la situation du secteur de l'industrie des produits chimiques montrait une faiblesse notable dans les capacités de production installées qui se limitait à de petites unités de formation vétustes, utilisant des procédés archaïques. C'est pourquoi le complexe « ASMIDAL » a mis en œuvre une stratégie de développement globale connu à sa création en 1972 sous le nom du complexe phosphaté « SONATRACH ». 1977 a été une année charnière dans la vie de l'entreprise « ASMIDAL », celle-ci a vu sa restriction avec le délestage des activités secondaires et recentrage sur son métier de base, à savoir la fabrication de l'ammoniac et des engrais. La réalisation du complexe des engrais phosphatés et azotés de ANNABA rentre dans le cadre de la politique du développement de l'industrie chimique et principalement la promotion de l'agriculture algérienne qui représente un outil indispensable dans l'indépendance du pays. Actuellement FERKHAL est organisée sous la forme d'une société par action (SPA), 66% groupe Espagnol Vilar mir, 34% ASMIDAL Algérie qui représente un capital social de 17697000000.00DA. Sa durée de vie est de 99 ans.

L'implantation du complexe a été choisie sur la base des considérations économiques suivantes:

- Existence d'une infrastructure importante caractérisée par la proximité des installations portuaires (3KM) et les moyens de communication rapides.
- Des utilités proches (eau de mer - eau de barrage).
- Les centrales thermiques d'EL Hadjar et d'Annaba (énergie électrique).
- Proximité des gisements de minerais (phosphates) à 300 KM au Sud de Annaba (Djebel Onk).

1.2- Situation géographique

L'usine est située à l'est de la ville de Annaba, elle est limitée par l'Oued Seybouse et la cité Sidi Salem à l'est, la cité Seybouse à l'ouest, la mer Méditerranée au nord, la route nationale N° 44 et la plaine de Annaba au sud (figure 2.1).



Figure 2.1 : Situation géographique de FERTIAL d'après Google Earth

1.3- Principales activités

L'usine s'étend sur une superficie de 103 hectares et emploie 850 personnes. FERTIAL d'Annaba a plusieurs activités, nous pouvons citer les activités les plus importantes ci-dessous :

- 1- **L'Ammoniac**, avec une capacité de production annuelle de 330000 tonnes.
- 2- **L'Acide Nitrique**, avec une capacité de production annuelle de 240000 tonnes.
- 3- **Le Calcium Ammonitrate (CAN)** à 27% d'azote, avec une capacité de production annuelle de 300000 tonnes.
- 4- **L'Urée Ammonitrate (UAN)** à 32 % d'azote, avec une capacité de production annuelle de 300000 tonnes.
- 5- **Les engrais phosphatés simples TSP**, les engrais complexes binaires et ternaires (NPK) et le Sulfazot à 26% d'azote, avec une capacité de production annuelle de 300000 tonnes.
- 6- **Les engrais phosphatés simples SSP**, avec une capacité de production annuelle de 264000 tonnes.
- 7- **Les engrais complexes binaires et ternaires (PK et NP)**, avec une capacité de production annuelle de 150000 tonnes.
- 8- **Le Nitrate d'Ammonium** sous formes liquide et solide.

Ainsi, ses exportations de l'ordre de 74% de sa production place Fertial comme leader dans le bassin méditerranéen et deuxième dans le monde arabe, derrière l'Arabie Saoudite.

Elle occupe par ailleurs une confortable septième place au niveau mondial.

1.4- Les objectifs de l'entreprise

Dans le plan national du développement économique et social du pays, l'entreprise est chargée de :

- Promouvoir et développer l'industrie des engrais et produits phytosanitaires ;
- Exploiter, gérer et rentabiliser les moyens humains et matériels et financiers dont elle dispose en vue de satisfaire les besoins du marché national et l'exportation ;
- Favoriser l'épanouissement de l'imagination et l'initiative et faire appel aux moyens locaux ;
- Développer la coopération dans le cadre de la politique nationale en la matière.

L'exportation des produits porte sur :

NH3 : Espagne, France, Italie, Grèce, Belgique, Cuba, Grande Bretagne, Turquie, Maroc.

Nitrate : Tunisie, Maroc.

UAN : France, Espagne, USA.

SSP : France, Maroc, Grèce, Italie, Brésil.

1.5- Structures de l'entreprise FERTIAL

L'entreprise Fertial est structurée selon la figure (2.2). Bien évidemment puisque nous avons passé notre stage dans le service de maintenance, nous présentons dans les figures (2.3), (2.4), (2.5) et (2.6) les différentes sections de ce service.

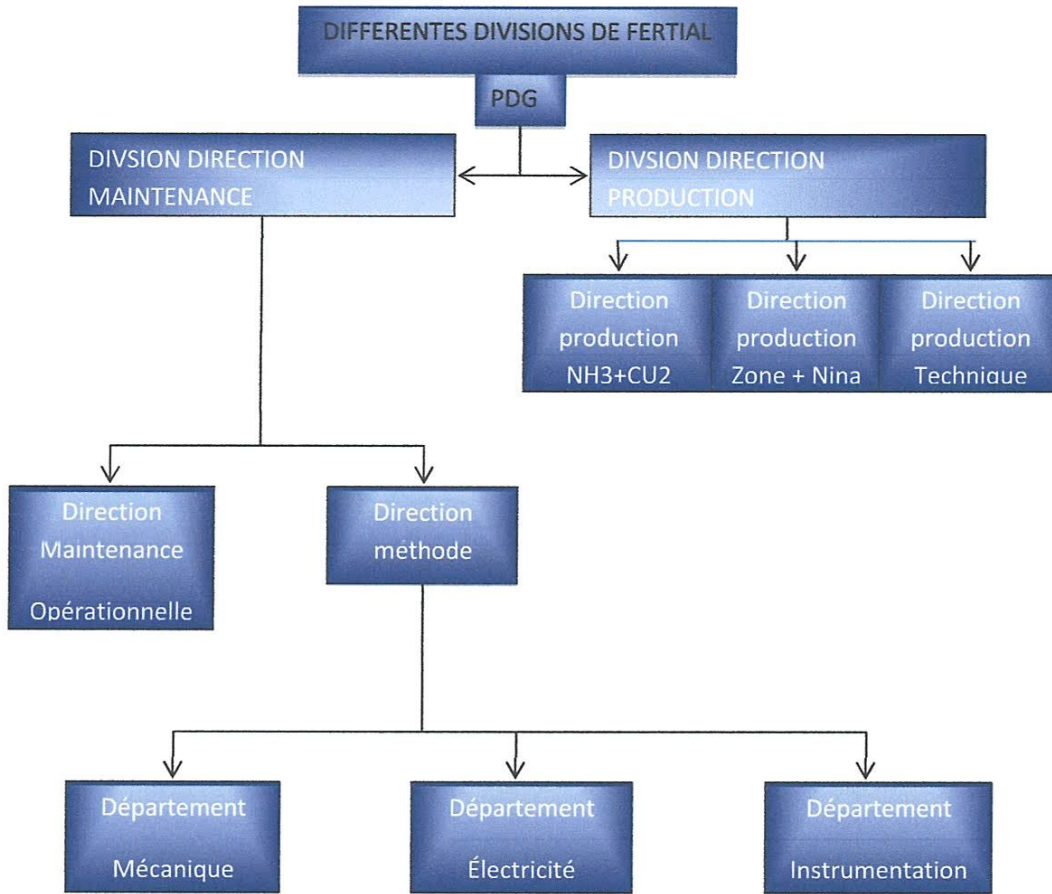


Figure 2.2 : Divisions de production de FERTIAL Annaba

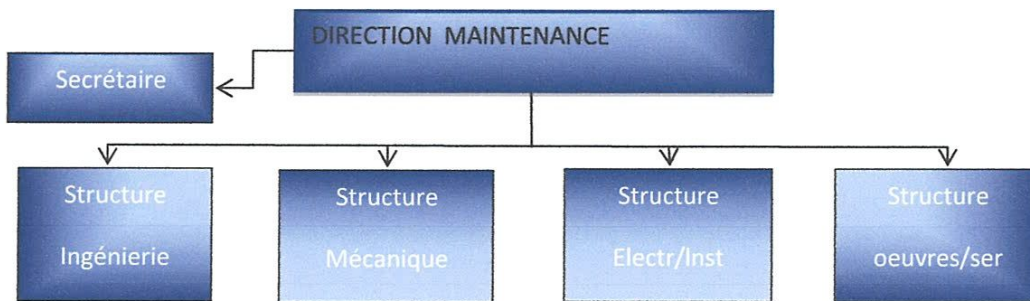


Figure 2.3 : Structures principales de la division maintenance

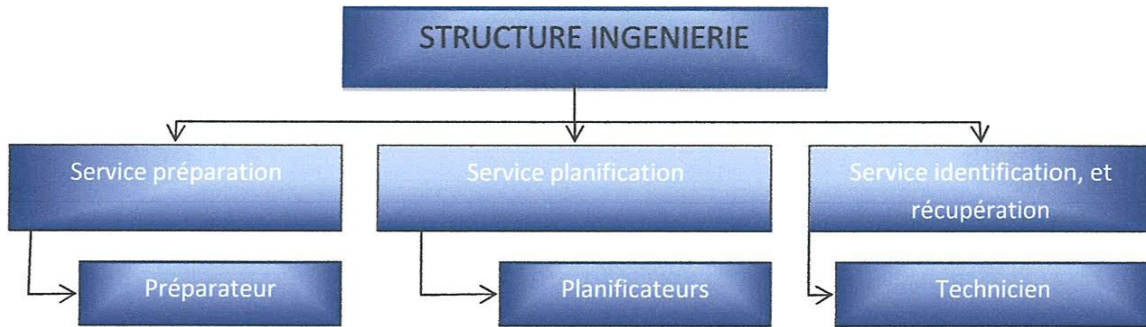


Figure 2.4 : Structure ingénierie

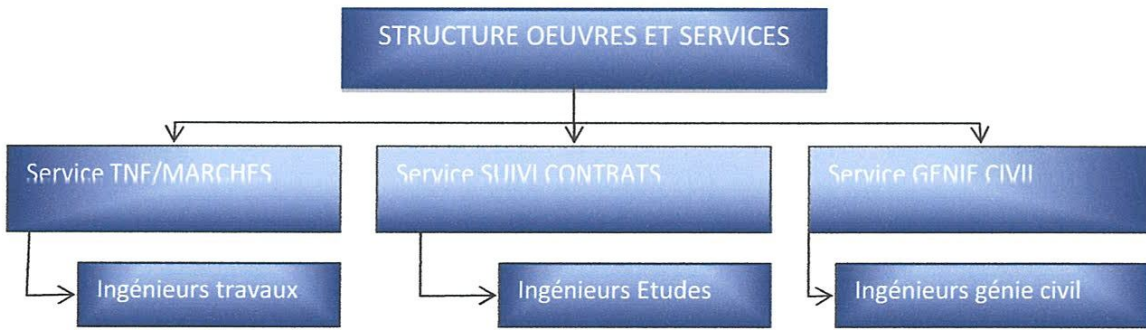


Figure 2.5 : Structure œuvre et service

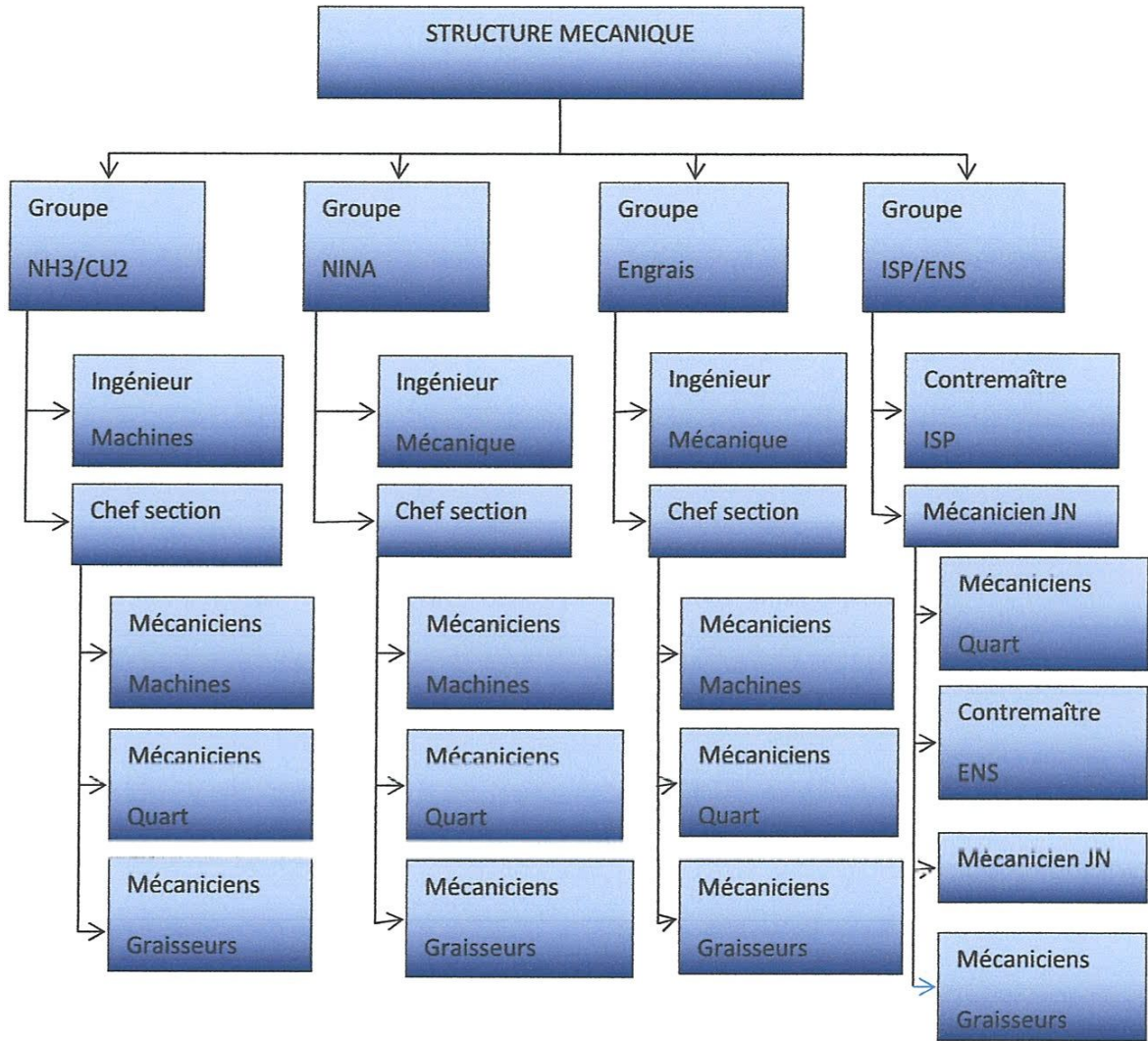


Figure 2.6 : Structure mécanique

1.6- Techniques et moyens utilisés

Le département maintenance de l'entreprise FERTIAL-Annaba se subdivise en trois structures principales suivantes :

1.6.1- Structure ingénierie (inspection)

La structure ingénierie prend la responsabilité de tous les suivis et diagnostics des équipements.

La structure ingénierie se subdivise elle-même en cinq services comme suit :

- a- **Préventif statique** : ce service est responsable de la surveillance et d'interventions sur les machines tournantes (de côté vibration et lubrification), la vérification et la réparation des équipements statiques comme les échangeurs, fours, chaudières, réacteurs...etc.

- b- **Préventif vibration**: la surveillance vibratoire à l'entreprise FERTIAL-Annaba se fait en deux méthodes ; la première est on-line grâce à un système de capteurs de déplacement placés sur tous les paliers des machines stratégiques indiquant ainsi les déplacements en μm en temps réel. La deuxième méthode de mesures est off-line réalisées par un analyseur vibratoire portatif du type Vibrotest 60. La démarche du suivi consiste à comparer la valeur mesurée avec les seuils de danger et d'alarme.
- c- **Préventif dynamique**: Ce service est responsable de la maintenance conditionnelle par analyse vibratoire des machines tournantes off-line et le suivi et les visites des machines tournantes. Dans ce service on classe les machines de chaque unité selon leur priorité en trois classes : AV_0 , AV_1 et AV_2 . La première classe contient les machines stratégiques sur lesquelles on applique des mesures vibratoires quotidiennes et des vérifications visuelles mensuelles. Pour les deux autres classes, les mesures vibratoires se font chaque semaine et les vérifications visuelles tous les deux mois.
- d- **Préventif graissage**: Ce service prend la responsabilité de toutes les actions de lubrification (graissage changement d'huile...etc.), organisées dans un calendrier grâce à un logiciel de **GMAO** (Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur) du type (GESINDUS).
- e- **Préventif électricité**: Ce service est responsable du suivi des défauts dans les moteurs asynchrones grâce à une caméra infrarouge et un logiciel de traitement de données spécialisé.

1.6.2- Structure de mécanique opérationnelle

La structure de mécanique opérationnelle s'occupe de toutes les interventions, visites et réparations sur les équipements, réalisation des cahiers de charges, réalisation des projets ...etc.

1.6.3- Structure d'électricité/instrumentation

- a- Service d'instrumentation: ce service est responsable de toutes les vérifications, contrôles et étalonnage des instruments de mesure (thermomètre, vibration, débit...etc.), rodage de quelque instruments (soupape par exemple) ;
- b- Service d'électricité: ce service est responsable des interventions, réparations, réalisation des cahiers de charge, réalisation des projets plus des vérifications annuelles programmées (dépoussiérage, vérification des transformateurs et des moteurs électriques, ...etc.).

2-Evaluation de la politique de maintenance existante a l'entreprise par la méthode de Lavina[6]

Ce questionnaire a été établi grâce au concours de plusieurs responsables de l'entreprise intervenant dans les différentes rubriques ci-dessous. Les chiffres en gras soulignés sont la note attribuée par chaque responsable.

A - Organisation générale	Non	Plutôt non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1. Avez-vous défini par écrit et fait approuver l'organisation de la fonction maintenance ?	0	10	15	20	<u>30</u>
2. Les responsabilités et les tâches définies dans l'organisation sont-elles vérifiées périodiquement?	<u>0</u>	2.5	5	7.5	10
3. Les responsabilités et les tâches des différents acteurs sont-elles clairement définies ?	0	5	<u>10</u>	15	20
4. Le personnel d'encadrement et de supervision est-il suffisant ?	<u>0</u>	10	15	20	30
5. L'activité de chaque intervenant est-elle contrainte par un budget de fonctionnement ?	0	2.5	5	7.5	<u>10</u>
6. Existe-t-il un responsable pour assurer la coordination des travaux, des approvisionnements, des études d'installations et de la formation ?	<u>0</u>	5	10	15	20
7. Existe-t-il des fiches de fonction pour chacun des postes d'exécutant ?	0	5	<u>10</u>	15	20
8. Les agents exploitant le matériel disposent-ils de consignes écrites pour les tâches de maintenance ?	0	10	15	20	<u>30</u>
9. Vous réunissez-vous périodiquement avec les ouvriers pour examiner les travaux à effectuer ?	0	5	10	<u>15</u>	20
10. Les objectifs sont-ils écrits et sont-ils contrôlés régulièrement ?	0	10	15	20	<u>30</u>
11. Êtes-vous consultés par les ouvriers, ou par les services d'ingénierie à l'occasion de l'étude ou de l'installation de nouveaux équipements ?	0	10	15	<u>20</u>	30

A - 155 Points obtenus /250 points possibles

B - Méthode de travail	Non	Plutôt non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1. Pour les interventions importantes en volume d'heures et/ou répétitives, privilégie-t-on la préparation du travail ?	0	10	15	20	<u>30</u>
2. Utilisez-vous des supports imprimés pour préparer les travaux ou établir des devis ?	0	5	10	15	<u>20</u>
3. Disposez-vous de modes opératoires écrits pour les travaux complexes ou délicats ?	0	5	10	15	<u>20</u>
4. Avez-vous une procédure écrite définissant les autorisations de travail pour les travaux à risque ?	0	10	15	20	<u>30</u>
5. Conservez-vous et classez-vous de manière particulière les dossiers de préparation ?	0	2.5	5	7.5	<u>10</u>
6. Y a t-il des actions visant à standardiser les organes et les pièces ?	0	10	15	20	<u>30</u>
7. Avez-vous des méthodes d'estimation des temps autres que l'estimation globale ?	0	2.5	5	7.5	<u>10</u>
8. Utilisez-vous la méthode PERT pour la préparation des travaux longs ?	0	5	10	15	<u>20</u>
9. Avez-vous recours à des méthodologies formalisées de dépannage ?	0	10	15	20	<u>30</u>
10. Réservez-vous des pièces en magasin, faites-vous préparer des kits en fonction de vos interventions ?	0	10	15	20	<u>30</u>
11. La documentation est-elle strictement classée et facilement accessible ?	0	5	10	<u>15</u>	20

B - 245 Points obtenus /250 points possibles

C - Suivi technique des équipements	Non	Plutôt non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1. Disposez-vous de listes récapitulatives par emplacement des équipements de votre unité ?	0	10	15	20	<u>30</u>
2. Chaque équipement possède t-il un numéro d'identification unique autre que le numéro chronologique d'immobilisation ?	0	5	10	15	<u>20</u>
3. Sur le site, tout équipement a t-il son numéro d'identification visible ?	0	5	7.5	10	<u>15</u>
4. Les modifications, nouvelles installations ou suppression d'équipements, sont-elles enregistrées systématiquement ?	0	5	7.5	10	<u>15</u>
5. Un dossier technique est-il ouvert pour chaque équipement ou installation ?	0	10	15	20	<u>30</u>
6. Possédez-vous un historique des travaux pour chaque équipement ?	0	10	15	20	<u>30</u>
7. Disposez-vous d'informations concernant les heures passées, les pièces consommées et les coûts équipement par équipement ?	0	10	20	30	<u>40</u>
8. Y a t-il un responsable de la tenue de l'historique des travaux ?	0	<u>5</u>	10	15	20
9. Assurez-vous un suivi formel des informations relatives aux comptes-rendus des visites ou des inspections préventives ?	0	10	15	20	<u>30</u>
10. Les historiques sont-ils analysés une fois par an ?	0	5	10	15	<u>20</u>

C - 235 Points obtenus /250 points possibles

D - Gestion portefeuille de travaux	Non	Plutôt non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1. Avez-vous un programme établi de maintenance préventive ?	0	10	20	30	<u>40</u>
2. Disposez-vous de fiches de maintenance préventive ?	0	5	10	15	<u>20</u>
3. Existe-t-il un responsable des actions de maintenance préventive ?	0	2.5	5	7.5	<u>10</u>
4. Les utilisateurs des équipements ont-ils des responsabilités en matière de réglage et de maintenance de routine ?	0	5	10	<u>15</u>	20
5. Avez-vous un système d'enregistrement des demandes de travaux ?	0	10	20	30	<u>40</u>
6. Y a-t-il une personne particulièrement responsable de l'ordonnancement des travaux ?	0	5	10	15	<u>20</u>
7. Avez-vous défini des règles permettant d'affecter les travaux selon les priorités ?	0	10	15	20	<u>30</u>
8. Connaissez-vous en permanence la charge de travail ?	0	10	15	20	<u>30</u>
9. Existe-t-il un document "Bon de travail" permettant de suivre toute intervention, qui soit utilisé systématiquement pour tout travail ?	0	10	15	20	<u>30</u>
10. Les responsables se rencontrent-ils sur une base régulière pour regarder les différents problèmes ?	0	10	15	20	<u>30</u>
11. Disposez-vous d'un planning hebdomadaire de lancement des travaux ?	0	10	15	20	<u>30</u>

D - 295 Points obtenus /300 points possibles

E - Tenue des stocks de pièces de rechange	Non	Plutôt non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1. Disposez-vous d'un magasin pour stocker les pièces de rechange ?	0	5	10	15	<u>20</u>
2. Avez-vous le libre-service pour les articles à consommation courante ?	<u>0</u>	2.5	5	7.5	10
3. Tenez-vous à jour des fiches de stock ?	0	10	15	20	<u>30</u>
4. Éliminez-vous automatiquement les pièces obsolètes ?	0	2.5	5	7.5	<u>10</u>
5. Suivez-vous la consommation des articles par équipement ?	0	2.5	5	7.5	<u>10</u>
6. La valeur et le nombre d'articles en stock est-il facilement disponible ?	0	5	10	15	<u>20</u>
7. Les pièces sont-elles bien rangées et identifiées ?	0	5	10	15	<u>20</u>
8. A t-on bien défini le seuil de déclenchement et les quantités à réapprovisionner pour chaque article en stock ?	0	5	10	15	<u>20</u>
9. Les pièces interchangeables sont-elles identifiées ?	0	10	15	20	<u>30</u>
10. Les procédures d'approvisionnement sont-elles suffisamment souples pour stocker au maximum chez le fournisseur ?	0	10	<u>15</u>	20	30

E - 175 Points obtenus /200 points possibles

F - Achat et approvisionnement des pièces et matières	Non	Plutôt non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1. A-t-on une procédure formalisée et adaptée d'émission des demandes d'achat et de passation des commandes ?	0	5	10	15	<u>20</u>
2. Y a-t-il une ressource dans le service particulièrement chargée des suivis des demandes d'achat ?	0	5	10	15	<u>20</u>
3. Toute demande de pièces à coût élevé requière t-elle l'accord du responsable du service ?	0	10	15	20	<u>30</u>
4. Les délais d'émission d'une demande sont-ils à votre avis suffisamment courts ?	0	10	<u>15</u>	20	30
5. A t-on des marchés négociés pour les articles standards ?	0	10	15	<u>20</u>	30
6. Pour les articles à consommation régulière, passez-vous par des fournisseurs autres que le constructeur de l'équipement ?	0	<u>10</u>	15	20	30
7. Disposez-vous d'un processus d'homologation des fournisseurs ?	0	5	10	15	<u>20</u>
8. Lors des différentes négociations avec les fournisseurs, y a-t-il une grande cohésion entre le service achat et le service de maintenance ?	0	5	10	15	<u>20</u>

F - 155 Points obtenus /200 points possibles

G - Organisation matérielle de l'atelier maintenance	Non	Plutôt non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1. L'espace atelier de maintenance est-il suffisant ?	0	10	15	<u>20</u>	30
2. Votre atelier pourrait-il être mieux situé par rapport aux équipements à entretenir ?	40	30	20	<u>10</u>	0
3. Les bureaux des superviseurs sont-ils de plein pied sur l'atelier ?	0	5	10	<u>15</u>	20
4. Votre atelier dispose-t-il de chauffage et d'air conditionné ?	0	<u>2.5</u>	5	7.5	10
5. Le magasin d'outillage et de pièces de rechange est-il au voisinage de votre atelier ?	0	5	20	<u>15</u>	20
6. Y a-t-il un responsable du magasin ?	0	2.5	5	7.5	<u>10</u>
7. Le magasin outillage est-il affecté exclusivement à la maintenance et aux travaux neufs ?	0	5	10	<u>15</u>	20
8. Chaque intervenant dispose-t-il d'un poste de travail bien identifié ?	0	5	10	15	<u>20</u>
9. Les moyens de manutention de l'atelier sont-ils adaptés ?	0	10	15	<u>20</u>	30

G - 127.5 Points obtenus /200 points possibles

H - Outillage	Non	Plutôt non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1. Disposez-vous d'un inventaire d'outillage et d'équipement de test en votre possession ?	0	<u>5</u>	10	<u>15</u>	20
2. Cet inventaire est-il mis à jour régulièrement ?	0	<u>5</u>	7.5	10	15
3. Disposez-vous de tous les outillages spéciaux et équipements de test dont vous avez besoin ?	0	<u>10</u>	15	20	30
4. Exécutez-vous la maintenance préventive à l'aide d'équipements de test en votre possession ?	0	<u>10</u>	15	20	25
5. Les outillages et équipements de test sont-ils facilement disponibles et en quantité suffisante ?	0	10	<u>15</u>	20	25
6. L'étalonnage des appareils de mesure est-il bien défini et effectué ?	0	5	<u>7.5</u>	10	15
7. Avez-vous défini par écrit le processus de mise à disposition et d'utilisation d'outillage ?	0	2.5	5	<u>7.5</u>	10
8. Chaque exécutant dispose-t-il d'une boîte à outils personnelle ?	0	10	15	<u>20</u>	30
9. Disposez-vous de suffisamment de moyens de manutention sur le site ?	0	10	15	<u>20</u>	30

H - 110 Points obtenus /200 points possibles

I - Documentation technique	Non	Plutôt non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1. Disposez-vous d'une documentation technique générale et suffisante ?	0	5	10	<u>15</u>	20
2. Pour tous les équipements, disposez-vous de plans d'ensemble et de schémas nécessaires ?	0	15	20	30	<u>40</u>
3. Les notices techniques d'utilisation et de maintenance ainsi que la liste des pièces détachées sont-elles disponibles pour les équipements ?	0	10	15	<u>20</u>	30
4. Les plans des installations sont-ils facilement accessibles et utilisables ?	0	10	15	<u>20</u>	30
5. Les plans et schémas sont-ils mis à jour ?	0	<u>10</u>	15	20	30
6. Enregistre-t-on les travaux de modification des équipements et classe-t-on les dossiers de préparation correspondants ?	0	<u>5</u>	10	15	20
7. Les contrats de maintenance sont-ils facilement accessibles ?	0	5	10	15	<u>20</u>
8. Les moyens de reprographie et classement sont-ils suffisants ?	0	<u>2.5</u>	5	7.5	10

1 - 132.5 Points obtenus /200 points possibles

J - Personnel et formation	Non	Plutôt non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1. Le climat de travail est-il généralement positif ?	0	10	20	30	<u>40</u>
2. Les responsables encadrent-ils les travaux effectués par les ouvriers sous leur responsabilité ?	0	10	15	20	<u>30</u>
3. Les problèmes sont-ils souvent examinés en groupe incluant les ouvriers ?	0	10	15	<u>20</u>	30
4. Existe-il des entretiens annuels d'appréciation du personnel d'encadrement et exécutant ?	<u>0</u>	5	10	15	20
5. Les ressources humaines sont-elles suffisamment disponibles ?	0	10	15	<u>20</u>	30
6. Considérez-vous globalement que la compétence technique de votre personnel est satisfaisante ?	0	15	25	35	<u>50</u>
7. Dans le travail quotidien, estimez-vous que le personnel a l'initiative nécessaire ?	0	10	15	<u>20</u>	30
8. Les responsables assurent-ils le perfectionnement de leur personnel ?	0	10	15	20	<u>30</u>
9. Les responsables reçoivent-ils une formation aux nouvelles technologies ?	0	10	15	20	<u>30</u>
10. Votre personnel reçoit-il régulièrement une formation à la sécurité ?	0	10	15	20	<u>30</u>
11. La formation du personnel est-elle programmée et maîtrisée par le service maintenance ?	0	5	10	15	<u>20</u>
12. La qualification et habilitation du personnel sont-elles suivies rigoureusement ?	0	5	10	15	<u>20</u>
13. Avez-vous des pertes importantes de temps de production ?	<u>30</u>	20	15	10	0
14. La relation entre votre personnel et le service client est-elle bonne ?	0	2.5	5	7.5	<u>10</u>

J - 350 Points obtenus/400 points possibles

K - Sous-traitance	Non	Plutôt non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1. Avez-vous un processus formel d'évaluation des sous-traitants ?	0	2.5	5	<u>7.5</u>	10
2. Les descriptifs des travaux et cahier des charges sont-ils soigneusement élaborés ?	<u>0</u>	15	20	30	40
3. La sélection des sous-traitants s'effectue-t-elle selon des critères de technicité et de compétence ?	0	<u>5</u>	10	15	20
4. Avez-vous localement la possibilité d'avoir recours à de multiples entreprises sous-traitantes ?	0	5	<u>10</u>	15	20
5. Sous-traitez-vous les tâches dont vous ne disposez pas de technicité suffisante ?	<u>0</u>	10	15	20	30
6. Vos contrats avec les sous-traitants incluent-ils des clauses de résultats ?	0	5	10	<u>15</u>	20
7. Développez-vous l'assurance de la qualité et le partenariat avec vos sous-traitants ?	0	10	15	20	30
8. Créez-vous et mettez-vous à jour un dossier par affaire selon une procédure prédéterminée ?	0	5	<u>10</u>	15	20
9. Le suivi des travaux du sous-traitant est-il effectué par une personne ?	0	10	15	<u>20</u>	30
10. Disposez-vous d'une documentation facilitant la maintenance par des entreprises externes ?	0	10	15	<u>20</u>	30

K - 102.5 Points obtenus / 250 points possibles

L - Contrôle de l'activité	Non	Plutôt non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1. Disposez-vous d'un tableau de bord permettant de décider des actions correctives à entreprendre ?	0	10	20	<u>30</u>	40
2. Existe-t-il des rapports réguliers de suivi des heures de travail, des pièces consommées et des coûts de main-d'œuvre ?	0	<u>10</u>	20	30	40
3. Les performances du service sont-elles suivies ?	0	10	<u>20</u>	30	40
4. L'efficacité du personnel maintenance est-elle contrôlée ?	0	10	15	<u>20</u>	30
5. Maîtrisez-vous votre charge de travail ?	0	10	15	<u>20</u>	30
6. Disposez-vous des coûts de maintenance équipement par équipement ?	0	10	<u>15</u>	20	30
7. Le service de maintenance dispose-t-il d'un outil de gestion informatisé de l'activité ?	0	10	15	<u>20</u>	30
8. Disposez-vous d'informations de synthèse dans un délai suffisamment court ?	0	10	15	<u>20</u>	30
9. Émettez-vous régulièrement un compte-rendu d'activité ?	0	10	<u>15</u>	20	30

L - 170 Points obtenus /300 points possibles

Pour interpréter les résultats du questionnaire, nous proposons le tableau (2.1) tiré de Lavina [6]. Ce tableau présente les résultats d'un questionnaire réalisé à l'entreprise FERTIAL-Annaba. Pour chaque domaine, le score obtenu est comptabilisé et le pourcentage par rapport au maximum possible est calculé. Dans les colonnes du tableau, on trouve respectivement les domaines d'analyse, le score obtenu pour chaque rubrique, le maximum possible et finalement le rapport du score obtenu par rapport au maximum possible.

Domaines d'analyses	Scores obtenu	Max.possible	Pourcentage
A. Organisation générale	155	250	<u>62</u>
B. Méthode de travail	245	250	98
C. Suivi technique des équipements	235	250	94
D. Gestion du portefeuille de travaux	295	300	98.33
E. Stock de pièces de rechange	175	200	87.5
F. Achats et approvisionnement des pièces	155	200	77.5
G.Organisation matérielle de l'atelier	127.5	200	<u>63.75</u>
H. Outillage	110	200	<u>55</u>
I. Documentation technique	132.5	200	<u>66.25</u>
J. Personnel et formation	350	400	87.5
K. Sous-traitance	102.5	250	<u>41</u>
L. Contrôle de l'activité	170	300	<u>56.66</u>
SCORE TOTAL	2252.5	3000	75.08 %

Tableau 2.1. Résultat du questionnaire de Lavina réalisé à l'entreprise FERTIAL

Le tableau (2.1) permet d'identifier six domaines présentant des faiblesses ou dont l'action est prioritaire. Ce sont les domaines dont le pourcentage indiqué à la quatrième colonne du tableau (2.1) est inférieur à celui du score total (Organisation générale, Organisation matérielle de l'atelier, Outillage, Documentation technique, Sous-traitance et Contrôle de l'activité).

3- Critique et propositions

Rubriques du questionnaire	Propositions d'amélioration
A- Organisation générale	Définir les tâches et les responsabilités dans l'organisation et les vérifier périodiquement
	Renforcer le personnel d'encadrement
	Nomination d'un responsable pour assurer la coordination des travaux, des approvisionnements, des études d'installation et de formation
G- Organisation matérielle de l'atelier	Déménager l'atelier près des équipements à entretenir
	Renforcement des systèmes de chauffage et d'air conditionné de l'atelier
H- Outillage	mis à jour de l'inventaire régulièrement
	Fournir les outillages spéciaux et les équipements de test nécessaires
	Effectuer un étalonnage fiable des appareils de mesure
I- Documentation technique	Mis à jour les plans et schémas des installations
	Enregistrer les travaux de modification des équipements et classer les dossiers de réparation correspondants
	Renforcement des moyens de reprographie
K- Sous-traitance	Elaborer soigneusement les descriptifs des travaux et cahier des charges
	Evaluer et engager les sous-traitants selon des critères de technicité et de compétence
	recruter des techniciens spécialisés pour compenser le manque de personnel
L- Contrôle de l'activité	Suivre des performances du service
	Emettre régulièrement un compte-rendu d'activité
	Faire des rapports réguliers de suivi des heures de travail, des pièces consommées et des coûts de main-d'œuvre

Conclusion du chapitre

Ce chapitre présente en premier lieu un aperçu général sur l'entreprise Fertial Annaba : son historique, son organisation ainsi que l'organisation et les différents travaux réalisés par la division maintenance où nous avons passé notre stage. En deuxième lieu et en utilisant le questionnaire de Lavina et en recueillant les précieuses informations auprès des responsables des différents services en relation avec la division maintenance, nous avons pu établir une évaluation de la politique de maintenance actuelle. Des propositions d'améliorations à apporter ont été formulées après avoir ciblé les points faibles.

CHAPITRE III

OPTIMISATION DE LA SÛRETÉ DE FONCTIONNEMENT D'UNE INSTALLATION IMPORTANTE

I- Présentation de la centrale II et du turbo-alternateur GZ 1164

1- Introduction

La centrale 2 est une unité motrice et primordiale pour le complexe de production. Elle a pour but de satisfaire le besoin du complexe en matière d'utilités telles que l'eau, la vapeur et l'électricité.

2- Structure de la centrale

Elle est composée des sections suivantes :

2.1- Section de pompage d'eau de mer

Cette section a pour but de satisfaire les besoins du complexe en eau de mer pur. Ceci est réalisé par le pompage d'eau de mer du port /STATION DE POMPAGE/ au complexe dans les conditions de pression et de débit demandés. L'eau de mer provenant du port, pénètre dans le cheminée d'équilibre puis divise à travers des fenêtres qui sont placées à des hauteurs étudiées en fonction des débits et des priorités. Un compartiment est prévu pour le rejet du surplus d'eau de mer à la mer.

2.2- Section dessalement de l'eau de mer

Il existe 4 blocs de dessalement d'eau de mer de débit 200t/h par unité, fonctionnant avec un système de distillation (multi-flash) et éject-compression. L'eau distillée produite est stockée dans des bacs de réserve.

2.3- Section déminéralisation

Il existe deux chaînes de traitement d'eau, chaque chaîne est composée d'un filtre à charbon actif et d'un échangeur d'ions à lit mixte, la chaîne devra traiter un débit de 70 m³/h d'eau déminéralisée.

2.4- Section chaudière

Cette section est composée de trois chaudières ; deux (bab-cook) et l'autre « standard kecal » d'une production de vapeur de 720 tonne/h unité (pression 40 bar et t= 420°C). La vapeur produite passe par un barillet comme moyen de distribution à travers le complexe, cette vapeur est présentée au consommateur à différentes pressions (40 bar, 13 bar, 0,7 bar) par détente.

2.5- Section compression d'air

Cette section a pour but de satisfaire les besoins du complexe en air comprimé (air de réserve et instrumentation). Il existe 3 compresseurs à double étage et effet (débit 1070

Nm³ par unité). Une partie de cet air est utilisé comme air de réserve, l'autre part à travers des sècheurs d'air pour être utilisée comme air d'instrumentation.

2.6- Circuit de refroidissement

Cette section a pour but de fournir l'eau industrielle refroidie pour être utilisée comme source froide pour les échangeurs du procédé de la centrale.

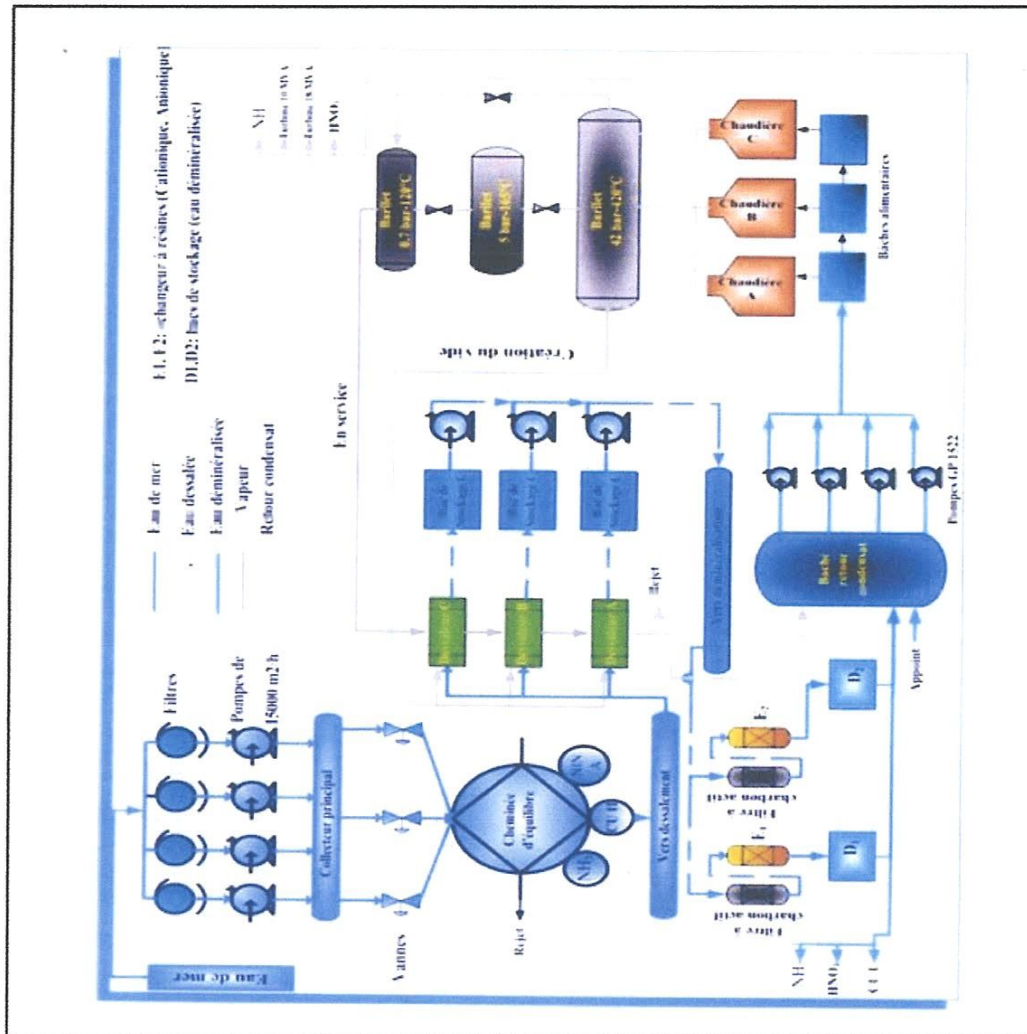


Figure 3.1 : Schéma représentatif de la centrale et utilités II

2.7- Section turbo-alternateur

Une partie de la vapeur produite passe par une turbine qui fait tourner un alternateur produisant de l'électricité (5,5kv) par la transformation d'énergie thermique en énergie mécanique dans la turbine. Cette section est composée de deux groupes :

- **Turbine à contre-pression**

Cette turbine produit une puissance de 10MVA, à partir d'un travail fournie par la vapeur 40 bar qui se détend jusqu'à la pression d'échappement de 0,7 bar, qui peut être réutilisée par la suite dans le procédé.

- **Turbine à condensation**

Production de 18MVA : La vapeur d'échappement passe directement vers le condenseur avec l'utilisation d'une conduite de soutirage à une pression de 5 bars, avec une production en électricité de 7,3MW.

3- Description du turbo-alternateur GZ1164

Le turbo-alternateur GZ1164 est une machine très stratégique de l'entreprise car il assure l'alimentation en courant électrique. Il est composé d'une turbine à vapeur, d'un réducteur et d'un alternateur (Fig. 3.2).

3.1- Caractéristiques techniques de la turbine à vapeur

C'est l'élément qui transforme l'énergie de la vapeur en énergie mécanique, le tableau (3.1) regroupe ses caractéristiques principales.

Type	TGRZ
Série	B-101 3625
Nombre d'étages	Curtis 1
Nature fluide	Vapeur
Fournisseur	Worthington
Poids turbine	1450kg
Hauteur d'axe	482.5mm
Diamètre bout d'arbre	66.5mm
Bride d'admission	600ASAø''8 trous
Bride d'échappement	150ASAø12''trous
Puissance nominale	258kw
Puissance	907kw
Puissance mini	69kw
Pression admission nominale	38.2 bars
Pression admission max	43.5 bars
Vitesse maxi	8700/9000 tr/min
Vitesse nominale	3517 tr/min
Vitesse mini	2170 tr/min
TC° max	399 C°
TC° normale	323C°
Nombre de roues	8 roues
Nombre d'ailettes	(16*9)

Tableau 3.1 : Caractéristiques techniques de la turbine à vapeur

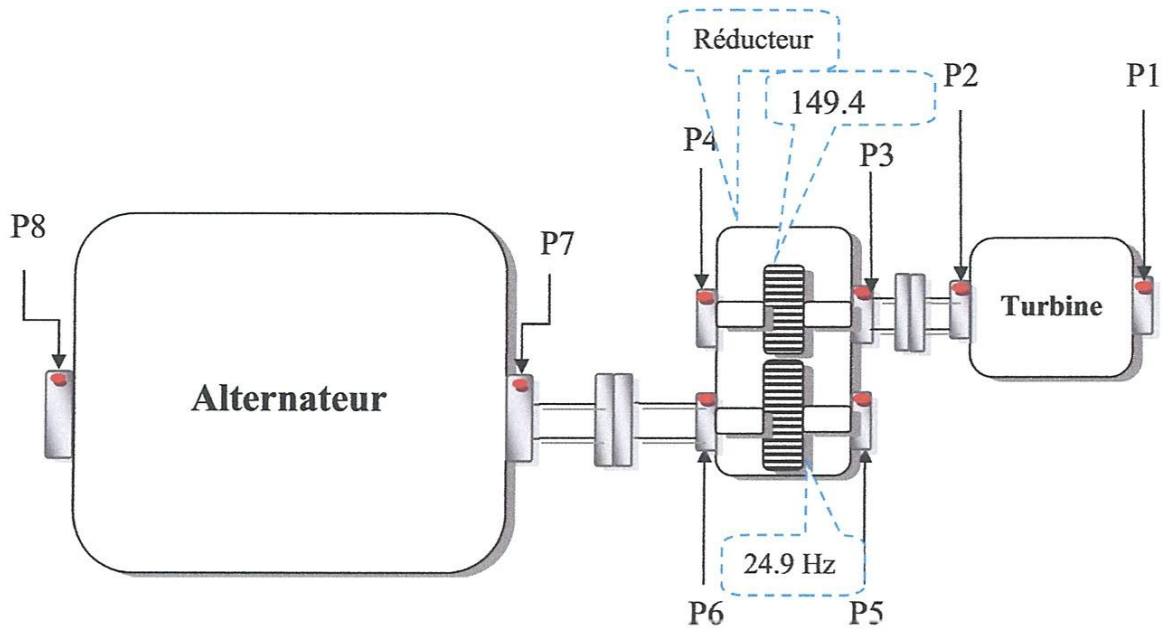


Figure 3.2 : Schéma cinématique de turbo-alternateur GZ1164

3.2- Caractéristiques techniques du réducteur

C'est l'élément qui assure la diminution de la vitesse de rotation entre la turbine et l'alternateur. Le réducteur GVAB420 se compose d'un pignon à 47 dents et d'une roue à 252 dents type hélicoïdale. Le tableau (3.3) montre les caractéristiques principales du réducteur.

Modèle/dimension	GVAB420
Puissance nominale	8300 kW
Rendement transmission	0.18 A PLEN
Vitesse entrée	8700 tours/minute
Vitesse sortie	1630 tours/minute
Nombre de dents du pignon	48
Nombre de dents de la roue	256
Vitesse continue maximum	9000/1500
Rapport de transmission	1/5.33

Tableau3.3 : Caractéristiques techniques du réducteur

Les fréquences caractéristiques du réducteur sont montrées par le tableau (3.4).

Repère	Relation	Valeur
F_1	$N_1/60$	145 Hz
F_2	$N_2/60$	27.2 Hz
F_e	$F_1 * N_1 = F_2 * N_2$	6960 Hz
F_c	$F_e / \text{PPCM}(N_1, N_2)$	0.56 Hz
U	F_2 / F_1	5.33

Tableau3.4 : Caractéristiques Fréquentielles du réducteur

F_1 = Fréquence d'entrée
 F_2 = Fréquence de sortie
 F_e = Fréquence d'engrènement
 F_c : Fréquence de coïncidence
 U : Rapport de transmission

II-Application de l'approche OMF pour optimiser la sûreté de fonctionnement du turbo-alternateur GZ-1164

1- Analyse fonctionnelle du turbo-alternateur

1.1- Définition [23]

L'AFNOR définit l'analyse fonctionnelle comme «une démarche qui consiste à rechercher, ordonner, caractériser, hiérarchiser les fonctions du produit attendu par l'utilisateur ». L'analyse fonctionnelle s'applique à la création ou à l'amélioration d'un produit, elle est dans ce cas l'étape fondamentale de l'analyse de la valeur. Appliquée au seul besoin, elle est la base de l'établissement du cahier Des Charges Fonctionnel (CdCF).

Pour mener une analyse fonctionnelle il convient au préalable et dans un premier temps de rechercher l'information nécessaire pour identifier les différentes phases du cycle de vie du produit depuis son stockage jusqu'à son retrait de service, en passant par son utilisation "pure". Pour chaque situation, il est recommandé de lister les éléments, personnes, matériels, matières qui constituent l'environnement du produit.

L'analyse fonctionnelle s'effectue en plusieurs étapes réalisées pour chacune des phases du cycle de vie du produit au sein d'un groupe de travail.

-Recenser les fonctions

La recherche des fonctions s'effectue en étudiant les relations du futur produit ou système avec son environnement. Elle s'effectue selon une méthodologie axée sur le recensement exhaustif des fonctions : ne pas en oublier, ne pas inventer de faux services. Chaque fonction devra être exprimée exclusivement en termes de finalité et être formulée par un verbe à l'infinitif suivi d'un ou plusieurs compléments.

-Ordonner les fonctions

Les fonctions identifiées précédemment ont été notées sans respecter un ordre particulier. Il est important d'établir une décomposition logique entre ces diverses fonctions.

-Caractériser et quantifier les fonctions

Une fois les fonctions identifiées, il faut définir les critères qui nous permettront d'effectuer le choix d'une solution technique : la caractérisation des fonctions. Cela consiste à énoncer pour chaque fonction de service :

* les critères d'appréciation c'est à dire le caractère retenu pour apprécier la manière dont une fonction est remplie ou une contrainte respectée.

* Les niveaux de chaque critère : grandeur repérée dans l'échelle adoptée pour un critère d'appréciation d'une fonction. Cette grandeur peut être celle recherchée comme objectif ou

celle atteinte par une solution proposée. Le niveau quantifie le critère et représente ainsi la performance attendue du service à rendre.

* La flexibilité de chaque niveau : ensemble d'indications exprimées par le demandeur sur les possibilités de moduler le niveau recherché pour un critère d'appréciation.

-Hiérarchiser les fonctions

Il faut pouvoir indiquer aux futurs prestataires, les services essentiels sur lesquels il faudra concentrer leurs savoir-faire. Pour cela, il est possible de hiérarchiser les fonctions soit en associant directement un coefficient à chaque fonction, soit en comparant chaque fonction à toutes les autres en jugeant si elle est "plus importante" ou "moins importante".

1.2- La démarche générale de l'analyse fonctionnelle des équipements

La figure 3.3 représente la démarche générale pour effectuer une analyse fonctionnelle d'un équipement.

Chaque objet technique (appareil) ou système étudié remplit une **fonction globale d'usage** (ou **fonction de service**) pour répondre à un besoin spécifique de l'utilisateur. Dans un contexte donné, ce besoin est déterminé par des contraintes matérielles, techniques, réglementaires, économiques, sociologiques ... qu'il convient de préciser. Par exemple :

Contraintes matérielles : alimentation en énergie, alimentation en eau, évacuations, dimensions, conception du local...

Contraintes techniques : performances, capacité, consommation d'énergie, calorifugeage, durée de vie, robustesse, dimensions, bruit ...

Contraintes économiques : coûts d'achat, de fonctionnement, des accessoires indispensables, de l'entretien et de la maintenance ...

Contraintes professionnelles : type et importance de la production, concept et process de production, méthode de travail, types de produits utilisés, fréquence d'utilisation, certification et respect des normes, formation et adaptation des utilisateurs ou du personnel ...

Contraintes d'hygiène, de sécurité et d'ergonomie : respect des réglementations en vigueur, respect de la marche en avant, facilité d'entretien, limitation et traitement des nuisances et des émissions de polluant, ambiances thermique, lumineuse et sonore, conditions de travail

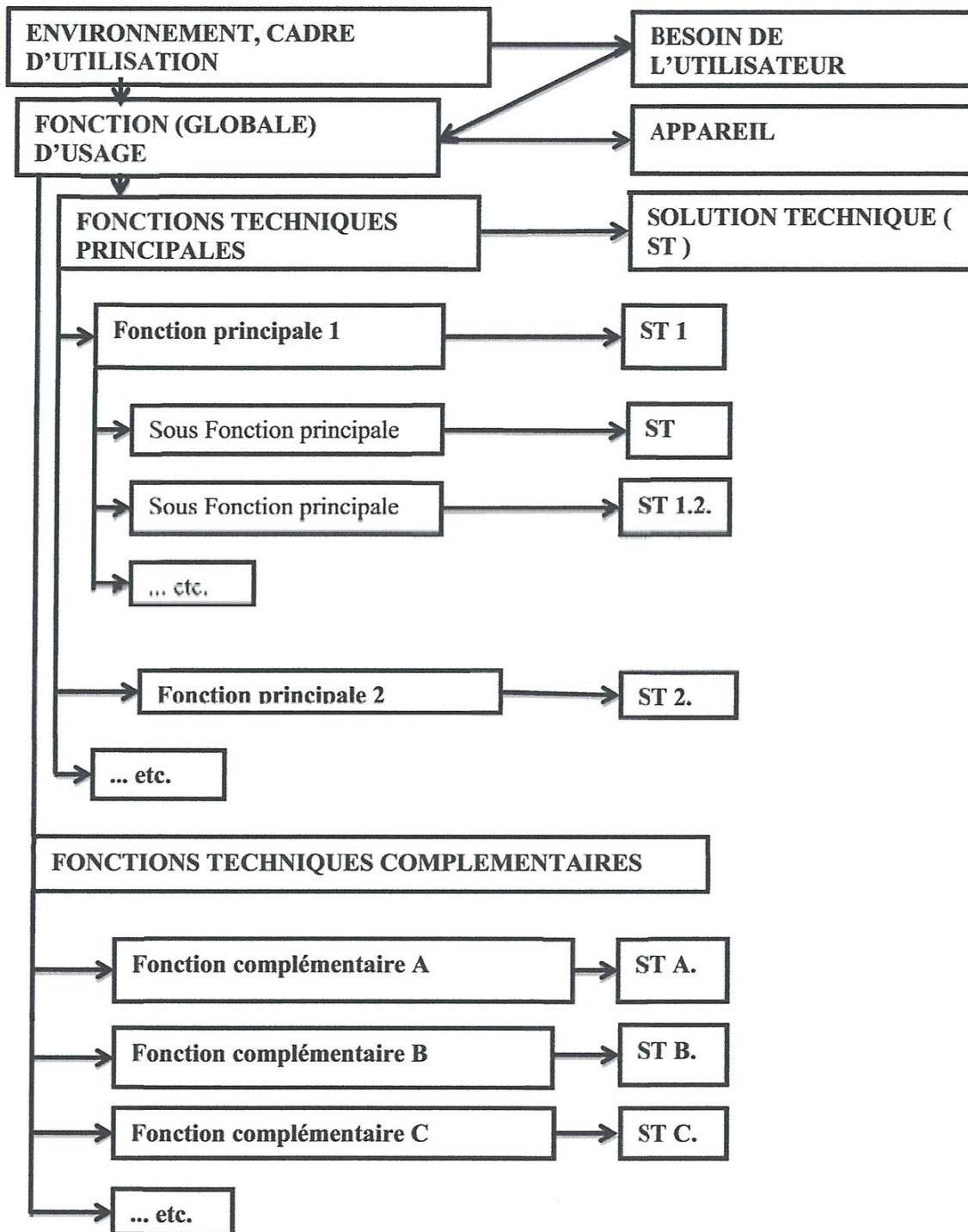


Figure 3.3 : La démarche de l'analyse fonctionnelle

1.3-Les outils utilisés pour l'analyse fonctionnelle dans l'étude de sûreté de fonctionnement [13]

Les principaux outils utilisés sont les suivants :

- **SADT (System Analysis and Design Technique)**: c'est une méthode d'analyse par niveaux successifs d'approche descriptive d'un ensemble, quel qu'il soit. On peut l'appliquer aussi bien à la gestion d'une entreprise qu'à un système automatisé.
- **BDF (blocs diagrammes fonctionnels)** : méthode de découpage fonctionnel du système.
- **Méthode MISME** : cette méthode considère l'ensemble des composants du système avec leurs interactions, ainsi que les milieux environnants.
- **Analyse préliminaire des risques (APR)** : qui fournit l'ensemble des événements redoutés prévisionnels dans toutes les phases de vie du système (de la conception au rebut, en passant par la mise en service, l'exploitation et la maintenance).
- **AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité)** : cette méthode exhaustive examine les potentialités de dysfonctionnements de chacun des éléments composant le système, à un niveau de détail choisi à l'avance. Elle permet de quantifier la probabilité d'apparition de ladite défaillance et de classer ses effets par ordre de gravité, la combinaison de ces deux estimations fournissant la criticité de l'élément retenu. A l'issue de cette phase, et pour les éléments les plus critiques, il sera procédé à une fiabilisation, ou bien à l'adjonction d'un dispositif de réduction du risque.
- **l'AEEL (Analyse des Effets des Erreurs Logicielles)** : cette méthode est l'adaptation au logiciel de la méthode AMDEC.

Enfin, pour modéliser le système ainsi analysé, on utilise :

- **Les arbres de défaillance** : L'analyse par un Arbre de Défaillances (AdD) est une méthode qui permet, à partir d'un événement redouté, recensé à l'aide d'une APR (Analyse Préliminaire des Risques), de déterminer les enchaînements d'évènements ou combinaisons d'évènements pouvant conduire à cet événement redouté. Cette analyse permet de descendre de cause en cause jusqu'aux évènements de base susceptibles d'être à l'origine de l'évènement redouté.

1.4 - Application de l'analyse fonctionnelle sur le turbo-alternateur GZ-1164

Le système va-t-être décomposé en quatre sous-système comme suite :

Sous-système	Fonction
Turbine à vapeur Type: TGRZ Série : B-101 3625 Puissance normale : 258kw	Entraîner un alternateur avec une vitesse de 9000 tr /min
Alternateur	Production d'électricité de 10MVA
Réducteur de vitesse	assurer la diminution de la vitesse de rotation entre la turbine et l'alternateur de 9000 tr/min à 1500 tr/min
Les systèmes d'accouplement	Transmettre une puissance de 258 kW au réducteur

Tableau 3.5 : Composants du système

La figure (3.4) représente l'analyse fonctionnelle du turbo-alternateur GZ1164

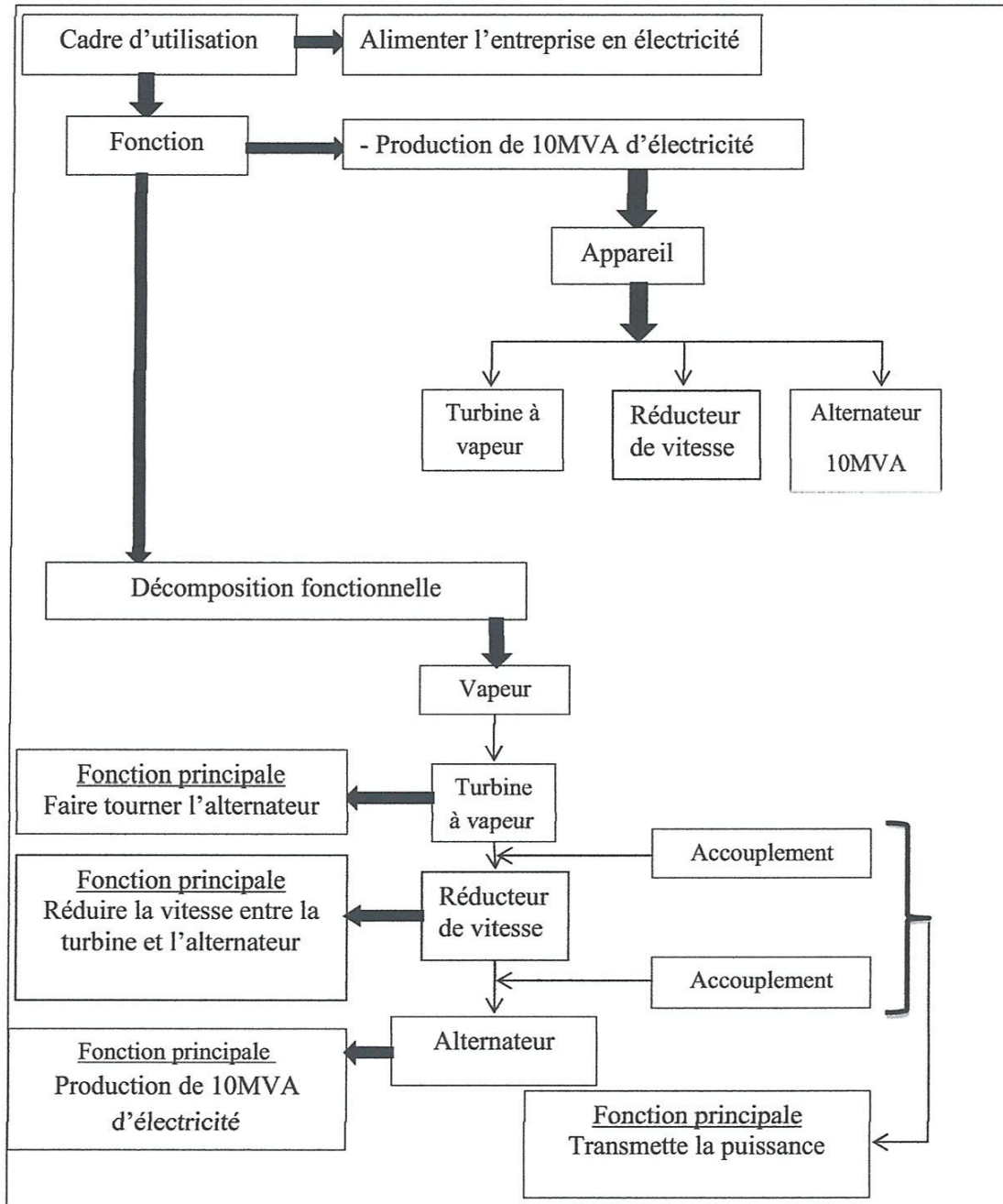


Figure 3.4 : Décomposition fonctionnelle du système

2- Analyse des modes des défaillances de leurs effets et de leurs criticité

Le mode de défaillance est la caractéristique perceptible ou observable de la défaillance. Cette phase consiste à recenser de la façon la plus complète possible tous les modes de défaillances possibles et potentiels de l'entité analysée. Pour l'analyse des modes de défaillance qui ne sont autres que le dysfonctionnement des systèmes du procédé, nous avons consulté le dossier historique et on a obtenu le tableau suivant :

Causes	Effets
-Jeux excessif des paliers. -Température élevée du lubrifiant. -Balourd sur le rotor. -Jeux de palier trop petit (frottement).	-Arrêt d'urgence -Déplacement axial -Endommagement de la roue d'aspiration (perte de production).
- Jeux excessif au niveau des paliers. -Vitesse au voisinage de la vitesse critique.	Arrêt d'urgence (diminution de la production).
-Défaillance du roulement. - Usure des charbons. - Equilibrage du ventilateur de l'alternateur.	- Arrêt d'urgence. - Surchauffe du palier. - Arrêt d'urgence. - Déplacement axial.
- Changement du palier de turbine. - Refoulement de la graisse.	-Arrêt d'urgence. -Déplacement axial
-Résonance d'un organe. -Usure d'accouplement.	-Arrêt d'urgence. -Déplacement axial.
- Alignement insuffisant de la turbine. - Vibration élevée.	Arrêt d'urgence (perte de production).
-Alternateur à la masse.	- Arrêt d'urgence. - Usure port de charbons.
- Changement du rotor de la turbine. -Désalignement. -Balourd.	Arrêt d'urgence (perte de production).
- Cisaillement des boulons d'ancrage. - Desserrage répétitif des boulons. - Le massif de la charpente non conforme. - Fissuration du massif du ventilateur. - La Gaine de compensation déchirée. -Vibration excessif.	-Arrêt d'urgence. -Déplacement verticale. - Vibration élevée.
-Balourd sur le rotor.	Arrêt d'urgence (diminution de la production).
-Desserrage des vis d'assemblage. -Surcharge.	-Mauvaise transmission. -Usure des paliers.
-Déplacement axial de rotor. -Balourd sur le rotor. - Déséquilibre du rotor de turbine.	-Dégradation de fonctionnement de turbine. - Dépassement du seuil de la norme.
- Usure des dents de la roue. - Bruit. - Vibration très élevée.	- Arrêt d'urgence. - Déplacement vertical.
-Bobinage défectueux.	- Arrêt d'urgence. - Charge électrique.

- Jeux d'accouplement (Fatigue de transmission). -Désalignement.	-Usure des boulons d'accouplement.
-Désalignement.	Arrêt d'urgence (diminution de la production).

Tableau 3.6 : Causes et effets des principales défaillances

Les tableaux ci-dessous regroupent les résultats de l'analyse AMDEC du turbo-alternateur

Analyse des Modes de défaillance, de leurs Effets et leur Criticité

Sous-système	Fonction	DEFAILLANCES			CRITICITE				Détection
		Modes	Causes	Effets	F	D	G	C	
Turbine à vapeur Type: TGRZ Série : B-101 3625 Puissance normale : 258kw	Entraîner un réducteur avec une vitesse de 9000 tr /mn	Vibration élevée + Augmentation de la température	- Jeux excessif des paliers. -Température élevée du lubrifiant -Jeux de palier trop petit (frottement)	-Arrêt d'urgence -Déplacement axial la roue d'aspiration (perte de production).	2	1	3	6	Visuel
			-Jeux excessifs au niveau des paliers. -Vitesse au voisinage de la vitesse critique.	Arrêt d'urgence (diminution de la production).	2	3	2	12	
		Augmentation de la température	- Changement du palier de la turbine. - Refoulement de la graisse.	-Arrêt d'urgence. -Déplacement axial	1	1	4	4	Alarme du système de mesure de la température
		Vibration élevée	- Alignement insuffisante de la turbine. - Vibration élevée.	Arrêt d'urgence (perte de production).	2	3	3	18	Visuel
		Vibration élevée	- Changement de rotor de la turbine. -Désalignement.	Arrêt d'urgence (perte de production).	1	2	3	6	Visuel
			-Balourd sur le rotor.	Arrêt d'urgence (perte de production).	1	3	4	12	Visuel

				2	1	2	4	Visuel	
Alternateur	Production d'électricité de 10MVA	Déclanchement de disjoncteur Vibration élevée Augmentation de la température	- Desserrage des vis d'assemblage. - Surcharge. - Déplacement axial de rotor. - Balourd sur le rotor. - Déséquilibre du rotor de turbine. - usure des dents des roues. - vibration très élevée. - Usure des charbons	- Mauvaise transmission. - Usure des paliers.	1	3	4	12	Visuel
				- Arrêt d'urgence. - Déplacement verticale.	1	3	4	12	Visuel
				- Arrêt d'urgence. - Usure port de charbons.	2	2	1	4	Visuel
				- Arrêt d'urgence. - Déplacement axial.	1	3	4	12	
				- Arrêt d'urgence. - Charge électrique.	1	2	4	8	Alarme du système de mesure de la température

Réducteur de vitesse	assure la diminution de la vitesse de rotation entre la turbine et l'alternateur de 9000 tr/min à 1500 tr/min	Bruit anormal Vibration élevée	-Défaillance du roulement.	- Arrêt d'urgence. - Echauffement des paliers.	1	4	4	16	Apparent (audible)
			- Cisaillement de boulon d'ancrage. - Desserrage répétitif des boulons. - Le massif de la charpente non conforme. - Fissuration du massif du ventilateur. - La Gaine de compensation déchirée.	- Arrêt d'urgence. - Déplacement vertical. - Vibration élevée.	1	3	3	9	Visuel
Les systèmes d'accouplement	Transmettre une puissance de 258 kW au réducteur et à l'alternateur	Vibration élevée	-Désalignement du rotor de réducteur	- vibration et bruit anormaux	1	2	4	8	Visuel
			- Usure des dents des engrenages du réducteur	- Vibration élevée. - Bruit anormal.	2	4	4	<u>32</u>	Apparent (audible)
Les systèmes d'accouplement	Transmettre une puissance de 258 kW au réducteur et à l'alternateur	Vibration élevée	-Résonance d'un organe -Usure d'accouplement.	-Arrêt d'urgence. -Déplacement axial.	1	3	3	9	Visuel
			- Jeux d'accouplement (Fatigue de transmission). -Désalignement.	-Usure des boulons d'accouplement.	2	2	4	16	Visuel

2.1- Tableau de classification des éléments par leurs criticités

On a choisi la valeur 16 comme seuil de criticité, les éléments dont la criticité dépasse 16 sont regroupés par ordre décroissant dans le tableau (3.7). C'est sur ces éléments qu'il faut agir en priorité en engageant des actions correctives appropriées.

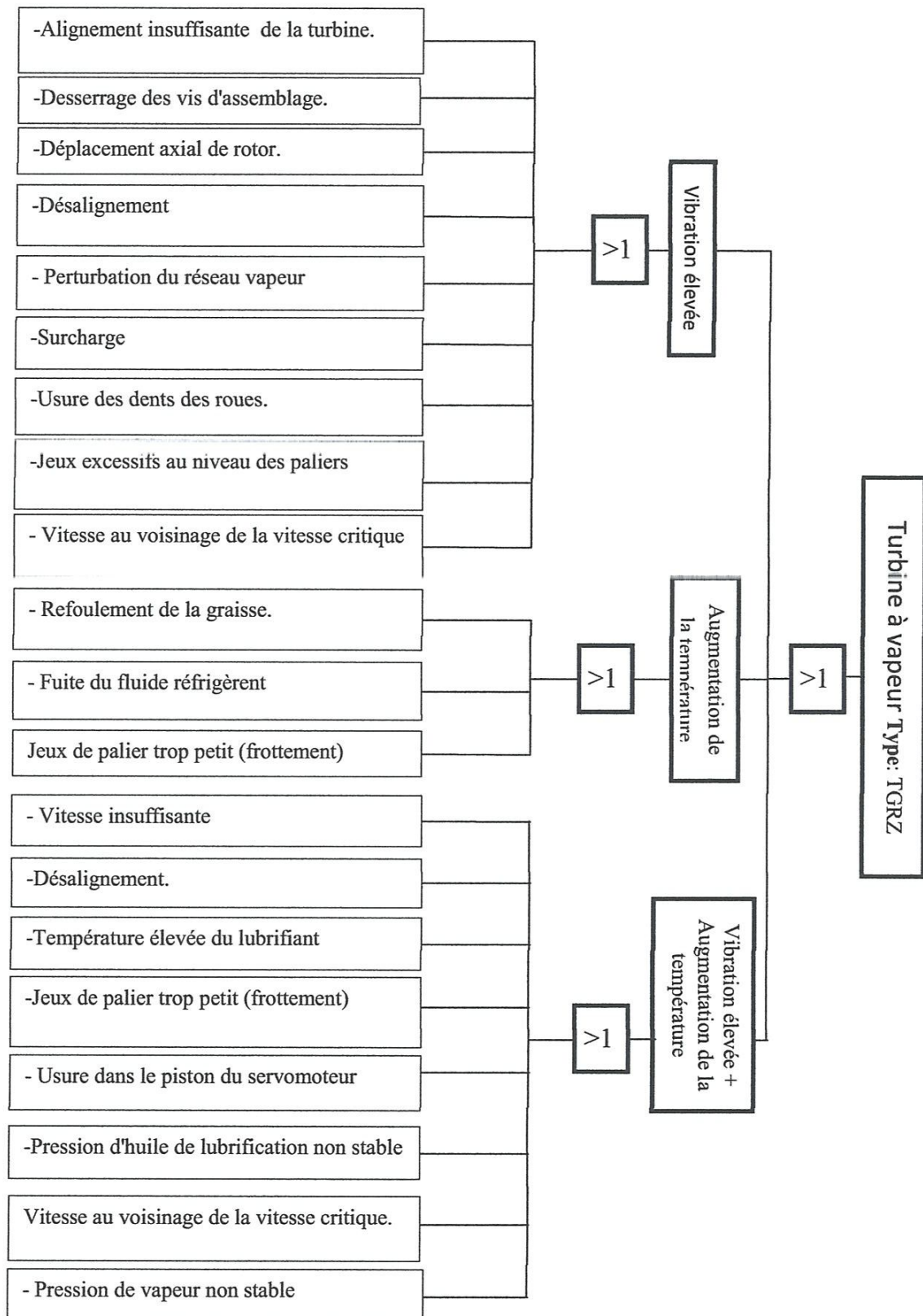
Mode de défaillance	Criticité	Actions correctives à engager
-Défaillance du roulement de réducteur. - Jeux d'accouplement (Fatigue de transmission). -Désalignement.	16	-Surveillance vibratoire permanente du réducteur - Traitement des signaux mesurés par utilisation des outils adaptés aux défauts de roulements - Vérifier l'état général de l'accouplement - Vérifier l'allignement
- Alignement insuffisant de la turbine. - Vibration élevé.	18	Surveillance vibratoire permanente
Usure des dents des engrenages du réducteur	32	- Surveillance vibratoire permanente par utilisation d'indicateurs spécifiques - Traitement des signaux mesurés par utilisation des outils adaptés aux défauts d'engrenages (à développer dans le chapitre 4)

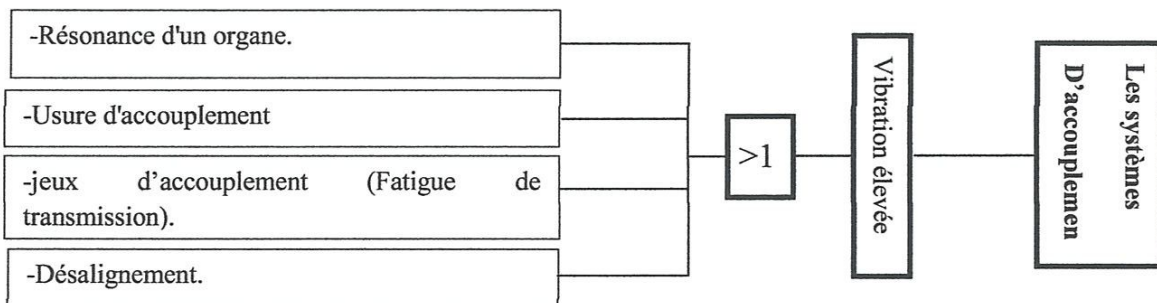
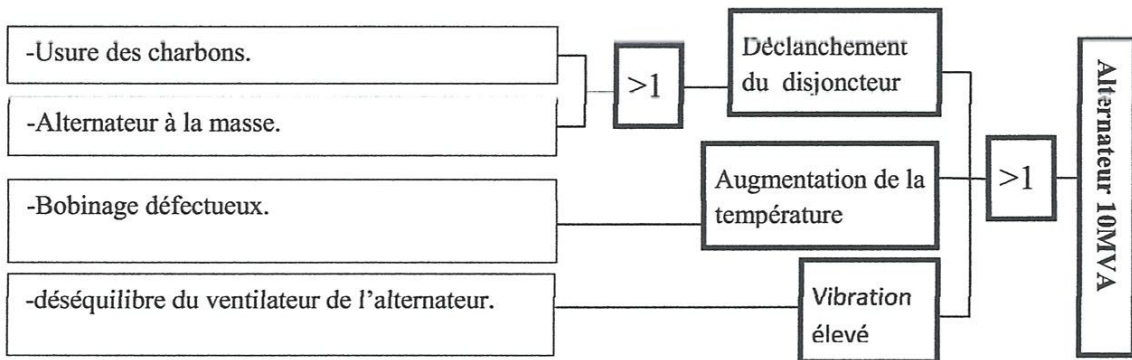
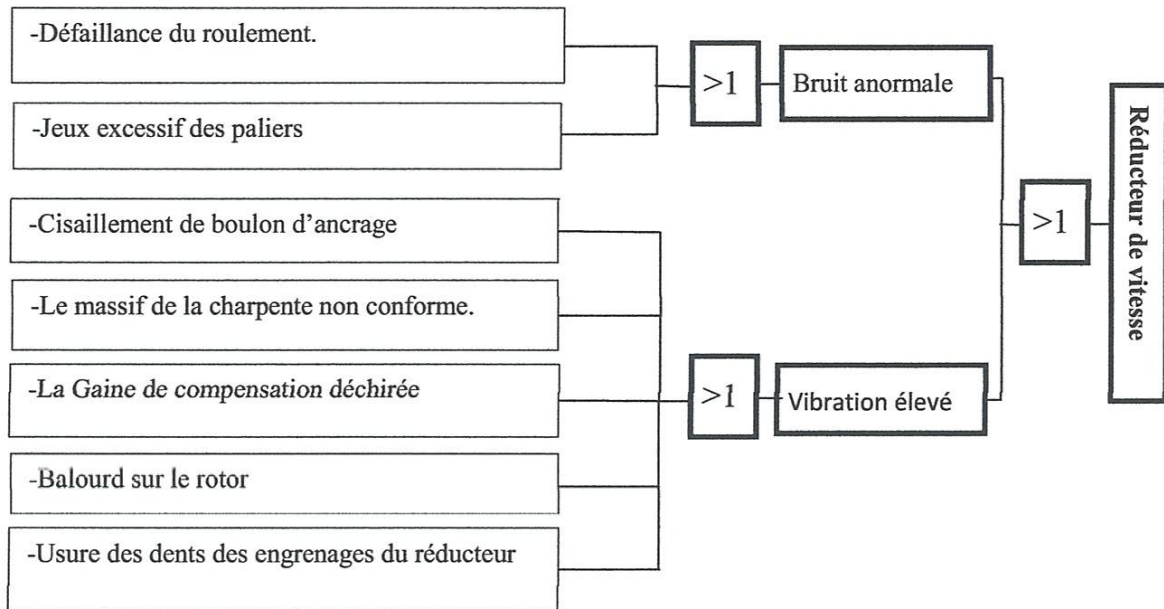
Tableau 3.7 : Actions correctives à engager

D'après les résultats de l'analyse AMDEC, on constate que les défauts générés par le réducteur sont classés comme étant les plus critiques. A cet effet, la politique de maintenance à utiliser se résume principalement dans une surveillance vibratoire permanente par des indicateurs globaux spécifiques. En plus un traitement des signaux mesurés par des techniques adaptées aux engrenages est indispensable (chose à développer au chapitre 4).

3-Arbre de défaillance

En se référant aux techniques de construction des arbres de défaillance, nous avons pu établir les arbres qui suivent





III-Etude de la fiabilité du turbo-alternateur GZ-1164

1-Présentation des Temps de Bon Fonctionnement (TBF)

Le calcul des Temps de Bon Fonctionnement (TBF) est la première étape avant d'entamer des études de fiabilité par des modèles mathématiques. A ce propos, à partir de l'historique des pannes de l'entreprise, nous avons calculé les TBF du turbo-alternateur sur lequel nous allons travailler (GZ 1164.2). Les différents TBF sont présentés dans le tableau suivant en heures.

NB : Le turbo-alternateur travaille en continu 24h/24.

TBF (H)	
20	624
24	672
24	720
48	720
48	744
96	816
168	840
168	912
216	1008
216	1032
240	1152
240	1248
240	1440
308	1464
432	1580
456	1704
458	2016
480	2208
504	2640
624	2712
Total : 31262	

2- Etude de la fiabilité

Dans cette partie nous allons entamer l'étude de fiabilité du turbo-alternateur GZ 1164.2. Nous allons utiliser le modèle mathématique le plus utilisé en pratique ; le modèle de Weibull. Pour accélérer les calculs qui demandent beaucoup de temps par les méthodes graphiques, nous avons utilisé le logiciel de l'analyse de fiabilité « Relia Soft **Weibull++8** » qui permet les études de fiabilité par plusieurs modèles en partant seulement des TBF déjà présentés auparavant. Nous allons présenter les résultats obtenus par le modèle de Weibull.

2.1- Résultats

$\beta = 1.015707$

$\eta = 830,17$ heures

$\gamma = - 16,1$

$MTBF = A \eta + \gamma$ Avec $A=1$

$MTBF = 814,068961$ h (A : paramètre obtenu par l'annexe du modèle)

On constate que le turbo-alternateur est en fin de période de maturité et commence à entrer dans la période de vieillesse. Sa durée moyenne de bon fonctionnement est égale à 814 heures. A cause de sa grande importance dans le processus de production, des visites préventives seront programmées chaque 400 heures (la période d'une visite préventive est égale à $k \cdot MTBF$, avec $k=0.5 : 0.8$). Bien évidemment, nous n'avons pas pu calculer la période optimale des visites préventives par la méthode de Kelly parce que nous ne disposons pas des données relatives aux coûts de maintenance préventive et de maintenance corrective.

2.2- Représentation graphique des fonctions de fiabilité

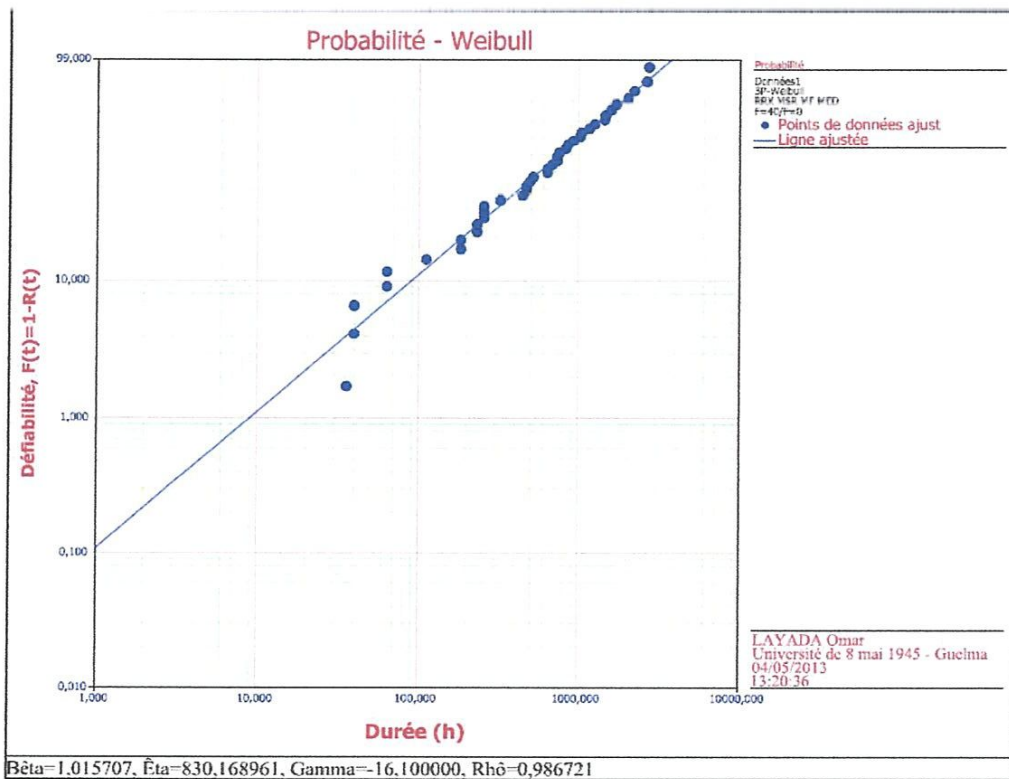


Figure 3.4 : Représentation des TBF sur le papier de Weibull

La fonction de fiabilité est donnée par l'équation de $R(t)$:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)} = e^{-\left(\frac{t+16}{830,17}\right)}$$

Avec : $R(t=MTBF) = 36,78\%$

Cette fonction permet d'estimer, pour n'importe quel instant, la probabilité de bon fonctionnement du turbo-alternateur. En plus la valeur de la fiabilité pour $t=MTBF$ est égale à 35.85 % ce qui implique que ce turbo-alternateur a 36,78 % de chances de vivre jusqu'à MTBF, donc il n'est pas fiable.

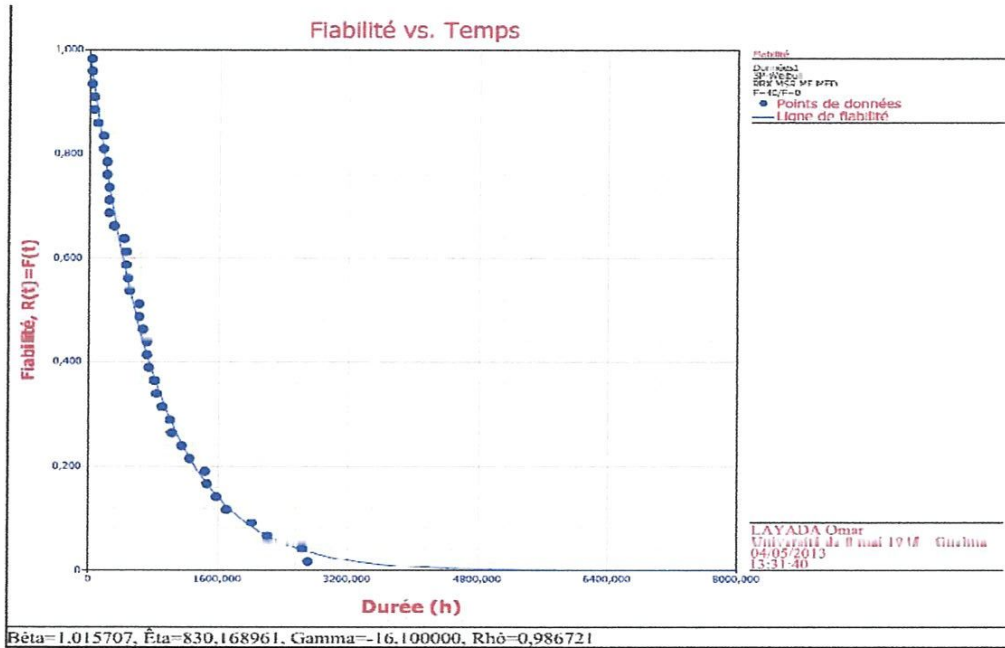


Figure 3.5 : Fonction de fiabilité R(t)

Le taux de défaillance est donné par l'équation de $\lambda(t)$:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta - 1} = \frac{1,01}{830,17} \left(\frac{t + 16,1}{830,17} \right)^{-0,01}$$

Il est sensiblement constant avec le temps (figure 3.6) ceci est dû à la valeur de $\beta=1,01$. Le turbo-alternateur est donc en fin de la période de maturité. On appliquera une politique de maintenance adéquate avec des contrôles très renforcés.

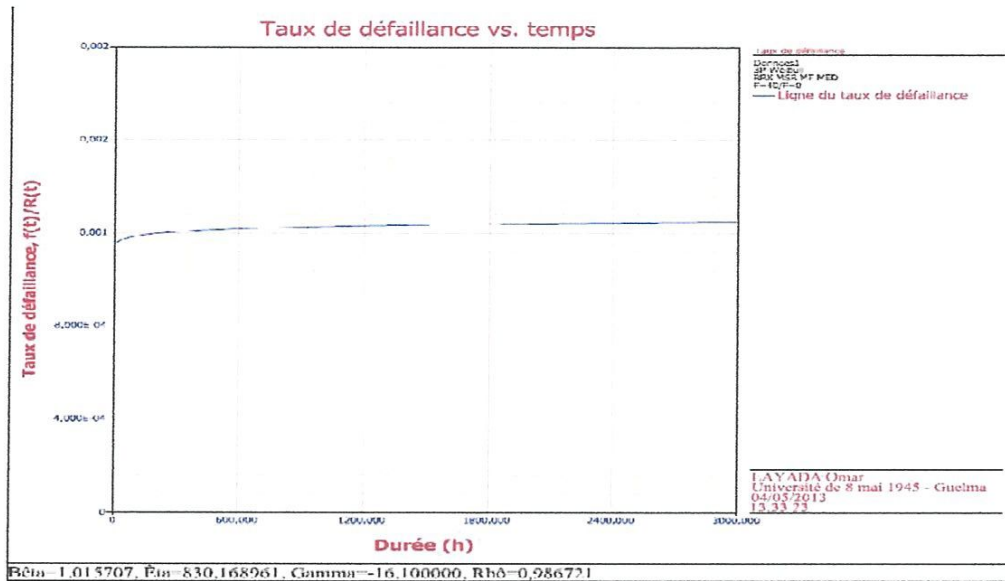


Figure 3.6 : Taux de défaillance $\lambda(t)$

La densité de probabilité de défaillance est donnée par l'équation de $f(t)$:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta - 1} \cdot e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta} = \frac{1,01}{830,17} \left(\frac{t + 16,1}{830,17} \right)^{-0,01} \cdot e^{-\left(\frac{t + 107,6}{830,17} \right)^{1,01}}$$

La figure (3.7) montre que cette fonction est décroissante avec le temps. Elle montre également qu'il y a des pannes qui se manifestent bien avant la MTBF égale à 830.17 h.

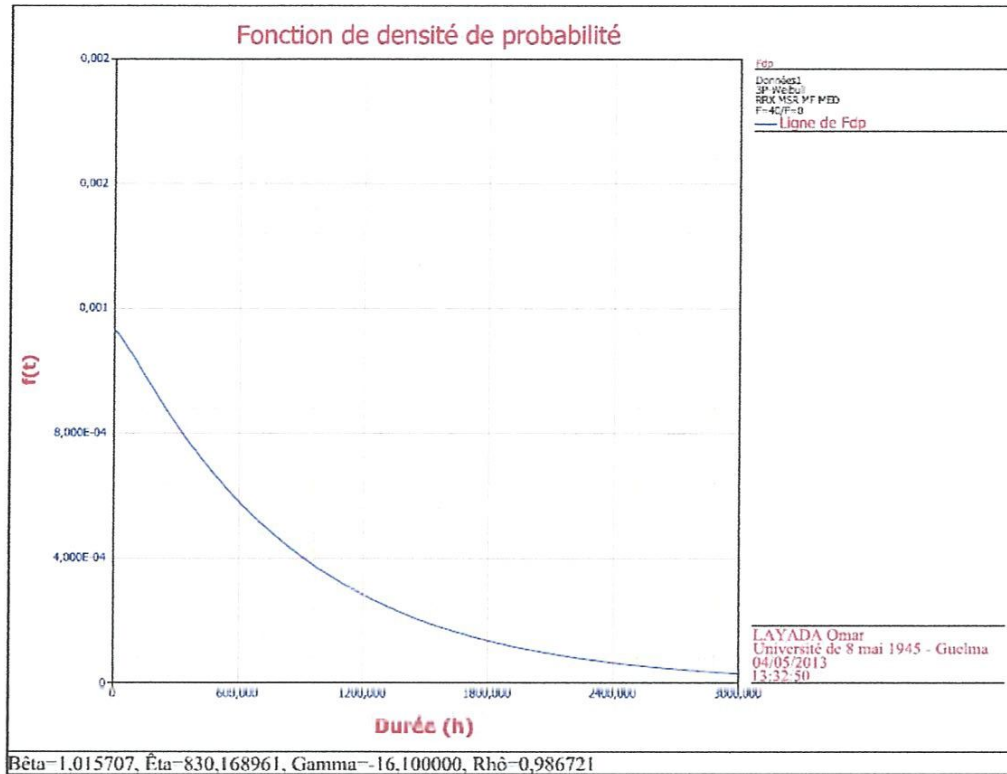


Figure 3.7 : Densité de probabilité de défaillance $f(t)$

3- Test d'adéquation des modèles de fiabilité : Test de Kolmogorov-Smirnov.

Le principe de ce test est de comparer la fonction réelle de répartition des défaillances à la fonction de répartition théorique. On mesure point par point l'écart entre ces deux fonctions par le modèle :

$$D_{ni} = |f(t) - F(t)|$$

Telle que $f(t)$ est la fonction de répartition réelle, elle peut être obtenue par la méthode des rangs moyens : $f(t) = i/n + 1$

$F(t)$ est la fonction théorique.

Le test se résume à vérifier si : $D_n < D_{n,\alpha}$, tels que :

$D_n = \text{Max} |f(t) - F(t)|$ et $D_{n,\alpha}$ est donnée par la table de Kolmogorov-Smirnov (voir annexe du teste). $D_{n,\alpha} = D_{40,5\%} = 1.36/\sqrt{40} = 0.215034$

N°	TBF (h)	F(t)	$f(t)=i/n+1$	Dn
01	20	0,040550	0,02439024	0,01615976
02	24	0,045014	0,04878049	0,00376649
03	24	0,045014	0,07317073	0,02815673
04	48	0,714850	0,09756098	0,02607598
05	48	0,714850	0,12195122	0,05046622
06	96	0,122653	0,14634146	0,02368846
07	168	0,194730	0,17073171	0,02399829
08	168	0,194730	0,19512195	0,00039195
09	216	0,239699	0,21951220	0,02018680
10	216	0,239699	0,24390244	0,00420344
11	240	0,261287	0,26829268	0,00700568
12	240	0,261287	0,29268293	0,03139593
13	240	0,261287	0,31707317	0,05578617
14	308	0,319330	0,34146341	0,02213341
15	432	0,414077	0,36585366	0,04822334
16	456	0,430878	0,39024390	0,04063410
17	458	0,432256	0,41463415	0,01762185
18	480	0,447209	0,43902439	0,00818461
19	504	0,463084	0,46341463	0,00033063
20	624	0,536016	0,48780488	0,04821112
21	624	0,536016	0,51219512	0,02382088
22	672	0,562390	0,53658537	0,02580463
23	720	0,587291	0,56097561	0,02631539
24	720	0,587291	0,58536585	0,00192515
25	744	0,599215	0,60975610	0,01054110
26	816	0,632989	0,63414634	0,00115734
27	840	0,643612	0,65853659	0,01492459
28	912	0,673696	0,68292683	0,00923083
29	1008	0,709943	0,70731707	0,00262593
30	1032	0,718365	0,73170732	0,01334232
31	1152	0,756985	0,75609756	0,00088744
32	1248	0,784068	0,78048780	0,00358020
33	1440	0,829587	0,80487805	0,02470895
34	1464	0,834562	0,82926829	0,00529371
35	1580	0,856649	0,85365854	0,00299046
36	1704	0,877032	0,87804878	0,00101678
37	2016	0,916464	0,90243902	0,01402498
38	2208	0,934183	0,92682927	0,00735373
39	2640	0,961552	0,95121951	0,01033249
40	2712	0,964852	0,97560976	0,01075776

On a $D_{n, \max} = 0,05578617 \ll D_{n, \alpha} = D_{40, 5\%} = 0.215034$

Donc le modèle est acceptable avec un risque d'erreur de 5%

Conclusion du chapitre

Ce chapitre était destiné à l'optimisation de la sûreté de fonctionnement du turbo-alternateur GZ-1164, pris comme exemple, par l'application de l'approche OMF (Optimisation de la Maintenance par la Fiabilité).

En premier lieu nous avons tout d'abord présenté la centrale 2 de l'entreprise FERTIAL-Annaba, ainsi que le turbo-alternateur GZ-1164 et ses composantes. Une analyse AMDEC a été par la suite réalisée pour examiner les potentialités de dysfonctionnements de chacun des éléments composant le système, à un niveau de détail choisi à l'avance. Elle nous a également permis de quantifier la probabilité d'apparition des défaillances et de classer les effets par ordre de gravité.

En deuxième lieu nous avons réalisé une étude de fiabilité par le modèle de Weibull. Les résultats permettent en pratique de programmer les visites préventives sur la base du MTBF. Ils nous permettent de savoir, à tout instant, la fiabilité et le taux de défaillance de cette installation. En plus les calculs montrent que le turbo-alternateur n'est pas fiable car il affiche une faible valeur de la fiabilité pour $t=MTBF$. En pratique on doit chercher les causes qui rendent cette machine non fiable et essayer d'améliorer sa fiabilité par des mesures adéquates.

CHAPITRE IV

STRATEGIE DE SUIVI ET DE DIAGNOSTIC VIBRATOIRE

I- Introduction à l'analyse vibratoire [21]

L'analyse vibratoire est un des moyens utilisés pour suivre la santé des machines tournantes en fonctionnement. Cela s'inscrit dans le cadre d'une politique de maintenance prévisionnelle de l'outil de production industrielle. Les objectifs d'une telle démarche sont de :

- ❖ Réduire le nombre d'arrêts sur casse ;
- ❖ Fiabiliser l'outil de production ;
- ❖ Augmenter son taux de disponibilité ;
- ❖ Mieux gérer le stock de pièces détachées, etc.

À partir des vibrations régulièrement recueillies sur une machine tournante, l'analyse vibratoire consiste à détecter d'éventuels dysfonctionnements et à suivre leur évolution dans le but de planifier ou reporter une intervention mécanique. La technologie permettant de réaliser une surveillance vibratoire est par mesure de l'accélération subie par les parties fixes de la machine (carters). Les moyens mis en œuvre sont, dans ce cas, beaucoup plus accessibles aux petites structures. À l'aide d'un accéléromètre relié à un collecteur de données, le technicien recueille les vibrations subies par les carters des machines. Cette technique se prête aussi bien à la surveillance on-line qu'à la surveillance périodique effectuée lors de rondes selon un calendrier préétabli. L'industrie lourde, généralement utilisatrice de turbomachines, a souvent recours à l'ensemble des deux technologies afin de réaliser une surveillance vibratoire performante de son outil de production.

Cependant, si les arbres des machines surveillées sont montés sur roulements (c'est le cas pour la majorité d'entre elles), une surveillance périodique par mesure sur les parties fixes permet une analyse très fine de l'état des machines. Les objectifs énoncés plus hauts sont donc atteints dès l'instant où l'activité est confiée à du personnel compétent et expérimenté. D'autre part, les coûts de préparation et de mise en œuvre étant très largement inférieurs à ceux de la technologie utilisant les capteurs à courants de Foucault, la surveillance périodique séduit les PMI. Même si ces dernières ne possèdent pas les compétences internes, elles n'hésitent plus à sous-traiter la surveillance vibratoire de leur parc de machines tournantes.

Le schéma de la figure (4.1) présente, de façon simplifiée, l'analyse vibratoire réalisée à partir de mesures effectuées sur les parties fixes des machines surveillées.

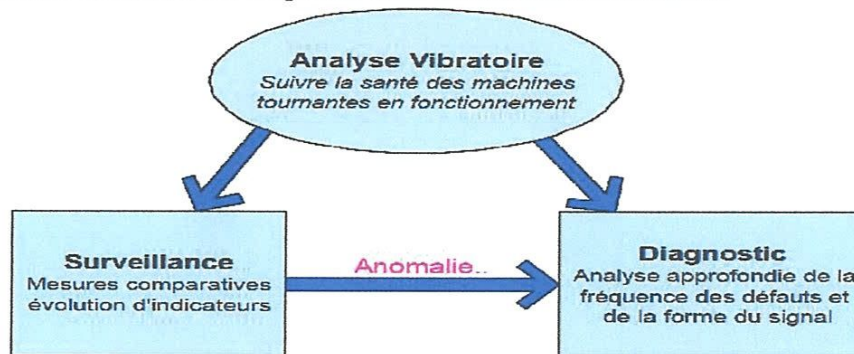


Figure 4.1 : Les branches de l'analyse vibratoire

On distingue communément deux principales activités :

- ❖ la surveillance : le but est de suivre l'évolution d'une machine par comparaison des relevés successifs de ses vibrations. Une tendance à la hausse de certains indicateurs par rapport à des valeurs de référence constituant la signature alerte généralement le technicien sur un dysfonctionnement probable. Idéalement, la signature est établie à partir d'une première campagne de mesures sur la machine neuve ou révisée ;
- ❖ le diagnostic : il met en œuvre des outils mathématiquement plus élaborés. Il permet de désigner l'élément de la machine défectueux suite à une évolution anormale des vibrations constatées lors de la surveillance. Le diagnostic n'est réalisé que lorsque la surveillance a permis de détecter une anomalie ou une évolution dangereuse du signal vibratoire. La surveillance peut être confiée à du personnel peu qualifié. Le diagnostic demande de solides connaissances mécaniques et une formation plus pointue en analyse du signal.

2- Classement « VIS » des machines [21]

Afin de ne pas surveiller inutilement des machines qui n'ont pas une importance capitale, les industriels établissent souvent le classement suivant :

- ❖ Machines Vitales : machines non doublées dont la panne entraîne l'arrêt de la production. Les frais et les délais de remise en état sont importants. Les pertes de production sont inacceptables ;
- ❖ Machines Importantes : machines doublées ou non dont la panne entraîne une baisse sensible de la production. Les frais et délais de remise en état sont importants, les pertes de production aussi ;
- ❖ Machines Secondaires : machines doublées ou dont une panne ne remet pas en cause les capacités de production.

Les critères de classement dans l'une ou l'autre de ces catégories peuvent varier d'un site à l'autre. En fonction de ce classement, d'un indice de vétusté, d'un indice de complexité des machines, on détermine les outils de surveillance à employer, leur paramétrage et la fréquence des campagnes de relevés (cf. exemple dans le tableau 4.1).

Complexité de la machine	Machine		
	Vitale	Importante	Secondaire
Complexe (Présence de réducteurs)	Surveillance spectrale	Surveillance spectrale	Surveillance par niveaux globaux
Simple (Une seule ligne d'arbre)	Surveillance spectrale	Surveillance par niveaux globaux	Surveillance par niveaux globaux

Tableau 4.1. Exemple de surveillance à mettre en œuvre

3- Proposition d'une démarche de suivi vibratoire pour les machines importantes de l'entreprise FERTIAL- ANNABA

La stratégie du suivi vibratoire utilisée par le service de maintenance de l'entreprise FERTIAL contient deux méthodes :

1. La première méthode est on-line (Bentley Nevada), réservée essentiellement pour des machines stratégiques telles que les turbo-ventilateurs, les turbo-compresseurs, ...etc.,
2. La deuxième est off-line caractérisée par des mesures régulières du niveau global des vibrations (généralement la vitesse).

Plusieurs remarques sont à signaler :

1. L'absence de toute analyse : le personnel intervenant se contente seulement des relevés indiqués par les deux méthodes mais ne procède à aucune analyse des signaux mesurés. Dans le cas d'augmentation du niveau global qui dépasse les seuils d'alarme ou de danger, les interventions se font par tâtonnement ;
2. Le matériel utilisé par le service off-line n'est pas adapté au suivi des machines importantes : le nombre de points est réduit, les bandes de fréquences aussi. Il est pratiquement impossible, dans le cas où on veut visualiser un spectre, de détecter certains défauts se manifestant aux hautes fréquences (défauts d'engrenages, défauts d'aubage des ventilateurs, défauts dans les turbines), ces organes sont les composants principaux des machines stratégiques de l'entreprise ;
3. Lors de notre séjour à l'entreprise, nous avons constaté une sérieuse discordance entre les valeurs indiquées par les sondes du système on-line et les capteurs de l'appareil de mesure off-line pour une même machine (turbo-compresseur). Ceci a créé un sérieux problème pour le service maintenance afin de programmer ou non une intervention sur cette machine.

A ce propos nous proposons une stratégie de suivi et d'analyse vibratoire réalisée autour des points suivants :

1. Reclasser les machines et cibler les machines stratégiques dont l'arrêt provoque directement l'arrêt de la production et peut provoquer un risque d'accident pour le personnel. D'après notre modeste connaissance des machines de l'entreprise, les turbo-ventilateurs, les turbo-compresseurs et les turbo-alternateurs feront partie (101 J, 101 BJT, 103 J, 105 J, K17 et le GZ1164.2) ;
2. Acquérir un matériel de mesure vibratoire adapté au besoin de l'entreprise permettant également, au moins, une analyse spectrale et cepstrale ;
3. Etude cinématique des machines stratégiques, calcul des fréquences caractéristiques des défauts potentiels et déterminer les bandes de mesures fréquentielles couvrant tous les défauts ;
4. Remplacer les sondes défectueuses du système on-line ;

3.1- Exemple de diagnostic vibratoire d'une machine stratégique de l'entreprise FERTIAL-Annaba

Nous présentons dans l'exemple suivant l'analyse du comportement vibratoire du turbo alternateur GZ1164.2 (Centrale 2), composé d'une turbine à vapeur, un réducteur ($F_{r1}=150\text{Hz}$, $F_{r2}=25\text{ Hz}$, rapport de transmission=6, Fréquence d'engrènement $F_e=6125\text{ Hz}$) et d'un

alternateur. Cette expertise a été faite sur la demande du service maintenance de l'entreprise après avoir enregistré un niveau important de vibrations dépassant le seuil d'alarme ainsi qu'un bruit anormal. L'objectif de cette étude est de montrer qu'en appliquant une politique de maintenance conditionnelle par analyse vibratoire adéquate, on peut détecter le problème et programmer ainsi les actions de maintenance correspondantes.

Les mesures ont été réalisées le 29/12/2012 au niveau de l'entreprise FERTIAL-Annaba dans le cadre d'un projet national de recherche PNR par une équipe de recherche du Laboratoire de Mécanique et Structures (LMS) de l'Université de Guelma. Le matériel de mesure utilisé dans cette campagne d'essai est un analyseur de vibrations PULSE 16.1, deux accéléromètres, l'un mono-axial (industriel) et l'autre tri-axial. Les mesures sont capturées en basses, moyennes et hautes fréquences afin de cerner les différents défauts susceptibles d'apparaître sur le turbo alternateur. Les méthodes de traitement des signaux mesurés sont l'analyse spectrale, cepstrale et l'analyse multirésolution en ondelette (spectre d'enveloppe).

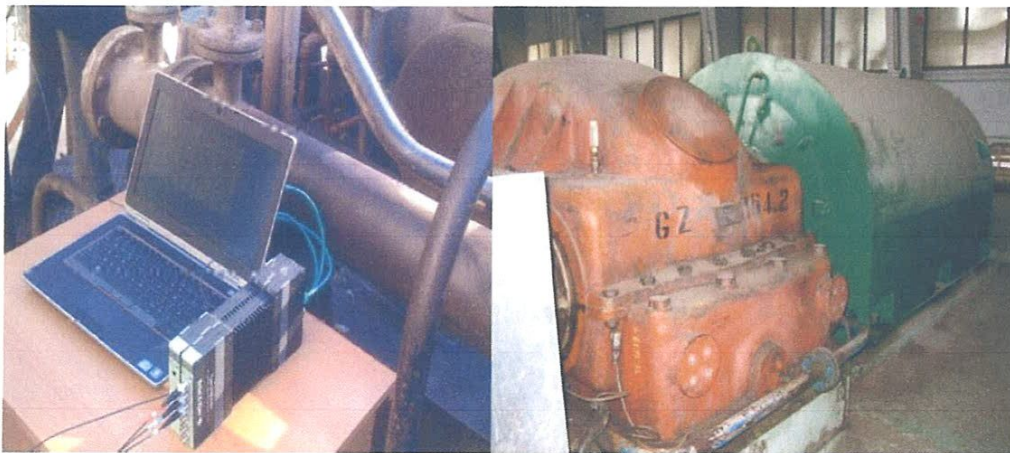


Figure 4.2 : Analyseur PULSE et le turbo-alternateur 1164.2

3.2- Résultat et discussion

Après avoir établi l'étude cinématique du turbo-alternateur, calculé tous les défauts qui peuvent apparaître ainsi que leurs fréquences caractéristiques, nous avons commencé à traiter les signaux mesurés sur tous les paliers de la machine par l'analyse spectrale.

La figure (4.3) montre le signal d'accélération mesuré sur le palier 3 du réducteur dans la direction axiale dans la bande de fréquence [0-25600Hz]. Nous présentons sur la figure (4.4) son spectre qui montre l'apparition de la fréquence d'engrènement ($F_e=6125$ Hz) et ses harmoniques ($2F_e=12250$ Hz et $3F_e=18375$ Hz). Les zooms 1,2 et 3 montrent que la fréquence d'engrènement et ses harmoniques sont modulées par la fréquence de l'arbre d'entrée du réducteur ($F_{r1}=150$ Hz) et la fréquence de l'arbre de sortie ($F_{r2}=25$ Hz), ce qui signifie qu'on est en présence d'un défaut sur les dents de la roue et du pignon. La décroissance des amplitudes de F_e et de ses harmoniques $2F_e$ et $3F_e$, confirme qu'on est bien en présence d'une usure des dents.

D'après les zooms sur les zooms 1, 2 et 3, on constate que les amplitudes des modulations de F_e , $2F_e$ et $3F_e$ sont plus faible pour la fréquence de la roue (....., F_e-2F_{r2} , F_e-F_{r2} , F_e ,

Fe+Fr2, Fe+2Fr2,.....) que pour celles du pignon (.....,Fe-2Fr1, Fe-Fr1, Fe, Fe+Fr1, Fe+2Fr1,.....), donc l'état du pignon est plus dégradé que celui de la roue.

Pour confirmer ce résultat, nous présentons sur la figure (4.4) une représentation cepstrale du même signal. Le cepstre montre clairement l'apparition des deux harmoniques correspondant aux fréquences d'entrée et de sortie du réducteur avec un peigne décroissant, ce qui confirme la présence du défaut sur la denture de la roue et du pignon.

Enfin, nous présentons sur la figure (4.5) un résultat issu de l'analyse multirésolution en ondelette du signal de la figure (4.3), qui permet de bien filtrer et débruiter le signal mesuré. La figure montre le spectre d'enveloppe du détail D1, sur lequel on voit clairement l'apparition des harmoniques des fréquences de rotation de la roue et du pignon, donc cela confirme encore une fois la présence de défaut sur la roue et le pignon.

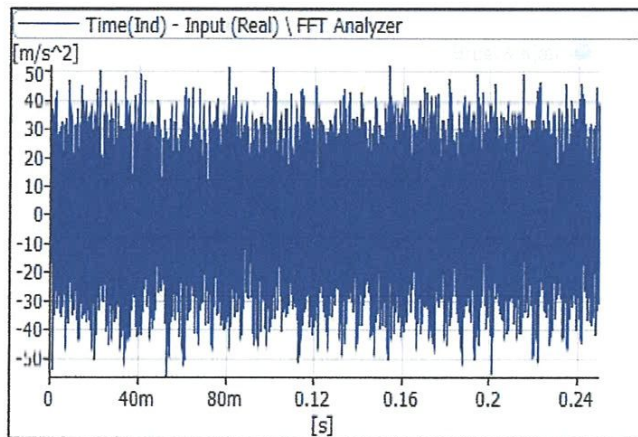


Figure 4.3 : Signal mesuré sur le palier 3 dans la bande de fréquence [0-25600 Hz]

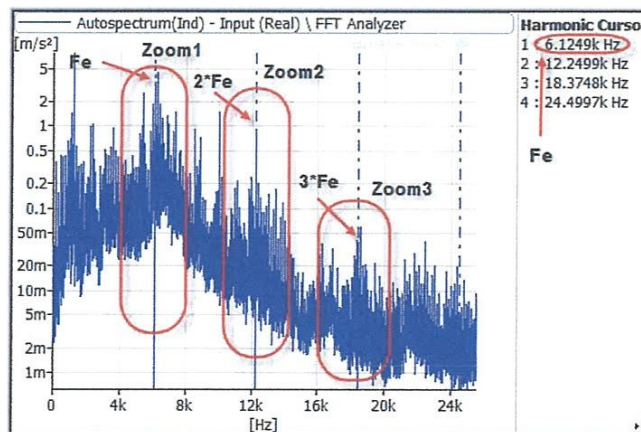
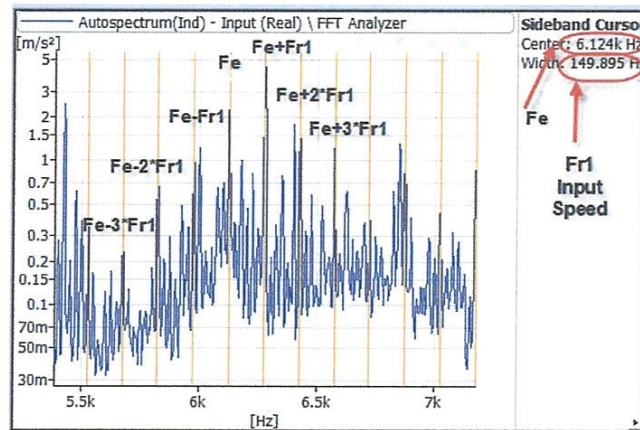
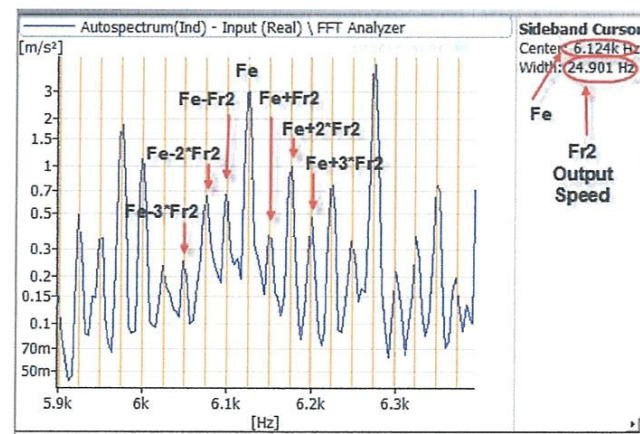


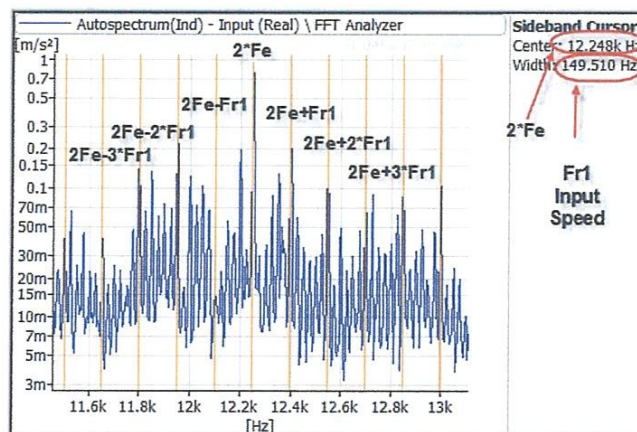
Figure 4.3 : Spectre du signal mesuré sur le palier 3 dans la bande de fréquence [0-25600 Hz]



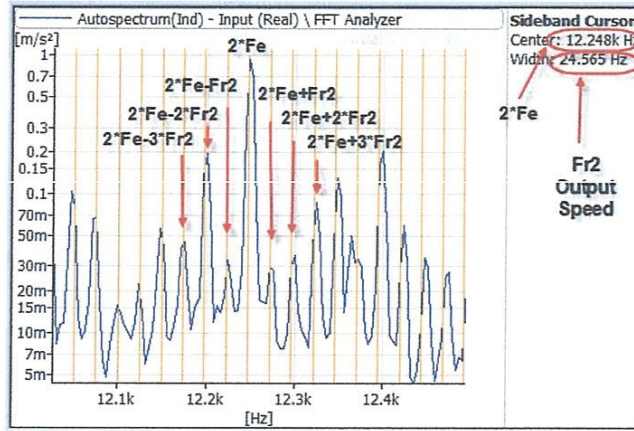
Zoom 1 autour de Fe



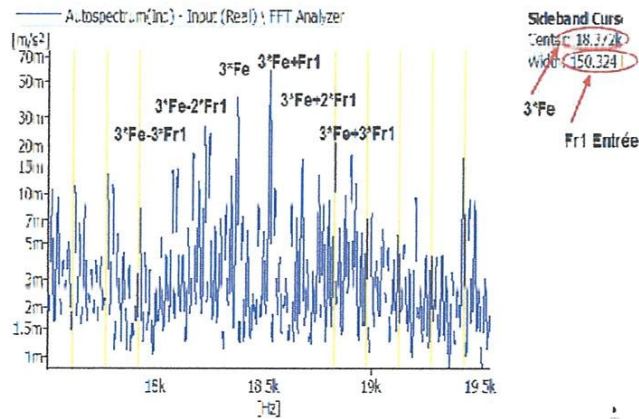
Zoom sur le Zoom 1



Zoom 2 autour de 2Fe



Zoom sur le zoom 2



Zoom 3 autour de 3Fe

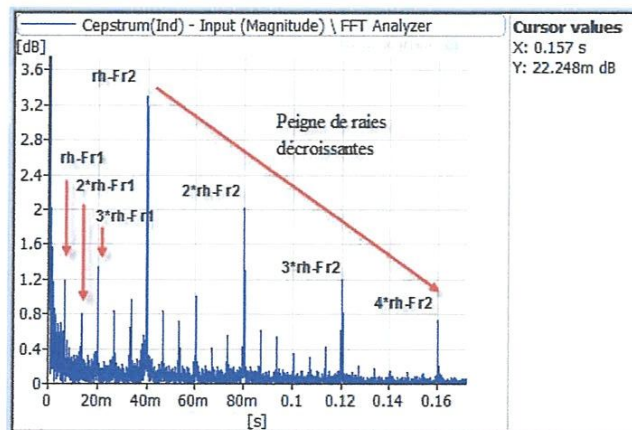


Figure 4.4 : Cepstre du signal mesuré sur le palier 3 dans la bande de fréquence [0-25600 Hz]

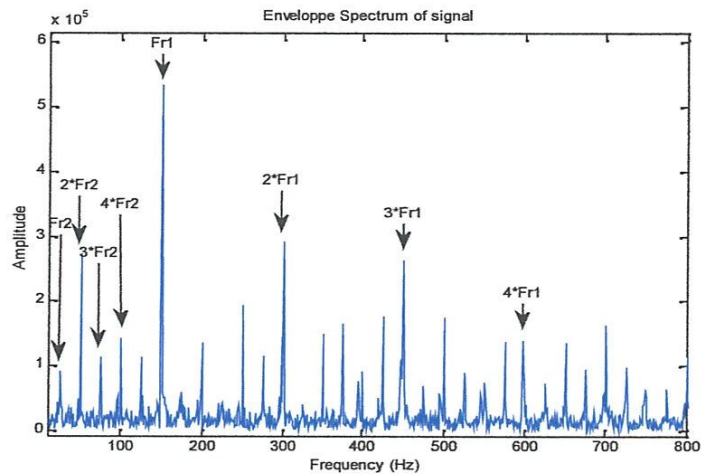


Figure 4.5 : Spectre d'enveloppe des coefficients d'ondelettes du signal mesuré sur le palier 3 dans la bande de fréquence [0-25600 Hz]

Conclusion du chapitre

Ce chapitre concerne la proposition d'une démarche de suivi et de diagnostic vibratoire des machines de l'entreprise, notamment celles stratégiques. Nous avons ciblé au début les points faibles de la politique de suivi utilisée par les techniciens de l'entreprise, ensuite nous avons formulé quelques propositions simples pouvant apporter des améliorations à cette politique. Un exemple de diagnostic vibratoire d'un turbo-alternateur, une machine très importante de l'entreprise, a été présenté. Le but de cet exemple était de montrer qu'en utilisant une stratégie adéquate basée sur des études cinématiques, un bilan des défauts potentiels et surtout une analyse adéquate utilisant des techniques spécifiques, on peut détecter les différents problèmes. La programmation des interventions sera par la suite très facile et très orientée, contrairement à celles faites sur la base d'une simple valeur globale.

CONCLUSION GENERALE

Le travail présenté dans ce mémoire s'inscrit dans le cadre de l'optimisation d'une politique de maintenance existante dans une entreprise industrielle, à savoir l'entreprise FERTIAL-Annaba. Trois grandes conclusions peuvent être tirées :

1. Dans la première partie, nous avons évalué la politique de maintenance existante à l'entreprise FERTIAL-Annaba en appliquant la méthode de Lavina réalisée autour d'un questionnaire comportant plusieurs rubriques. Le but étant de cibler les points faibles où des améliorations peuvent être proposées. Le résultat du questionnaire permet d'identifier six domaines présentant des faiblesses ou dont l'action est prioritaire (organisation générale, organisation matérielle de l'atelier, outillage, documentation technique, sous-traitance et contrôle de l'activité). Sur la base de ces résultats d'enquête, les modifications nécessaires pour améliorer la politique de maintenance actuelle ont été proposées.

2. Dans la deuxième partie, nous avons proposé la sûreté de fonctionnement en tant qu'outil intéressant d'une politique de maintenance moderne. Utilisant une approche récente nommée OMF (Optimisation de la Maintenance par la Fiabilité), un exemple d'application sur le turbo-alternateur GZ-1164 a été proposé. Bien évidemment ce travail peut être généralisé pour les autres machines stratégiques de l'entreprise. La partie comporte, entre autres, une étude de fiabilité, une analyse fonctionnelle et une analyse AMDEC. Les résultats d'une telle étude permettent de bien cibler les points faibles de la machines où des surveillances doivent être renforcées, en plus d'une parfaite maîtrise des risques potentiels.

3. Dans la dernière partie, nous avons proposé une stratégie de suivi et de diagnostic vibratoire des installations stratégiques de l'entreprise. Cela s'inscrit dans le cadre d'une politique de maintenance prévisionnelle des outils de production industrielle. Nous avons tout d'abord procédé à une critique de la stratégie actuelle de l'entreprise qui comporte seulement de simples mesures globales sans aucune analyse, ce qui influe considérablement sur la qualité des interventions. Des propositions ont été formulées et un exemple de diagnostic du turbo-alternateur, déjà étudié dans la deuxième partie, a été présenté. Le but était de prouver qu'en appliquant une politique adéquate avec des moyens et des techniques d'analyse adéquats, la détection des défauts de fonctionnement est plus pratique permettant ainsi de programmer des interventions justes et orientées.

Références bibliographiques

- [1] Pr. Meziani Salim, Concepts objectifs et politiques de la maintenance <http://www.umc.edu.dz/vf/images/cours/maintenance-industrielle/chapitre%201.pdf>
- [2] Document publié par La Direction des communications Dépôt légal – 4^{ème} trimestre 1991 Bibliothèque nationale du Québec ISBN : 2-550-22453-1 <http://www.cegepsherbrooke.qc.ca/~desjarfr/tmi/acrobat/chap1%20b.pdf>
- [3] G. Fleurquin, P. Dehombreux, B. Roland, F. Riane. Aide à la décision pour l'optimisation de politiques de maintenance Facultés Universitaires Catholiques de Mons 7000 Mons, Belgique 7000 Mons, Belgique.
- [4] KOSSI Péloupé adzakpa, Maintenance des systèmes distribués : Méthodes d'aide à la décision temps-réel.
- [5] Pr. Meziani Salim, Organisation de la maintenance <http://www.umc.edu.dz/vf/images/cours/maintenance-industrielle/chapitre%203.pdf>
- [6] Lavina Y., Audit de la maintenance, Les Éditions D'organisation, Paris, France, 1994.
- [7] Hédi Kaffel, La maintenance distribuée : concept, évaluation et mise en œuvre la Faculté des études supérieures de l'Université Laval pour l'obtention du grade de Philosophiæ Doctor (Ph.D.)
- [8] Abderrazek Djebala, Cours de Maintenance et Sûreté de Fonctionnement, 2^{ème} année Master maintenance industrielle. Université de Guelma.
- [9] Antoine Despujols, Méthodes d'optimisation des stratégies de maintenance. Techniques de l'ingénieur, MT 9050
- [10] Kossi Péloupé Adzakpa, Maintenance des systèmes distribués : méthodes d'aide à la décision temps-réel ».Thèse de doctorat de l'Université de Technologie de Troyes, France 2004.
- [11] N. Cotaina, M. Gabriel, D. Richet, K. O'reilly, Utilisation de la Maintenance Basée sur la Fiabilité (MBF) pour développer et optimiser les politiques de maintenance dans les scieries. 2^{ème} Congrès International Franco-québécois. Le Génie Industriel dans un monde sans frontières 3 au 5 septembre 1997 Albi – France.
- [12] Valérie Zille, Modélisation et évaluation des stratégies de maintenance complexes sur des systèmes multi-composants. Thèse de doctorat de l'Université de Technologie de Troyes, France.
- [13] La Sûreté de Fonctionnement (SdF). Le magazine Schneider Electric de l'enseignement technologique et professionnel. Novembre 2004

[14] Kerdoussi Mohamed el Amine. Application de la RCM pour l'optimisation de la sureté de fonctionnement des installations industrielles de l'entreprise FERTIAL-Annaba. Université de Guelma 2012.

[15] Alain Gabriel mihalache, modélisation et évaluation de la fiabilité des systèmes mécatroniques : application sur système embarque. Thèse de doctorat, Présentée et soutenue publiquement Le 17 décembre 2007 À l'Institut des Sciences et Techniques de l'Ingénieur d'Angers

[16] Nabil sadou. Aide à la conception des systèmes embarqués sûrs de fonctionnement. Thèse Préparée au Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes du CNRS En vue de l'obtention du titre de Docteur de l'Université de Toulouse, délivré par l'Université Toulouse III - Paul Sabatier

[17] Saada farid et Gueraichi samir. Elaboration d'une GMAO pour calcul de FMD: Application sur la pompe 104J au niveau de FERTIAL (ANNABA). Mémoire de fin d'étude, Département de génie mécanique, Université de Annaba, 2011.

[18] Le site internet officiel de l'entreprise www.fertial-annaba.com

[19] Gouta Djilil et Basha Billel. Etude d'amélioration de la FMD des turbos compresseurs. Mémoire d'ingénieur d'état en maintenance. Université de Badji Mokhtar Annaba, 2007.

[20] Documentation de l'unité centrale II. FERTIAL-Annaba.

[21] David AUGÉIX Analyse vibratoire des machines tournantes article de technique de l'ingénieure code BM5145.

[22] Younes Ramdane, Ouelaa Nouredine, Hamzaoui Nacer, Djebala Abderrazek, KebabsaTarek Vibratory Diagnosis of a Turbo-alternator in Industrial Field. Soumis pour participation dans le CAM 2013

[23] P. Severin. Biotechnologies Santé Environnement. Analyse fonctionnelle. Article de Lycée des métiers de l'hôtellerie et du tourisme de Toulouse. (Mise à jour du 1/04/09).