

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المديرية العامة للبحث العلمي و التطوير التكنولوجي
**Direction Générale de la Recherche Scientifique et du Développement
Technologique**



BILAN FINAL DES ACTIVITES DU PROJET PNR
Technologie & Industrie

Intitulé :

Etude et installation d'une politique de maintenance et de sécurité industrielle pour la surveillance des machines tournantes

Code : 13-u24-3112

Organisme de domiciliation

Laboratoire Mécanique & Structures, Université de Guelma

Organisme pilote

CSC

Chef de projet		
Nom et prénom	Grade	Etablissement de rattachement
OUELAA Nouredine	Professeur	Université de Guelma

Membres		
Nom et prénom	Grade	Etablissement de rattachement
HAMZAOUI Nacer	Professeur	INSA de Lyon, France
KHELIF Rabia	MCA	Université d'Annaba
DJEBALA Abderrazek	MCB	Université de Guelma
KLAI Kamel	Ingénieur	Entreprise FERTIAL Annaba

Guelma, Octobre 2013

TABLE DES MATIERES

	Page
I. Introduction	03
II. Rappel succinct des objectifs du projet	04
III. Plan de travail prévu	05
IV. Partie 1 : Audit de la fonction maintenance : diagnostic et propositions.....	06
I. Evaluation de la politique de maintenance existante dans l'entreprise	07
II. Classification des machines par ordre de criticité	21
III. Etude de la sûreté de fonctionnement des différentes machines.....	25
V. Partie 2 : Diagnostic vibratoire des machines stratégiques	47
I. Compagnes de mesures réalisées avec le matériel de l'entreprise.....	48
I.1. Résultats obtenus pour le moto-ventilateur MK17	48
II. Compagnes de mesures réalisées avec le matériel du laboratoire	58
II.1. Résultats obtenus pour le Turbo Alternateur GZ1164.2	58
II.1.1. Première compagne d'essais	58
II.1.2. Deuxième compagne d'essais	63
II.2. Résultats obtenus pour le Turbo-ventilateur 101BJT.....	67
II.3. Résultats obtenus pour le Turbocompresseur 103J	71
VI. Partie 3 : Détection des défauts par simulation numérique.....	73
VII. Formation	82
VIII. Conclusion finale	82
IX. Références	83
X. Annexes	84
XI. Informations financières	108

I. INTRODUCTION

Le complexe d'engrais azotés FERTIAL est l'un des leaders dans le domaine de production d'engrais phosphatés destinés à l'agriculture. L'unité de production de l'ammoniac constitue le poumon vital de ce complexe d'où la nécessité d'éviter son arrêt. Le projet consiste à:

1. Faire un état des lieux relatif aux défaillances du processus de production de l'unité;
2. Proposer une méthode pour l'identification des machines critiques;
3. Faire des campagnes de relevé de vibrations sur les machines critiques et proposer des actions d'amélioration;
4. Proposer un plan d'amélioration de la maintenance basée sur la fiabilité via une politique de maintenance adaptée et un programme de formation technique et managériale pour le personnel du service maintenance.

Deux approches pour la stratégie du suivi vibratoire existent à FERTIAL :

1. La première est un système on-line (Bentley Nevada), réservé essentiellement pour des machines stratégiques telles que les turbo-ventilateurs, les turbocompresseurs, ...etc. ;
2. La deuxième est off-line caractérisée par des mesures régulières du niveau global des vibrations.

Plusieurs constatations sont à signaler :

1. Absence d'analyse ;
2. Matériel utilisé par le service off-line (Vibrotest 60 de la marque Schenk) non adapté au suivi des machines importantes ;
3. Manque de formation du personnel dans le domaine de l'analyse spectrale (interprétation et diagnostic).

II. RAPPEL SUCCINCT DES OBJECTIFS DU PROJET

Nous proposons grâce à une collaboration entre plusieurs chercheurs nationaux et internationaux confirmés dans le domaine, de mettre en place pour l'entreprise FERTIAL une politique de maintenance basée sur la surveillance et le diagnostic des défauts de machines à partir d'analyses vibratoires, intégrant les connaissances nécessaires pour comprendre les phénomènes de bases et les démarches à suivre pour sécuriser leur parc machines. Nous présenterons aussi un cours pratique dans ce domaine qui s'adresse aux techniciens et ingénieurs intervenant dans le domaine de la maintenance conditionnelle ou prédictive des machines tournantes pour leur permettre de comprendre et maîtriser les diverses opérations d'analyse et l'interprétation des signaux mesurés.

Maîtriser le comportement des machines est une source certaine d'économies qui permet :

- D'éviter, dans la mesure du possible, tout incident entre deux arrêts systématiques ou programmés ;
- D'estimer, par un diagnostic, la nécessité de l'arrêt afin de prolonger les intervalles de temps entre les arrêts systématiques, évitant ainsi les arrêts fortuits ;
- Et d'orienter l'intervention mécanique à effectuer pendant l'arrêt, par la réalisation d'un diagnostic préalable, de manière à :
 - optimiser la durée de l'intervention ;
 - optimiser les stocks de pièces de rechange ;
 - éviter les arrêts intempestifs générateurs des pertes de production.
- Tisser des liens solides et établir un partenariat fructueux entre l'université et le secteur industriel sera un des principaux enjeux de cette collaboration.

III. PLAN DE TRAVAIL PREVU

Le plan de travail est réparti en quatre semestres de la manière suivante :

Semestre 1 :

- Faire l'état des lieux de l'entreprise FERTIAL ;
- Collecte des informations sur le parc machines (dossiers machines, historique des pannes) ainsi que les politiques de maintenance existantes au sein de l'entreprise ;
- Définir une classification des machines de manière à hiérarchiser la nécessité de leur suivi en fonction de chacune. Cette étude préliminaire doit se faire en étroite collaboration entre le spécialiste vibratoire, le service maintenance et la production.

Semestre 2 :

- Choix des différentes politiques de maintenance adaptées pour chaque groupe de machines ;
- Définition des différentes méthodes de traitement des mesures correspondant à chaque type de défaut ;
- Recommandation du matériel de mesure adéquat aux type(s) de maintenance choisie(s).

Semestre 3 :

- Mise en application des opérations de maintenance par le lancement de campagnes de mesures visant principalement les machines vitales dans le processus de production ;
- Traitement et analyse des signaux mesurés par les différentes méthodes de traitement.

Semestre 4 :

- Etablir un rapport d'expertise pour chaque machine au profit de l'entreprise ;
- Assurer une formation spécialisée aux cadres du service de maintenance (ingénieurs et technicien) dans le domaine de la mesure, l'analyse et le diagnostic vibratoire ;
- Rédaction d'un rapport final pour la direction générale de la recherche scientifique (DGRS).

IV. PARTIE 1 : AUDIT DE LA FONCTION MAINTENANCE : DIAGNOSTIC ET PROPOSITIONS

I. EVALUATION DE LA POLITIQUE DE MAINTENANCE EXISTANTE DANS L'ENTREPRISE

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. 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.

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	5	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

I - 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	<u>15</u>	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 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 1.1. Résultat du questionnaire de Lavina réalisé à l'entreprise FERTIAL

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, Organisation matérielle de l'atelier, Outillage, Documentation technique, Sous-traitance et Contrôle de l'activité).

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 des 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	Suivie 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

II. CLASSIFICATION DES MACHINES PAR ORDRE DE CRITICITE

1. Introduction

Afin de déterminer la politique de maintenance et la périodicité des interventions sur les différentes machines, apprécier leur degré d'utilisation et leur importance au sein d'un processus de production, on procède au classement des machines suivant des critères objectifs bien définis.

2. Critères de classification des machines

Les différents critères influant sur le risque de panne (RP) sont :

- L'aspect technologique,
- La durée de vie calculée,
- La qualité de fabrication,
- Les variations d'utilisation
- Les conditions d'utilisation
- L'environnement,
- La possibilité de maintenance

Les critères influant sur les conséquences de panne (CP) sont :

- Le coût indirect sur la production
- Le coût direct sur le matériel
- La sécurité

La classe de maintenance (CM) est définie par le produit des deux types de critères:

$$CM = RP * CP$$

Tableau 1.2 : Evaluation du risque de panne d'une machine

Evaluation du risque de panne	RPi
1. Nature de la machine	
- Standard	1
- Petite série	2
- Rares exemplaires, nouvelle technique	3
- Prototype	4
2. Complexité de la machine	
Nombre d'éléments (ex. moteurs, coupleurs, réducteurs, etc...)	
- N = 1	1
- N = 2	2
- N = 3	3
- N ≥ 4	4
3. Complexité des techniques employées	
Ce critère qualifie:	
- Les technologies intégrées (mécaniques, électriques...)	
- Les matériaux utilisés (acier, composites...)	
- Les techniques d'assemblage (collage...)	1

- Faible	2
- Moyenne	3
- Elevée	4
- Très élevée	
4. Régime moteur	
- Constant	1
- Variations par plages (max / min)	2
- < 50 %	3
- ≥ 50 %	4
- Variations continues	
5. Vitesse maximale	
- $f < 600$ tr/min	1
- 600 à 1200 tr/mn	2
- 1200 à 3 000	3
- $> 3\ 000$ tr/mn	4
6. Fréquences des démarrages (f)	
- $f < 1/\text{jour}$	1
- $1/\text{jour} \leq f < 1/\text{heure}$	2
- $1/\text{heure} \leq f < 5/\text{heure}$	3
- $f \geq 5/\text{heure}$	4
7. Atmosphère ambiante	
- neutre, filtrée	1
- Peu chargée	2
- chargée	3
- Très chargée	4
8. Fluide véhiculé	
- Neutre	1
- Défavorable	2
- Abrasif	3
- Très agressif	4
9. Température de fluide	
- $< 50^\circ\text{C}$	1
- 50 à 100°C	2
- 100 à 200°C	3
- $> 200^\circ\text{C}$	4
10. Variations de température de fluide	
- $T = \text{constante}$	1
- $\Delta T = \pm 20^\circ\text{K}$	2
- $\Delta T = \pm 50^\circ\text{K}$	3
- $\Delta T \geq \pm 100^\circ\text{K}$	4
11. Charge, débit	1
- Constant	2
- Peu variable ($\pm 10\%$)	3
- Variable ($\pm 30\%$)	4
- Très variable ($> \pm 30\%$)	
12. Régime de fonctionnement	

Rendement r	1
- r < 0,8	2
- 0,8 ≤ r < 1	3
- 1 ≤ r < 1,2	4
- r ≥ 1,2	
13. Alarmes, surveillance permanente	1
- Enregistrement	2
- 2 niveaux et plus	3
- 1 niveau	4
- Aucune	

$$RP = \sum RP_i / \text{Nombre de critères qualifiés}$$

Le nombre de ces critères n'est qu'indicatif, ainsi que leur qualité. Il est tout à fait conseillé d'en supprimer ou d'en rajouter en fonction des spécificités de chaque machine.

3. Evaluation des conséquences de panne

Dans le but de déterminer le risque de panne, il faudrait évaluer les conséquences de panne (CP). Celles-ci sont reportées sur le tableau (1.3).

Tableau 1.3 : Evaluation des conséquences de panne d'une machine

1. Conséquences sur la production	2
- Aucune influence directe sur le produit, réparation possible en marche	4
- Machine doublée, circuits de dépannage	6
- Machine possible en cadence et productivité réduite	8
- Arrêt de production total	
2. Temps de maintenance	1
- Moins de 1 poste	2
- De 1 à 2 postes	3
- De 2 à 3 postes	4
- Plus de 3 postes	
3. Conséquences sur les machines voisines	1
- Aucune	2
- Faibles	3
- Importantes	4
- Très importantes	
4. Tension mise en œuvre	1
- Basse (<48V)	2
- Moyenne (48 à 380 V)	3
- Haute (380 V à 1KV)	4
- Très haute (> 1KV)	
5. Toxicité, dangers liés aux produits utilisés	2

- Nulle	4
- Faible	6
- Élevée	8
- Très élevée	

$$\sum CP_i$$

$$CP = \frac{\sum CP_i}{\text{Nombre de critères qualifiés}}$$

Nombre de critères qualifiés

4. Autre méthode de classification des machines : Méthode PIEU

Quatre critères retenus : P- Incidence de la panne/I- Importance de l'équipement/E- Etat de l'équipement/U- Taux d'utilisation de l'équipement

$$C = P * I * E * U$$

*C < 1 alors les équipements sont critiques

*1 < C < 10 alors les équipements sont moyennement critiques et à surveiller

*C > 10 alors les équipements sont ordinaires ou non critiques

Machines	101J	102J	103J	105J	101BJT	MK17	GZ1164
C=PIEU	0.01	0.02	0.01	0.1	0.07	0.09	0.01
CM=RP*CP	10.1	10.7	10.3	10.8	9.8	9.5	9.7

5. Utilisation des différentes méthodes de Maintenance

Les différentes méthodes de maintenance qui résultent du choix des machines sont reportées sur le tableau (1.4)

Tableau (1.4) : Conséquences du choix des machines selon le mode de maintenance

Choix des Machines	1	2	2	4	4	8	8	16
Mode de Maintenance	MC	MS	MS	MC	MC		MC	
Conséquences	faibles		modérées		élevées		très élevées	

MC : maintenance conditionnelle

MS : maintenance systématique

III. ETUDE DE LA SURETE DE FONCTIONNEMENT DES DIFFERENTES MACHINES

1. Introduction

La panne d'un équipement, l'indisponibilité d'une source d'énergie, l'arrêt d'un système automatique, l'accident est de moins en moins tolérable et acceptés dans le milieu industriel. L'industriel qui doit être compétitif ne peut admettre de pertes de production, d'autant plus importantes que son procès de fabrication est complexe ; il recherche la meilleure :

- ✓ Fiabilité de ses systèmes ;
- ✓ Disponibilité de ses machines ;
- ✓ Maintenabilité de l'outil de production ;

Cette partie vise à l'élaboration d'un plan de maintenance pour les équipements de l'unité d'Ammoniac en utilisant l'historique des pannes, l'analyse de ces pannes et l'étude de la fiabilité du système.

Le système choisi pour cette étude est le turbocompresseur d'air 101J, le turbocompresseur de gaz naturel 102J, le turbocompresseur de synthèse 103J et le turbocompresseur de réfrigération 105J et le turbo-ventilateur 101 BJT.

2. Application du modèle de WEIBULL

Dans notre cas, on applique la loi de Weibull sur les 5 turbomachines (101J, 102J, 103J, 105J et 101 BJT).

2.1. Application sur le turbocompresseur d'air 101J : (N= 30)

Sur le papier de Weibull, nous avons dessiné les points ayant comme abscisses les TBF et en ordonnées les $F(i)$ approximées. Le graphe de la figure (1.1) montre l'allure obtenue qui est sous forme d'une courbe avec un γ négatif car la courbe est orientée vers la gauche.

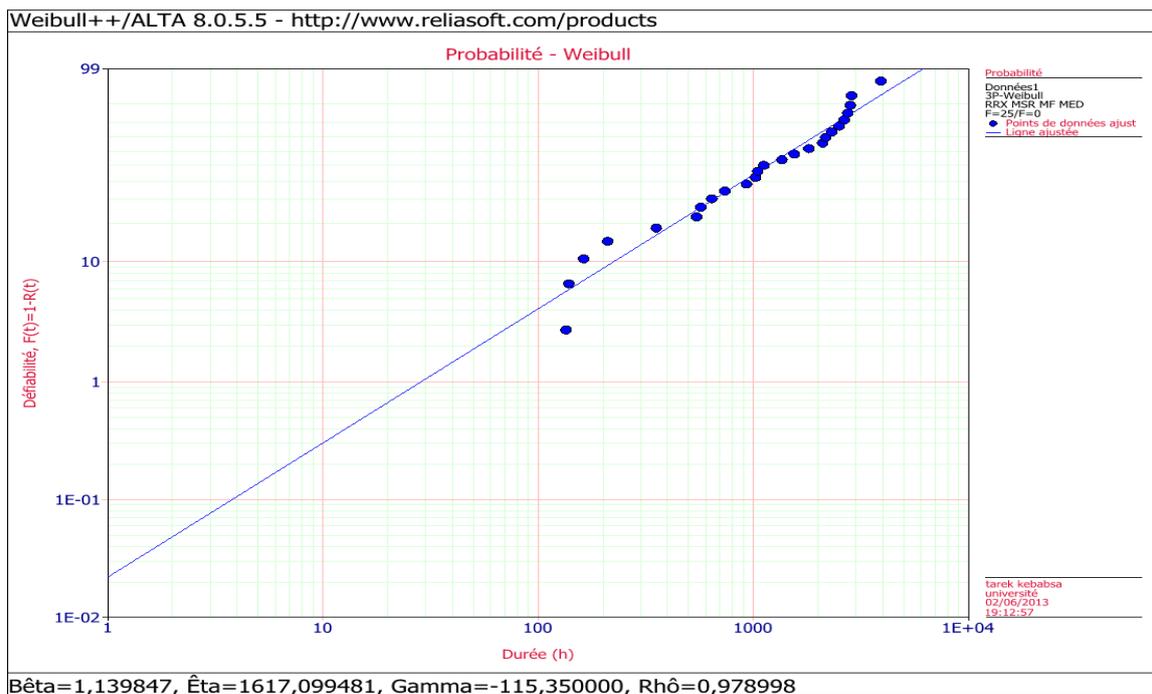


Figure 1.1. Représentation des TBF sur le papier de Weibull

D'après le papier Weibull (fig. 1.1), on a pu déterminer les trois paramètres de la loi de Weibull :

- $\gamma = -115,35h$.
- $\eta = 1616,09h$.
- $\beta = 1,13$

Après avoir calculé les D_n , on a trouvé que :

$$D_{n, \max} = 0,1304$$

$N = 30$, en posant que : $\alpha = 0,05$ et en se référant à la table du test K-S, $D_{n, \alpha} = 0,24$

Il apparait que : $D_{n, \max} < D_{n, \alpha}$, le modèle de Weibull est donc accepté.

A partir de la table de calcul de MTBF, on trouve les paramètres A et B en fonction de la valeur β .

$$A = 0,9649$$

$$B = 0,878$$

- Calcul de la moyenne des temps de bon fonctionnement :

$$MTBF = A \cdot \eta + \gamma$$

$$MTBF = 0,9649 \cdot 1617,09 + (-115,35) = 1444,98$$

$$MTBF = 1445h$$

- Calcul de l'écart type :

$$\sigma = B \cdot \eta$$

$$\sigma = 0,878 \cdot 1617,09$$

$$\sigma = 1419,8h$$

<i>Temps de début de mission (h)</i>	450	550	750	950	1100	1250
<i>Temps de mission additionnel</i>	500	600	800	1000	1150	1300
<i>Fiabilité Conditionnelle</i>	0.726	0.67	0.58	0.496	0.44	0.38
<i>Prob.de défaillance Cond.</i>	0.273	0.324	0.419	0.503	0.559	0.610

Tableau 1.5. Fiabilité et probabilité de défaillance conditionnelle

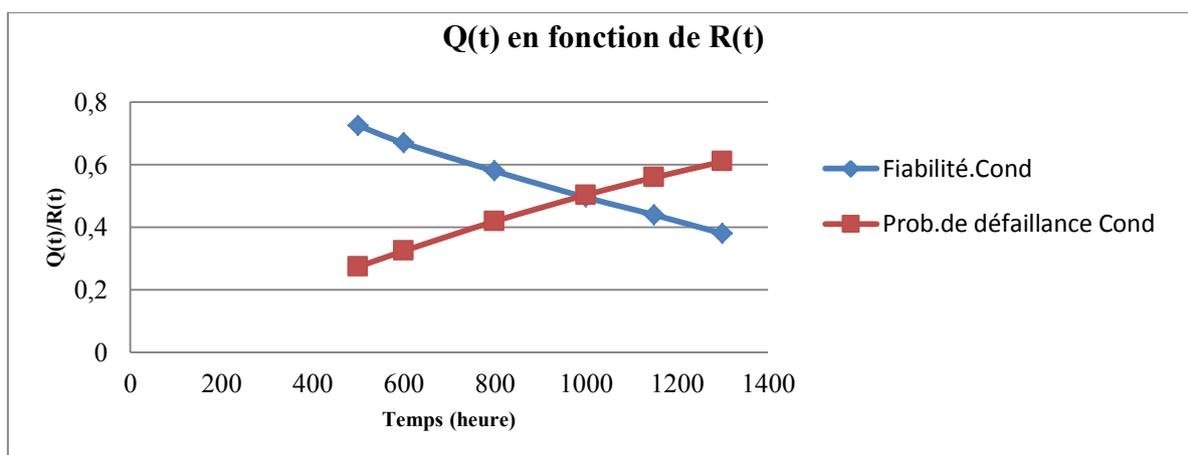


Figure 1.2. Evolution de la fiabilité et de la probabilité de défaillance conditionnelle en fonction du temps

D'après la figure (1.2), on remarque que la fiabilité conditionnelle diminue avec le temps, par contre la probabilité de défaillance augmente.

Interprétation des courbes

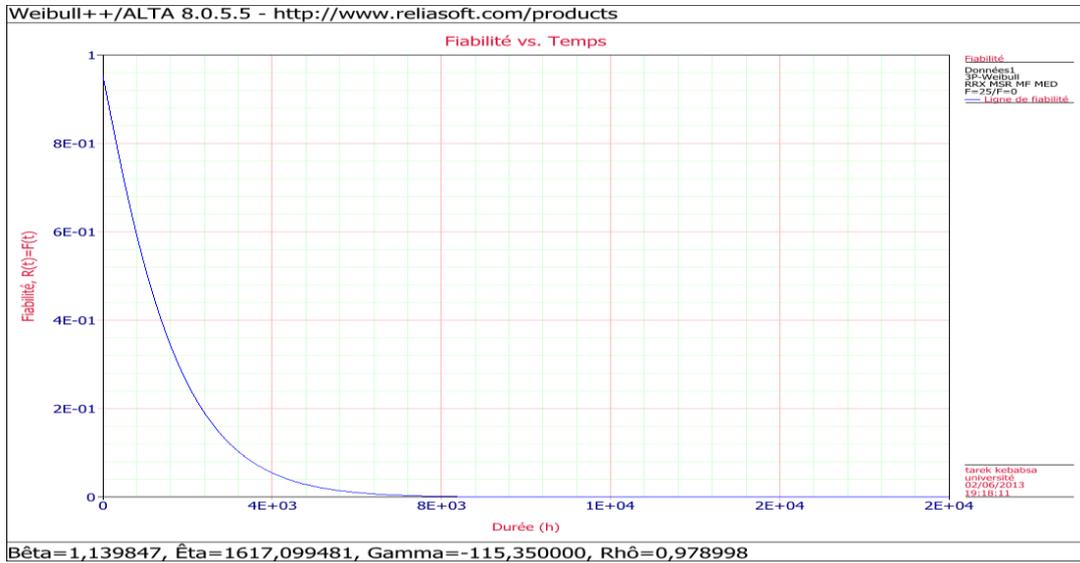


Figure 1.3. La fiabilité $R(t)$ en fonction du temps (101J)

Dans la figure (1.3), nous représentons les résultats de calcul de la fiabilité $R(t)$ obtenus à partir du tableau (1.5). La fonction de fiabilité est décroissante avec le temps, donc la probabilité de bon fonctionnement du turbocompresseur décroît avec le temps. En plus, la valeur de la fiabilité pour $t=MTBF$ est égale à 38.2 % ce qui implique que ce turbocompresseur a 38,2 % de chances de vivre jusqu'à la MTBF, donc il n'est pas fiable.

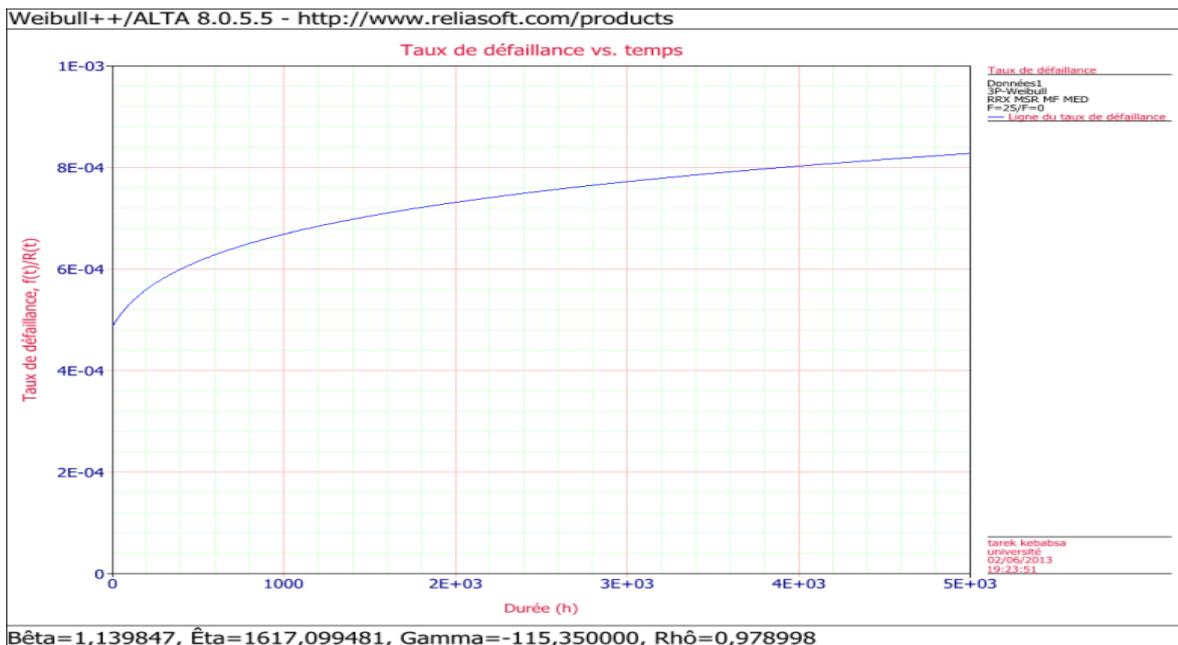


Figure 1.4. Taux de défaillance $\lambda(t)$ en fonction du temps (101J)

Dans la figure (1.4) nous représentons les résultats de calcul du taux de défaillance $\lambda(t)$ en fonction du temps. Il est croissant avec le temps. Le turbocompresseur est donc en fin de la période de jeunesse et le début de sa maturité.

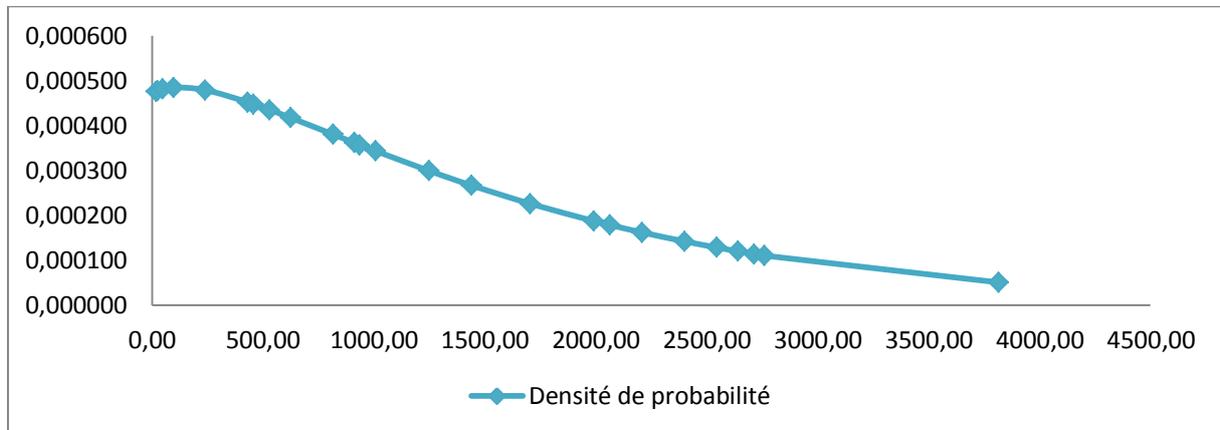


Figure 1.5. Densité de probabilité en fonction du temps (101J)

Dans la figure (1.5) nous remarquons que cette fonction est décroissante avec le temps. Elle montre également qu'il y a des pannes qui se manifestent bien avant la MTBF qui est égale à 1445 h.

Calcul de la maintenabilité

a) Moyenne des temps de réparation :

$$MTTR = \frac{4479}{30} = 149,3h$$

b) Taux de réparation :

$$\mu = \frac{1}{MTTR}$$

$$\mu = 1 / 149,3 = 0,0066int/h$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t}$$

$$M(t) = 1 - e^{-0,0066 \cdot 149,3} = 0,6267$$

Calcul de la disponibilité

1) Disponibilité intrinsèque :

$$D_i = \frac{M.T.B.F}{(M.T.B.F + M.T.T.R)} \\ = 1445 / (1445 + 149,3) = 0,9063$$

2) Disponibilité instantanée :

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{1445} = 0,00069d\acute{e}f/h$$

$$D(t) = \frac{0,0066}{0,00069 + 0,0066} + \frac{0,00069}{0,00069 + 0,0066} e^{-(0,00069+0,0066) \cdot 1445} \\ = 0,9999$$

3) Disponibilité asymptotique :

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu}$$

$$= \frac{0,0066}{0,0007+0,0066} = 0,9053$$

2.2. Application sur le turbocompresseur du gaz naturel 102J : (N= 29)

Sur le papier de Weibull, nous avons dessiné les points ayant comme abscisses les TBF et en ordonnées les F(i) approximées. Le graphe de la figure (1.6) montre l'allure obtenue.

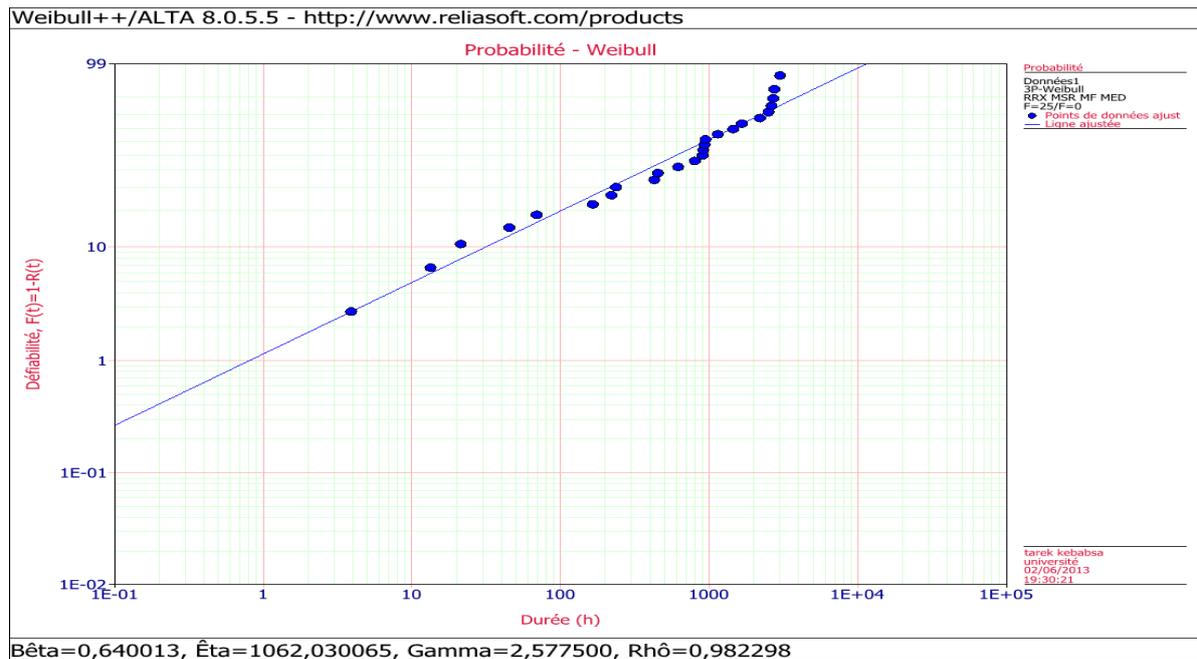


Figure 1.7.Représentation des TBF sur le papier de Weibull

- $\gamma = 2,57h$.
- $\eta = 1062,03h$.
- $\beta = 0,64$

Après avoir calculé les D_n on a trouvé que :

$$D_{n, \max} = 0,1419$$

$N = 29$, en posant que : $\alpha = 0,05$ et en se référant à la table du test K-S , $D_{n, \alpha} = 0,24$

Il apparait que : $D_{n, \max} < D_{n, \alpha}$ donc, le modèle de Weibull est accepté.

A partir de la table de calcul de MTBF, on trouve les paramètres A et B selon la valeur β .

$$A = 1,3663$$

$$B = 2,18$$

- Calcul de la moyenne des temps de bon fonctionnement :

$$MTBF = A. \eta + \gamma$$

$$MTBF = 1,3663 * 1062,03 + 2,5775 = 1453,58$$

$$MTBF = 1453 \text{ h}$$

- Calcul de l'écart type :

$$\sigma = B.\eta$$

$$\sigma = 2,18 \cdot 1062,03$$

$$\sigma = 2315,22h$$

<i>Temps de début de mission (h)</i>	450	550	750	950	1100	1250
<i>Temps de mission additionnel</i>	500	600	800	1000	1150	1300
<i>Fiabilité. Conditionnelle</i>	0.672	0.67	0.622	0.580	0.551	0.526
<i>Prob.de défaillance Cond.</i>	0.298	0.327	0.377	0.419	0.448	0.473

Tableau 1.6. Fiabilité et probabilité de défaillance conditionnelle

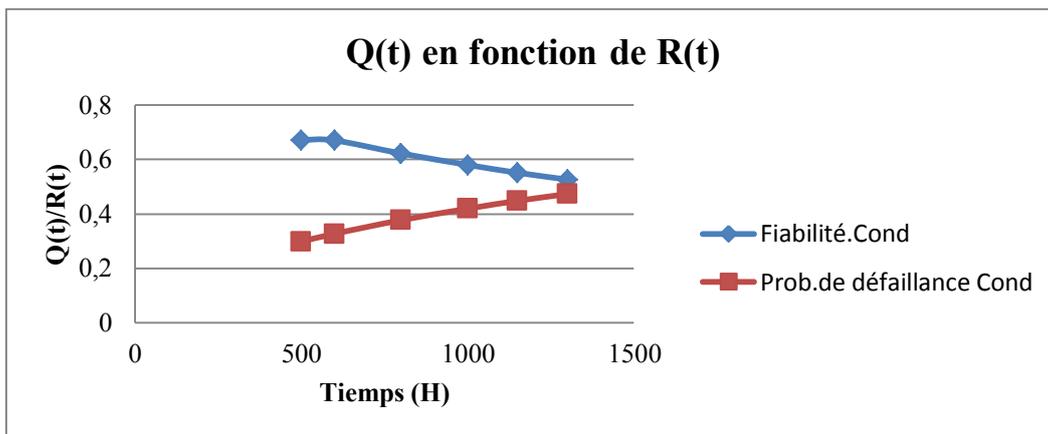


Figure 1.8. Evolution de la fiabilité et de la probabilité de défaillance conditionnelle en fonction du temps

D'après la figure (1.8), on remarque que la fiabilité conditionnelle diminue dans le temps, par contre la probabilité de défaillance augmente.

Interprétation des courbes :

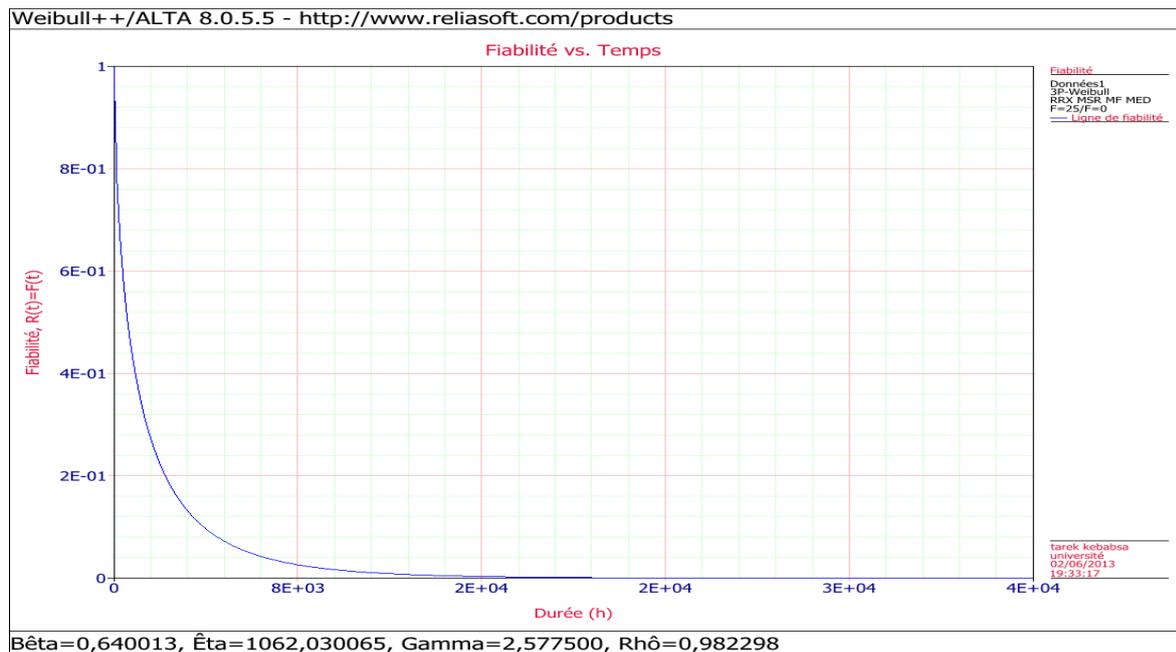


Figure 1.9. La fiabilité $R(t)$ en fonction du temps (102J)

Dans la figure (1.9), nous représentons les résultats de calcul de la fiabilité $R(t)$ obtenus à partir du tableau 6. La fonction de fiabilité est décroissante avec le temps, donc la probabilité de bon fonctionnement du turbocompresseur décroît avec le temps. En plus, la valeur de la fiabilité pour $t=MTBF$ est égale à 29,5 % ce qui implique que ce turbocompresseur a 29,5 % de chances de vivre jusqu'à MTBF, donc il n'est pas fiable aussi.

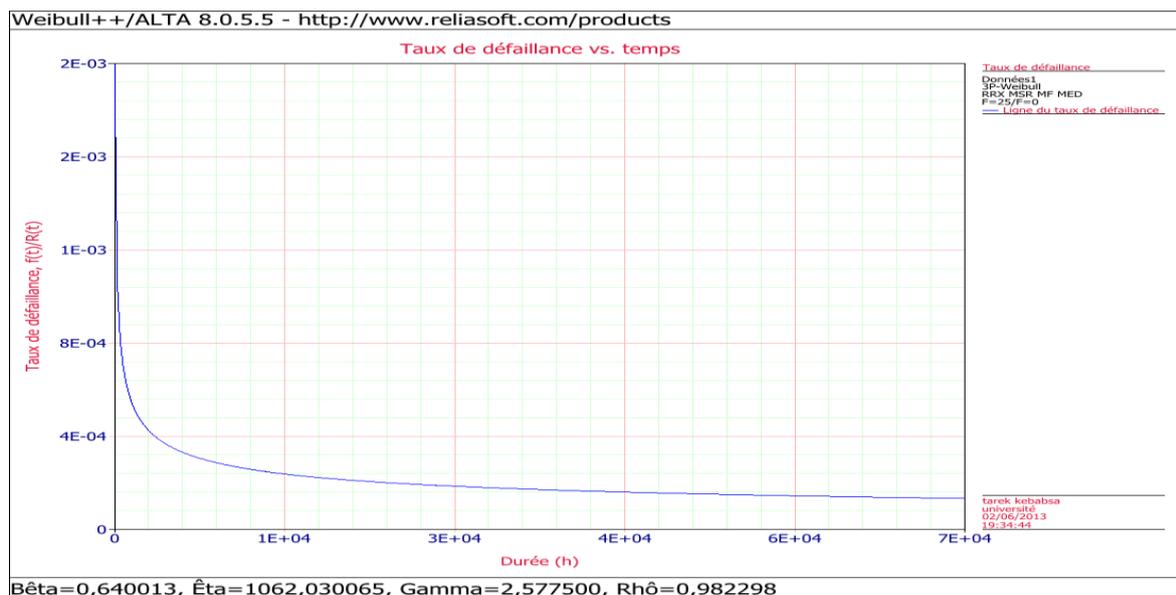


Figure 1.10. Le taux de défaillance $\lambda(t)$ en fonction du temps (102J)

Il est décroissant avec le temps (Fig. 1.10). Le turbocompresseur est donc en fin de la période de jeunesse et en début de maturité.

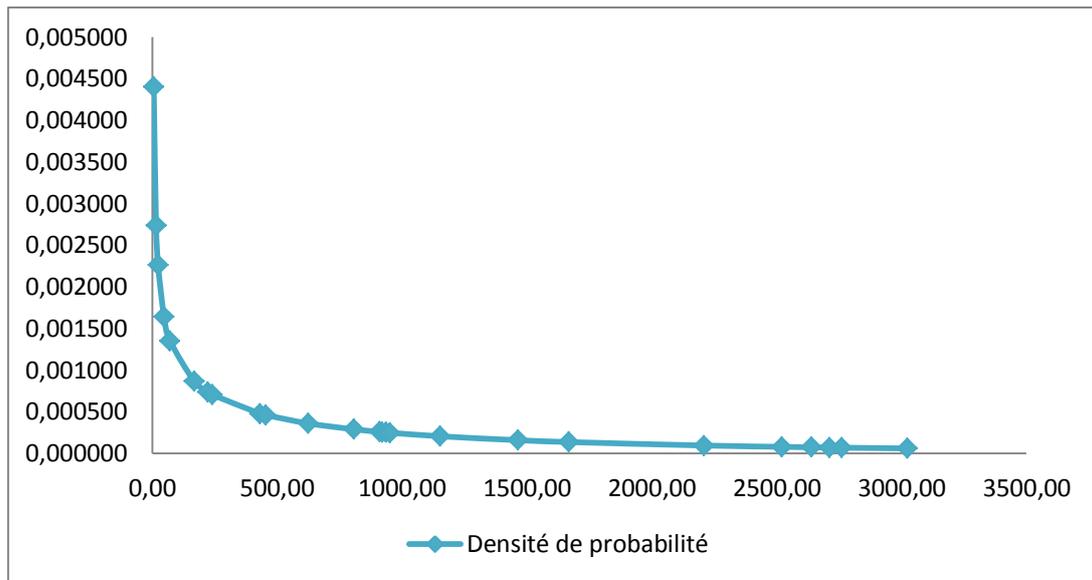


Figure 1.11. La densité de probabilité en fonction du temps (102J)

Dans la figure (1.11) nous remarquons que cette fonction est décroissante avec le temps. Elle montre également qu'il y a des pannes qui se manifestent bien avant la MTBF qui est égale à 1453 h.

Calcul de la maintenabilité :

a) Moyenne des temps de réparation :

$$MTTR = \frac{4334}{29} = 149,44\text{h/int.}$$

b) Taux de réparation :

$$\mu = \frac{1}{MTTR}$$

$$\mu = 1 / 149,44 = 0,0066\text{int/h}$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t}$$

$$M(t) = 1 - e^{-0,0066 \cdot 149,44} = 0,627$$

Calcul de la disponibilité :

1) Disponibilité intrinsèque :

$$D_i = \text{M.T.B.F} / (\text{M.T.B.F} + \text{M.T.T.R})$$

$$= 1453 / (1453 + 149,44) = 0,9067$$

2) Disponibilité instantanée :

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{1453} = 0,0006$$

$$D(t) = \frac{0,0066}{0,0006 + 0,0066} + \frac{0,0006}{0,0006 + 0,0066} e^{(0,0006 + 0,0066) \cdot 1453}$$

$$= 0,9996$$

3) Disponibilité asymptotique :

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu}$$

$$= \frac{0,0066}{0,0006+0,0066} = 0,9166$$

2.3. Application sur le turbocompresseur de synthèse103J : (N= 47)

En rapportant les valeurs des TBF et des Fe(%) sur le papier de Weibull (fig. 1.12), on a pu déterminer les trois paramètres de la loi de Weibull.

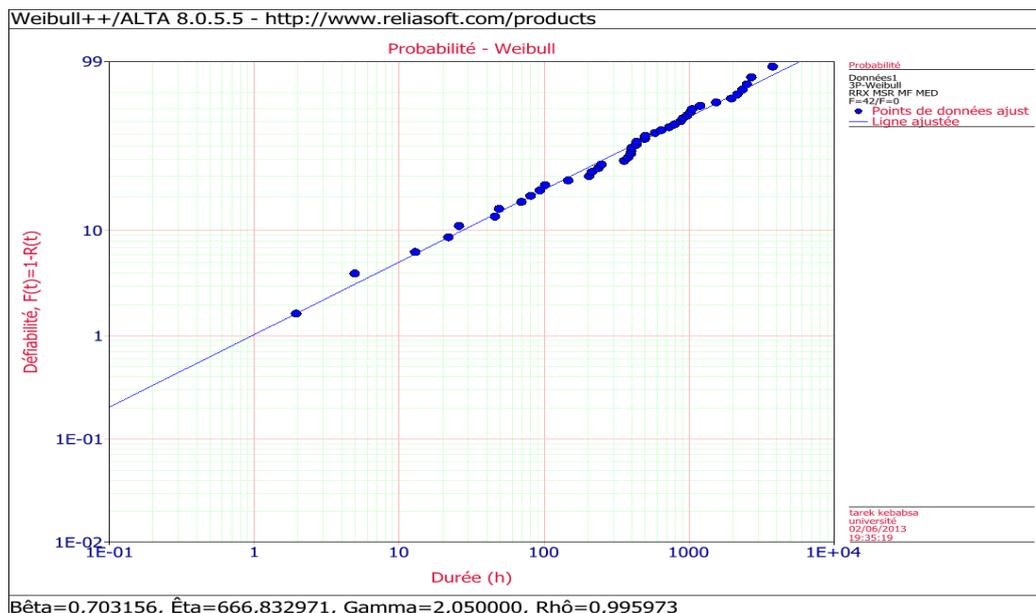


Figure 1.12. Représentation des TBF sur le papier de Weibull

- $\gamma = 2,05h$
- $\eta = 666,83h$
- $\beta = 0,70$

Après avoir calculé les D_n , on a trouvé que :

$$D_{n, \max} = 0,0647$$

$N = 29$, en posant que : $\alpha = 0,05$ et en se référant à la table du test K-S, $D_{n, \alpha} = 1,36 / \sqrt{N} = 0,1983$

Il apparaît que : $D_{n, \max} < D_{n, \alpha}$ donc, le modèle de Weibull est accepté.

A partir de la table de calcul de la MTBF, on trouve les paramètres A et B en fonction de la valeur β , $A = 1,263$ et $B = 1,85$

- Calcul de la moyenne des temps de bon fonctionnement :

$$MTBF = A \cdot \eta + \gamma$$

$$MTBF = 1,2638 \cdot 666,83 + 2,05 = 844,78$$

$$MTBF = 845h$$

- Calcul de l'écart type :

$$\sigma = B \cdot \eta$$

$$\sigma = 1,85 \cdot 666,83, \sigma = 1233,63h$$

Temps de début de mission (h)	450	550	750	950	1100	1250
Temps de mission additionnel	500	600	800	1000	1150	1300
Fiabilité. Cond	0.591	0.552	0.484	0.429	0.394	0.363
Prob.de défaillance Cond	0.408	0.447	0.515	0.57	0.605	0.636

Tableau 1.7. La fiabilité et la probabilité de défaillance conditionnelle

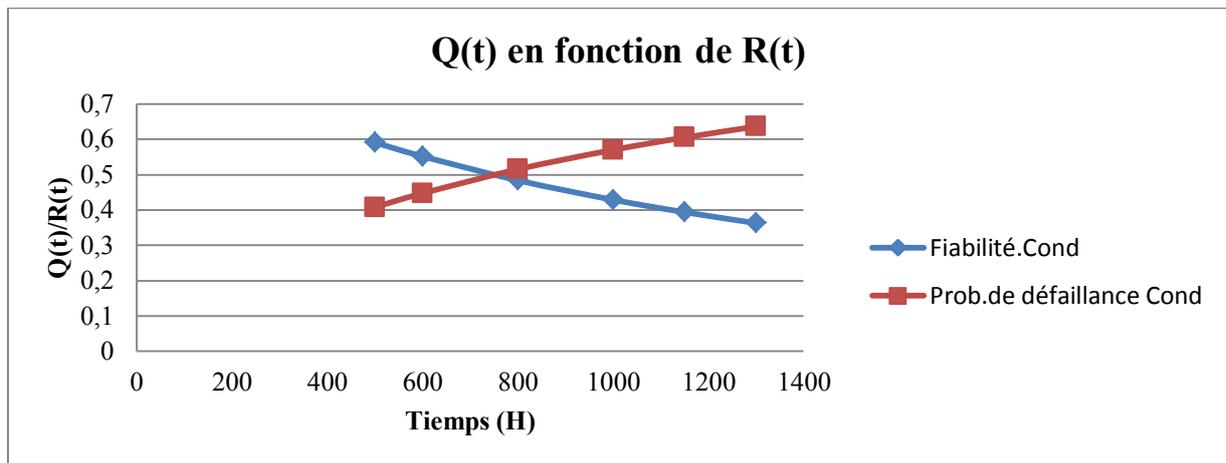


Figure 1.13. Evolution de la fiabilité et la probabilité de défaillance conditionnelle en fonction du temps

D'après la figure (1.13), on remarque que la fiabilité conditionnelle diminue avec le temps, par contre la probabilité de défaillance augmente.

Interprétation des courbes

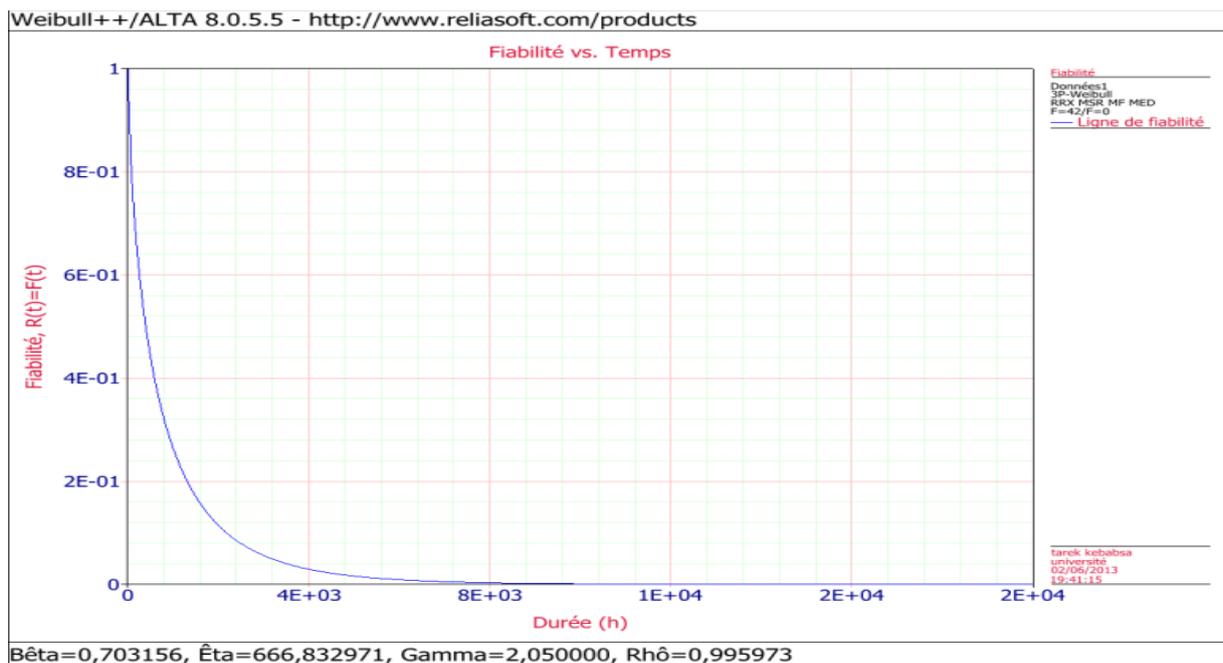


Figure 1.14. La fiabilité R(t) en fonction du temps (103J)

La probabilité de bon fonctionnement du turbocompresseur décroît avec le temps. La valeur de la fiabilité pour $t=MTBF$ est égale à 30,7 % ce qui implique que ce turbocompresseur a 30,7% de chances de vivre jusqu'à MTBF.

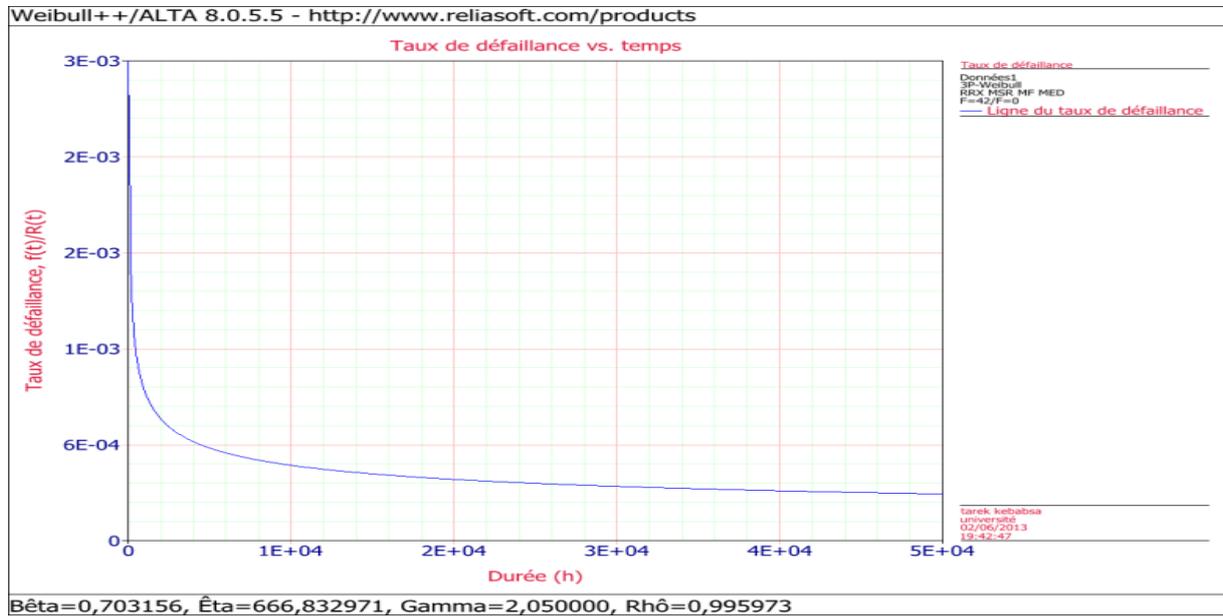


Figure 1.15. Le taux de défaillance $\lambda(t)$ en fonction du temps (103J)

Il est décroissant avec le temps (Fig. 1.15). Le turbocompresseur est donc en fin de la période de jeunesse et au début de maturité.

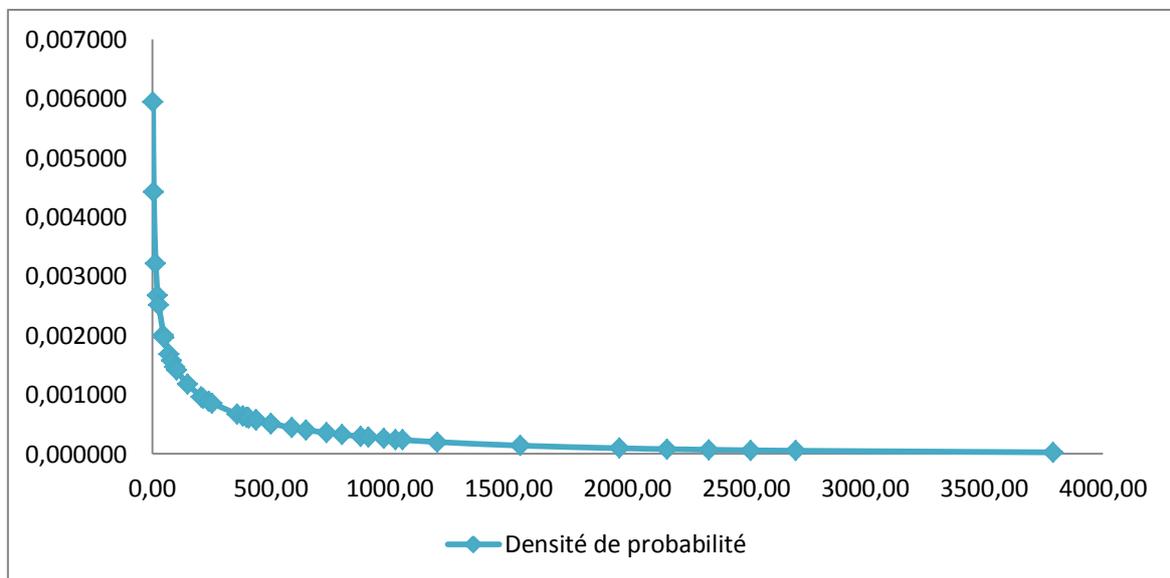


Figure 1.16. La densité de probabilité en fonction du temps (103J)

Dans la figure (1.16), nous remarquons que cette fonction est décroissante avec le temps. Elle montre également qu'il y a des pannes qui se manifestent bien avant la MTBF qui est égale à 845 h.

Calcul de la maintenabilité

a) Moyenne des temps de réparation :

$$MTTR = \frac{5949}{47} = 126,57 \text{h/int}$$

b) Taux de réparation :

$$\mu = \frac{1}{MTTR}$$

$$\mu = 1 / 126,57 = 0,0079 \text{int/h}$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t}$$

$$M(t) = 1 - e^{-0,0079 * 126,57} = 0,632$$

Calcul de la disponibilité

1) Disponibilité intrinsèque :

$$D_i = \frac{M.T.B.F}{(M.T.B.F + M.T.T.R)}$$

$$= 845 / (845 + 126,57) = 0,8697$$

2) Disponibilité instantanée :

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{845} = 0,0011$$

$$D(t) = \frac{0,0079}{0,0011 + 0,0079} + \frac{0,0011}{0,0011 + 0,0079} e^{-(0,0011 + 0,0079)t}$$

$$= 0,9999$$

3) Disponibilité asymptotique :

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu}$$

$$= \frac{0,0079}{0,0011 + 0,0079} = 0,8777$$

2.4. Application sur le turbocompresseur de réfrigération 105J : (N= 45)

En rapportant les valeurs des TBF et des Fe(%) sur le papier d'Allain Plait, on a pu déterminer les trois paramètres de la loi de Weibull :

- $\gamma = 2,44$ h
- $\eta = 970,87$ h
- $\beta = 0,98$

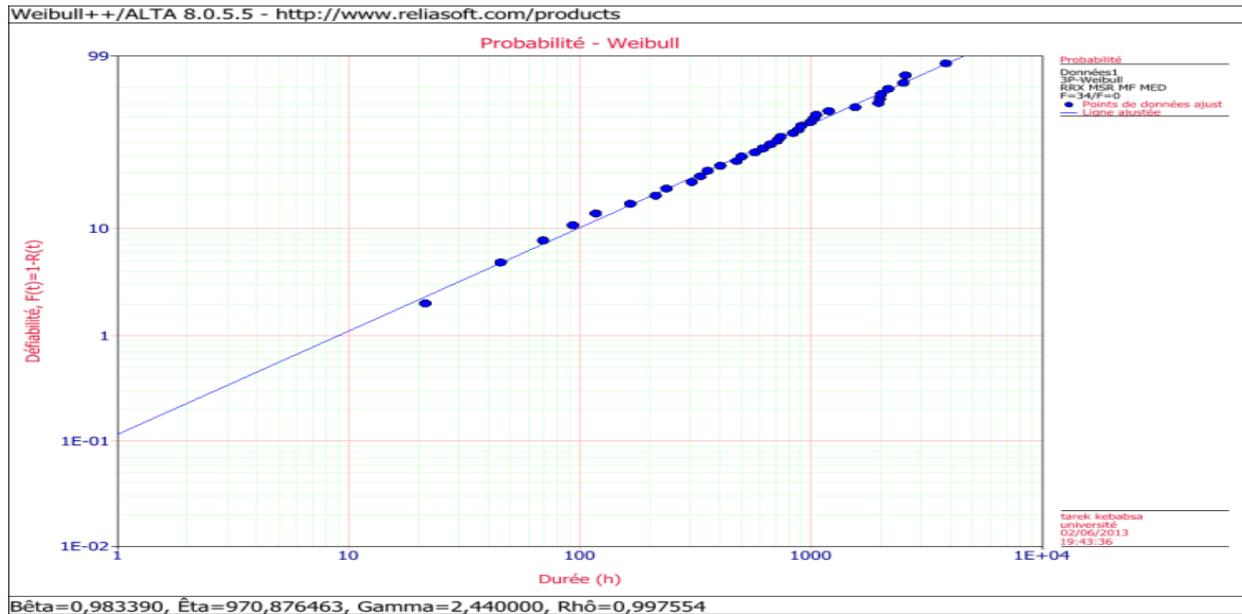


Figure 1.17. Représentation des TBF sur le papier de Weibull

Après avoir calculé les D_n , on a trouvé que :

$$D_{n, \max} = 0,1471$$

$N = 45$, en posant que : $\alpha = 0,05$ et en se référant à la table du test K-S, $D_{n, \alpha} = 1,36 / \sqrt{N} = 0,2027$

Il apparait que : $D_{n, \max} < D_{n, \alpha}$ donc, le modèle de Weibull est accepté.

A partir de la table de calcul de MTBF, on trouve les paramètres A et B selon la valeur de β .

$$A = 1, B = 1$$

- Calcul de la moyenne des temps de bon fonctionnement :

$$MTBF = A \cdot \eta + \gamma$$

$$MTBF = 1 \cdot 970,87 + 2,44 = 973,31$$

$$MTBF = 973 \text{ h}$$

- Calcul de l'écart type :

$$\sigma = B \cdot \eta$$

$$\sigma = 1 \cdot 970,31$$

$$\sigma = 970,31 \text{ h}$$

Temps de début de mission (h)	450	550	750	950	1100	1250
Temps de mission additionnel	500	600	800	1000	1150	1300
Fiabilité. Cond	0.60	0.543	0.445	0.365	0.315	0.271
Prob.de défaillance Cond	0.399	0.456	0.554	0.634	0.684	0.728

Tableau 1.8. La fiabilité et la probabilité de défaillance conditionnelle

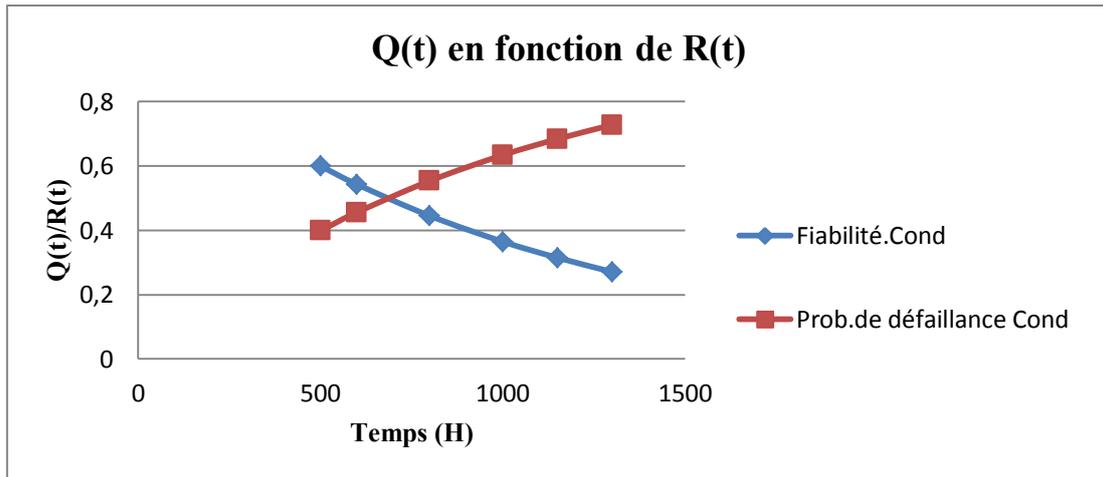


Figure 1.18. Evolution de la fiabilité et la probabilité de défaillance conditionnelle en fonction du temps

D'après la figure (1.18), on remarque que la fiabilité conditionnelle diminue avec le temps, par contre la probabilité de défaillance augmente.

Interprétation des courbes

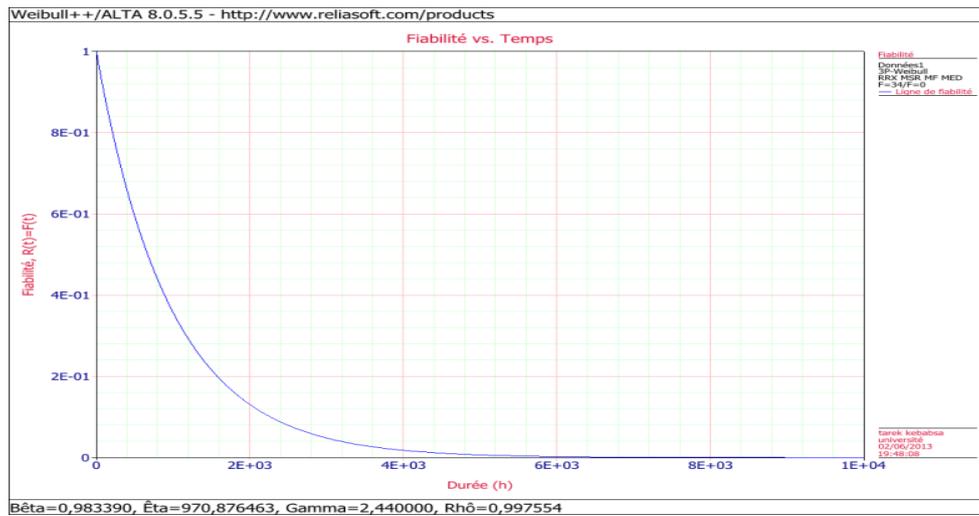


Figure 1.19. La fiabilité R(t) en fonction du temps (105J)

La probabilité de bon fonctionnement du turbocompresseur décroît avec le temps (Fig. 1.19). La valeur de la fiabilité pour $t=MTBF$ est égale à 36,7 % ce qui implique que ce turbocompresseur a 36,7 % de chances de vivre jusqu'à la MTBF.



Figure 1.20. Le taux de défaillance $\lambda(t)$ en fonction du temps (105J)

Il est décroissant avec le temps (Fig. 1.20). Le turbocompresseur est donc en fin de la période de jeunesse et en début de la maturité.

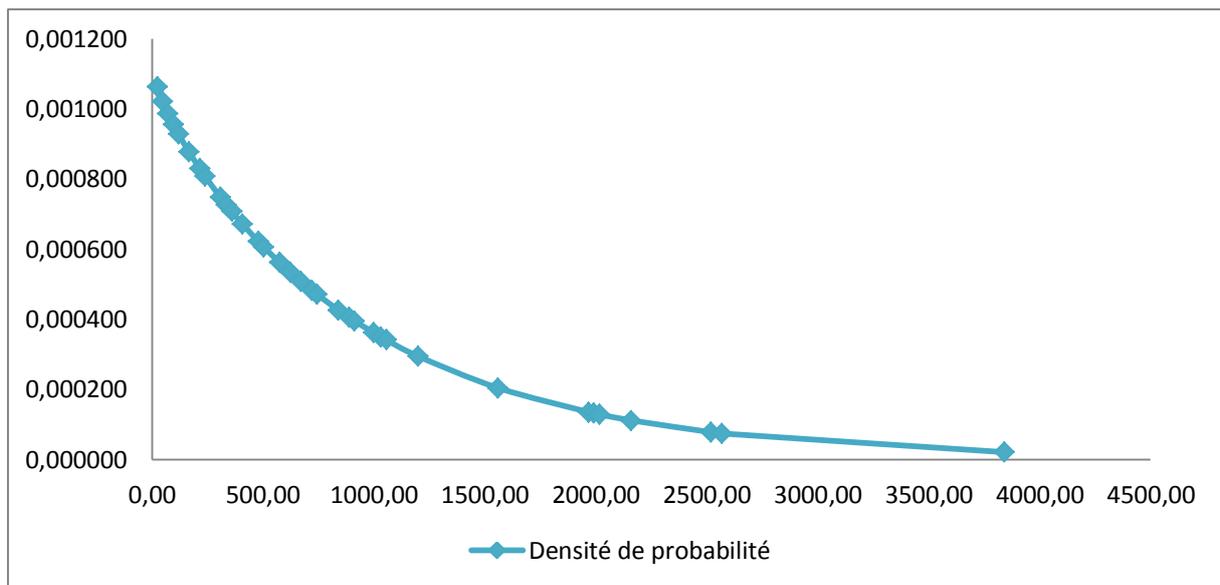


Figure 1.21. La densité de probabilité $f(t)$ en fonction du temps (105J)

Dans la figure (1.21), nous remarquons que cette fonction est décroissante avec le temps. Elle montre également qu'il y a des pannes qui se manifestent bien avant la MTBF qui est égale à 973 h.

Calcul de la maintenabilité :

a) **Moyenne des temps de réparation :**

$$MTTR = \frac{6374}{45} = 141,64h/int$$

b) Taux de réparation : $\mu = \frac{1}{MTTR}$
 $\mu = 1 / 141,64 = 0,007 \text{int/h}$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t}$$

$$M(t) = 1 - e^{-0,007 * 141,64} = 0,628$$

Calcul de la disponibilité :

1) Disponibilité intrinsèque :

$$D_i = M.T.B.F / (M.T.B.F + M.T.T.R)$$

$$= 973 / (973 + 141,64) = 0,8729$$

2) Disponibilité instantanée :

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{973} = 0,001$$

$$D(t) = \frac{0,007}{0,001 + 0,007} + \frac{0,001}{0,001 + 0,007} e^{-(0,001+0,007)t} = 1$$

3) Disponibilité asymptotique :

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu}$$

$$= \frac{0,007}{0,001+0,007} = 0,875$$

2.5 Application sur le turbo-ventilateur101 BJT : (N=40)

En rapportant les valeurs des TBF et des Fe(%) sur le papier d'Allain Plait (fig. 1.22), on a pu déterminer les trois paramètres de la loi de Weibull.

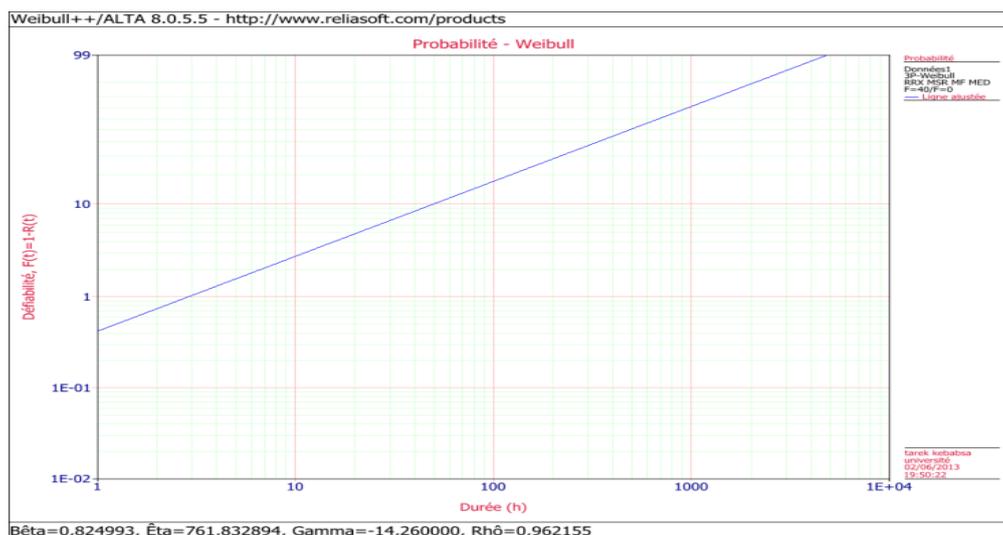


Figure 1.22. Représentation des TBF sur le papier de Weibull

- $\gamma = -14,26 \text{h}$
- $\eta = 761,83 \text{h}$
- $\beta = 0,82$

Après avoir calculé les D_n , on a trouvé que :

$$D_{n, \max} = 0,0991$$

$N = 45$, en posant que : $\alpha = 0,05$ et en se référant à la table du test K-S, $D_{n, \alpha} = 1,36 / \sqrt{N} = 0,2150$

Il apparait que : $D_{n, \max} < D_{n, \alpha}$ donc, le modèle de Weibull est accepté.

A partir de la table de calcul de MTBF, on trouve les paramètres A et B selon la valeur β

$$A = 1,1330$$

$$B = 1,430$$

- Calcul de la moyenne des temps de bon fonctionnement :

$$MTBF = A \cdot \eta + \gamma$$

$$MTBF = 1,1330 \cdot 761,83 - 14,26 = 848,89$$

$$MTBF = 849 \text{ h}$$

- Calcul de l'écart type :

$$\sigma = B \cdot \eta$$

$$\sigma = 1,430 \cdot 761,83$$

$$\sigma = 1089,41 \text{ h}$$

<i>Temps de début de mission (h)</i>	450	550	750	950	1100	1250
<i>Temps de mission additionnel</i>	500	600	800	1000	1150	1300
<i>Fiabilité. Cond</i>	0.576	0.528	0.445	0.379	0.336	0.300
<i>Prob.de défaillance Cond</i>	0.423	0.471	0.554	0.620	0.663	0.699

Tableau 1.9. La fiabilité et la probabilité de défaillance conditionnelle

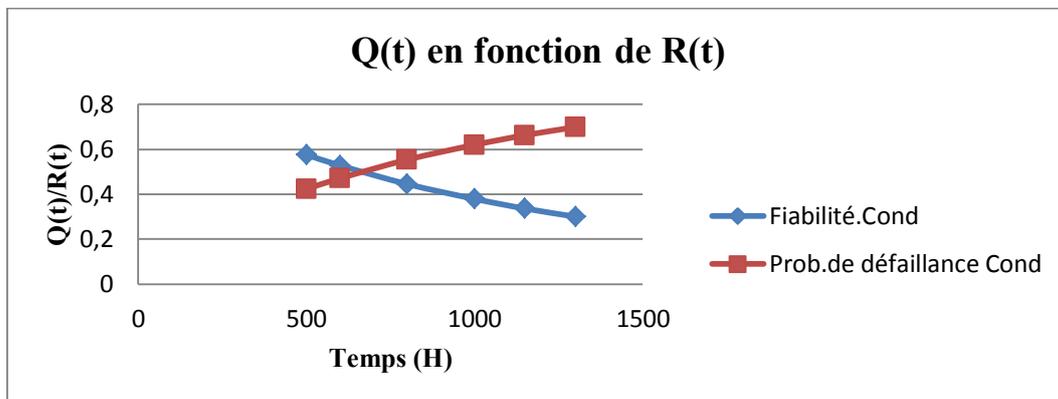


Figure 1.23. Evolution de fiabilité et la probabilité de défaillance conditionnelle en fonction du temps

D'après la figure (1.23), on remarque que la fiabilité conditionnelle diminue avec le temps, par contre la probabilité de défaillance augmente.

Interprétation des courbes :



Figure 1.24. La fiabilité $R(t)$ en fonction du temps (101BJT)

La probabilité de bon fonctionnement du turbocompresseur décroît avec le temps (Fig. 1.24). La valeur de la fiabilité pour $t=MTBF$ est égale à 33% ce qui implique que ce turbocompresseur a 33% de chances de vivre jusqu'à MTBF, donc il n'est pas fiable.

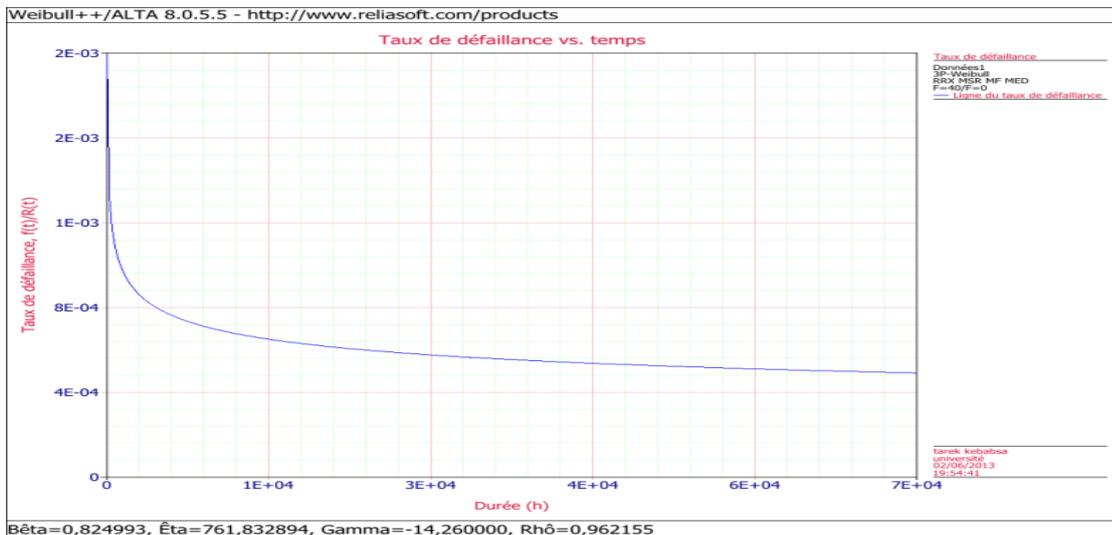


Figure 1.25. Le taux de défaillance $\lambda(t)$ en fonction du temps (101BJT)

Il est décroissant avec le temps (Fig. 1.25).Le turbocompresseur est donc en fin de la période de jeunesse et au début de maturité.

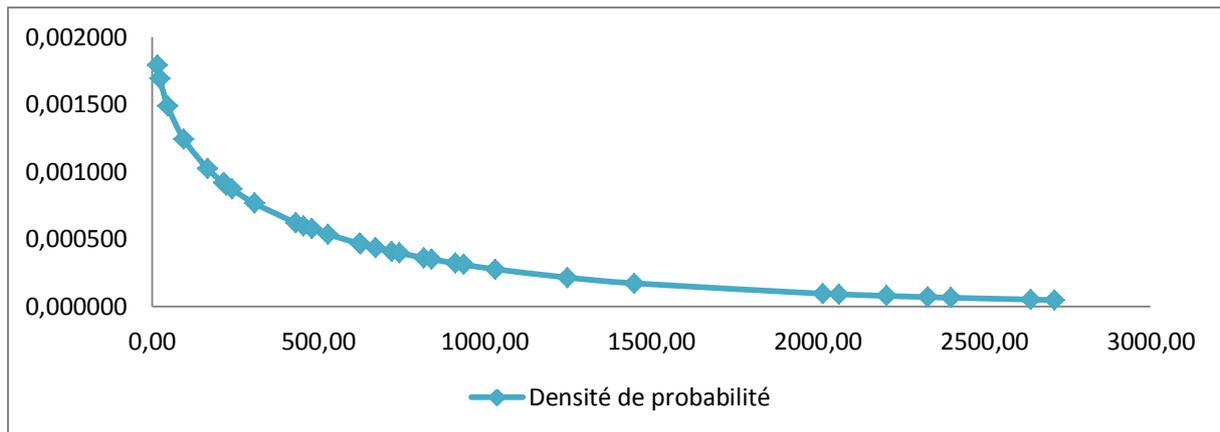


Figure 1.26. La densité de probabilité en fonction du temps (101BJT)

Dans la figure (1.26), nous remarquons que cette fonction est décroissante avec le temps. Elle montre également qu'il y a des pannes qui se manifestent bien avant la MTBF qui est égale à 849 h.

Calcul de la maintenabilité :

c) Moyenne des temps de réparation :

$$MTTR = \frac{5183}{40} = 129,57 \text{h/int}$$

d) Taux de réparation :

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \text{int/h}$$

$$\mu = 1 / 129,57 = 0,007 \text{int/h}$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t}$$

$$M(t) = 1 - e^{-0,007 * 129,57} = 0,5962$$

Calcul de la disponibilité :

1) Disponibilité intrinsèque :

$$D_i = M.T.B.F / (M.T.B.F + M.T.T.R) \\ = 849 / (849 + 129,57) = 0,8675$$

2) Disponibilité instantanée :

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{849} = 0,0011 \text{def/h}$$

$$D(t) = \frac{0,007}{0,0011 + 0,007} + \frac{0,0011}{0,0011 + 0,007} e^{-(0,0011+0,007) * 849} = 0,999$$

3) Disponibilité asymptotique :

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} = \frac{0,007}{0,0011 + 0,007} = 0,864$$

3. Calcul de la fiabilité du système

Après avoir fait une étude fiabiliste pour chaque équipement, on doit faire une étude pour le système complet :

Panneau de calcul	101J	102J	103J	105J	101BJT
Fiabilité R(MTBF)	0.382	0.295	0.307	0.367	0.330
Prob.de défaillance	0.618	0.705	0.693	0.633	0.670
Fiabilité. Cond	0.726	0.672	0.591	0.60	0.576
Prob. de défaillance Cond	0.273	0.298	0.408	0.399	0.432
Durée de vie de fiable	539.19	214.69	155.96	342.74	204.09
Survie BIX%	109.2	34.13	29.22	100.91	35.53
Durée de vie moyenne	1427.67	1479.16	842.54	980.36	830.72
Taux de défaillance	7.10^{-4}	53.10^{-4}	98.10^{-4}	10.10^{-3}	10.10^{-3}

Tableau 1.10. Etude fiabiliste des turbo-machines

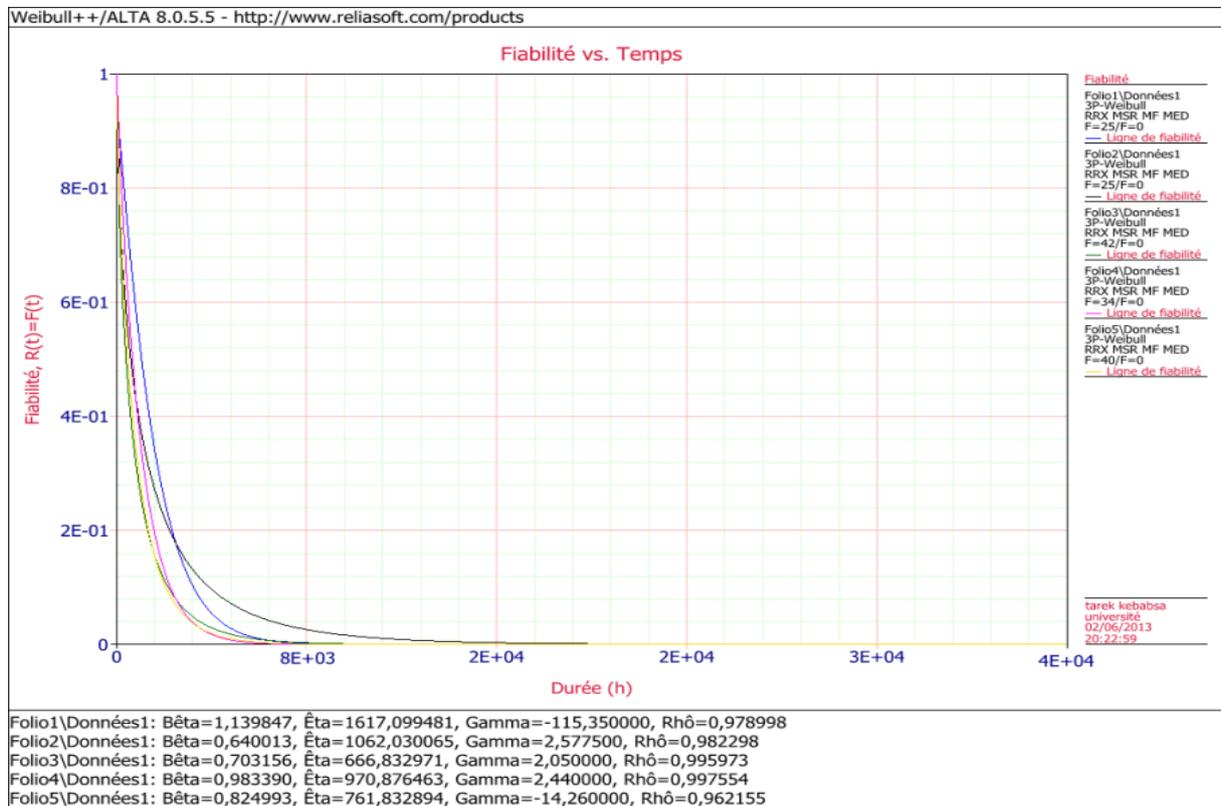


Figure 1.27. Fiabilité du système R(MTBF)

On remarque dans la figure (1.27) que la fiabilité est en décroissance et la fiabilité du système est inférieure de 50% ce qui implique que le système n'est pas fiable et il est besoin d'un plan de maintenance plus sévère.

Comme est représenté dans la figure (1.28), le système R_A est en série :

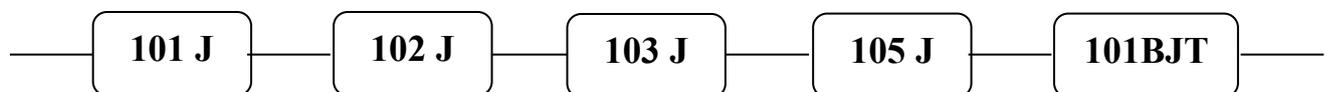


Figure 1.28. Schéma du système R_A

$$R_A = \prod (1 - R_i)$$

La fiabilité du système R_A , est :

TBF	R_{101J}	R_{102J}	R_{103J}	R_{105J}	R_{101BJT}	R_{Sys}
50	0,927	0,872	0,854	0,949	0,877	0,574
100	0,903	0,805	0,770	0,900	0,810	0,408
200	0,854	0,711	0,652	0,811	0,702	0,225
250	0,830	0,675	0,606	0,769	0,657	0,171
300	0,806	0,642	0,566	0,731	0,616	0,131
400	0,760	0,587	0,498	0,659	0,545	0,079
500	0,715	0,540	0,443	0,595	0,485	0,049
550	0,693	0,520	0,418	0,565	0,458	0,038
600	0,672	0,501	0,396	0,537	0,433	0,031
700	0,630	0,466	0,356	0,485	0,387	0,019
800	0,591	0,435	0,322	0,438	0,348	0,012
850	0,572	0,421	0,306	0,417	0,330	0,010

Tableau. 1.11. Etude fiabiliste des turbo-machines

D'après le résultat de calcul de la fiabilité du système, on distingue que la fiabilité est très petite par rapport à l'importance de l'unité.

La fiabilité du système global : (unité Ammoniac R_A , unité nitrate R_6 et l'unité C II R_7 qui sont en parallèle)

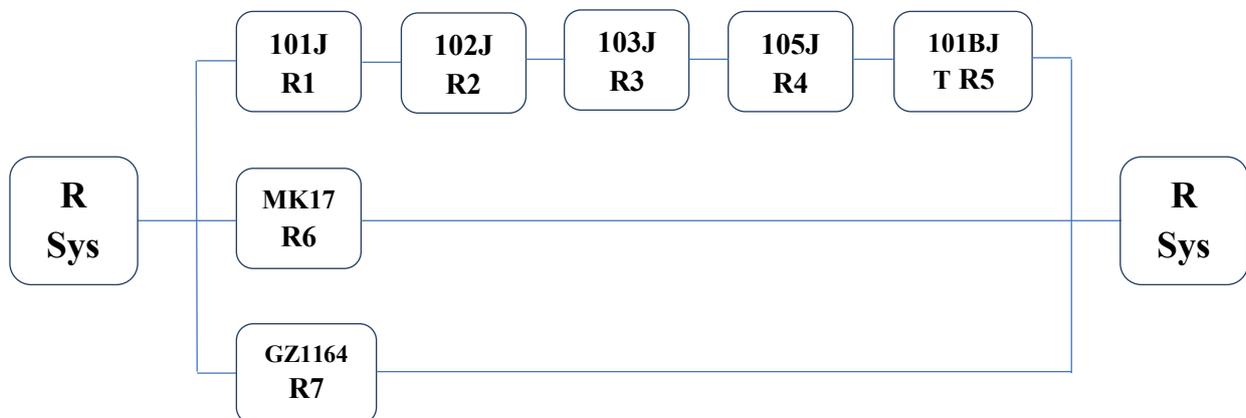


Figure 1.29 Schéma du système global

La fiabilité du système global pour $t= 800h$, est : $R_A = 0,0126$

$$R_B = R_6 + R_7 - R_6 * R_7$$

$$= 0,3123 + 0,3742 - 0,3123 * 0,3742$$

$$= 0,5696$$

$$R_{Sys} = R_A + R_B - R_A * R_B$$

$$= 0,0126 + 0,5696 - 0,0126 * 0,5696$$

$$= 0,5822 - 0,0071$$

$$= 0,5751$$

$$R_{Sys} = 57,57$$

4. Conclusion

D'après l'étude fiabiliste qu'on a fait pour les turbo-machines de l'unité d'ammoniac (FERTIAL), équipement par équipement, et puis pour le système entier, on a conclu que la fiabilité du système est très insuffisante par rapport à la fiabilité des autres unités et à la fiabilité du système global (les 3 unités ensemble).

V. Partie 2 : Diagnostic et analyse vibratoire des turbomachines

I. COMPAGNES DE MESURES REALISEES AVEC LE MATERIEL DE L'ENTREPRISE

Mesures des spectres de vitesse, de déplacement et d'accélération dans différentes bandes de fréquences et dans les trois directions sur six machines stratégiques (101J, 102J, 103J, 105J, 101 BJT) de l'unité ammoniac et le MK17 de l'unité nitrates comme suit :

- Déplacement : [0-200] Hz,
- Vitesse : [0-1000] Hz et [0-5000] Hz,
- Accélération : [0-10000] Hz et [0-20000] Hz

1. Résultats obtenus pour le moto-ventilateur MK17

1.1. Introduction

La surveillance des machines par analyse vibratoire s'est développée considérablement en raison de l'évolution des concepts de maintenance. La réduction des coûts de production et la disponibilité de l'outil de production sont en effet devenues des enjeux qui imposent de détecter et d'identifier tous les défauts à un stade précoce [1]. Actuellement, le sujet n'est plus de démontrer l'intérêt de l'utilisation de l'analyse des vibrations dans le domaine de la maintenance des machines tournantes, mais d'assimiler les bases et connaître les limites de choix de chaque technique. Il devient évident que les défaillances ne peuvent être tolérées en raison de la complexité de la machine et sa criticité dans le processus [2, 3]. Pour une maintenance préventive conditionnelle efficace, des mesures fiables et précises de l'état de la machine doivent être effectuées [4]. La meilleure stratégie de contrôle consiste à utiliser les indicateurs les plus pertinents. En outre, une interprétation erronée des conditions d'exploitation conduit souvent à de fausses sources, des réparations inutiles et des temps d'arrêt considérables.

La plupart des machines cessent de fonctionner depuis le premier jour de l'opération en raison de: (i) Une installation inappropriée, (ii) des mauvaises conditions de travail (environnement, la structure du sol...), (iii) une mauvaise conception ou des défauts de fabrication et (iv) d'autres phénomènes (problèmes) transférés d'un ordinateur à un autre voisin. Les mesures vibratoires représentent l'image des défauts générés, s'ils sont stratégiquement bien placés. Le choix du type d'analyse (temporelle, fréquentielle, ...etc.), permettant le traitement des signaux vibratoires acquis, est très important car il dépend du comportement dynamique de la machine (linéaire, non linéaire, transitoire, stationnaire, ...etc.).

Les indicateurs scalaires sont les outils les plus simples de détection des défauts de machines tournantes dans la maintenance préventive conditionnelle. Ils consistent en une valeur numérique, ce qui permet une comparaison à des seuils significatifs de l'état de dégradation d'une machine. Dans le cas d'une surveillance vibratoire dans le domaine fréquentielle, des études ont montré le grand apport de certains indicateurs, tel que le RMS et le niveau global pour l'identification des forces impulsives dues aux défauts [5,6].

Pour permettre un diagnostic fiable de l'état de fonctionnement des machines, plusieurs techniques sont utilisées tout au long de ces dernières années. L'analyse spectrale est sans doute l'une, si ce n'est pas, la technique la plus ancienne et la plus utilisée à la fois. Venant combler les limites de cette technique, plusieurs méthodes ont également vu le jour et ont été généralement développées pour des défauts bien spécifiques. La « révolution » dans le domaine du diagnostic vibratoire des machines est sans doute l'utilisation des méthodes temps-fréquence qui a permis la mise en place de plusieurs techniques fiables telles que la transformée de Fourier à court terme [7], la transformée en ondelettes [8-9], ou encore l'empirique mode décomposition [10].

Dans cette étude, nous allons présenter une application portant sur l'utilisation de deux techniques d'analyse vibratoire : le niveau global moyen, l'analyse spectrale. Ces outils permettront un diagnostic précis d'un moto ventilateur travaillant en milieu industriel dans des conditions bien réelles que celles d'un laboratoire de recherche.

1.2. Résultats et discussion

1.2.1. Données des mesures réalisées

Le moto-ventilateur MK-17 se trouve au niveau de l'unité nitrate d'ammoniac. C'est une machine capitale dans le processus de production, qui nécessite une surveillance continue. Malheureusement, ce mécanisme est suivi en off line, par les valeurs des RMS mesurés de vibration de vitesse et d'une manière périodique par des prélèvements des spectres de vibration pour la détection des chocs dans les machines tournantes, tels que les chocs dans les roulements, les engrenages, jeu de desserrage,...etc. Nous avons constaté que le MK-17 a un niveau de vibration très élevé. Pour cela, nous avons décidé de lancer une campagne d'essais dans le but d'établir un diagnostic concernant les causes potentielles qui provoquent cette augmentation du niveau de vibration. Ce système est présenté par le schéma cinématique qui se compose d'un moteur, accouplement, ventilateurs à double compartiment et autres accessoires (Fig. 2.1). Les mesures sont recueillies grâce à l'analyseur Schenk VIBROTEST 60 (Fig. 2.2) [12]. Le tableau (2.1) regroupe les données principales des mesures réalisées.

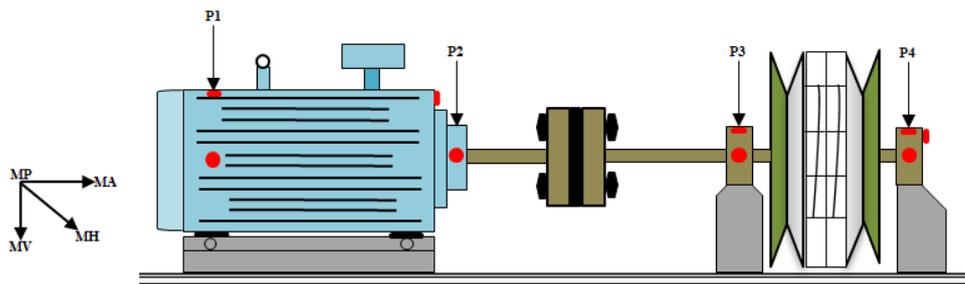


Figure 2.1. Schéma cinématique du moto-ventilateur MK17

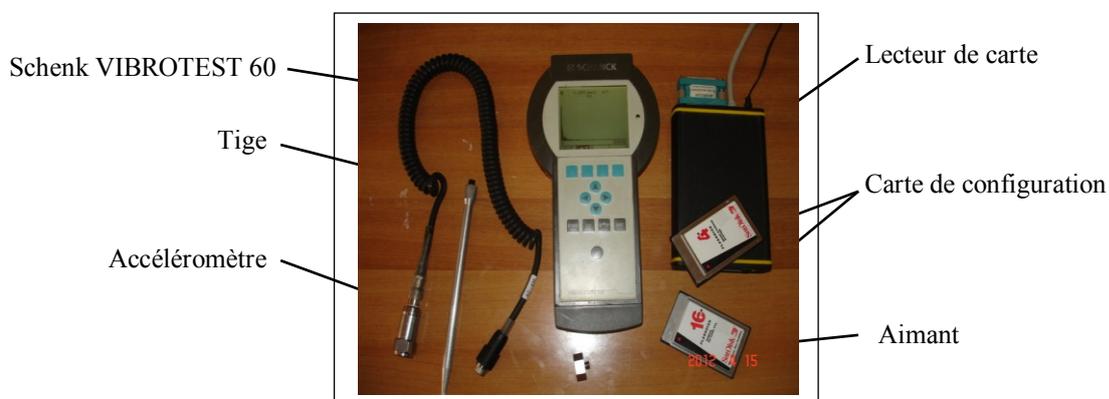


Figure 2.2. Analyseur de l'entreprise

Tableau 2.1. Données des mesures

Compagnes d'essais	F max	N lignes	FE	Δf
1	[0 -200Hz]	800	512 Hz	0.25 Hz
2	[0 -1000Hz]	800	2560 Hz	1.25 Hz

1.2.2. Analyse du moto-ventilateur MK-17 sur la base des niveaux globaux

L'analyse globale est faite sur la base des mesures des spectres de déplacements dans la bande [0 -200Hz] et de vitesses dans deux bandes [0-200Hz] et [0-1000Hz], au niveau des 4 paliers du MK-17, dans les trois directions (Horizontale, Verticale, Axiale). Pour éviter de faire l'analyse de tous les spectres mesurés, nous avons fait tout d'abord une analyse basée sur les valeurs des RMS mesurées et les niveaux globaux de déplacements et de vitesses calculés par la formule suivante :

$$NG_{vit} = \sqrt{\frac{2}{3} \sum_{10}^{1000} (N_i)^2} \quad (1)$$

D'après la norme ISO 2372[13], le mécanisme étudié est classé dans le groupe 3, à savoir les machines de grande puissance (>300 kW) et montées sur des fondations rigides. L'analyse des résultats des RMS mesurés et des niveaux globaux calculés présentés sur le tableau (2.2), montre que dans la plupart des paliers du moteur et du ventilateur, le seuil d'alarme 7mm/s et le seuil de danger 11mm/s, sont largement dépassés par comparaison avec la norme ISO 2372. Pour le palier 2 du moteur dans sa direction horizontale et axiale le niveau global de la vitesse atteint 14 mm/s, ce qui classe le MK17 dans l'intervalle de fonctionnement inadmissible. Pour le palier 3 du ventilateur, principalement dans la direction verticale, le niveau global de vitesse atteint un seuil très dangereux qui dépasse 17.5 mm/s.

Toujours d'après la norme ISO 2372, les résultats des RMS et des niveaux globaux mesurés et calculés sur la base des déplacements dans la bande de fréquence [0:200Hz] et [0:1000Hz] respectivement (voir tableau 2.2), montrent que le MK-17 est classé dans l'intervalle de fonctionnement médiocre (50-175 μm) et risque de passer dans l'intervalle inadmissible pour le palier 3 vertical où le déplacement atteint 143.17 μm .

Sur la base de l'analyse des valeurs des RMS mesurés et des niveaux globaux calculés à partir des spectres de déplacement et de vitesse dans les différents paliers, nous avons constaté que les deux paliers 2 et 3 du MK-17 présentent un niveau de vibration très important dans les deux bandes de fréquence et principalement dans les directions axiale et verticale. Comme, le niveau global ne permet pas de faire un diagnostic des défauts, nous avons décidé de passer à l'analyse spectrale pour les paliers suspect.

Tableau 2.2 Les valeurs des RMS mesurées, des niveaux globaux calculés et du niveau global moyen avant intervention.

niveaux globaux			[0-200Hz] déplacement			[0-100Hz] vitesse		
machine	palier	direction	RMS mesuré [0-200Hz]	NG dép. calculé [1-10Hz]	NG dép. moyens	RMS mesurée [0-1000Hz]	NG vit calculé [10-1000Hz]	NG vit moyens
Moteur M-17	1	H	45	99.906	96.16	11.48	12.58	12.73
		V	18	64.462		8.5	09.20	
		A	16	78.888		12	12.54	
	2	H	22	67.516		13.5	14.05	
		V	46	78.718		10.58	10.86	
		A	18	66.496		12.35	13.86	
Ventilateur K-17	3	H	28	85.289		11.85	12,17	
		V	110	143.179		17.11	17.56	
		A	22	94.738		11.61	12.02	
	4	H	75	116.883	12,32	12.54		
		V	85	123.732	12,11	12.49		
		A	43	134.118	12,61	12.98		

1.2.3. Analyse spectrale

Sur la (Fig. 2.3 a et b), nous présentons les deux spectres de vitesse mesurés dans la bande de fréquences [0-1000Hz] dans les deux directions axiale et verticale du palier 2 du moteur et le palier 3 du ventilateur. Dans la direction axiale du palier 2 du moteur, on constate la présence d'un désalignement sécant (angulaire) illustré par le dépassement de l'amplitude de la deuxième harmonique de celle de la fréquence de rotation (RPM). Dans la direction verticale du palier 3 du ventilateur, on note un niveau très élevé de l'amplitude du pic correspondant à RPM (16.11 mm/s), donc présence d'un fort balourd. L'analyse spectrale a confirmé les niveaux globaux de vitesse mentionnée dans le tableau 2 et a révélé l'existence d'un désalignement accompagné d'un balourd sur le MK-17.

Sur la (Fig. 2.3 c et d), nous présentons les spectres de déplacements mesurés dans la bande de fréquences [0-200Hz] sur les mêmes paliers et les mêmes directions. Les amplitudes de RPM dans les deux paliers sont élevées notamment sur le palier du ventilateur où l'amplitude de RPM atteint 104.4 μm . Ce résultat confirme l'existence d'un important balourd dans le rotor du ventilateur.

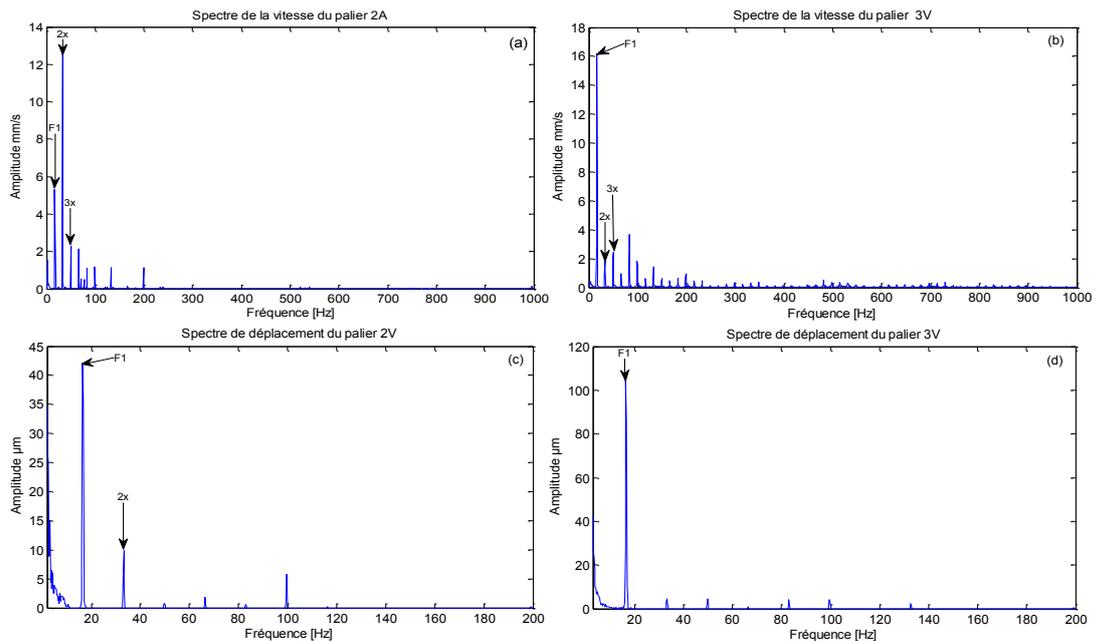


Figure 2.3. Spectre de déplacement et de la vitesse vibratoire avant l'intervention

1.2.4. Opérations de réparation et de maintenance du MK-17

Plusieurs interventions du service de maintenance ont été effectuées sur le MK17, en procédant aux opérations suivantes :

- Graissage des paliers : Constatation de refoulement de la graisse sans diminution du niveau de vibration ;
- Nettoyage des pales du ventilateur : suite à une suspicion de présence de balourd dû à l'attachement de la poussière du produit (Nitrate) refroidi par le ventilateur aux pales de ce dernier. Cette opération a provoqué une diminution légère du niveau de vibration ;
- Suspicion de blocage au niveau du ventilateur : suite à l'augmentation de la pression à l'intérieur de ce dernier, une opération de nettoyage des filtres de dégagement du gaz vers l'atmosphère est effectuée. Le niveau de vibration dans les deux paliers du ventilateur reste encore élevé ;
- Lancement d'une opération d'équilibrage : par une entreprise externe, ajout de deux masses, la première de 600g sur le palier 3 et la deuxième de 995g sur le palier 4 du ventilateur. Le niveau de vibration a diminué légèrement, mais il reste au-dessus des normes (7mm/s).

Vu l'importance du MK-17 dans le processus de production de l'entreprise, une décision de changer tout le rotor du K-17 (arbre, ventilateur et paliers de roulement) a été prise, voir photo (2.4) du rotor défectueux.



Figure 2.4. Photo du rotor défectueux du MK17

Nous avons trouvé que cette décision est trop précipitée vu que l'analyse spectrale ne révèle qu'un problème de désalignement qu'il faut chercher son origine. Afin d'avoir une idée globale du niveau de vibration du MK-17, nous avons proposé une méthode de calcul du niveau global moyen de vitesse et de déplacement, en prenant en compte les niveaux de vibration des quatre paliers et dans les trois directions (verticale, horizontale et axiale), en utilisant la formule suivante :

$$NG_{\text{moyen}} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1,3} V_i(D_j)}{n} \quad (2)$$

Ou $\left\{ \begin{array}{l} V_i: \text{le niveau de vibration global dans chaque palier } i \text{ du MK17.} \\ D_j: \text{direction du mesure (} D_1 = H, D_2 = V, D_3 = A \text{).} \\ n = i * j \end{array} \right.$

La méthode proposée est inspirée de la référence [11], dans laquelle l'auteur calcule le niveau global moyen d'une installation composée de plusieurs pompes montées en série, ce qui lui a permis de mieux évaluer les critères de sévérité en se basant sur le niveau global moyen au lieu du niveau global dans chaque palier.

En utilisant l'expression (2), on obtient le niveau global moyen de la vitesse égale à 12.73 mm/s, voir tableau 2. Donc d'après la norme ISO 2372, le MK-17 est classé dans l'intervalle de fonctionnement inadmissible.

Des mesures sont effectuées après changement du rotor.

1.2.4.1. Analyse globale

Le lendemain du changement du rotor complet du K-17, nous avons pris des mesures de déplacement et de vitesse dans les mêmes conditions qu'avant le changement du rotor. Le calcul du niveau global dans tous les paliers et le niveau global moyen montre une diminution sensible du niveau vibratoire (voir tableau 2.3). Le niveau global moyen de vitesse passe de 12.73 mm/s tableau 2 à 7.07 mm/s tableau 3 et le niveau global moyen de déplacement passe de 96.16 μm à 61.99 μm . Cette diminution reste insuffisante vu qu'on est toujours au-dessus du seuil d'alarme par rapport à la vitesse et au déplacement.

Tableau 2.3. Les valeurs des RMS mesurées, des niveaux globaux calculés et du niveau global moyen après changement du rotor

niveaux globaux			[0-200Hz] déplacement			[0-1000Hz] vitesse		
machine	palier	direction	RMS mesuré [0-200Hz]	NG dép. calculé [1-10Hz]	NG dép. moyens	RMS mesurée [0-1000Hz]	NG vit calculé [10-1000Hz]	NG vit moyens
Moteur M17	1	H	8,21	65.594	61.99	5,51	6.54	7.09
		V	8.12	54.629		6,42	6,98	
		A	6.86	73.724		6,41	6,98	
	2	H	7,82	91.527		5,20	5,89	
		V	10,05	38.098		7,54	7,82	
		A	8.86	37.494		5.54	5,75	
Ventilateur K17	3	H	15,8	51.906		5,71	5,98	
		V	32,3	61.339		8,82	9,89	
		A	17,9	67.194		5,23	5,68	
	4	H	13,4	75.467	7,18	8,75		
		V	29,2	51.984	7,71	8,95		
		A	18,9	74.933	5,59	5,88		

1.2.4.2. Analyse spectrale

L'analyse des spectres de vitesse de la (Fig. 2.5 a et b) confirme aussi la diminution du niveau vibratoire dans les deux paliers 2 et 3 du MK-17. L'amplitude de la fondamentale sur le palier 3V du ventilateur diminue de 50%, cependant le désalignement sécant (angulaire) persiste sur le palier 2A du moteur, ou l'amplitude de la quatrième harmonique dépasse largement celle de la fréquence de rotation (RPM).

L'analyse des spectres de déplacement de la (Fig. 2.5 c et d) confirme elle aussi la diminution sensible des amplitudes de déplacements de 42 μm à 8 μm pour le palier 2V et de 110 μm à 32 μm pour le palier 3V.

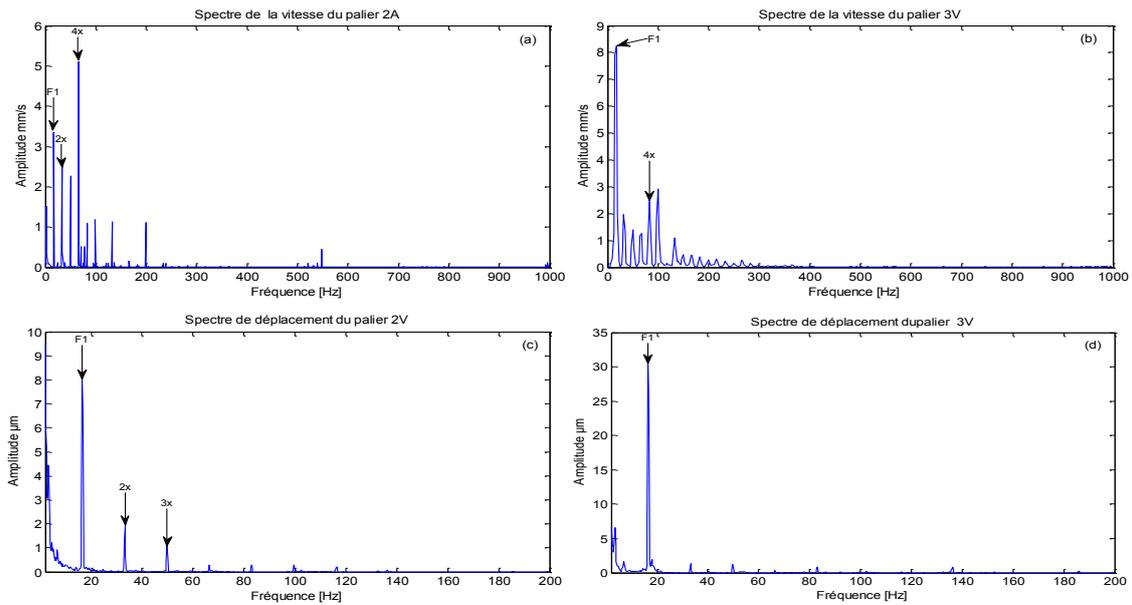
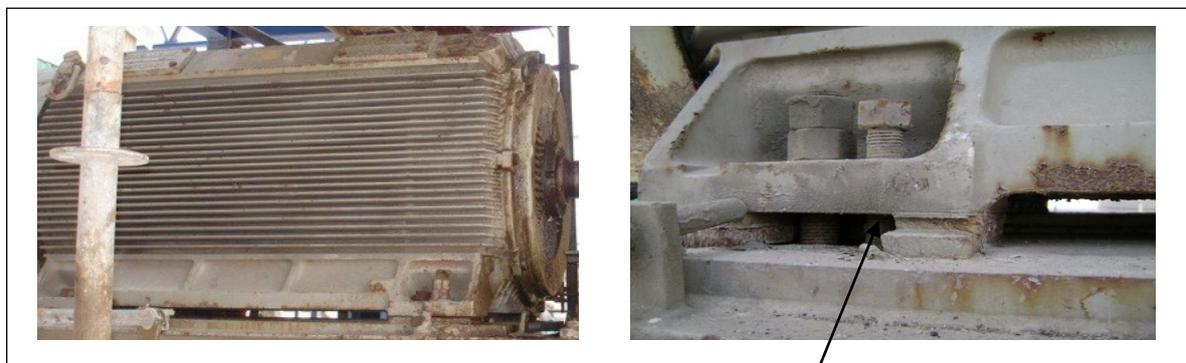


Figure 2.5. Spectre de déplacement et de la vitesse vibratoire après le changement du rotor

1.2.5. Constatations après deux jours de l'intervention

Deux jours après le remplacement du rotor du ventilateur, le niveau vibratoire a augmenté dans des proportions plus alarmantes qu'avant l'intervention. Le niveau de vitesse mesuré sur les paliers du ventilateur a atteint 50mm/s sur le palier 3 et 48mm/s sur le palier 4, ce qui a provoqué une augmentation de l'ampérage du moteur électrique qui a passé de 70A à 175A. Cette augmentation a provoqué le déclenchement du moteur à plusieurs reprises. En se basant sur les résultats du niveau global moyen du MK-17, qui montre que ce dernier souffre d'un niveau de vibration trop dangereux et sur l'analyse spectrale qui montre la persistance du désalignement sécant sur le palier 2A, on a proposé au service de maintenance de procéder à des mesures topographiques entre les différents paliers du MK-17. Les résultats de mesures montrent l'existence d'une différence de niveau de 16 mm entre le socle en béton des deux paliers du moteur et avec ceux du ventilateur. Ce qui explique le niveau très élevé de vibration et le désalignement sécant que nous avons signalé avant le changement du rotor. Une cale de 16 mm a été rajoutée aux paliers du moteur, (Fig. 2.6).



Cale ajoutée de 16mm.

Figure 2.6. Moteur sans et avec cale

1.2.5.1. Analyse globale

Après le calage du moteur et durant plusieurs jours après, nous avons pris des mesures de déplacement et de vitesse dans les mêmes conditions qu'auparavant. Le calcul du niveau global et le niveau global moyen dans tous les paliers des MK-17 montre une nette diminution du niveau vibratoire (voir tableau 2.4). Le niveau global moyen de déplacement passe de 99.16 Hz à 11.68 Hz et le niveau global moyen de vitesse passe de 12.73 mm/s à 1.23 mm/s, ce qui met le moto-ventilateur dans l'intervalle de fonctionnement bon.

Tableau 2.4. Les valeurs des RMS mesurées, des niveaux globaux calculés et du niveau global moyen après le calage du moteur

niveaux globaux			[0-200Hz] déplacement			[0-1000Hz] vitesse		
machine	palier	direction	RMS mesurée	NG dép. calculé	NG dép. moyens	RMS mesurée	NG vit calculé	NG vit moyens
			[0-200Hz]	[1-10Hz]		[0-1000Hz]	[10-1000Hz]	
Moteur M17	1	H	5,24	14,648	11.68	1.05	1,22	1.23
		V	6,61	9,349		0.98	1,05	
		A	6,40	14,097		0.65	0,81	
	2	H	5,03	10,461		0.95	1,15	
		V	6,67	11,113		0.82	0,91	
		A	6,18	10,951		0.48	0,51	
Ventilateur K17	3	H	4,50	11,733		1.12	1,71	
		V	7.83	12,539		0.85	1,15	
		A	4,24	14,252		1.02	1,32	
	4	H	4,36	11,372		1.11	1,45	
		V	5,82	10,697		1.05	1,65	
		A	4,45	9,047		1.02	1,86	

1.2.5.2. Analyse spectrale

L'analyse des spectres de vitesse de la (Fig. 2.7 a et b), confirme d'une part la disparition du désalignement sécant sur le palier 2A et d'autre part la diminution très importante du niveau vibratoire. Avant la réparation l'amplitude de RPM dans le palier 2A est de 12.15 mm/s et elle passe à 0.48mm/s. Pour le palier 3V le niveau de vitesse passe de 16.11 mm/s à 0.85 mm/s. L'analyse des spectres de déplacement (Fig. 2.7 c et d), confirme aussi cette sensible diminution du niveau vibratoire. Pour le palier 2V le niveau de RPM passe de 49.1µm à 6.67 µm et pour le palier 3V le niveau de RPM passe de 104.4 µm à 7.83 µm, ce qui classe le moto-ventilateur dans l'intervalle de fonctionnement bon.

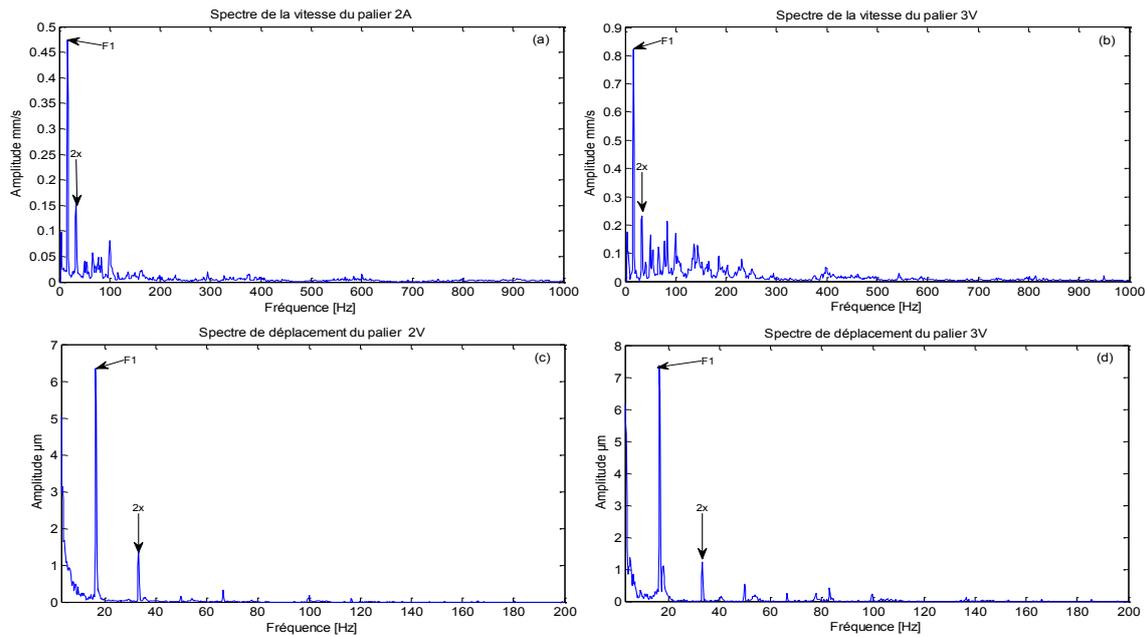


Figure 2.7. Spectre de déplacement et de la vitesse vibratoire après le changement du rotor

1.3. Conclusion

Dans cette étude, on peut conclure que les techniciens et les opérateurs d'entretien, prennent souvent des décisions inacceptables et illogiques qui conduisent à l'endommagement du matériel et augmente le coût d'intervention ou la panne. On propose alors l'utilisation d'un nouvel indicateur qui permet de découvrir l'état de la machine avant de prendre une décision d'intervention. Ce résultat découle de l'exploitation de données comme référence pratique, vu qu'avant l'intervention et après le changement inévitable, le niveau global moyen de déplacement passe de 99.16 Hz à 61.99 Hz et de même le niveau global moyen de vitesse passe de 12.73 mm/s à 7.09 mm/s. Après la réparation et le calage du moteur, le niveau global moyen de déplacement passe de 99.16 Hz à 11.68 Hz et de même le niveau global moyen de vitesse passe de 12.73 mm/s à 1.23 mm/s. L'entretien contribue activement au pronostic des défaillances liées à la vibration. Le processus de décision d'entretien est soutenu par des outils de contrôle comme le niveau global moyen, ce dernier peut rapporter les repères dynamiques d'industrie des machines. Ces outils nous permettent d'identifier la méthodologie pour prendre les décisions d'entretien avant toute intervention, on peut modifier le programme d'entretien appliqué par une utilisation des outils de mesure qui est basée sur le développement technologique et les niveaux globaux moyens sont des indicateurs qui découvrent l'état d'ensemble de la machine appropriée.

Remarque : Ce travail est en cours de traduction pour une publication internationale.

II. Compagnes de mesures réalisées avec le matériel du laboratoire

1. Résultats obtenus pour le Turbo Alternateur GZ1164.2

1.1. Première campagne d'essais

Nous présentons dans ce rapport l'analyse du comportement vibratoire du turbo alternateur GZ1164.2 (Centrale 2), composé d'une turbine à vapeur, un réducteur ($Fr_1=150\text{Hz}$, $Fr_2=25\text{ Hz}$, rapport de transmission=6, Fréquence d'engrènement $Fe=6125\text{ Hz}$) et d'un alternateur, les différents paliers de cette installation sont des paliers lisse. Les mesures sont faites le 17/12/2012 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). Le matériel de mesure utilisé dans cette campagne d'essais : Analyseur de vibrations PULSE 16.1, accéléromètres mono-axial (industriel) et triaxial, les mesures sont capturées en basse, moyen et haute fréquence afin de cerner les différents défauts susceptibles d'apparaître sur le turbo alternateur. Les méthodes de traitement des signaux capturés utilisées dans ce rapport sont l'analyse spectrale, cepstrale et l'analyse multi résolution en ondelette (spectre d'enveloppe).



Figure 2.8. Photo du matériel utilisé et du turbo-alternateur

1.1.1. Résultat et discussion

On présente sur la figure (2.9) un signal mesuré sur le palier 3 du réducteur dans la bande de fréquence $[0-25600\text{Hz}]$ avec un nombre de points 4096. Ce signal va être traité par trois méthodes de traitement du signal (analyse spectrale, analyse cepstrale et l'analyse multi résolution en ondelette). Nous présentons sur la figure (2.10), le spectre d'accélération mesuré sur le palier 3 du réducteur dans la direction axiale dans la bande de fréquence $[0-25600\text{Hz}]$. Le spectre montre l'apparition de la fréquence d'engrainement $Fe=6125\text{ Hz}$ et ces harmoniques $2Fe=12250\text{ Hz}$ et $3Fe=18375\text{ Hz}$. Nous montrerons sur les zooms 1, 2 et 3 que la fréquence d'engrènement et ces harmonique sont modulées par la fréquence de l'arbre d'entrée du réducteur $Fr_1=150\text{ Hz}$ et la fréquence de l'arbre de sortie $Fr_2=25\text{ Hz}$, ce que signifie qu'on est en présence d'un défaut sur les dents de la roue et du pignon.

Pour plus de précision sur ce défaut, la décroissance des amplitudes de Fe et ces harmoniques $2Fe$ et $3Fe$, confirme qu'on a une usure généralisée des dents. D'après les zooms

sur les zooms 1, 2 et 3, on constate que les amplitudes des modulations de Fe, 2Fe et 3Fe sont plus faible pour la fréquence de la roue (.....,Fe-2Fr2, Fe-Fr2, Fe, 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 (2.11) une représentation cepstrale du même signal. Le cepstre montre clairement l'apparition des deux rhamoniques des fréquences d'entrée et de sortie du réducteur avec un peignes décroissant de ces rhamoniques, ce qui confirme la présence du défaut sur la denture de la roue et du pignon. Enfin, nous présentons un résultat de l'analyse multi-résolution en ondelette, qui permet de bien filtré et débruité le signal mesuré. La figure (2.12) 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 aussi la présence de défaut sur la roue et le pignon.

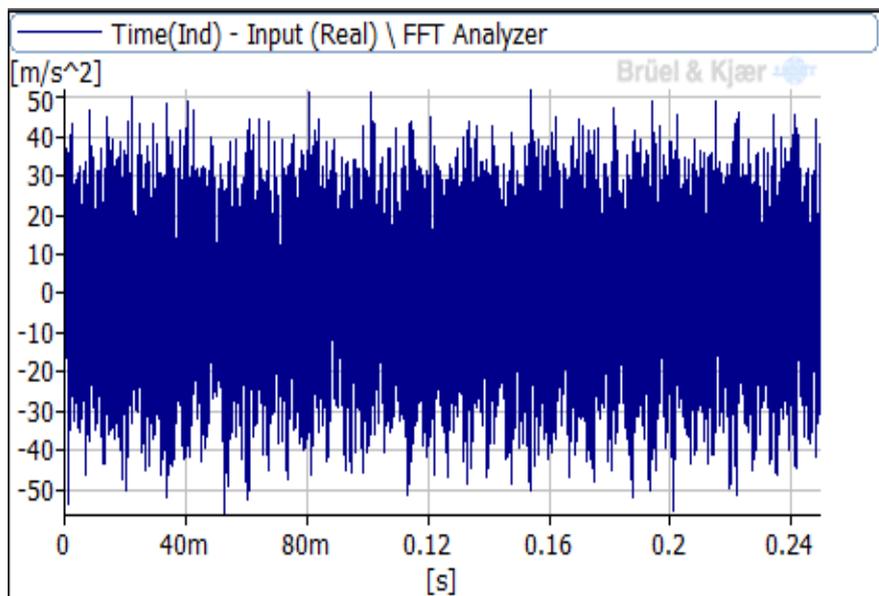


Figure 2.9. Signal mesuré sur le palier 3 dans la bande de fréquence [0 25600 Hz]

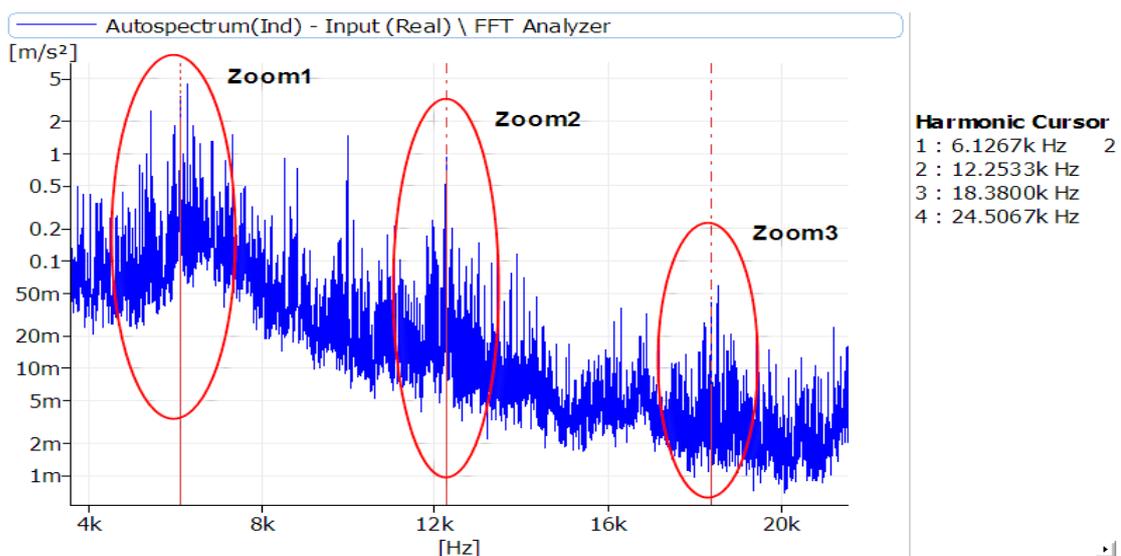
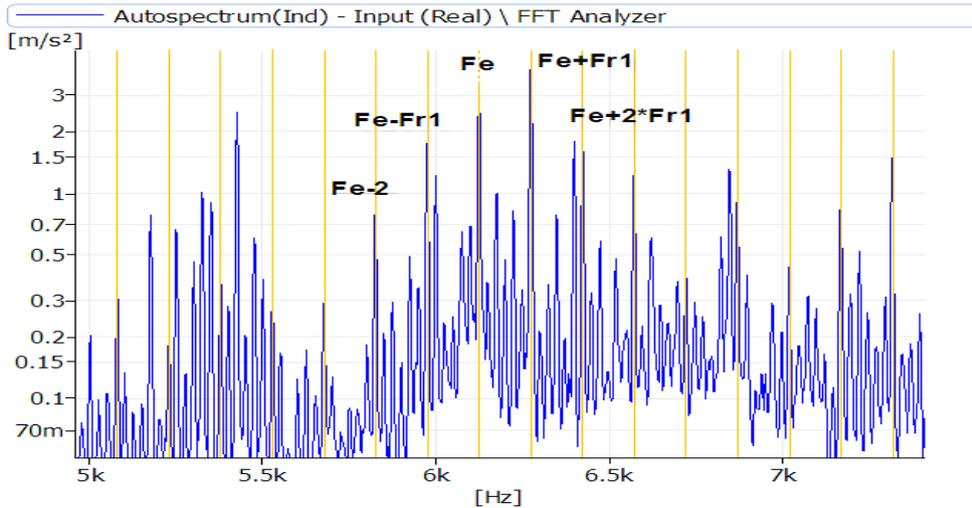


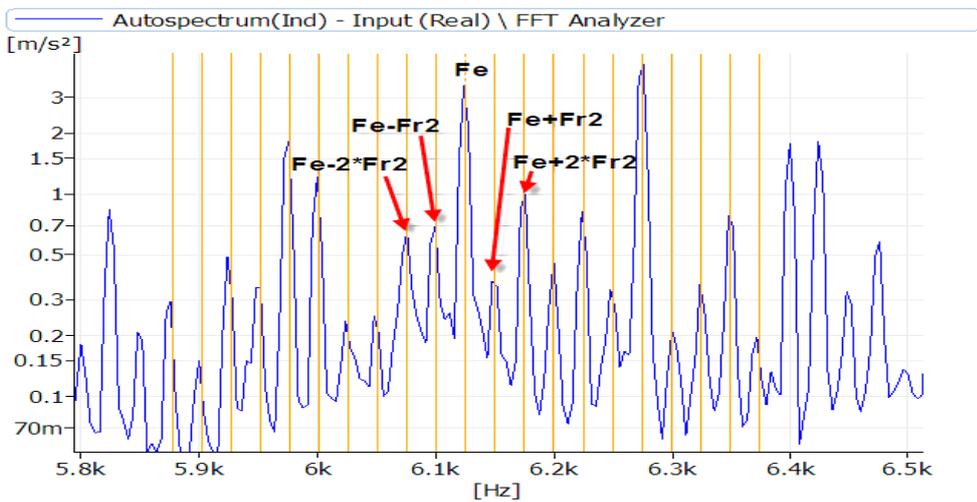
Figure 2.10. Spectre du signal précédent



Sideband Cursor
 Center: 6.125k Hz
 Width: 149.522 Hz

Fe
 Fr1 entrée

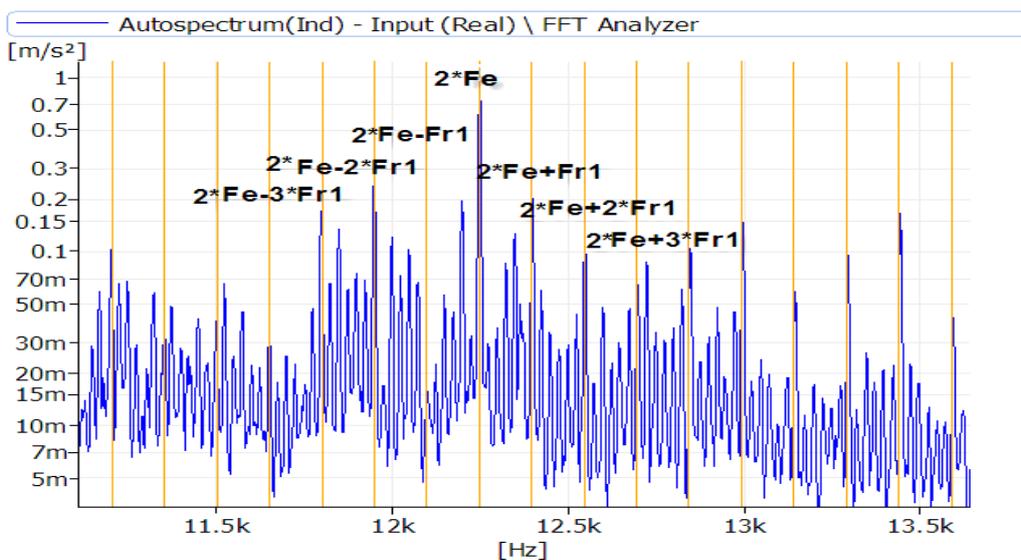
Zoom 1



Sideband Cursor
 Center: 6.126k Hz
 Width: 24.806 Hz

Fe
 Fr2 sortie

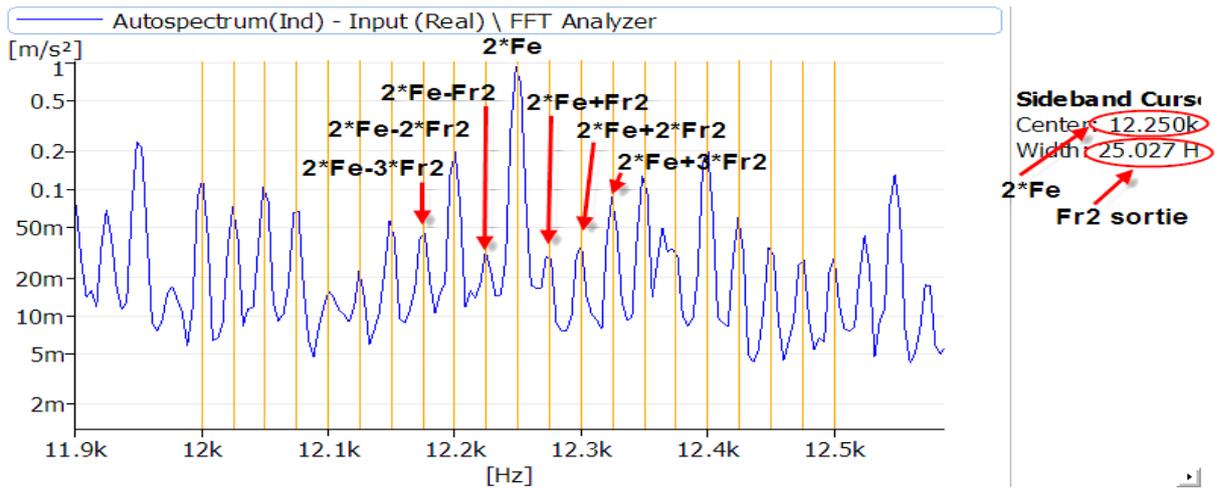
Zoom sur leZoom 1



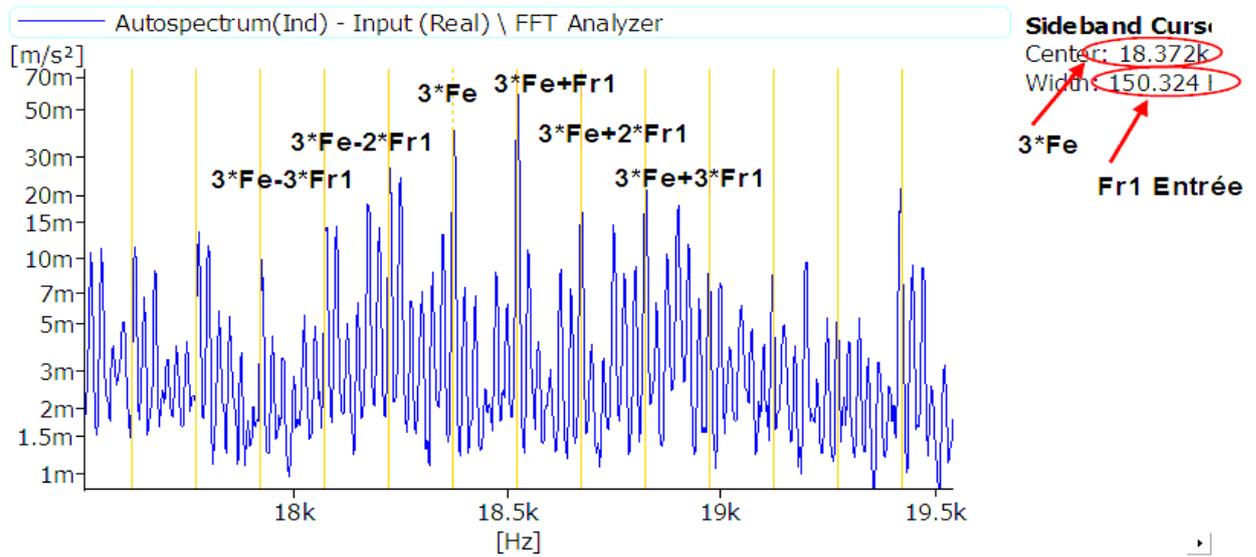
Sideband Cursor
 Center: 12.248k Hz
 Width: 148.881 Hz

2*Fe
 Fr1 entrée

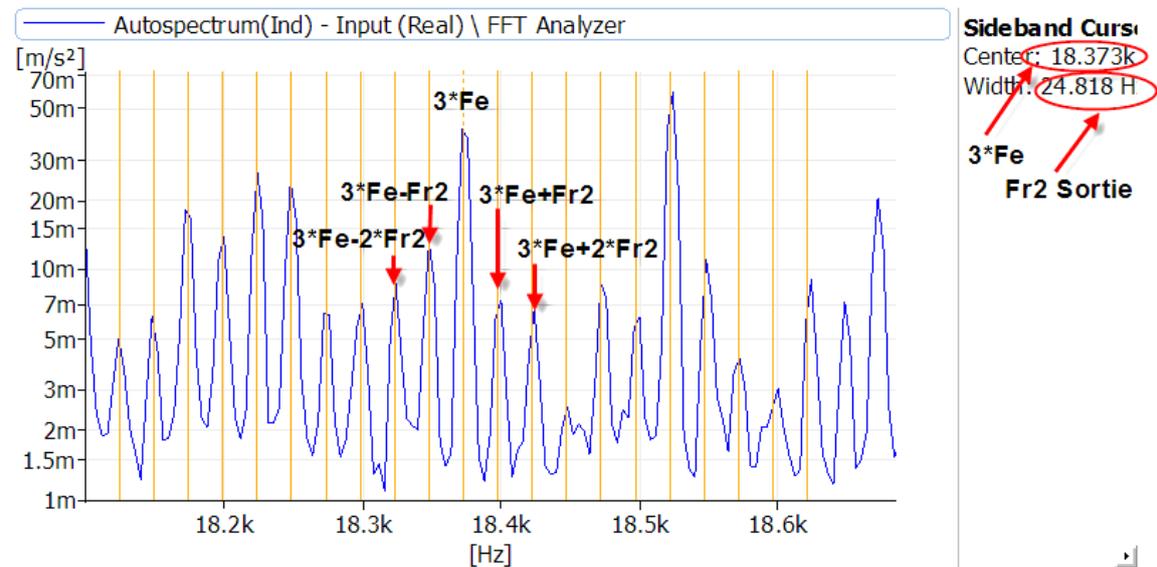
Zoom 2



Zoom sur le zoom 2



Zoom 3



Zoom sur le zoom 3

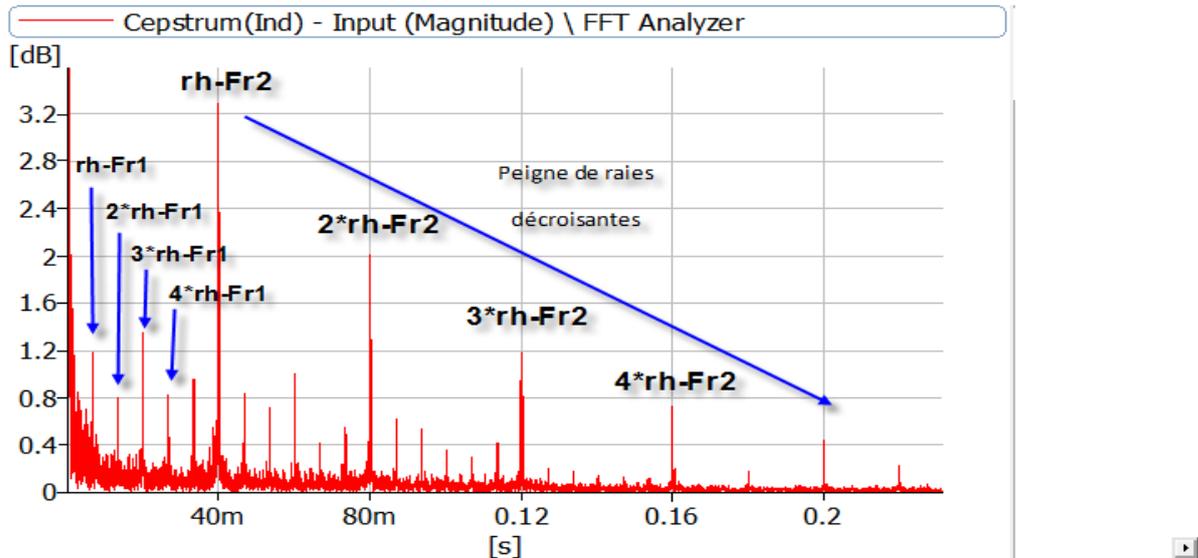


Figure 2.11. Cepstre capturé sur le palier 3 dans la bande de fréquence [0 25600 Hz]

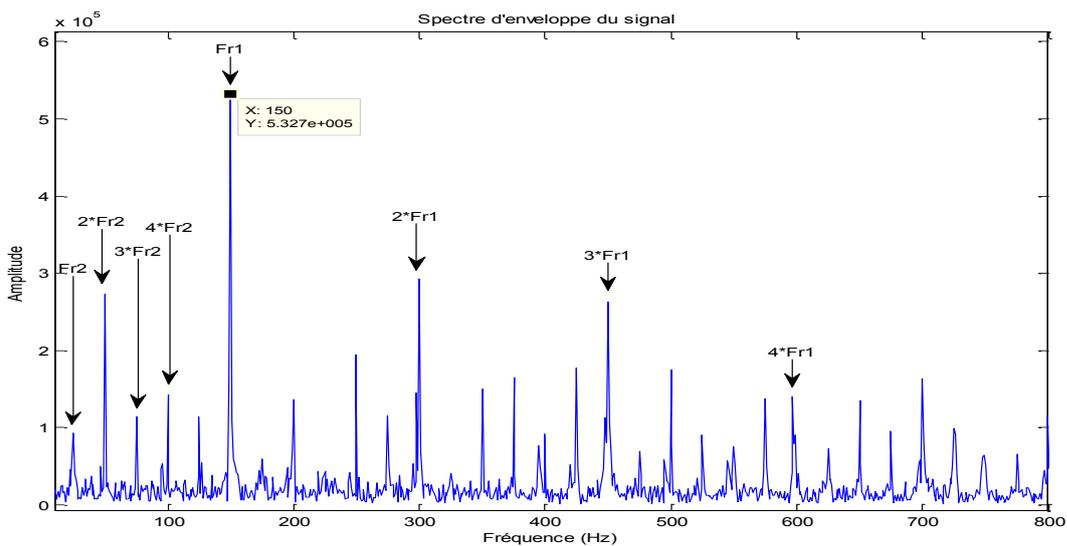


Figure 2.12. Spectre d'enveloppe d'un signal capturé sur le palier 3 dans la bande de fréquence [0 25600 Hz] Traité par Matlab

1.1.2. Conclusion

D'après cette analyse préliminaire effectuée sur la base du signal mesuré sur le palier 3 du réducteur et malgré le manque des données cinématique du réducteur tels que le nombre de dent de la roue et du pignon, néanmoins le traitement de ce signal par trois méthodes montre clairement l'existence d'une usure généralisée sur les dents de la roue et du pignon.

Remarque: Envoi d'un rapport détaillé du diagnostic du turbo-alternateur au service de maintenance et à la direction de l'entreprise FERTIAL.

2. Deuxième campagne d'essais (Résultats obtenus pour le Turbo Alternateur GZ1164.2 pour une charge de 5 MVA)

Cette campagne a été réalisée suite à des mesures du niveau global des vibrations faites par le service de maintenance et qui montrent un niveau vibratoire inadmissible et un niveau sonore intense pour une charge de 5 MVA, alors que le niveau est tout à fait normal pour les autres charges (voir tableaux 2.5 et 2.6). L'objectif de cette campagne est de trouver une explication logique à ce phénomène. Les mesures effectuées le 23/03/2013 sur la base d'une demande d'analyse du service maintenance de l'entreprise.

Matériel de mesure utilisé : Analyseur de vibrations PULSE 16.1, accéléromètres mono-axial (industriel) et triaxial.

Tableau 2.5. RMS mesuré dans les différents paliers du Turboalternateur pour une charge de 6 MVA

TA GZ1164	Turbine		Réducteur				Alternateur	
	Palier 01	Palier 02	Palier 03	Palier 04	Palier 05	Palier 06	Palier 08	Palier 09
H	2.3	3.8	2.5	2.2	2.1	1.9	1.1	1.1
V	1.6	4.0	3.1	2.4	2.4	2.3	1.5	2.6
A	2.0	2.7	2.8	2.6	1.8	2.0	0.8	1.3
Les valeurs de vibration à une charge de 6.0 MVA. Comportement vibratoire admissible.								

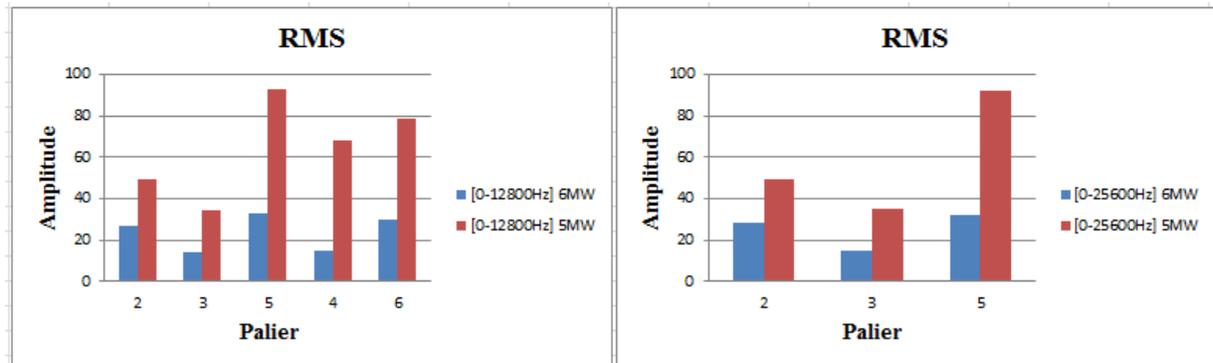
Tableau 2.6. RMS mesuré dans les différents paliers du Turboalternateur pour une charge de 5 MVA

TA GZ1164	Turbine		Réducteur				Alternateur	
	Palier 01	Palier 02	Palier 03	Palier 04	Palier 05	Palier 06	Palier 08	Palier 09
H	3.4	9.6	9.7	7.3	10.5	4.8	1.7	0.9
V	4.8	8.8	9.8	8.2	10.3	7.6	2.7	2.3
A	3.2	7.6	10.5	10.5	13.6	8.5	2.4	1.6
Les valeurs de vibration à une charge de 5.0 MVA. Comportement vibratoire inadmissible plus un bruit anormal.								

2.1. Analyse globale basée sur le RMS

Le RMS augmente de 2 à 2,5 fois dans les cas de 5MVA par rapport à 6 MVA notamment dans les paliers 5 et 6 du réducteur accouplés au rotor de l'alternateur, voir les histogrammes ci-dessous. Sur la base de l'analyse globale qui a montré que le niveau vibratoire devient très

dangereux sur le palier 5 du réducteur, nous avons entamé une analyse spectrale concernant notamment ce dernier palier.



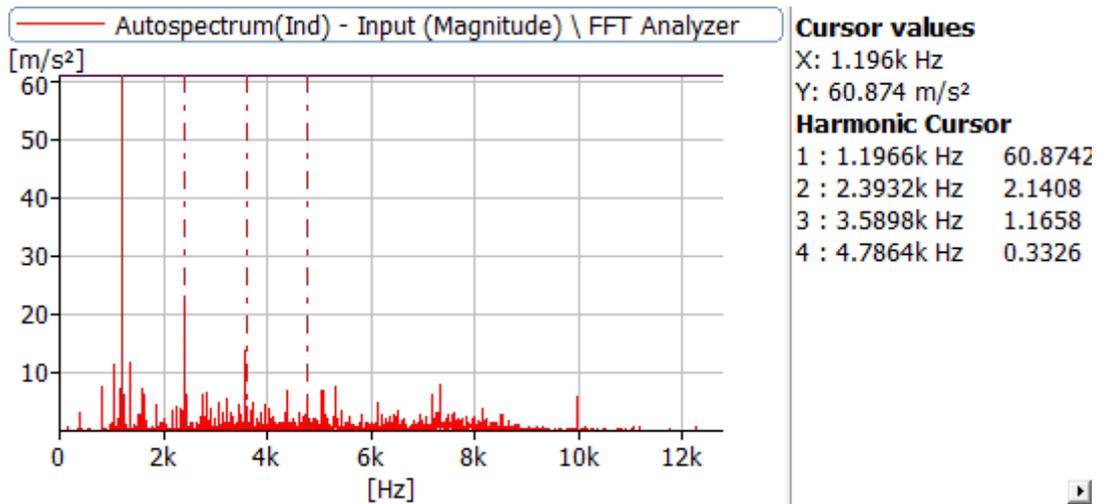
2.2. Analyse spectrale

2.2.1 Lecture préliminaire des spectres mesurés

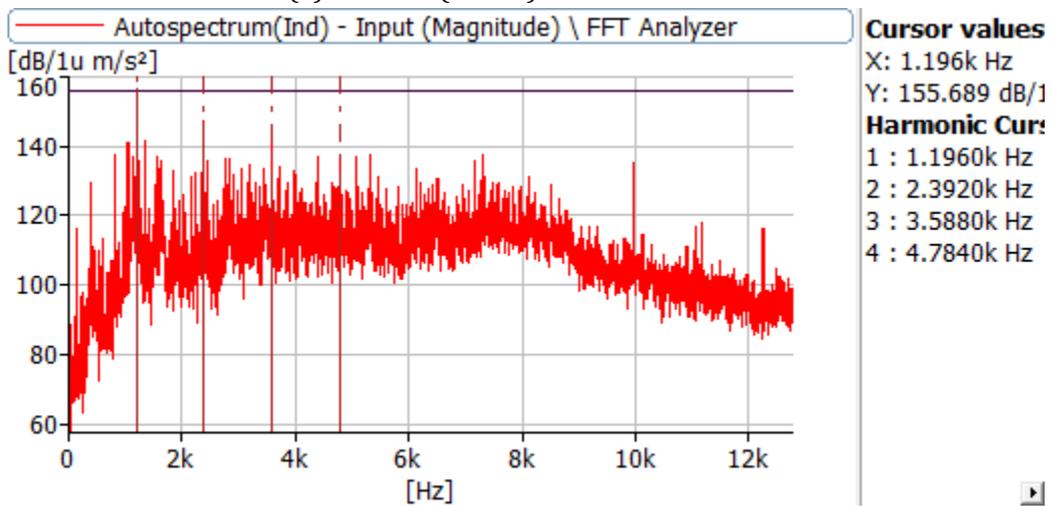
- Pour le palier 2 de la turbine le niveau ne change pas trop dans les deux cas de charges ;
- Pour le palier 3 du réducteur le niveau augmente d'environ deux fois dans le cas de 5MVA par rapport à 6MVA.
- Pour le palier 4 du réducteur, on constate deux remarques : le niveau augmente d'environ 12 fois pour le pic à 1196 Hz et pour son harmonique l'augmentation est d'environ 5 fois. L'amplitude de 2x1196 et supérieur à 1x ;
- **Pour le palier 5 du réducteur le niveau augmente considérablement dans le cas de la charge 5 MVA, voir les spectres figures 1 et 2.**
- Pour le palier 6 du réducteur du même arbre, le niveau reste élevé ;
- Pour la bande [0-25600] Hz le niveau augmente considérablement sur le palier 5, on n'a pas pu mesurer sur les paliers 4 et 6 vu que le niveau de vibration et de bruit étaient très élevés, ce qui représentait un risque réel pour la machine.

2.2.2 Palier 5 du réducteur

- Le niveau d'accélération augmente considérablement dans le cas de la charge 5 MVA par rapport à 6 MVA est passé de 26.64 m/s² à 60.87 m/s² pour le pic à 1196 Hz, figures (2.13a) et (2.13b).
- Le niveau de bruit passe de 144.96 dB à 155.7 dB pour le pic à 1196 Hz, soit une augmentation de **10 dB**, figures (2.14a) et (2.14b).

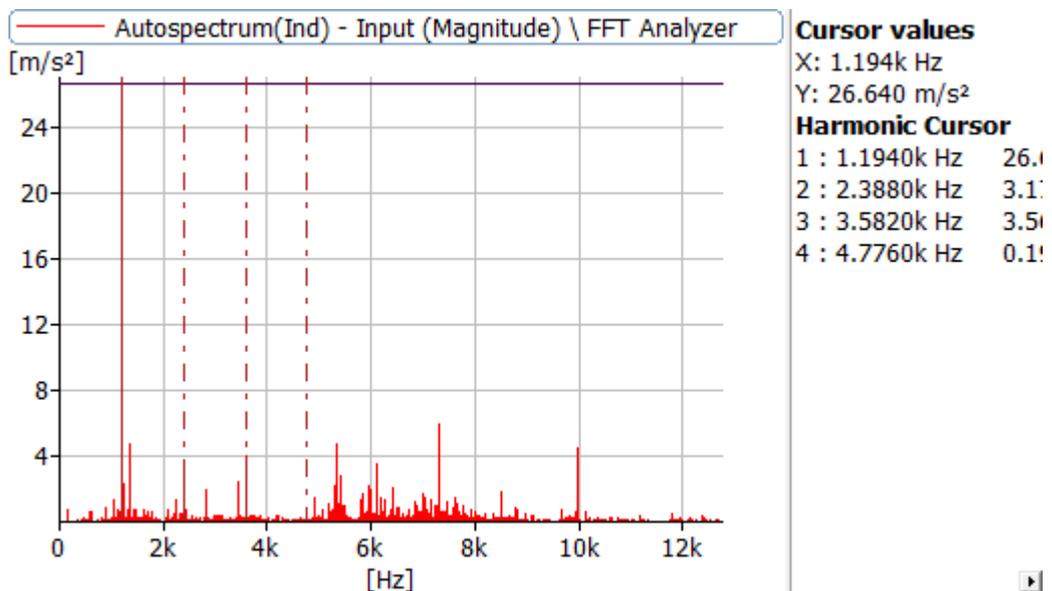


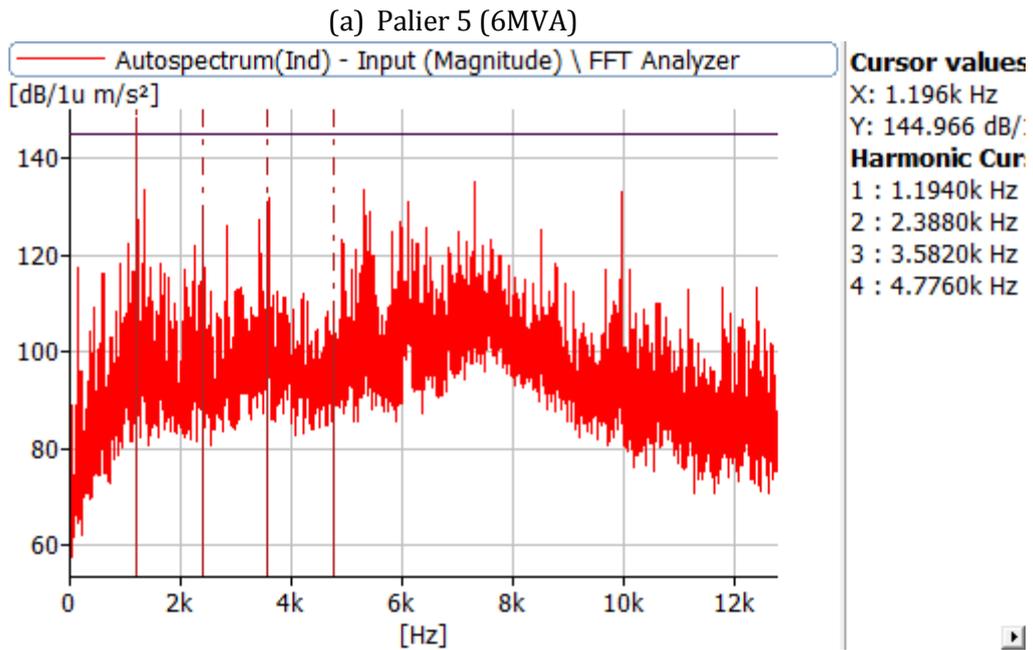
(a) Palier 5 (5MVA)



(b) Palier 5 (5MVA)

Figure 2.13. (a) spectre d'accélération linéaire en m/s², (b) spectre d'accélération en dB pour une charge de 5MVA





(b) Palier 5 (6MVA)

Figure 2.14. (a) spectre d'accélération linéaire en m/s², (b) spectre d'accélération en dB pour une charge de 6MVA

2.3. Conclusion

- Nous n'avons pas encore trouvé de correspondance typologique du pic à 1196 Hz avec un défaut mécanique ce qui nous laisse penser à l'existence d'un défaut électrique correspondant à la fréquence d'excitation du champ électromagnétique dans l'alternateur ;
- Les résultats obtenus par cette compagnie ont été envoyés à un expert étranger pour avis concernant la confirmation ou non de l'origine du problème que nous avons proposé.

3. Résultats obtenus pour le Turbo-ventilateur 101BJT

Le ventilateur est muni de deux machines d'entraînement ; un entraînement principal par turbine et un entraînement de réserve par moteur électrique.

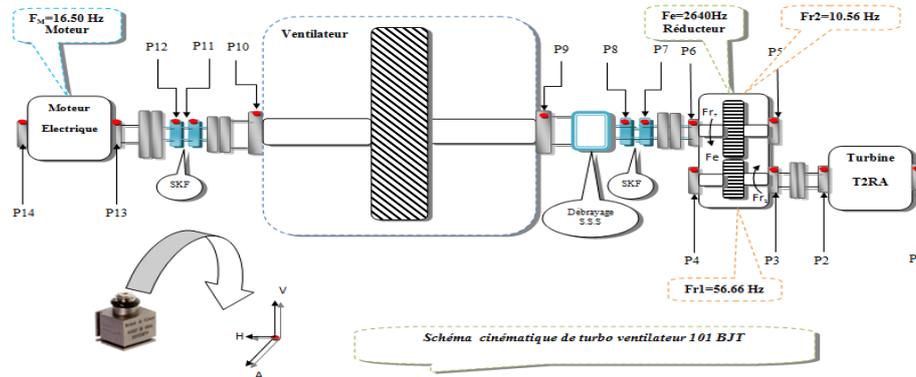


Figure 2.15 Schéma cinématique du turbo ventilateur 101 BJT

La figure (2.16) montre le spectre mesuré sur le palier 1 de la turbine. On observe que l'amplitude de la troisième harmonique est supérieure à l'amplitude de la fondamentale (F1), ce qui indique la présence d'un désalignement sur l'arbre de la turbine.

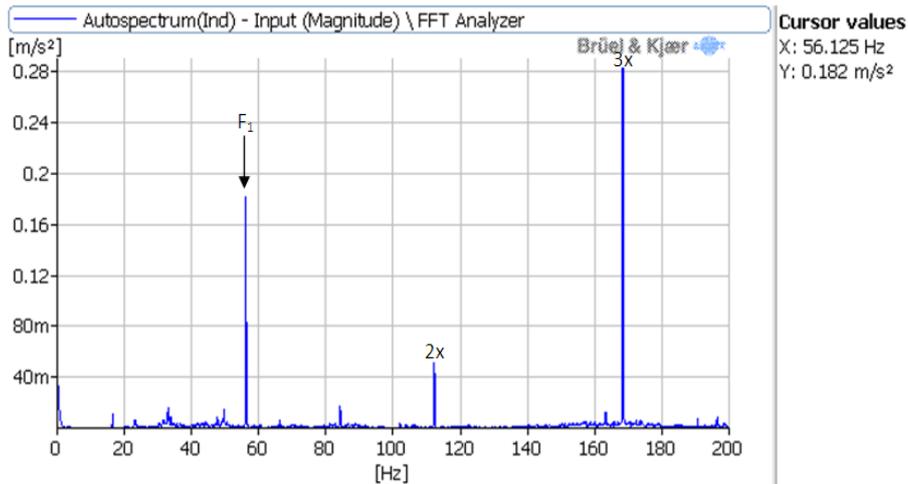


Figure 2.16. Spectre d'accélération du palier 1 de la turbine

Le spectre de la figure (2.17) montre l'apparition de la fréquence d'engrènement ($F_e=2638$ Hz) et ses harmoniques ($2F_e=5276$ Hz, $3F_e=7914$ Hz et $4F_e=10552$ Hz). On constate que l'amplitude de la deuxième harmonique de la fréquence d'engrènement dépasse largement l'amplitude de la fondamentale, cela signifie qu'on est en présence d'un jeu de fond de denture (jeu de montage). Ce type de défaut peut mener avec le temps à l'usure des dents de la roue et du pignon. Le zoom sur $2F_e$ de la figure (2.17), montre qu'il n'y a pas de modulation autour de cette dernière ni par la fréquence de l'arbre d'entrée ni de sortie, donc on conclut qu'il n'y a pas d'usure des dents.

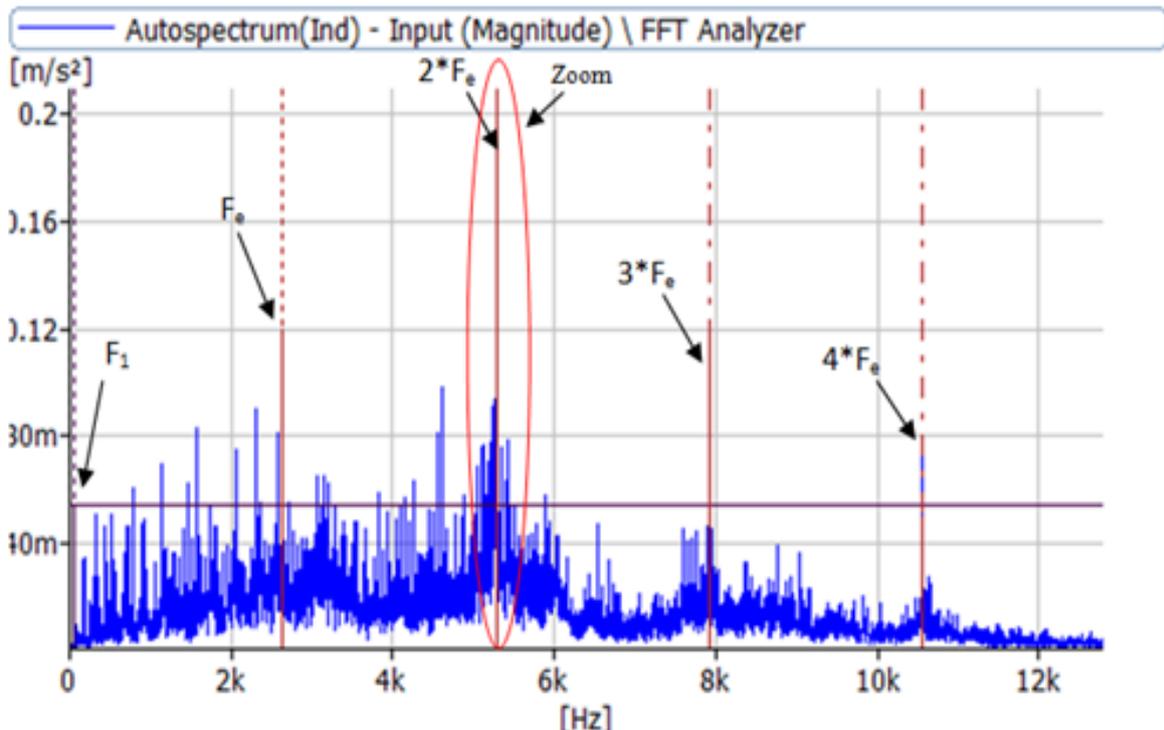
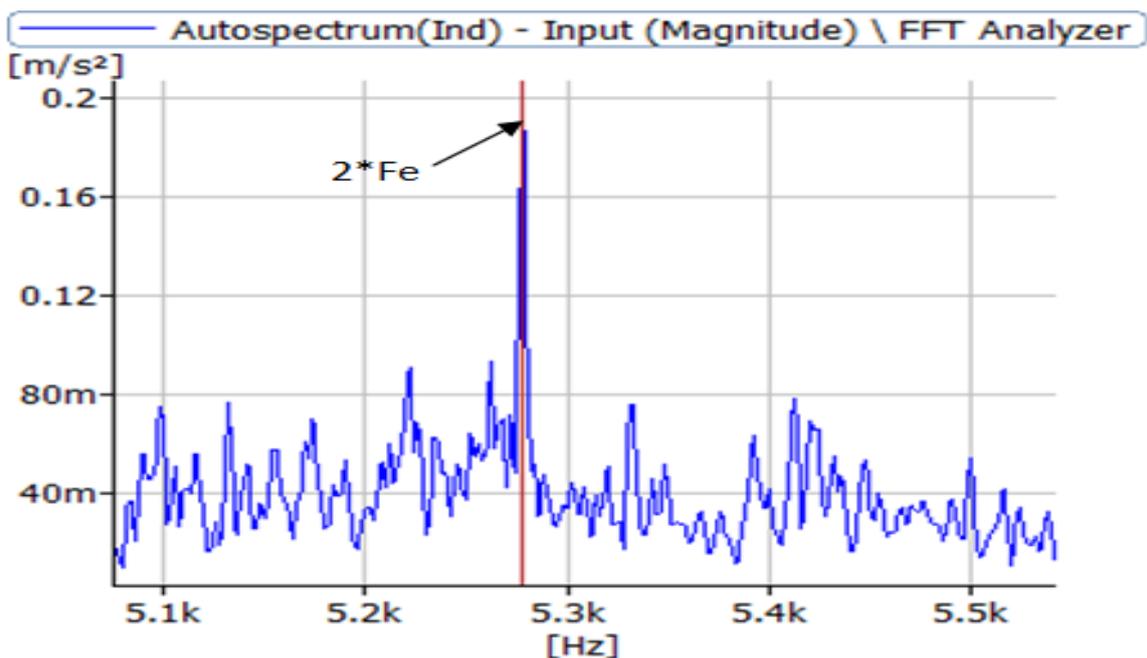


Figure 2.17. Spectre d'accélération du palier 3 du réducteur



Zoom du spectre d'accélération du palier 3 effectué sur $2F_e$ du réducteur

D'un autre côté l'analyse du spectre d'accélération mesuré sur le palier 2 de la turbine, figure (2.18) montre l'apparition de la fréquence de défaut de pôle et son harmonique modulée par la fréquence de rotation (voir zoom figure 2.18). Cette mesure a été effectuée le 17/12/2012, un mois après le 15/01/2013, les responsables du service de maintenance ont arrêté la turbine pour réparation et ont confirmé la défectuosité d'une pôle de la roue de la turbine, voir photo ci-dessous du rotor.

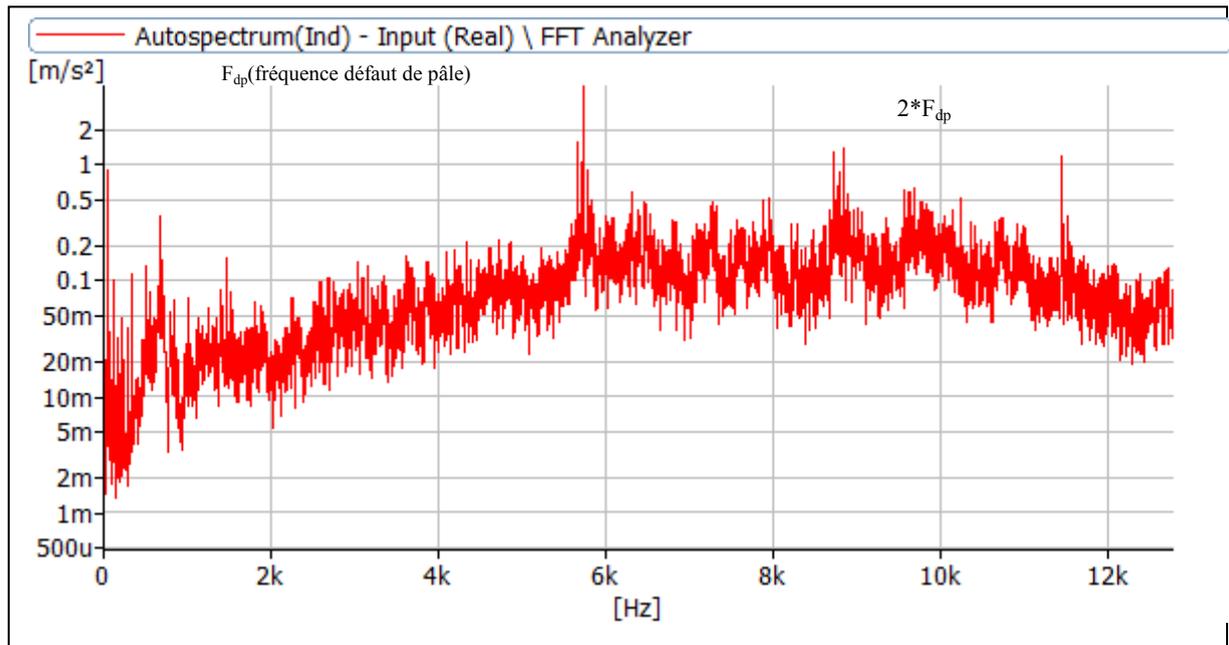
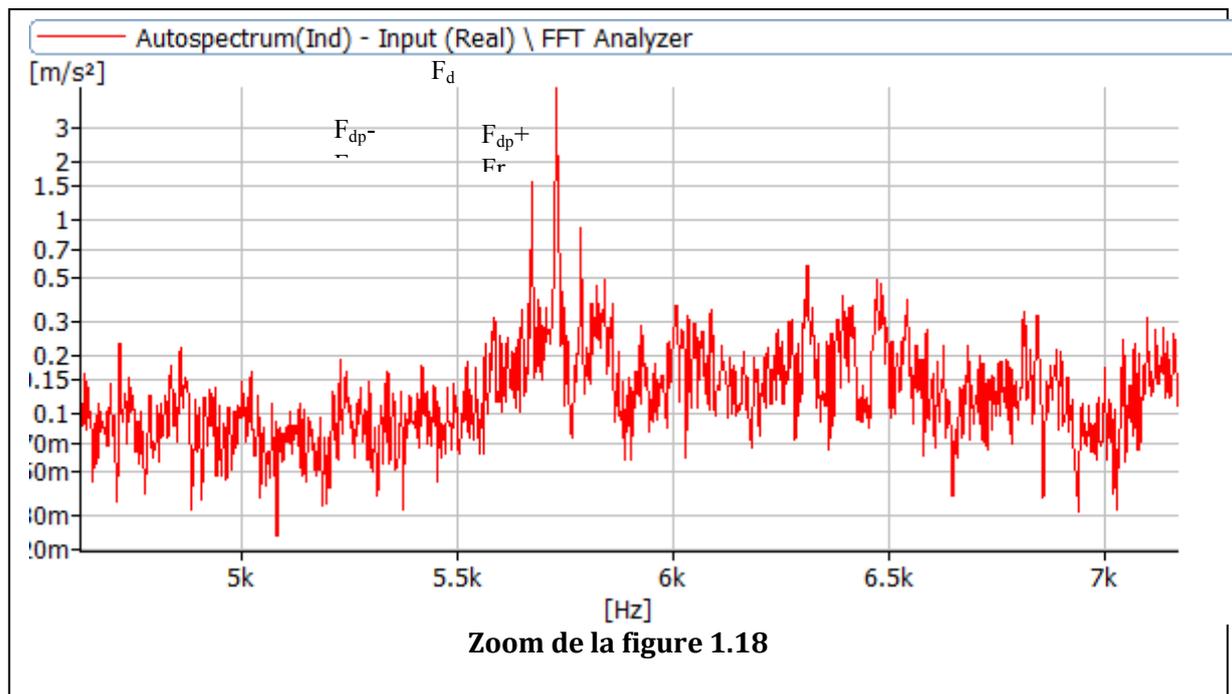


Figure 2.18. Spectre d'accélération mesuré sur le palier 1 de la turbine dans la bande de fréquence [0 : 12800 Hz]



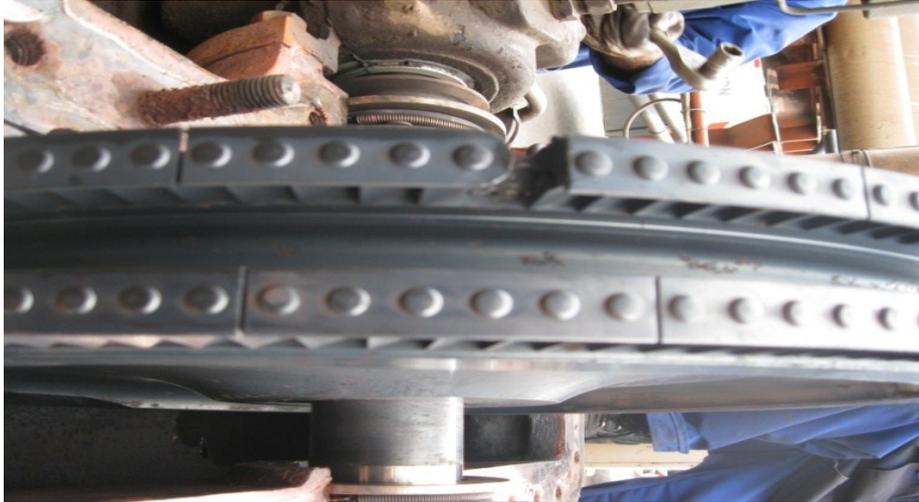


Figure 2.19. Photo du rotor de la turbine avec une ailette en moins

Conclusion

- L'analyse spectrale montre l'existence d'un désalignement sur l'arbre de la turbine (palier 1) ce qui explique, à notre avis, le niveau vibratoire hors norme enregistré par les techniciens de maintenance de l'entreprise, la raison pour laquelle la turbine ne travaille pas en plein régime (3400 tr/min au lieu de 5400 tr/min) ;
- Les spectres mesurés au niveau du réducteur (palier 3) ont montré que l'amplitude de la deuxième harmonique de la fréquence d'engrènement dépasse celle de la fréquence fondamentale. En l'absence d'une quelconque modulation grâce au zoom, le défaut peut être interprété par un jeu de fond de denture qui peut mener avec le temps à une usure des dents ;
- Une simple analyse spectrale a permis de détecter une défaillance dans le rotor de la turbine un mois avant sa révision.

3. Résultats obtenus pour le Turbocompresseur 103J

Cette campagne a été réalisée le 23/04/2013 sur une demande urgente de la direction de l'entreprise FERTIAL suite à l'apparition d'un niveau de vibration et de température très élevé sur le turbocompresseur 103 qui est une machine vitale de l'unité ammoniac. Une fois déplacée sur site, l'équipe du projet s'est rendue compte des conditions sévères qui représentent un risque réel pour eux-mêmes et pour le matériel de mesure du laboratoire (température très élevée empêchant même la fixation des capteurs sur les paliers de la machine). Malgré ça, nous avons quand même pu prendre quelques mesures sur le palier 3 de la turbine.

Vu le nombre limité de mesures que nous avons effectué (un palier sur huit), et le manque de données cinématiques du turbocompresseur (nombre de roues et de pales par roue), nous n'avons pas pu établir un diagnostic précis. Néanmoins, Vu le risque réel pour les intervenants et le matériel, seulement quelques mesures sur le palier 3 de la turbine ont été prises.

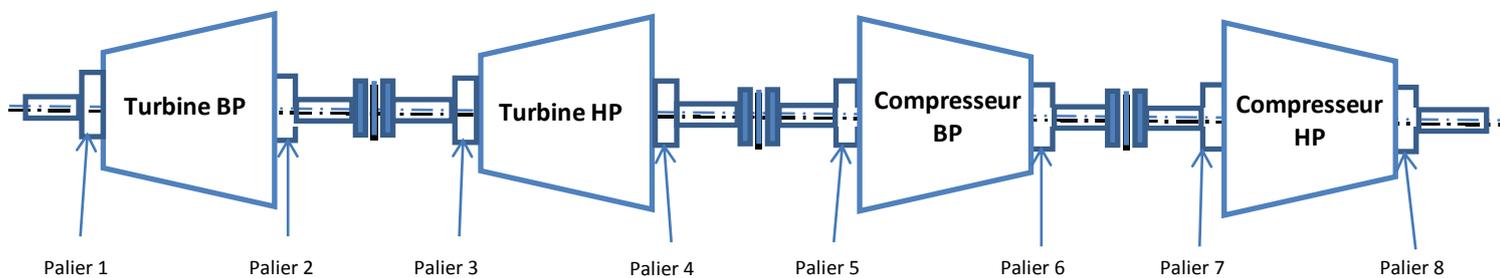


Figure 2.20 Turbocompresseur 102j

Constatations préliminaires

- L'analyse des mesures prises sur le palier 3. Le spectre de la figure (2.21) montre l'existence d'un désalignement sécant (angulaire), mais qui ne justifie pas à notre avis, le niveau vibratoire sévère et la température excessive.
- Le spectre de la figure (2.22), fait apparaître une résonance à 5404 Hz modulée par la fréquence de rotation de la turbine. Pour mieux interpréter ce résultat, Une mesure en vibration libre est indispensable pour confirmation d'un éventuel problème de résonance.

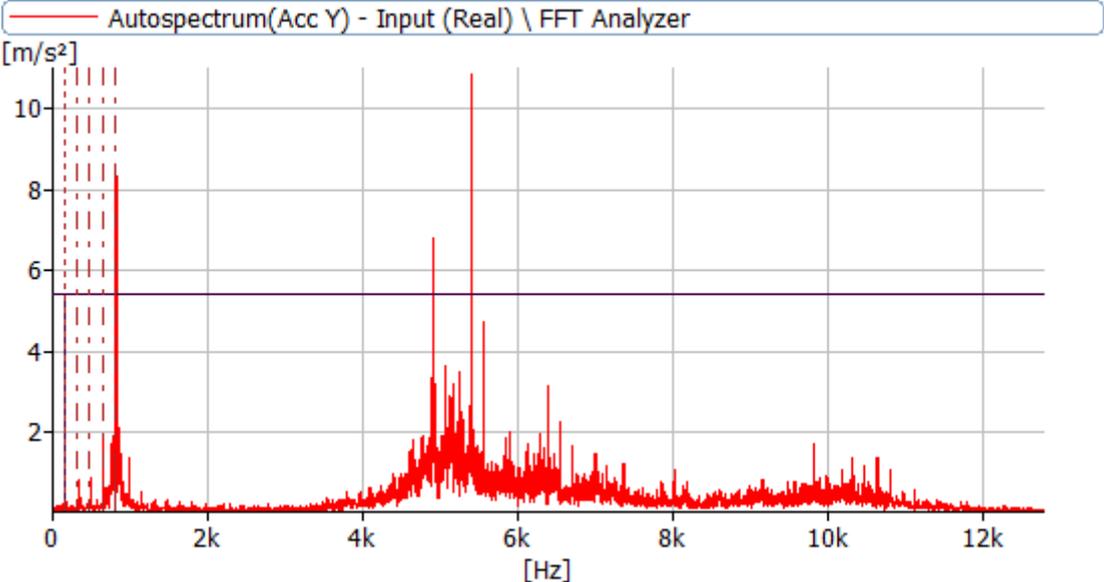


Figure 2.21. Spectre d'accélération mesuré sur le palier 3 de la turbine, Fmax= 12800 Hz

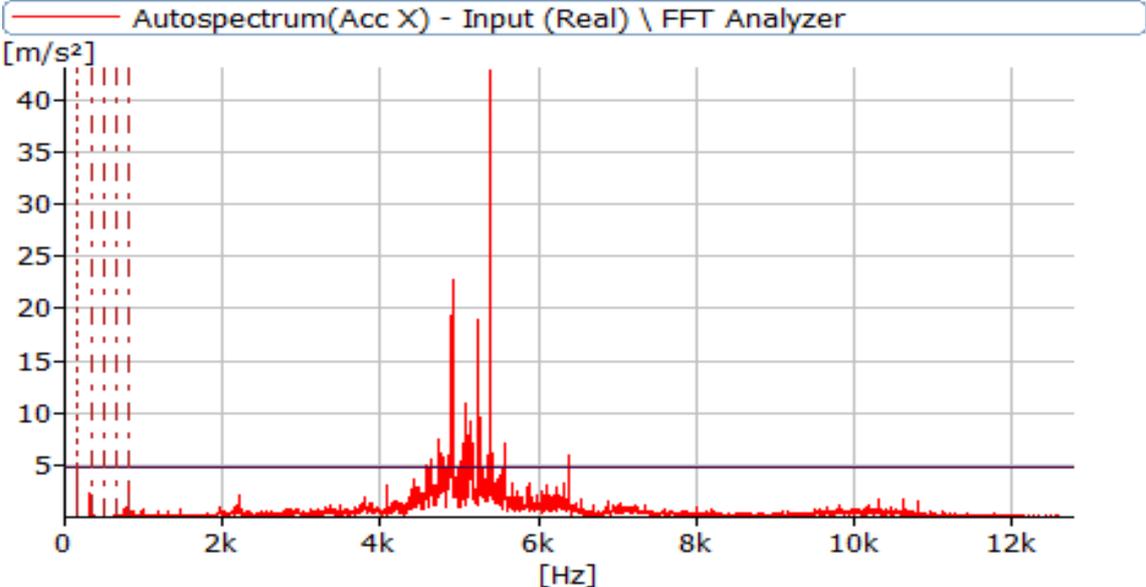


Figure 2. 22. Spectre d'accélération mesuré sur le palier 3 de la turbine, Fmax= 12800 Hz

VI. Partie 3. Détection des défauts par simulation numérique

1. Introduction

On a recours à la simulation numérique pour déterminer l'ensemble des grandeurs mécaniques spécifiques à l'arbre du turbocompresseur afin de suivre leur évolution en mouvement (rotation), enregistrer les fréquences, le couple de torsion et déterminer avec exactitude le lieu de concentration de contraintes.

2. Simulation numérique

Avant de procéder à la simulation, la représentation de l'arbre du turbocompresseur a été effectuée par le logiciel d'enseignement et de calcul des engrenages et des éléments de machines qui servent à la transmission de puissance (arbre, clavette, arbre a cannelure les éléments de roulement) **KISSOFT**. Les dimensions réelles de cet arbre sont obtenues en fonction des encastements et des caractéristiques du matériau.

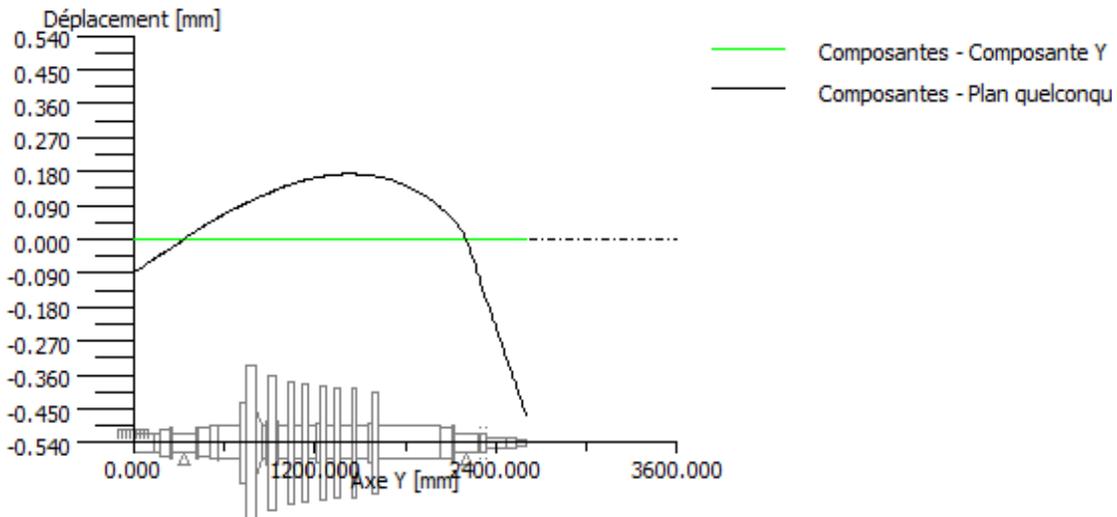


Figure 3.1. Evolution du déplacement de l'arbre du turbocompresseur

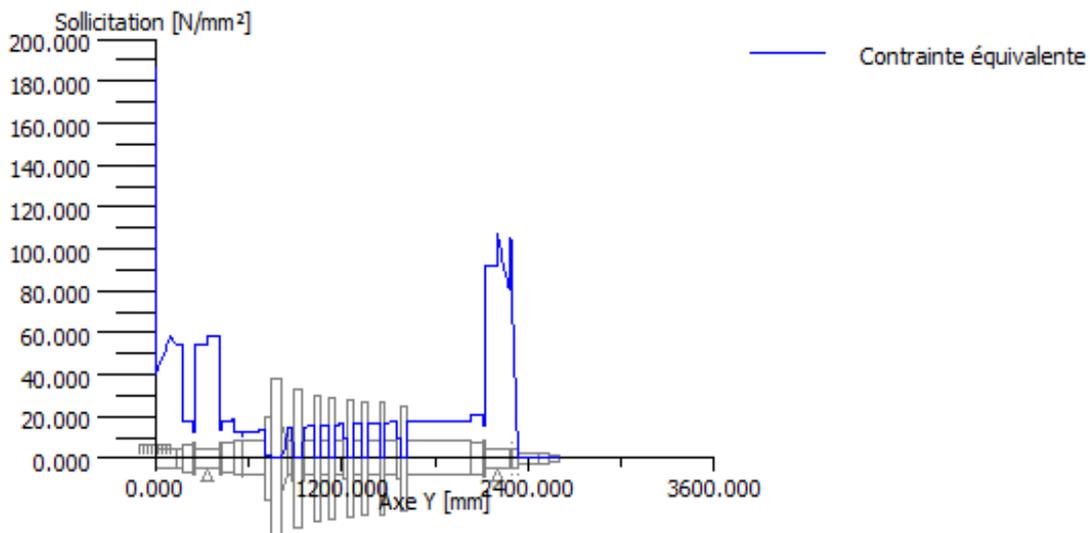


Figure 3.2. Evolution de la contrainte équivalente de Von Mises

Fréquences propres/Vitesse de rotation critique

1. Fréquence propre: 0.00 Hz, Vitesse de rotation critique: 0.00 1/min Rotation de corps rigides Y 'Arbre 1'
2. Fréquence propre: 68.31 Hz, Vitesse de rotation critique: 4098.81 1/min Flexion YZ 'Arbre 1'
3. Fréquence propre: 68.31 Hz, Vitesse de rotation critique: 4098.81 1/min Flexion XY 'Arbre 1'

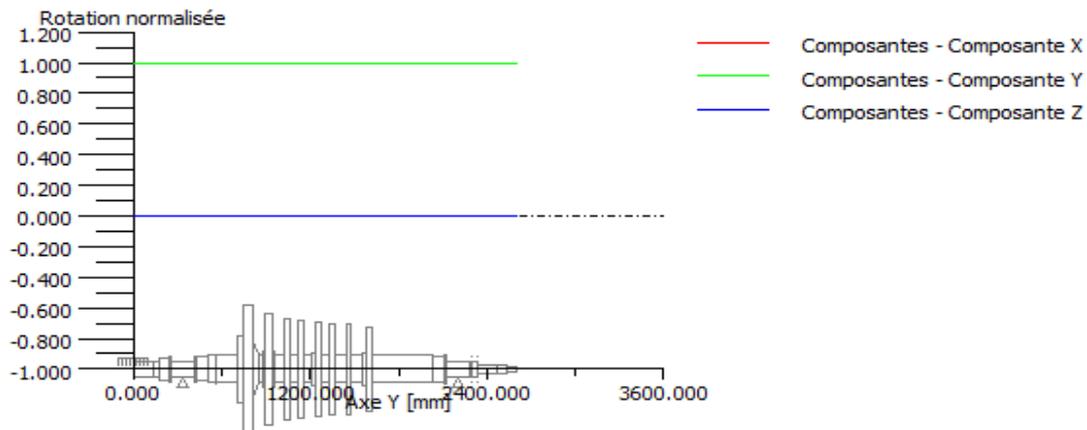


Figure 3.3. Valeurs des fréquences propres (Déplacement normalisé) (Fréquence propre: 1. (0 Hz))

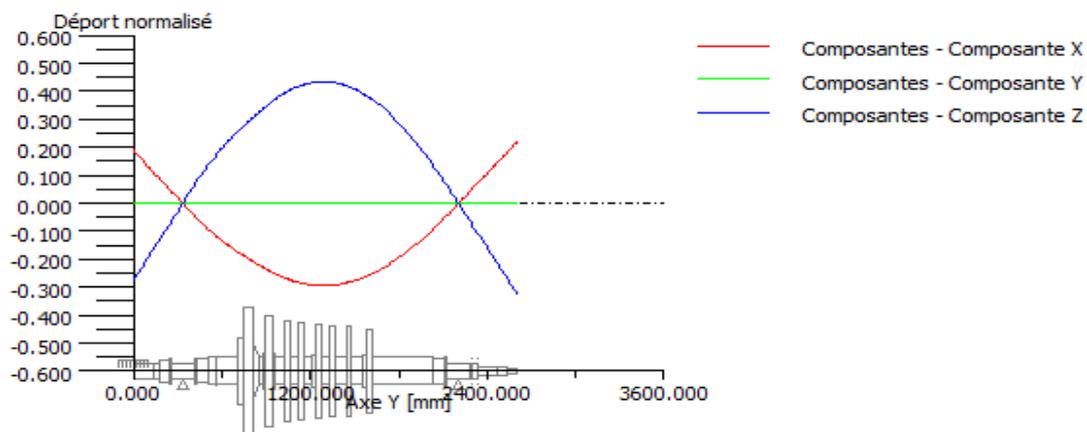


Figure 3.4 Valeurs des fréquences propres (Rotation normalisée) (Fréquence propre: 2. (68.31347133 Hz))

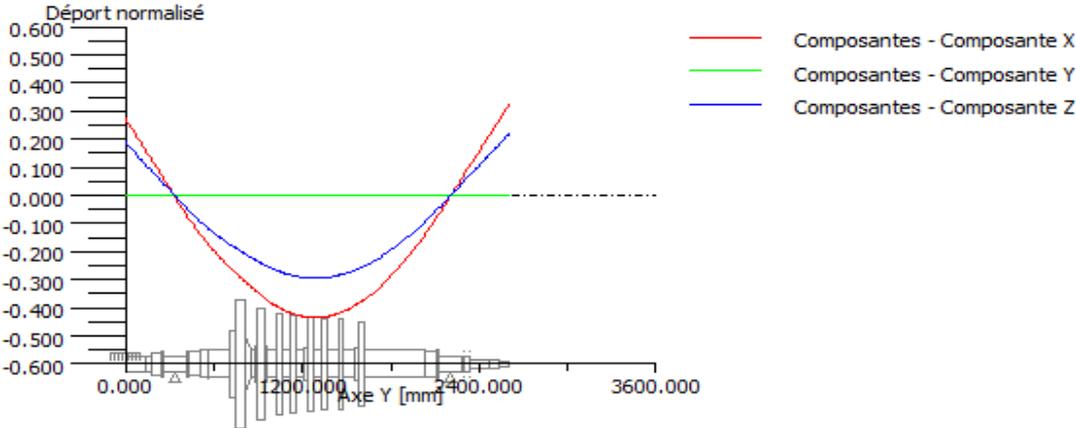


Figure 3.5. Valeurs des fréquences propres (Rotation normalisée) (Fréquence propre: 3. (68.31347139 Hz))

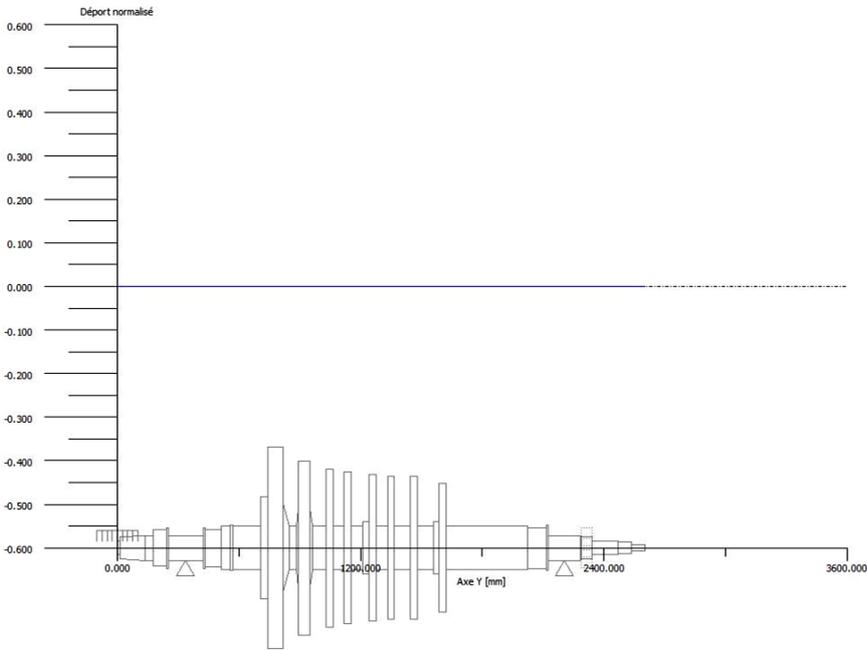


Figure 3.6. Valeurs des fréquences propres (déplacement standardisé)

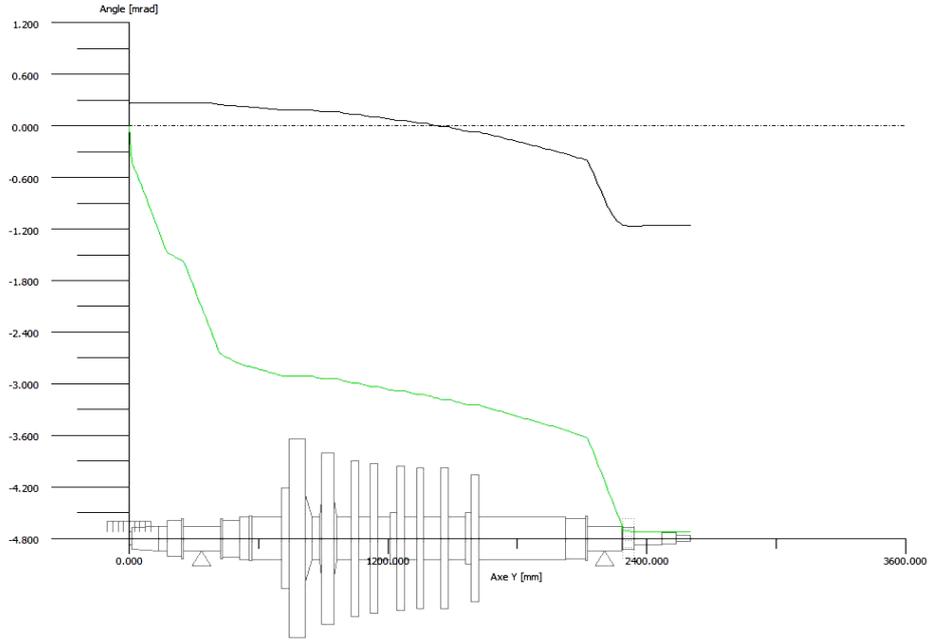


Figure 3.7. Angles de flexion et de torsion

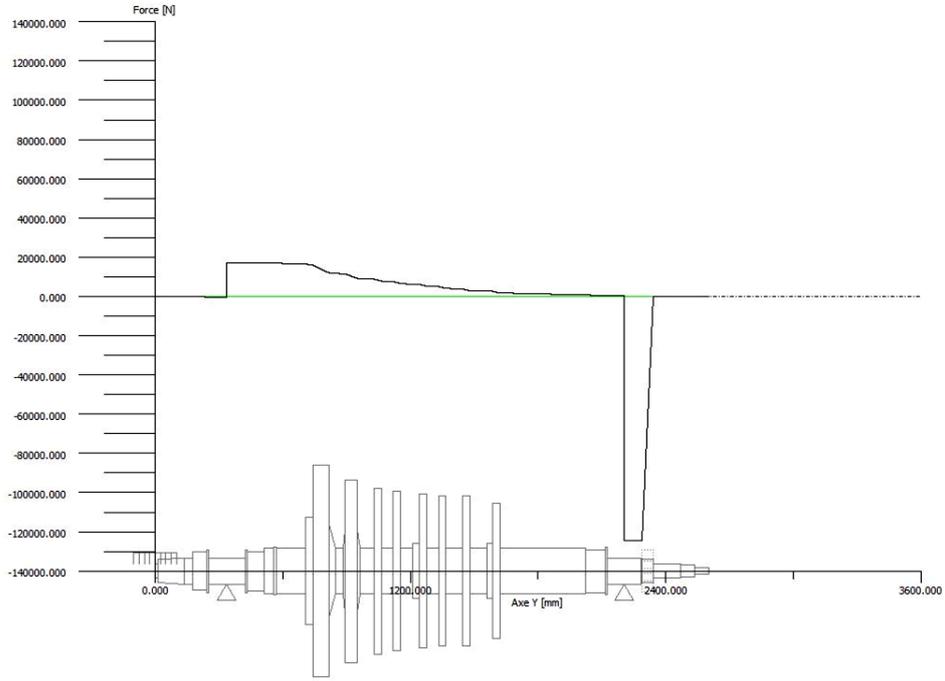


Figure 3.8. Evolution de la force

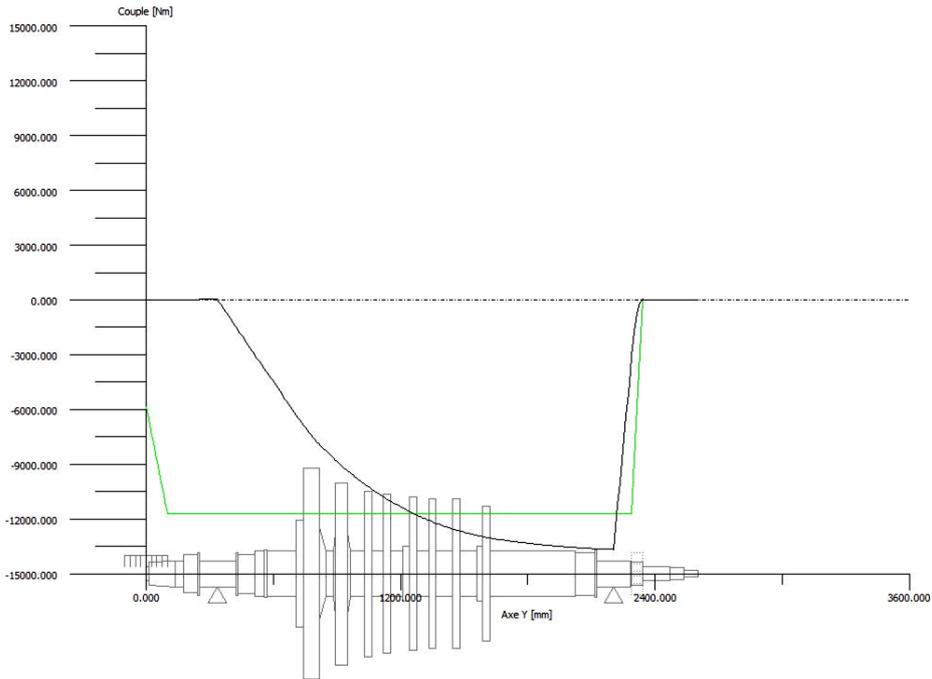


Figure 3.9. Evolution du couple de torsion

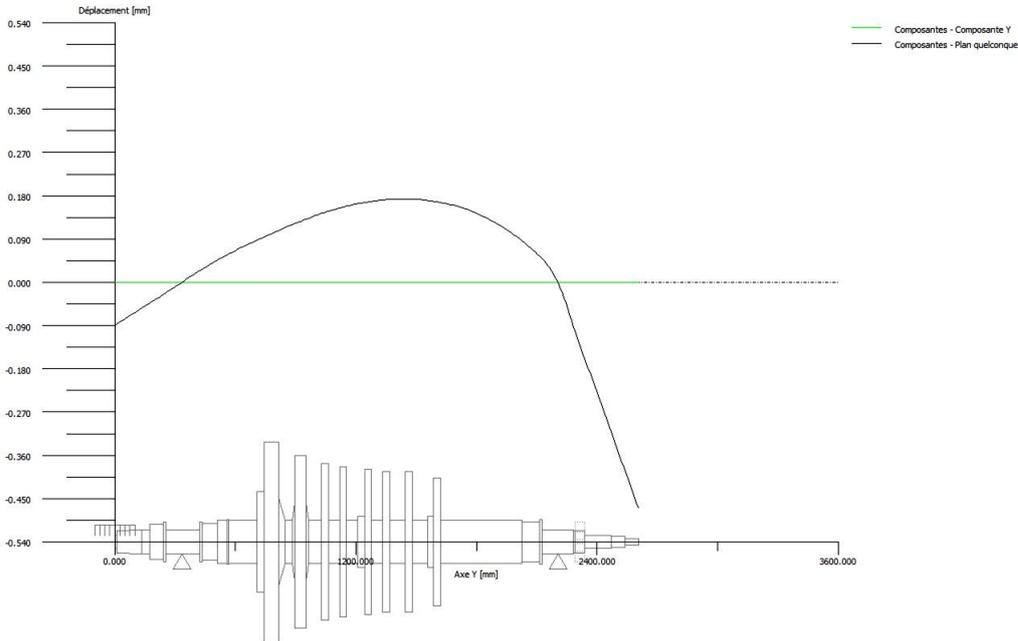


Figure 3.10. Evolution du déplacement de l'arbre du turbocompresseur

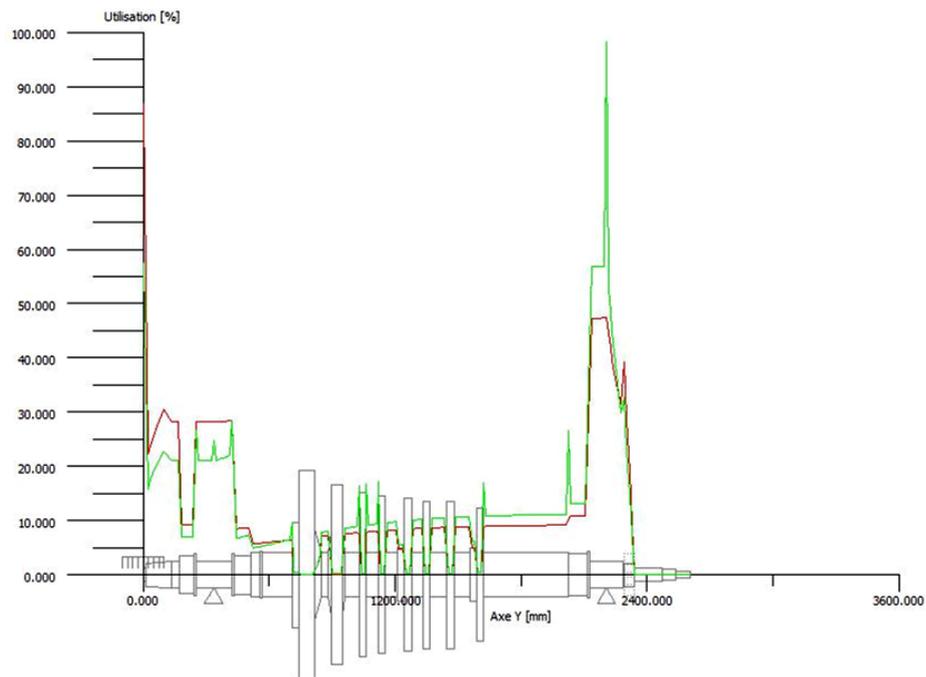


Figure 3.11. Résistance mécanique de l'arbre du turbocompresseur

Les résultats des calculs des différentes grandeurs mécaniques obtenues par le logiciel KISSOFT ont été par la suite injectés au niveau du logiciel ANSYS, lequel nous a permis l'obtention du lieu de concentration maximale des contraintes mécaniques responsables du phénomène de cisaillement de l'arbre du turbocompresseur, leurs grandeurs ainsi que les différentes déformations élastiques maximales.

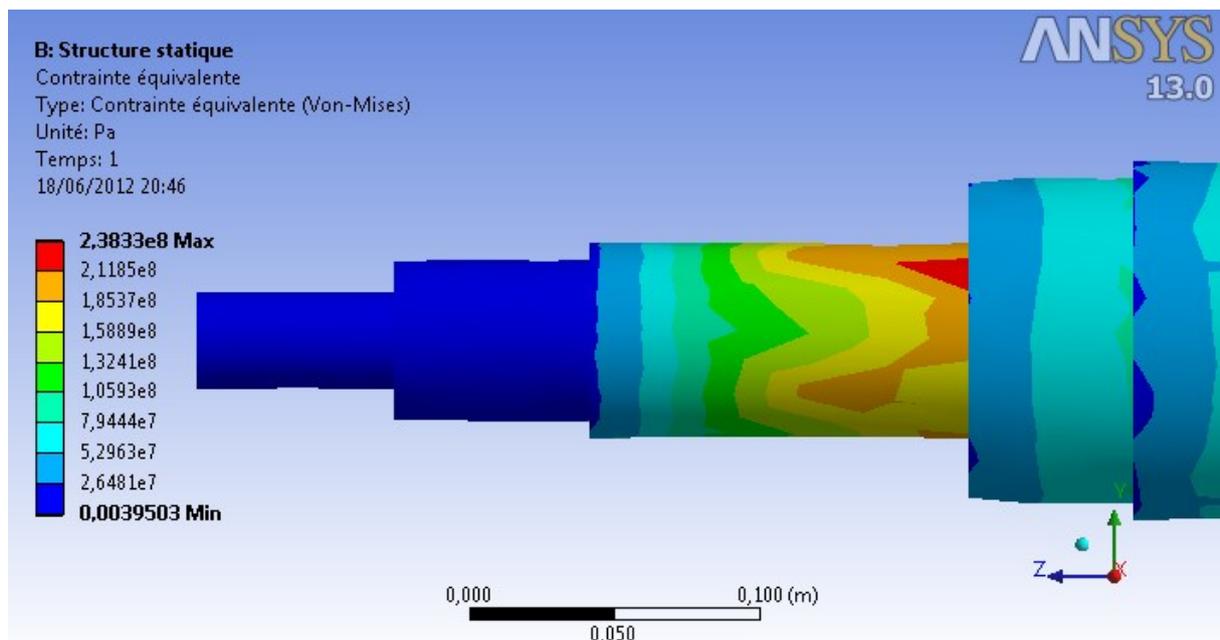


Figure 3.12. Evolution de la contrainte équivalente de Von Mises

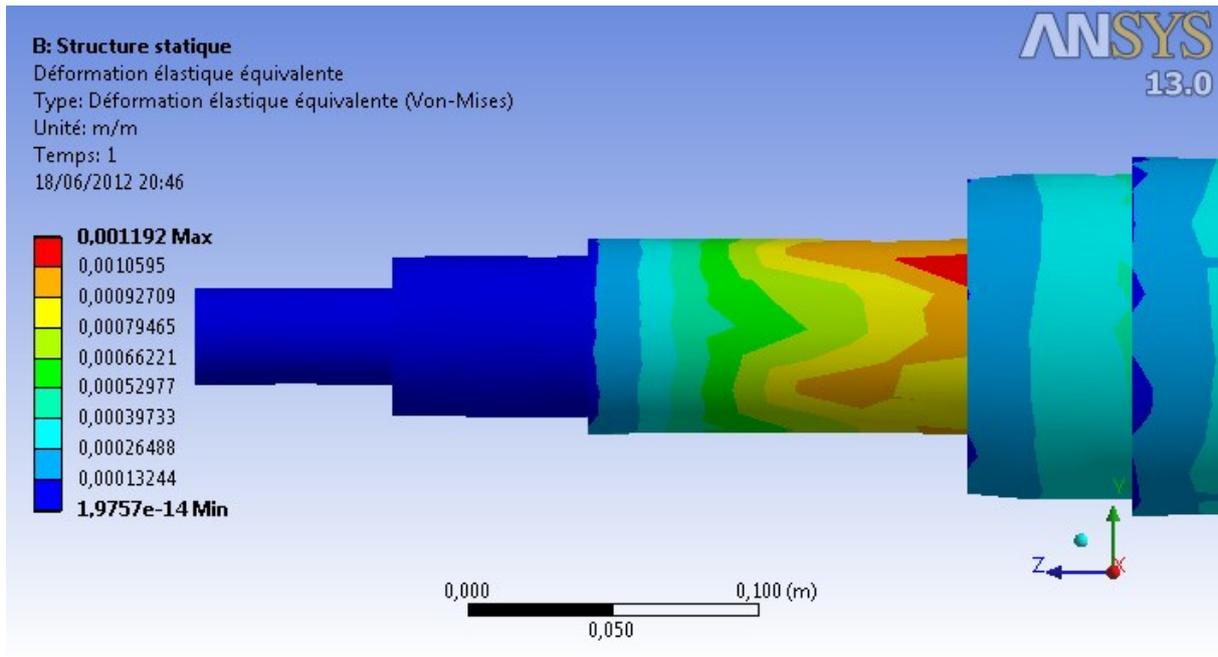


Figure 3.13. Evolution de la déformation élastique équivalente de Von Mises

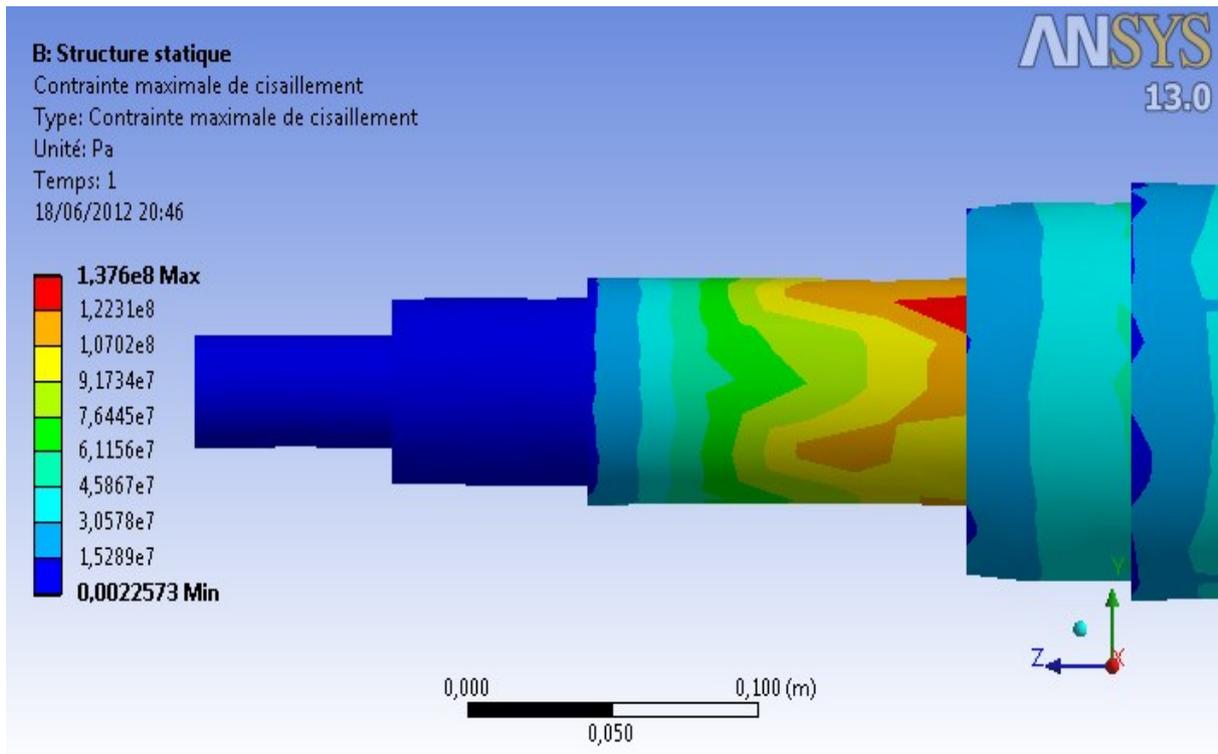


Figure 3.14. Evolution de la contrainte maximale de cisaillement

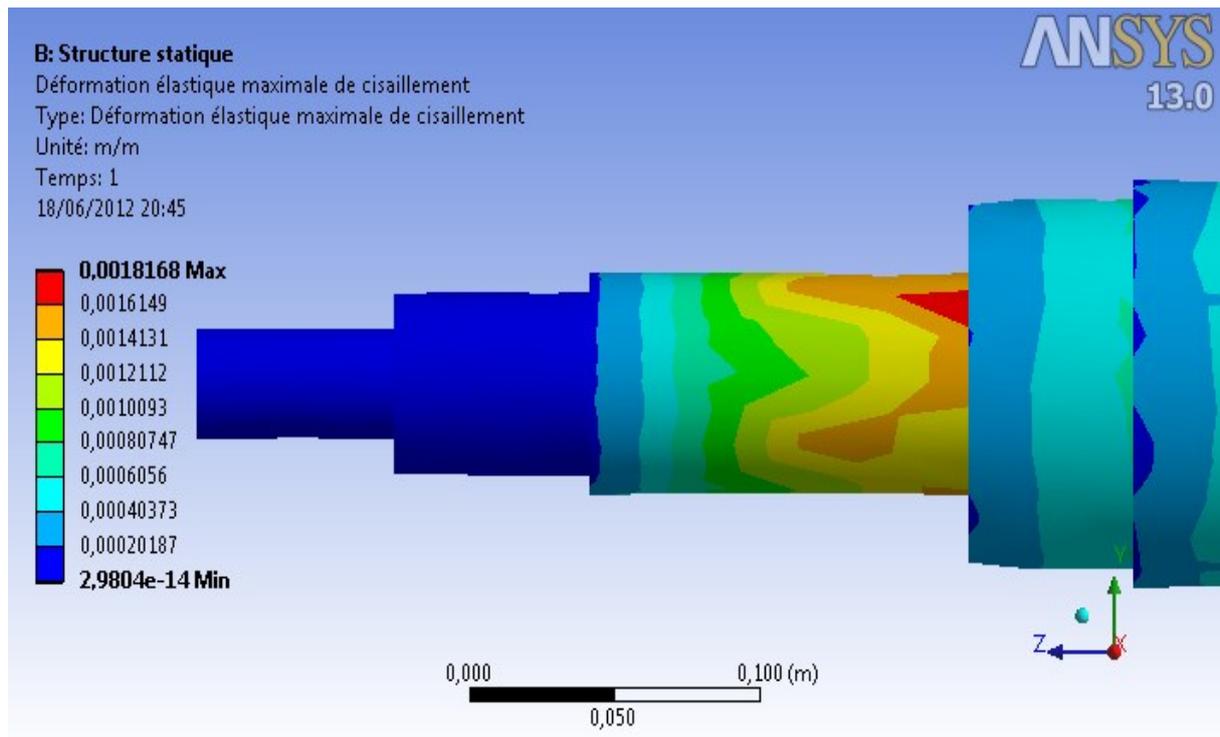


Figure 3.15. Evolution de la déformation élastique maximale de cisaillement

3. Conclusion

- Le déplacement maximal (déflexion) de l'arbre est de 0,18 mm.
- La valeur de la fréquence propre est de 68,31 Hz. Cette fréquence correspond à la fréquence de résonance qu'il faudrait éviter lors du démarrage du turbocompresseur.
- La valeur de la contrainte de Von Mises est de 110 MPa, celle du couple de torsion est de 12000 Nm.
- La valeur de la contrainte de cisaillement obtenue est de 137,6 MPa, celle de la déformation élastique est de 1,81mm.
- Le lieu de concentration de contraintes obtenu par simulation correspond bien à l'endroit réel de cisaillement engendré sur l'arbre. Ce qui corrobore la démarche suivie et confirme la validité de nos résultats.

VII. FORMATION

Un programme de formation a été réalisé pour les ingénieurs et les responsables du département de maintenance, qui a porté sur les axes suivants (voir ci-joint attestation de formation délivrée par le directeur d'usine) :

Ordre	Thème	Animateurs	Durée(j)
01	Elaboration des cahiers des charges fonctionnel et technique (Achat de matériel MN ou prestation MN) (3jours)	MM. DjebalaAbderrezak et KhelifRabia	03
02	La maintenance préventive conditionnelle	MM. OuelaaNouredine et HamzaouiNacer	03
03	L'Analyse des Modes de Défaillance de leur Effet et leur Criticité (AMDEC)	M. DjebalaAbderrezak	03
04	Des outils au service de la Maintenance	M. KhelifRabia	03

VIII. CONCLUSION FINALE

- Un état des lieux montre un personnel non qualifié dans le domaine de la maintenance conditionnelle, d'où la nécessité d'une formation ;
- Intégration de la méthode d'Optimisation de la Maintenance basée sur la Fiabilité, associée aux démarches de maintenance conditionnelle et de durabilité, au sein d'une approche d'*asset management*.
- Une méthode de choix d'une politique de maintenance conditionnelle est proposée sur la base de la sélection des machines critiques.
- Ce bilan a été présenté par les membres du projet, le 21.10.2013 devant tous le cadre technique et administratif du département de maintenance. Une grande satisfaction a été constatée et les ingénieurs ont demandé une formation théorique et pratique dans le cadre d'une post-graduation Spécialisée.

IX. Références

- [1] Vibro-Meter, The rotating machinery and vibration behavior P / N 561-003 F, (1991).
- [2] A. Boulenger, C. Pachaud, Vibration diagnosis for preventive maintenance, Paris (1998).
- [3] J. Hang, Practice preventive maintenance, mechanical, pneumatic, hydraulic, electrical, cold. ISBN 210 00 6561 0, Paris (2002).
- [4] P. Estoq, A methodological approach numerical and experimental support for the detection and monitoring of vibration fault chipping ball bearing. PHD Thesis, (2004).
- [5] S. Yang et al, Bearing condition monitoring and fault diagnosis of a wind turbine using parameter free detection. Journal springer link, LENN 100, (2011)289-294.
- [6] S. Galard, L. Berges, L. Royou, Overall levels of vibration factory the need for global indicators in CBM. Proceedings of COMADEM, San Sebastian, Spain.9-11 June (2009).
- [7] C. Pachaud, R. Salvetas, C. Fray. Crest factor and kurtosis contributions to identify defects inducing periodical impulsive process, Machine System Signal Process 11, 6, 903–916, (1997).
- [8] A. Djebala, N. Ouelaa, N. Hamzaoui, S. Guenfoud, Détection précoce des défauts de roulements par analyse multirésolution en ondelettes First International Congress Design and Modeling of Mechanical Systems, Tunisia (23-25 March 2005).
- [9] K. Chinmaya, AR. Mohanty Monitoring gear vibrations through motor current signature analysis and wavelet transform, Machine System Signal Process, 20, 158–187, (2006).
- [10] P. Gerhard, Analysis of practical vibration machines that predictive maintenance. Elsevier, Oxford, (2004).
- [11] D. Galar, L. Pilar, B. Luis, Application of dynamic benchmarking of rotating machinery for e-maintenance. Lulea University of Technology, Journal springer link, 246–262, Lulea, Sweden (2011).
- [12] Schenk, Manual on Operating VIBROTEST 60. Enterprise Fertial (1999).
- [13] Overview of the ISO 2372 international standard ISO 10816 (1995), replaces the standard ISO 2372 (1974).

X. ANNEXES

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

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



Mémoire de fin D'études
Pour l'obtention du diplôme de Master

Option : Maintenance Industrielle

Présenté par : Leulmi Mohamed

=====

***Diagnostic des défauts de cassures des barres
rotoriques dans un moteur asynchrone***

=====

Sous la Direction de :

Dr. Pr. Ouelaa Nouredine

Année universitaire 2011/2012

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



Mémoire de fin D'études
Pour l'obtention du diplôme de Master

Option : Maintenance Industrielle

Présenté par : Kerdoussi Mohammed el Amine

=====

Titre du mémoire

***Application de la RCM pour l'optimisation de la sûreté
de fonctionnement des installations industrielles de
l'entreprise FERTIAL-Annaba***

=====

Sous la Direction de :
Dr. Abderrazek Djebala

Année universitaire 2011/2012

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



Mémoire de fin D'études
Pour l'obtention du diplôme de Master

Option : Maintenance Industrielle

Présenté par : TRAIFI SALIM

=====

***Détection des défauts de roulement dans
les moteurs asynchrones par l'analyse
vibratoire***

=====

Sous la Direction de :

Pr. Ouelaa Nouredine

Année universitaire 2011/2012

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR ANNABA-UNIVERSITY جامعة باجي مختار عنابة
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA



Année : 2012

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

MEMOIRE

PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER

INTITULE

**Modélisation des stratégies de maintenance du
turbocompresseur 105 JT**

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNIQUE

FILIERE : MASTER

SPECIALITE : MAINTENANCE INDUSTRIELLE ET FIABILITE
MECANIQUE

PRESENTE PAR : HAOUAM SOROR

DIRECTEUR DU MEMOIRE : DR KHELIF. R

DEVANT LE JURY

PRESIDENT : Pr BOULANOUAR. L

EXAMINATEURS : DR KHELIF. R
Dr TADJINE. K
KALLOUCHE. A.E.K
LAISSAOUL. R

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR ANNABA-UNIVERSITY جامعة باجي مختار عنابة
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA



Année : 2012

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

MEMOIRE

PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER

INTITULE

**Etude vibratoire sur les machines de l'unité
d'ammoniac**

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNIQUE

FILIERE : MASTER

SPECIALITE : MAINTENANCE INDUSTRIELLE ET FIABILITE
MECANIQUE

PRESENTE PAR : SOUALEM MOHAMED

DIRECTEUR DU MEMOIRE : M. KHELIF. R

DEVANT LE JURY

PRESIDENT : M. Rabia KHELIF

EXAMINATEURS : M. KHELIF. R
M. TADJINE. K
M. KALLOUCHE. A.E.K
M. LAISSAOUI. R

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR ANNABA-UNIVERSITY
UNIVERSTE BADJI MOKHTAR ANNABA



جامعة باجي مختار عنابة

Année : 2013

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

MEMOIRE

PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER

INTITULE

**Elaboration d'un plan de maintenance des turbo-
machines de l'unité d'Ammoniac**

(FERTIAL-ANNABA)

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNIQUE

FILIERE : MASTER

SPECIALITE : MAINTENANCE INDUSTRIELLE ET FIABILITE MECANIQUE

PRESENTE PAR : ZERAOULIA ACHRAF

DIRECTEUR DU MEMOIRE : M. KHELIF.R

DEVANT LE JURY

PRESIDENT : KHELIF. R MC

EXAMI NATEURS : - BOUSSAID. O MC

- MARABTINE. A MC

- TADJINE. K MC

- LAISSAOUI. R MA

Université Hadj Lakhdar Batna
Faculté de Technologie
Département de Mécanique
3^{èmes} Journées Nationales de Mécanique JENM'11
Batna 29 et 30 Novembre 2011

Batna, le 30 Novembre 2011

ATTESTATION DE PARTICIPATION

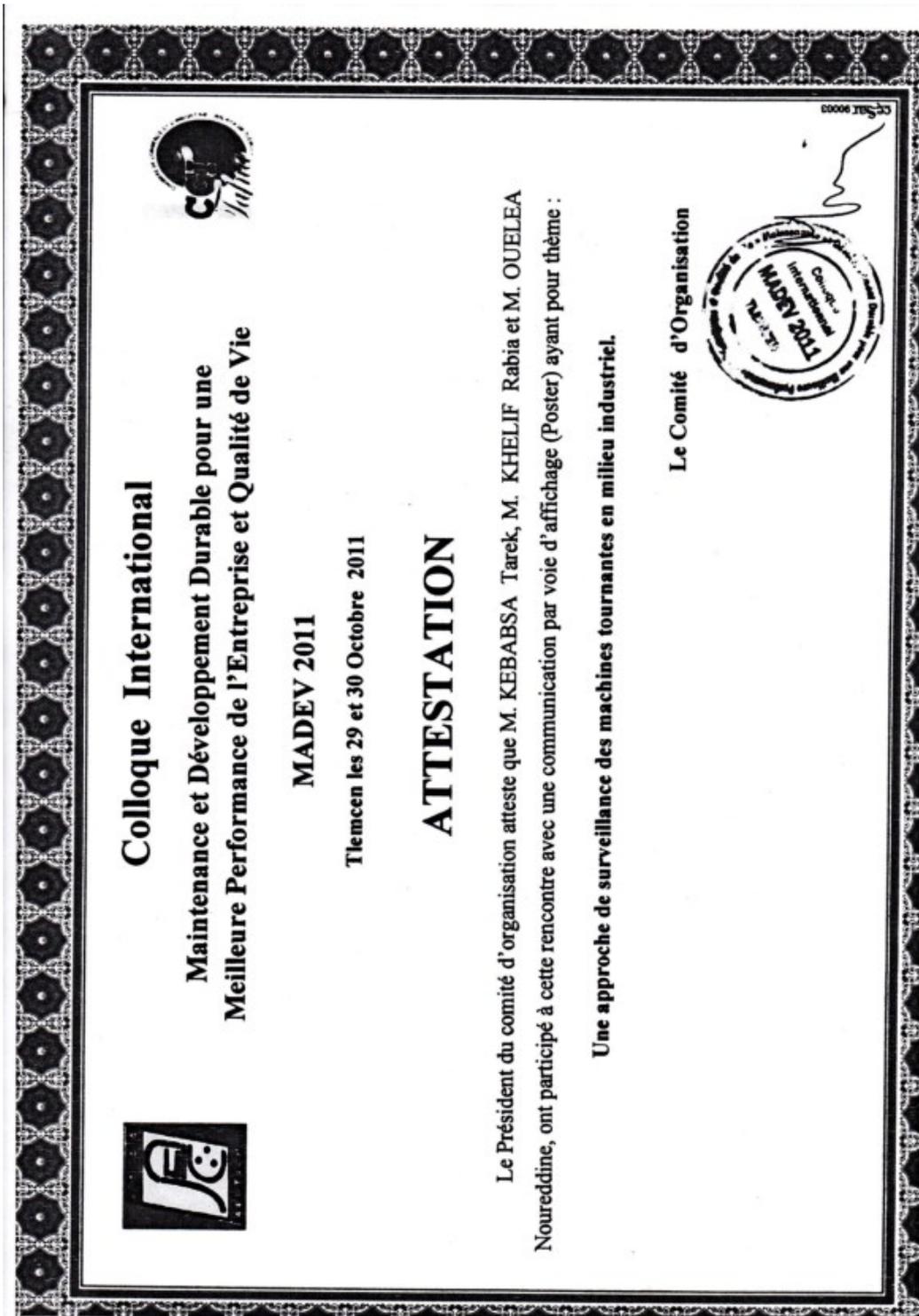
Le Comité d'Organisation des JENM'2011 atteste que : **Mr T. KEBABSA**

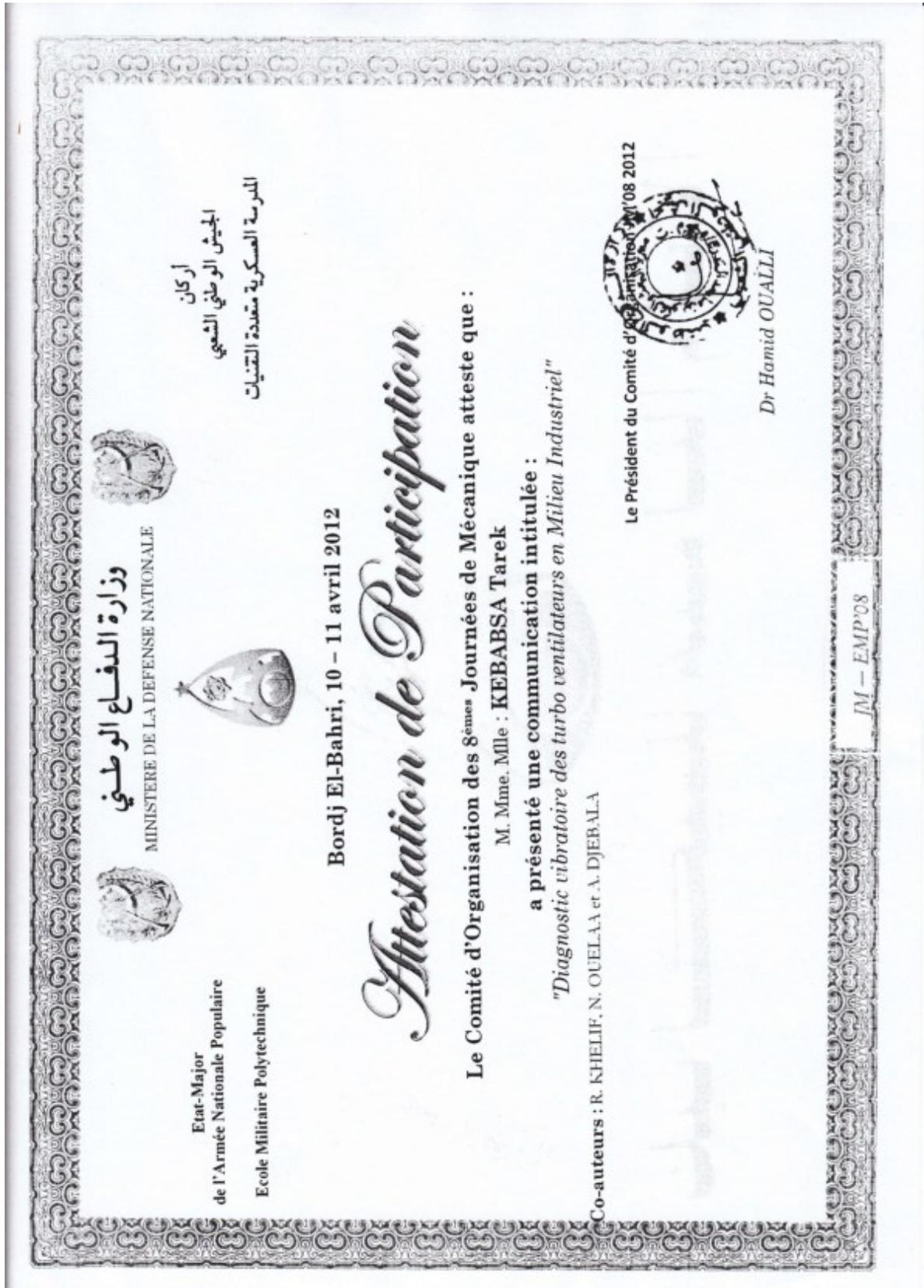
a participé aux 3^{èmes} Journées d'Etudes Nationales de Mécanique qui se sont tenues à l'Université Hadj Lakhdar de Batna les 29 et 30 Novembre 2011 avec une présentation poster intitulée :

Diagnostic vibratoire des pannes des machines tournantes. Cas d'un défaut de roulement

Co-auteurs : **R. KHELIF, N. OUELLA et A. DJEBALA**

Le Président du Comité d'Organisation
A. MIHI





10^{ème} Congrès National de la Physique et de ses Applications 'CNPA 2012'
Mostaganem, 20-21-22 Novembre 2012
Site Web : <http://cnpa2012.univ-mosta.dz/>



République Algérienne Démocratique et Populaire
Université Abdelhamid Ibn Badis- Mostaganem
Faculté des Sciences Exactes et Informatique
Département de Physique



Ref : T3.P.22

Cher (e) collègue,

Nous vous informons que votre communication intitulée :

Diagnostic vibratoire des défauts de roulements simple et combine par l'analyse spectrale, cepstrale et temporelle

Auteurs: Younes Ramdane et Ouelaa Noureddine

a été retenue par le comité scientifique du congrès pour une présentation : **Poster**
au 10^{ème} Congrès National de la Physique et de ses Applications 'CNPA 2012' qui se tiendra
à Mostaganem du 20 au 22 Novembre 2012.

Vous êtes priés de confirmer votre participation avant le **30 octobre 2012**.

Le Comité d'organisation



ANALYSE VIBRATOIRE EXPERIMENTALE D'UN TURBO VENTILATEUR EN MILIEU INDUSTRIEL

EXPERIMENTAL VIBRATORY ANALYSIS OF A TURBO FAN IN INDUSTRIAL FIELD

Tarek KEBABSA^{ab}, Nouredine OUELAA^a, Abderrazek DJEBALA^a, Rabia KHELIF^b, Nacer
HAMZAOUT^c

a Laboratoire de Mécanique et Structures de l'université 8 Mai 1945, BP.401 Guelma 24000, kehabsa.tarek@yahoo.fr,
n_ouclaa@yahoo.fr, djebala_abderrazek@yahoo.fr

b Laboratoire de Recherche, LR3MI, Mécanique des Matériaux et Maintenance Industrielle, Université Badji Mokhtar ANNABA,
BP 23000, r_khelif@yahoo.fr

c Laboratoire Vibration-Acoustique INSA de Lyon, France, nacer.hamzaoui@insa-lyon.fr

Mots clés : Analyse Spectrale, Diagnostic des Défauts, Détection précoce, Maintenance Préventive Conditionnelle, Turbo ventilateur.

Keywords: *Spectral Analysis, Faults Diagnosis; Signal Processing, Conditional Preventive Maintenance, Early detection, Turbo Fan.*

Résumé

Une variété de technologies peuvent et devraient être utilisées en tant qu'éléments d'un programme complet de maintenance préventive. Puisque les systèmes mécaniques ou machines (Turbo-ventilateurs, compresseurs, générateurs, turbines,...etc.) constituent la plupart des équipements stratégiques d'usines, la surveillance vibratoire est programmée en tant qu'outil efficace de maintenance préventive conditionnelle. Dans cette communication nous allons présenter une application portant sur l'utilisation de l'analyse spectrale comme outil d'aide au diagnostic et prise de décision avant l'apparition d'une panne due à une mauvaise surveillance vibratoire. Le travail est réalisé sur des machines stratégiques du complexe de la ville d'Annaba, l'un des plus importants complexes industriels d'Algérie spécialisé dans la production des produits fertilisants et engrais alimentaires (Ammoniac, Nitrates, Phosphate, ...etc.).

Ce travail vise dans un premier temps à classer les équipements selon une procédure prenant en considération leur criticité dans le processus de production. Notre choix s'est ensuite posé sur le turbo ventilateur 101 BJT sur lequel nous avons entamé trois campagnes de mesures dans les quatre bandes de fréquence [0-200Hz], [0-1000Hz] et [0-5000Hz], [0-10KHz]. Cette machine est surveillée habituellement par le service de maintenance dans les bandes de fréquences [0-200Hz] et [0-1000Hz]. Après le calcul cinématique de l'ensemble de ses constituants, nous avons constaté que ces deux dernières bandes de fréquence ne permettent pas une bonne surveillance du système vu que la fréquence d'engrènement dans les engrenages du réducteur est égale à 3969 Hz, ceci a justifié de faire une campagne de mesure dans la bande [0-5000Hz] et [0-10KHz].

1. introduction

Dans plusieurs domaines de l'industrie et du transport, les machines tournantes ont un grand intérêt, elles sont le plus souvent stratégiques et vitales. Pour prévenir les défaillances et assurer une disponibilité optimale de ces machines il existe heureusement des outils de surveillances puissants tel que l'analyse vibratoire, l'analyse des lubrifiants, la thermographie et l'analyse acoustique, Donc la surveillance dans notre étude en ce qui concerne l'analyse vibratoire s'articule sur l'histogramme d'évolution, mais n'est réellement exploitable en l'industrie que dans le cas d'une surveillance continue [1].

Session thématique 2B : Machines tournantes (*Rotating systems*)

Comparaison entre la sensibilité des algorithmes LMD et EMD pour la détection précoce des défauts d'engrenages

T. KIDAR, M. THOMAS, R. GUILBAULT, M. EL BADAOUI

Utilisation de l'erreur de transmission et de la vitesse angulaire instantanée pour le diagnostic vibratoire des défauts des engrenages

S. FEDALA, D. REMOND, R. ZEGADI, A. FELKAOUI

Suivi et suppression de composantes sinusoïdales modulées dans les signaux : une solution basée sur le Kurtosis et le filtrage de Kalman étendu

J.-L. DION, C. STEPHAN, G. CHEVALLIER, H. FESTJENS

Session Poster

Analyse vibratoire expérimentale d'un turbo-ventilateur en milieu industriel

T. KEBABSA, N. OUELAA, A. DJEBALA, R. KHELIF, N. HAMZAOUI

Détection des défauts simples et combinés de roulements par analyse spectrale, cepstrale et temporelle

R. YOUNES, N. OUELAA, A. DJEBALA, A. ALIA

Détection d'un défaut de délaminage lors de l'usinage d'un matériau composite par analyse vibratoire

H. CHIBANE, R. SERRA, A. MORANDEAU, A. BOUCHOU, R. LEROY

Diagnostic vibratoire par recalage de modèle éléments finis et analyse modale opérationnelle

G. GAUTIER, R. SERRA, J.-M. MENCIK

Easymod : du développement d'un toolbox sous Matlab vers l'enseignement des bases de l'analyse modale expérimentale

G. KOUROUSSIS, L. BEN FEKIH, C. CONTI, O. VERLINDEN

Identification modale de systèmes variant dans le temps à partir de réponses simulées sur un exemple d'éoliennes

M. BERTHA, J.-C. GOLINVAL

Session thématique 3A : Identifications non-linéaires (*Non linear identifications*)

Identification du comportement dynamique non linéaire des composants élastomères

H. JRAD, J.-L. DION, F. RENAUD, I. TAWFIQ, M. HADDAR



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE DU 20 AOUT 1955 DE SKIKDA

Faculté de technologie
Département de génie mécanique

CONFERENCE INTERNATIONALE
« La Maintenance et la Sécurité Industrielle 2013 »

Skikda le : 10/09/2013

Objet : **Invitation**

A l'attention de Mr.: *HAOUAM Abdellah*

Nous avons le plaisir de vous informer que votre communication intitulée:
" **Analyse fiabiliste du comportement mécanique du rotor d'un turbocompresseur de réfrigération**".
Est acceptée par le comité scientifique pour une présentation (**Orale**) lors de la conférence internationale sur la maintenance et la sécurité industrielle CIMSIF 2013 prévue le 28 et 29 Octobre 2013 à l'université du 20 Aout 1955, de Skikda, Algérie.

En vous souhaitant bonne réception, veuillez agréer, cher(e) collègue, l'expression de nos sentiments les meilleurs.

Le Président du Comité d'Organisation

Dr. Bouzouk A.
[Signature]





REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE DU 20 AOUT 1955 DE SKIKDA

Faculté de technologie
Département de génie mécanique

CONFERENCE INTERNATIONALE
« La Maintenance et la Sécurité Industrielle 2013 »

Skikda le : 10/09/2013

Objet : **Invitation**

A l'attention de Mr.: **KEBABSA Tarek**

Nous avons le plaisir de vous informer que votre communication intitulé:
"Contribution à l'amélioration de la fiabilité d'un moto-ventilateur à double courroie en milieu industriel".

Est acceptée par le comité scientifique pour une présentation (**Orale**) lors de la conférence internationale sur la maintenance et la sécurité industrielle CIMSI'2013 prévue le 28 et 29 Octobre 2013 à l'université du 20 Aout 1955, de Skikda, Algérie.

En vous souhaitant bonne réception, veuillez agréer, cher(e) collègue, l'expression de nos sentiments les meilleurs.

✓ Le Président du Comité d'Organisation
DE BOUZAOULT A.






REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE DU 20 AOUT 1955 DE SKIKDA

Faculté de technologie
Département de génie mécanique

CONFERENCE INTERNATIONALE
« La Maintenance et la Sécurité Industrielle 2013 »

Skikda le : 10/09/2013

Objet : **Invitation**

A l'attention de M^r/M^{lle}/M^{me}: **HAOUAM Soror**

Nous avons le plaisir de vous informer que votre communication intitulé:
"Analyse des mécanismes de dégradation d'un turbocompresseur".
Est acceptée par le comité scientifique pour une présentation (**Poster**) lors de la conférence internationale sur la maintenance et la sécurité industrielle CIMSIF2013 prévue le 28 et 29 Octobre 2013 à l'université du 20 Aout 1955, de Skikda, Algérie.

En vous souhaitant bonne réception, veuillez agréer, cher(e) collègue, l'expression de nos sentiments les meilleurs.

✓ Le Président du Comité d'Organisation

D^r Bouzaoui A.



**Annexe : Habilitation de licences
Université de Guelma
Année universitaire 2013 – 2014**

Domaine	Fillère	Spécialité	Type
Sciences et Technologies	Automatique	Automatique	A
	Electronique	Electronique	A
	Electrotechnique	Commande électrique	A
		Réseaux électriques	A
	Génie civil	Génie civil	A
	Génie des Procédés	Génie des procédés pharmaceutiques	A
	Génie mécanique	Maintenance des équipements industriels	A
	Hydraulique	Hydraulique urbaine	A
Télécommunications	Télécommunications	A	
Sciences de la Nature et de la Vie	Sciences biologiques	Ecologie et conservation des zones humides	A
		Ecologie et environnement	A
		Gestion des écosystèmes et développement durable	A
Sciences Humaines et Sociales	Sciences humaines	Sciences de l'information et de la communication : communication et publicité	A
		Sciences de l'information et de la communication : communication	A
		Sciences de l'information et de la communication : Audio-visuel	A

Annaba, le 28/11/14

ATTESTATION DE SATISFACTION

Je soussigné, Monsieur HANNACHE, Directeur d'usine de l'entreprise FERTIAL Annaba, atteste que les objectifs fixés dans le cadre du Projet National de Recherche N° 13/u24/3112 intitulé « Etude et installation d'une politique de maintenance et de sécurité industrielle pour la surveillance des machines tournantes » sont atteints, et de ce fait je tiens à exprimer ma satisfaction.

Cette attestation est délivrée à l'intéressé pour servir et valoir ce que de droit.



Annaba, le 10/11/2013

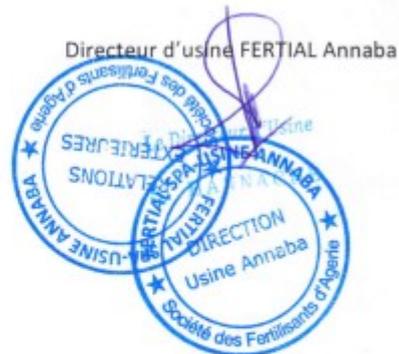
ATTESTATION DE SERVICE FAIT

Je soussigné, Monsieur HANINACHE..... Directeur d'usine de l'entreprise FERTIAL Annaba, atteste qu'à notre demande et dans le cadre du Projet National de Recherche N° 13/u24/3112 intitulé « Etude et installation d'une politique de maintenance et de sécurité industrielle pour la surveillance des machines tournantes », l'équipe du projet a réalisé des travaux de diagnostic sur les turbomachines suivantes :

- Le turbo-alternateur GZ 1164 de la centrale 2 en date du 17/12/2012
- Le turbo-ventilateur 101 BJT en date du 17/12/2012
- Le turbo-ventilateur 101 BJT en date du 29/12/2012
- Le turbo-alternateur GZ 1164 de la centrale 2 en date du 23/04/2013
- Le turbocompresseur 103 J de l'Ammoniac en date du 23/04/2013

Cette attestation est délivrée à l'intéressé pour servir et valoir ce que de droit.

OUAMANE Abdelkader
Chef Ingénierie et Maintenance



BT

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique
UNIVERSITE 8 MAI 1945 - GUELMA
FACULTE DES SCIENCES ET DE LA
TECHNOLOGIE
Laboratoire de Mécanique & Structures



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة 8 ماي 1945 - قالة
كلية العلوم والتكنولوجيا
مخبر الميكانيك والهياكل

Guelma, le 20/10/2013

ENGAGEMENT

Je soussigné, Monsieur le Professeur OUELAA Nouredine, porteur du Projet National de Recherche N° 13/u24/3112 intitulé « Etude et installation d'une politique de maintenance et de sécurité industrielle pour la surveillance des machines tournantes », m'engage à ce que la formation programmée au profit du personnel de maintenance de l'entreprise FERTIAL Annaba soit réalisée selon le calendrier prévu par l'entreprise et le programme ci-dessous.

Ordre	Thème	Animateurs	Durée(j)
01	Elaboration des cahiers des charges fonctionnel et technique (Achat de matériel MN ou prestation MN) (3jours)	MM. Djebala Abderrezak et Khelif Rabia	03
02	La maintenance préventive conditionnelle	MM. Ouelaa Nouredine et Hamzaoui Nacer	03
03	L'Analyse des Modes de Défaillance de leur Effet et leur Criticité (AMDEC)	M. Djebala Abderrezak	03
04	Des outils au service de la Maintenance	M. Khelif Rabia	03

Porteur du projet

امضاء : مدير المخبر
الاستاذ ولعة نور الدين

B7

Annaba, le 10/11/2013

ATTESTATION DE SERVICE FAIT (Formation)

Je soussigné, Monsieur HANNACHE..... Directeur d'usine de l'entreprise FERTIAL Annaba, atteste que le programme de formation prévu dans le cadre du Projet National de Recherche N° 13/u24/3112 intitulé « Etude et installation d'une politique de maintenance et de sécurité industrielle pour la surveillance des machines tournantes » a été réalisé et a porté sur les axes suivants :

- Elaboration des cahiers des charges fonctionnel et technique (Achat de matériel MN ou prestation MN) (3jours)
- La maintenance préventive conditionnelle
- L'Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et leur Criticité (AMDEC)
- Des outils au service de la Maintenance

Cette attestation est délivrée à l'intéressé pour servir et valoir ce que de droit.

OUAMANE Abdelkader
Chef Ingénierie et Maintenance



Directeur d'usine FERTIAL Annaba



B7

CAM 2013 Algeria
Mascara
November 25 - 28 novembre 2013

المؤتمر الجزائري للميكانيك
Congrès Algérien de Mécanique

T. Boukharouba
Président

S. Boukebbab & M. Guessaama
Responsables scientifiques
du thème 2: Mise en forme et
Mécanismes Automatisés

G. Phuinage
Responsable scientifique
du thème 3: Mécanique de la Rupture

R. Ayad & F. Belblidia
Responsables scientifiques
du thème 4: Modélisation

A. Liakid
Responsable scientifique
du thème 5: Ecoulements Réactifs et
Phénomènes de Transport

K. Abed-Meraim
Responsable scientifique
du thème 6: Mécanique des fluides

A. Bellaouar
Responsable scientifique
du thème 7: Transfert Thermique et
Thermodynamique

S. Kenai & A. Ahmed-Benyahia
Responsables scientifiques
du thème 8: Structures

L. Taleb
Responsable scientifique
du thème 9: Comportement Cyclique et
la fatigue

N. Ouelaa
Responsable scientifique
Vibrations, Acoustique et Maintenance
Industrielle

**K. Azouaoui
N. Ouali
A. Miloudi**
Responsables de l'organisation

Contact

cam2013 - Antenne de Mascara
Université de Mascara
BP. 305, route de Mamounia
29000, Mascara
Tel. : (+213) (0)45 81 39 98
Fax. : (+213) (0)45 81 39 98

Email : cam.ja.dz@gmail.com
www.cam-dz.org

ATTESTATION DE PARTICIPATION

CERTIFICATE OF ATTENDANCE

Cette attestation est délivrée à :
This certificate is delivered to:

Ramdane YOUNES

LMS, Université de Guelma
Algérie

pour sa participation au Congrès Algérien de Mécanique du 25 au 28
novembre 2013 à Mascara, en présentant la communication intitulée :
for his/her participation to "Congrès Algérien de Mécanique" from 25 to 28 November 2013 in
Mascara, presenting a paper entitled:

Vibratory Diagnosis of a Turbo-alternator in Industrial Field

Auteurs : R. Younes, N. Ouelaa, N. Hamzaoui, A. Djebala and T. Kebabsa

Signature _____ 28 novembre 2013



CAM2013 Algeria
Mascara
November 25 - 28 novembre 2013

المؤتمر الجزائري للميكانيك
Congrès Algérien de Mécanique

T. Boukharouba
Président

S. Boukebbab & M. Guessasma
Responsables scientifiques
du thème 2: Mise en forme et
Mécanismes Automatisés

G. Pluvinage
Responsable scientifique
du thème 3: Mécanique de la Rupture

R. Ayad & F. Belblidia
Responsables scientifiques
du thème 4: Modélisation

A. Liazid
Responsable scientifique
du thème 5: Ecoulements Réactifs et
Phénomènes de Transport

K. Abed-Meraim
Responsable scientifique
du thème 6: Mécanique des fluides

A. Bellaouar
Responsable scientifique
du thème 7: Transfert Thermique et
Thermodynamique

S. Kenai & A. Ahmed-Benyahia
Responsables scientifiques
du thème 8: Structures

L. Taleb
Responsable scientifique
du thème 9: Comportement Cyclique et
la fatigue

N. Ouelaa
Responsable scientifique
Vibration, Acoustique et Maintenance
Industrielle

**K. Azouaoui
N. Ouali
A. Miloudi**
Responsables de l'organisation

Contact

cam2013 - Antenne de Mascara
Université de Mascara
BP. 305, route de Mamounia
29000, Mascara
Tel. : (+213) (0)45 81 39 98
Fax. : (+213) (0)45 81 39 98

Email : cam.ja.dz@gmail.com

www.cam-dz.org

ATTESTATION DE PARTICIPATION

CERTIFICATE OF ATTENDANCE

Cette attestation est délivrée à :
This certificate is delivered to:

Tarek KEBABSA

Université de Guelma
Algérie

pour sa participation au Congrès Algérien de Mécanique du 25 au 28 novembre 2013 à Mascara, en présentant la communication intitulée :
for his/her participation to "Congrès Algérien de Mécanique" from 25 to 28 November 2013 in Mascara, presenting a paper entitled:

Diagnostic vibratoire d'un turbo machine en milieu industriel

Auteurs : T. Kebabsa, Nouredine Ouelaa, A. Djebala, R. Younes et N. Hamzaoui

Signature



28 novembre 2013



XI. INFORMATIONS FINANCIERES

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Direction Générale de la Recherche Scientifique et du Développement Technologique
Direction de l'Administration et du Financement de la Recherche

ETAT DE S CONSOMMATIONS DU BUDGET DE FONCTIONNEMENT PAR POSTES DE DEPENSES, CHAPITRES ET ARTICLE OCTROYE AU TITRE DU FONDS NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET DU DEVELOPPEMENT TECHNOLOGIQUE
ARRETE AU/...../2013

MINISTERE DE TUTELLE: Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique

ETABLISSEMENT : UNIVERSITE 8 Mai 1945 - GUELMA

Laboratoire : Laboratoire de Mécanique et de Structure (LMS)

Directeur de laboratoire :OUELLAA Nouredine

Date de création de Laboratoire: 2001

Pr OUELLAA Nouredine
PNR n° 13/u24/3112



Solde au 31/12/2011 (I)	0,00
Montant recouvré en 2012+2013 (II)	1 500 000,00
Montant Ventilé (I)+(II)=(A)	1 500 000,00

Unité En: D.A

Intitules des postes de dépenses	EXERCICE 2013			
	REPARTITION BUDGETAIRE			
	Montant ventilé (A)	Montant consommé (B)	solde au 17/11/2013	Taux de consommation % = (B)/(A) * 100
REMBOURSEMENT DES FRAIS				
↘ Frais de mission et de déplacement en Algérie et à l'étranger;	180 000,00	93 086,00	86 914,00	51,71%
↘ Recontres scientifique: Frais d'organisation, d'hebergement, de restauration et de transport;	0,00	0,00	0,00	0,00%
↘ Honoraires des enquêteurs;	0,00	0,00	0,00	0,00%
↘ Honoraires des guides;	0,00	0,00	0,00	0,00%
↘ Honoraires des experts et consultants;	0,00	0,00	0,00	0,00%
↘ Frais d'études, de travaux et de prestations réalisés pour le compte de l'entité.	0,00	0,00	0,00	0,00%
	180 000,00	93 086,00	86 914,00	51,71%
MATERIEL ET MOBILIER				
↘ Matériels et instruments scientifiques et audiovisuels;	900 000,00	895 050,00	4 950,00	99,45%
↘ Renouvellement du matériel informatique, achat accessoires, logiciels et consommables informatiques	300 000,00	300 000,00	0,00	100,00%
↘ Mobilier de laboratoire;	0,00	0,00	0,00	0,00%
↘ Entretien et réparation.	30 000,00	22 464,00	7 536,00	74,88%
	1 230 000,00	1 217 514,00	12 486,00	98,98%
FOURNITURES				
↘ Produits chimiques;	0,00	0,00	0,00	0,00%
↘ Produits consommables;	0,00	0,00	0,00	0,00%
↘ Composants électroniques, mécaniques et audio-visuels;	0,00	0,00	0,00	0,00%
↘ Papeterie et fournitures de bureau ;	70 000,00	60 000,00	10 000,00	85,71%
↘ Périodiques	0,00	0,00	0,00	0,00%
↘ Documentation et Ouvrages de recherche ;	0,00	0,00	0,00	0,00%
↘ Fournitures des besoins de laboratoires (animaux, plantes, etc...);	0,00	0,00	0,00	0,00%
	70 000,00	60 000,00	10 000,00	85,71%

TAB.N°03
FONCT.2012

CHARGES ANNEXES				
↳ Impression et édition ;	15 000,00	0,00	15 000,00	0,00%
↳ Affranchissements postaux ;	0,00	0,00	0,00	0,00%
↳ Communications téléphoniques, Fax, Telex, Télégramme, Internet ;	5 000,00	0,00	5 000,00	0,00%
↳ Autre frais (impôts et taxes, droits de douane, frais financiers, assurances, frais de stockage, et autres)	0,00	0,00	0,00	0,00%
↳ Banque de données (acquisition et abonnement) ;	0,00	0,00	0,00	0,00%
	20 000,00	0,00	20 000,00	0,00%
PARC AUTOMOBILE				
↳ Carburant et lubrifiants .	0,00	0,00	0,00	0,00%
↳ Location de véhicules pour les travaux de recherche sur terrain .	0,00	0,00	0,00	0,00%
	0,00	0,00	0,00	0,00%
FRAIS DE VALORISATION ET DE DEVELOPPEMENT TECHNOLOGIQUE				
↳ Frais de Formation et d'accompagnement des porteurs de projets ;	0,00	0,00	0,00	0,00%
↳ Frais de propriété intellectuelle ;				
↳ Recherche d'antériorité ;	0,00	0,00	0,00	0,00%
↳ Demande de dépôt de brevet, de marque et de modèle ;	0,00	0,00	0,00	0,00%
↳ Dépôt de logiciel ;	0,00	0,00	0,00	0,00%
↳ Protection des obtentions végétales, animales et autres .	0,00	0,00	0,00	0,00%
↳ Frais des mandataires .	0,00	0,00	0,00	0,00%
↳ Frais de conception et de définition du projet à mettre en valeur .	0,00	0,00	0,00	0,00%
↳ Frais d'évaluation et de faisabilité du projet valorisable, (Maturation = Plan d'affaire) .	0,00	0,00	0,00	0,00%
↳ Frais d'expérimentation et de développement des produits à mettre en valeur	0,00	0,00	0,00	0,00%
↳ Frais d'incubation .	0,00	0,00	0,00	0,00%
↳ Frais de service à l'innovation	0,00	0,00	0,00	0,00%
↳ Frais de conception et de réalisation de prototypes, maquettes, présérie, installation pilotes et démonstrations	0,00	0,00	0,00	0,00%
	0,00	0,00	0,00	0,00%
RETRIBUTION DES ACTIVITES DES CHERCHEURS				
↳ La rétribution des activités de recherche des chercheurs mobilisés dans le cadre des programmes nationaux de recherche.	0,00	0,00	0,00	0,00%
	0,00	0,00	0,00	0,00%
Total	1 500 000,00	1 370 600,00	129 400,00	91,37%

Visas et Signature du chef
D'établissements

Visas et Signature du Directeur
de Laboratoire

Visas et signature de l'Agent
Comptable



 الاستاذ ولعة نور الدين

