



Département Maitrise des risques industriels et environnementaux -
MRIE

Projet de fin d'étude

En vue de l'obtention du
Diplôme d'ingénieur d'état en QHSE-GRI

Optimisation de la maintenabilité et la
disponibilité des machines tournantes de
l'entreprise ADWAN Chemicals Spa
basée sur l'étude d'impact vibratoire sur un
compresseur centrifuge à anneau liquide
Garo xk-161

Présenté par
GUEBABI Aboubaker

Soutenue le : 03 Juillet 2025

Devant le jury composé de :

Pr.Hamid YOUSFI	President de Jury
M.BOUBAKEUR Mohamed	Encadrant
Dr.Farid LEGUEBEDJ	Co-Encadreur
Dr.SENOUCI BEREKSI Malik	Examineur
Dr.BOUSBAI Mohamed	Examineur



Département Maitrise des risques industriels et environnementaux -
MRIE

Projet de fin d'étude

En vue de l'obtention du
Diplôme d'ingénieur d'état en QHSE-GRI

Optimisation de la maintenabilité et la
disponibilité des machines tournantes de
l'entreprise ADWAN Chemicals Spa
basée sur l'étude d'impact vibratoire sur un
compresseur centrifuge à anneau liquide
Garo xk-161

Présenté par
GUEBABI Aboubaker

Soutenue le : 03 Juillet 2025

Devant le jury composé de :

Pr.Hamid YOUSFI	President de Jury
M.BOUBAKEUR Mohamed	Encadrant
Dr.Farid LEGUEBEDJ	Co-Encadreur
Dr.SENOUCI BEREKSI Malik	Examineur
Dr.BOUSBAI Mohamed	Examineur

المخلص

في الصناعة الكيميائية، تُشكل أعطال الآلات الدوّارة تحديًا كبيرًا. تواجه شركة عدوان للكيمياويات، المتخصصة في تصنيع

المنتجات الكيميائية غير العضوية، معدلًا مرتفعًا من الأعطال في آلاتها الدوّارة، والتي يعود سببها الرئيسي إلى الاهتزازات غير

المضبوطة، مما يؤدي إلى توقفات غير متوقعة في الإنتاج ومخاطر على السلامة.

تندرج هذه الدراسة ضمن منهجية تحليل دقيقة لتحسين أداء هذه الضواغط الحرجة. وتعتمد على نهج دقيق يشمل: دراسة تقنية

مفصلة للضواغط الطاردة المركزية، وتحليل اهتزازي متقدم، وتقييم اقتصادي لتكاليف الصيانة، واقتراح حلول تصحيحية قائمة على

مراقبة الاهتزازات.

الهدف هو إثبات أن استراتيجية صيانة حديثة، تعتمد على التحليل الاهتزازي والمعرفة الدقيقة للمعدات، يمكن أن تعزز بشكل

كبير موثوقية الآلات الدوّارة، وتخفض تكاليف التدخل، وتضمن استمرارية الإنتاج في الصناعات الحساسة مثل الصناعة الكيميائية.

الكلمات المفتاحية : الآلات الدوّارة، تحليل الاهتزازات، الصيانة التنبؤية، الضواغط الطاردة المركزية، موثوقية الصناعة

الكيميائية، مراقبة الحالة.

Abstract

In the chemical industry, failures of rotating machinery pose a major challenge. ADWAN CHEMICALS COMPANY, specializing in the production of inorganic chemical products, faces a high rate of breakdowns in its rotating machinery, primarily caused by uncontrolled vibrations, leading to unexpected production shutdowns and safety risks.

This study follows a rigorous approach to analyze and improve the performance of these critical compressors. It is based on a combined methodology : a detailed technical study of centrifugal compressors, advanced vibration analysis, an economic assessment of maintenance costs, and the proposal of corrective solutions grounded in vibration monitoring.

The objective is to demonstrate that a modern maintenance strategy, based on vibration analysis and in-depth knowledge of equipment, can significantly enhance the reliability of rotating machinery, reduce intervention costs, and ensure production continuity in sensitive industries such as chemicals.

Keywords : Rotating machinery, vibration analysis, predictive maintenance, centrifugal compressors, chemical industry reliability, condition monitoring.

Résumé

Dans l'industrie chimique, les défaillances des machines tournantes constituent un défi majeur. L'entreprise ADWAN CHEMICALS COMPANY, spécialisée dans la fabrication de produits chimiques inorganiques, rencontre un taux élevé de pannes sur ses machines tournantes, principalement causées par des vibrations mal maîtrisées, provoquant des arrêts imprévus de production et des risques sécuritaires.

Ce mémoire s'inscrit dans une démarche d'analyse rigoureuse et d'amélioration des performances de ces compresseurs critiques. Il repose sur une approche combinée : étude technique détaillée des compresseurs centrifuges, analyse vibratoire avancée, évaluation économique des coûts de maintenance, et proposition de solutions correctives fondées sur la surveillance vibra-

toire.

L'objectif est de démontrer qu'une stratégie de maintenance moderne, fondée sur l'analyse vibratoire et la connaissance fine des équipements, peut significativement améliorer la fiabilité des machines tournantes, réduire les coûts d'intervention, et assurer la continuité de production dans les industries sensibles comme la chimie.

Mots-clés : Machines tournantes, analyse vibratoire, maintenance prédictive, compresseurs centrifuges, fiabilité en industrie chimique, surveillance des équipements.

Remerciements

Tout d'abord, je remercie Allah le Tout-Puissant de m'avoir donné le courage et la patience nécessaires à mener ce travail à son terme.

Je remercie M. BOUBAKEUR Mohamed, mon encadrant, pour l'assistance qu'il a apportée au cours de ce travail, ainsi que pour ses remarques constructives ayant contribué à l'amélioration de son contenu.

Mes remerciements s'adressent également à M. LEGHBEJ Farid, coencadreur de ce projet, ainsi que M. ARAB Mohamed, mon co-encadrant de l'entreprise ADWAN CHEMICALS. Je tiens à exprimer ma reconnaissance pour leur aide, leur disponibilité, leurs encouragements ainsi que leur apport scientifique tout au long de ce travail.

Que les membres du jury trouvent, ici, l'expression de mes sincères remerciements pour l'honneur qu'ils me font en prenant le temps de lire et d'évaluer ce travail.

Un grand merci aussi à mes parents, ma famille, mes amis et toutes les personnes qui ont été à mon côté et m'ont soutenus d'une façon ou d'une autre. Vous êtes tellement nombreux que vous citer tous serait un trop grand défi. Sachez toutefois que vous êtes tous dans mes pensées.

Je souhaite aussi remercier l'équipe pédagogique et administrative de l'ENP pour leurs efforts dans le but de nous offrir une excellente formation.

Pour finir, je souhaite remercier toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

GUEBABI Aboubakr

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale **9**

Chapitre 1 : Etat des lieux : contexte et Problématique **10**

1.1	Présentation Générale de l'Entreprise	11
1.1.1	Informations Générales	11
1.1.2	Historique	11
1.1.3	Missions et Objectifs	11
1.1.4	Structure Organisationnelle	12
1.1.5	Unités de production	12
1.1.6	Perspectives et Développement Futur	13
1.2	Contexte général de la problématique	13
1.2.1	Situation actuelle de la maintenance chez Adwan Chemicals	13
1.2.2	Focus sur les machines tournantes	13
1.2.3	Enjeux pour l'entreprise	14
1.3	Identification de l'élément critique : le compresseur centrifuge Garo XK 161 . . .	14
1.3.1	Défaillances majeures	14
1.3.2	Détail de la panne critique sur le compresseur XK161B : cisaille de l'arbre de rotation	14
1.3.3	Conséquences de l'indisponibilité du compresseur B	15
1.4	Objectif de l'entreprise	15
1.4.1	Réduction de la maintenance curative	16
1.4.2	Ciblage des machines tournantes et approche vibratoire	16
1.4.3	La nécessité d'une maintenance basée sur la surveillance des vibrations .	16

Chapitre 2 : Système étudié : Compresseur Garo à anneau liquide XK-161 **18**

2.1	Description de l'Unité de Compression du Chlore	18
2.1.1	Présentation Générale de l'unité	18
2.1.2	Équipements Constitutifs de l'unité	19
2.1.3	Principe de Fonctionnement de l'Unité	19
2.1.4	Risques du Chlore Gazeux (Cl_2)	20
2.2	Caractéristiques Techniques du Compresseur GARO à Anneau Liquide XK-161 .	21
2.2.1	Présentation Générale du Compresseur	21
2.2.2	Spécifications Techniques du Compresseur GARO	21
2.3	Montage et Composants du Compresseur	22
2.3.1	Éléments constitutifs du compresseur	22
2.3.2	Montage du compresseur	23
2.3.3	Motorisation du Compresseur	24
2.4	Description de Fonctionnement du Compresseur	25

2.4.1	Principe de fonctionnement	25
2.4.2	Cycle de Compression	26
Chapitre 3 :	Les vibrations mécaniques dans les machines tournantes	27
3.1	Généralités sur les machines tournantes	27
3.2	Généralités sur les vibrations	28
3.2.1	Définition d'une vibration	28
3.2.2	Caractéristiques principales des vibrations	28
3.2.3	Paramètres de mesure de vibration	28
3.2.4	Capteurs et transducteurs	29
3.2.5	Méthodologies de diagnostic et d'analyse des vibrations	30
3.2.6	Norme ISO 20816-3 : évaluation et mesurage des vibrations dans les machines tournantes	31
3.3	Origines des vibrations dans les machines tournantes	33
3.3.1	Désalignement	33
3.3.2	Défaut de balourd (Déséquilibre de masse)	34
3.3.3	Défauts de roulements	36
3.3.4	Phénomènes de résonance	36
3.3.5	Jeux mécaniques	36
3.3.6	Flexion du rotor	37
3.3.7	Problèmes électromagnétiques	37
3.3.8	Défauts sur les engrenages	37
3.3.9	Cavitation	38
3.3.10	Autres types des sources des vibrations	38
3.4	Problèmes et défaillances liés aux vibrations dans les machines tournantes	38
3.4.1	Fatigue des matériaux	38
3.4.2	Usure accélérée	39
3.4.3	Desserrage des fixations	39
3.4.4	Défaillance des joints d'étanchéité	39
3.4.5	Défaillance des roulements	39
3.4.6	Bruit	39
Chapitre 4 :	Etude du problème : Analyse des données	41
4.1	Présentation des Données	41
4.1.1	Caractéristiques du Tableau	41
4.1.2	Répartition des Types de Maintenance	42
4.2	Analyse des pannes passées des compresseurs	42
4.3	Analyse économique de la maintenance du compresseur	45
4.3.1	Répartition des Coûts Globaux	45
4.3.2	Évolution Temporelle des Coûts (2017–2024)	47
4.3.3	la réduction des coûts de maintenance après élimination des pannes vibratoires :	48
4.4	Étude Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité (FMD)	48
4.4.1	Paramètres clés à calculer	48
4.4.2	Calculs des paramètres de fiabilité, de maintenance et de disponibilité pour les deux compresseurs	49
4.4.3	Calculs des paramètres pour les deux compresseurs après l'élimination des pannes causées par les vibratoires	51
4.4.4	Comparaison des résultats et impact des vibrations sur la fiabilité , la maintenabilité et la disponibilité	54
4.5	Analyse des modes de défaillance et de leurs effets et de leurs criticités (AMDEC)	55

4.5.1	Décomposition du système	55
4.5.2	Critères d'évaluation	56
4.5.3	Résultat	57
4.6	Analyse des causes des pannes critiques :application de laméthode AdD	61
4.6.1	Identification des événements redoutés	61
4.6.2	Élaboration des arbres	61
Chapitre 5 : Résolution du problématique		65
5.1	Problèmes techniques et solutions	65
5.1.1	Problème 01 : Cisaillement de l'Arbre de Rotation	65
5.1.2	Problème 02 : Alimentation électrique et vitesse de rotation	71
5.1.3	Problème 03 : Déséquilibre de Masse du Rotor	72
5.1.4	Problème 04 : Fissures Internes et de Surface	73
5.2	Élaboration d'un plan de maintenance Conditionnelle basée sur la surveillance vibratoire pour le Compresseur Garo XK161	74
5.2.1	Principe de la maintenance conditionnelle proposée	74
5.2.2	Paramètres de surveillance	75
5.2.3	Systèmes de surveillance	79
5.3	Bénéfices attendus de la solution	80
5.3.1	Réduction de la maintenance curative	80
5.3.2	Amélioration de la disponibilité	81
5.3.3	Optimisation économique	81
Conclusion générale		84
Bibliographie		86
Annexe		87

Table des figures

1.1	Site de l'entreprise ADWAN CHEMICALS CIE	11
1.2	cisaille de l'arbre de rotation	15
2.1	L'unité de compression du chlore	18
2.2	Schéma des Équipements Constitutifs de l'unité de compression de chlore	19
2.3	Panneau de Danger matières toxiques	20
2.4	Compresseur GARO à anneau liquide	21
2.5	Schéma des éléments constitutifs du compresseur	22
2.6	Montage du compresseur	23
2.7	Corps principal du compresseur	23
2.8	Moteur du compresseur	24
2.9	Marquage Atex du moteur	25
2.10	Vue technique du compresseur de chlore	25
3.1	Schéma de fonctionnement d'un capteur de déplacement	29
3.2	Capteur de vitesse photoélectrique	30
3.3	Principe de fonctionnement d'un capteur d'accélération	30
3.4	Limites des vibrations selon la norme ISO 20816	32
3.5	Différents types du défaut d'alignement	33
3.6	Alignement parfait $D = 0$ mm et $\Delta\phi = 0^\circ$	33
3.7	Désalignement parallèle $D > 0$ mm et $\Delta\phi = 0^\circ$	33
3.8	Désalignement angulaire $D = 0$ mm et $\Delta\phi > 0^\circ$	34
3.9	Désalignement combiné $D > 0$ mm et $\Delta\phi > 0^\circ$	34
3.10	Déséquilibre statique	35
3.11	Déséquilibre dynamique	35
3.12	Déséquilibre de couple	35
3.13	Phénomènes de frottement-échauffement (rotor / parties fixes)	36
3.14	Jeu de fondation et leur spectre typologique	37
3.15	Flexion du rotor	37
4.1	Évolution des coûts de maintenance préventive et curative (2017–2024)	47
4.2	Les indicateurs de fiabilité	49
4.3	: La répartition des modes de défaillance probables selon leur niveau de criticité	60
4.4	une partie de l'arbre de défaillance "rupture de la turbine du compresseur" . . .	62
4.5	une partie de l'arbre de défaillance "Cisaillement de l'arbre de rotation du com- presseur"	63
5.1	Courbe S-N de l'Acier inoxydable	67
5.2	Courbe S-N de l'inconel 718	68
5.3	Contrôle par ultrasons	74
5.4	Balourd spécifique résiduel admissible correspondant au degré de qualité d'équi- librage G et à la vitesse nominale n	78
5.5	Distance entre les extrémités de l'arbre (DBSE)	79

Liste des tableaux

2.1	Équipements Constitutifs de l'unité de compression de chlore et leur référence .	19
4.1	Analyse comparative des interventions de maintenance (2017–2024)	46
4.2	Évolution des coûts de maintenance préventive et curative (2017–2024)	47
4.3	Tableau des paramètres de fiabilité, de maintenance et de disponibilité	51
4.4	Tableau des paramètres de fiabilité, de maintenance et de disponibilité (après l'élimination des pannes liées aux vibrations)	54
4.5	Structure de décomposition du compresseur	56
4.6	Échelle de probabilité d'occurrence	56
4.7	Échelle de détectabilité des défaillances	56
4.8	Échelle de gravité des défaillances	57
4.9	Échelle de criticité	57
4.10	Exemple Tableau AMDEC – Partie 1	57
4.11	Liste des modes de défaillances mentionnés dans l'AMDEC ainsi que leur cause et leur criticité	59
4.12	Les règles de l'algèbre de BOOLE	61
5.1	Comparaison des propriétés des deux matériaux	69
5.2	Comparaison des prix des matériaux	70
5.3	Valeurs limites des vibrations pour le compresseur GARO selon la norme ISO 20816-3	75
5.4	Les limites du déplacement pic à pic (à 990 tr/min)	76
5.5	Tableau de surveillance des paramètres mécaniques	80
5.6	Coût des équipements de maintenance prédictive	81

Introduction générale

Dans l'industrie, le coût élevé de la maintenance des équipements constitue un défi majeur, particulièrement pour les machines tournantes, essentielles dans les procédés chimiques. Parmi ces équipements, les compresseurs à anneau liquide jouent un rôle critique, où toute défaillance peut engendrer des arrêts de production coûteux, des pertes financières significatives, et même des risques sécuritaires et environnementaux. Un des problèmes les plus fréquents et critiques sur ces machines est lié aux vibrations, dont l'impact sur la fiabilité et la durée de vie des équipements nécessite une attention particulière.

L'entreprise ADWAN CHEMICALS COMPANY, spécialisée dans la fabrication de produits chimiques inorganiques, rencontre un taux élevé de pannes sur ses machines tournantes. Ces défaillances répétées, principalement causées par des vibrations mal maîtrisées, provoquent des arrêts imprévus de production, des coûts opérationnels excessifs et des risques sécuritaires et environnementaux. Cette situation critique remet en question l'efficacité des pratiques de maintenance actuelles et la pertinence des outils de diagnostic utilisés.

Ce mémoire s'inscrit dans une démarche d'analyse rigoureuse et d'amélioration des performances de ces compresseurs critiques. Il repose sur une approche combinée : étude technique détaillée des compresseurs, analyse vibratoire avancée, évaluation économique des coûts de maintenance, et proposition de solutions correctives fondées sur le condition monitoring.

Ce mémoire est structuré en cinq chapitres :

Chapitre 1 : Ce chapitre présente l'entreprise ADWAN CHEMICALS, son activité dans la chimie inorganique et son organisation industrielle. Il analyse plus particulièrement la problématique récurrente des pannes liés aux phénomènes vibratoires sur ses machines tournantes, en se focalisant sur les compresseurs à anneau liquide comme équipement critique

Chapitre 2 : Étude technique du compresseur GARO à anneau liquide, ses spécificités mécaniques, ses conditions de fonctionnement, et ses contraintes liées à la manipulation du chlore gazeux.

Chapitre 3 : Revue des phénomènes vibratoires dans les machines tournantes, diagnostic des principales sources de vibrations, problèmes et défaillances dues aux vibrations, une normes ISO applicable, et méthodologie d'analyse vibratoire

Chapitre 4 : Analyse approfondie des défaillances enregistrées sur les compresseurs XK-161A/B à partir des historiques de maintenance, évaluation de leur criticité technique et économique, et application de l'AMDEC et de l'analyse FMD.

Chapitre 5 : Proposition d'un plan de maintenance conditionnelle basé sur la surveillance vibratoire, solutions techniques aux défaillances récurrentes, et évaluation des gains potentiels en termes de fiabilité et de performance.

Ce travail vise à démontrer qu'une stratégie de maintenance moderne, fondée sur l'analyse vibratoire et la connaissance fine des équipements, peut significativement améliorer la fiabilité des machines tournantes, réduire les coûts d'intervention, et assurer la continuité de production dans les industries sensibles comme la chimie.

Chapitre 1: Etat des lieux : contexte et Problématique

Introduction

ADWAN CHEMICALS COMPANY est une entreprise industrielle spécialisée dans la production et la commercialisation de produits chimiques inorganiques. Fondée en 2004, elle est située dans la zone industrielle de Fornaka, à Mostaganem, en Algérie. L'entreprise, détenue par des capitaux saoudiens, joue un rôle clé dans le secteur chimique algérien, contribuant à l'économie nationale grâce à ses produits de haute qualité et ses processus de production innovants.

Ce chapitre vise à présenter une vue d'ensemble de l'entreprise, en mettant l'accent sur sa structure organisationnelle, ses unités de production, ses produits, et ses perspectives d'avenir. Dans le cadre de l'amélioration continue et de la fiabilité des équipements industriels, la maintenance joue un rôle central dans la performance globale des entreprises de production. Le présent chapitre se penche sur une problématique critique rencontrée par l'entreprise Adwan Chemicals, spécialisée dans la fabrication de produits chimiques. Cette entreprise est confrontée à un taux élevé de défaillances au niveau de ses machines tournantes, ce qui entraîne des arrêts imprévus de production, des coûts de maintenance curative très élevés et une diminution de l'efficacité globale.

Le chapitre exposera d'abord la situation actuelle de la maintenance dans l'entreprise, en mettant en lumière les impacts économiques et techniques des pannes répétées. Il décrira ensuite l'approche proposée pour réduire ces défaillances, à savoir l'étude des vibrations comme indicateur clé de performance et de diagnostic préventif. Une attention particulière sera portée à un cas critique concret : le compresseur centrifuge à anneau liquide Garo XK161, qui a connu plusieurs défaillances majeures.

1.1 Présentation Générale de l'Entreprise



FIGURE 1.1 – Site de l'entreprise ADWAN CHEMICALS CIE

1.1.1 Informations Générales

- **Raison sociale** : SPA ADWAN Chemicals Cie Algeria.
- **Adresse** : Zone Industrielle N°02 & 03, Fornaka, Mostaganem.
- **Surface totale du site** : 6 hectares.
- **Superficie du complexe industriel** : 70 000 m².
- **Capital social** : 4,3 milliards de dinars algériens (DA).
- **Nombre d'employés** : 200.

1.1.2 Historique

ADWAN CHEMICALS COMPANY a été créée en 2004 et a commencé ses activités de production en 2007. L'entreprise a progressivement développé ses unités de production, avec la mise en service de différentes usines :

- **Unité de production de silicate de sodium et de silice** : 2007.
- **Unité de dissolution de la soude caustique** : 2010.
- **Unité de production de chlore et de soude caustique** : Décembre 2012.
- **Unité de production de chlorure ferrique** : Novembre 2013.

1.1.3 Missions et Objectifs

L'entreprise a pour mission de produire et de commercialiser des produits chimiques inorganiques de haute qualité, destinés à divers secteurs industriels tels que l'industrie chimique, le traitement des eaux, la construction, et le secteur pétrolier et gazier. Ses objectifs incluent l'optimisation des processus de production, la réduction des coûts, et l'expansion de ses marchés à l'international.

1.1.4 Structure Organisationnelle

Organigramme

L'entreprise est organisée en plusieurs départements, chacun ayant des responsabilités spécifiques. Les principaux départements incluent :

- **Direction Générale** : Responsable de la gestion globale de l'entreprise.
- **Département de Production** : Gère les unités de production et les processus industriels.
- **Département de Maintenance** : Assure la maintenance des équipements et des installations.
- **Département de Qualité** : Contrôle la qualité des produits et veille au respect des normes industrielles.
- **Département Commercial** : Gère les ventes et les relations avec les clients.

Ressources Humaines

ADWAN CHEMICALS COMPANY emploie environ 300 travailleurs, répartis dans les différentes unités de production et les services administratifs. L'entreprise accorde une grande importance à la formation continue de ses employés afin de maintenir un haut niveau de compétence et de performance.

1.1.5 Unités de production

1. Unité de Production de Chlore et Soude Caustique

- Superficie : 18 150 m²
- Capacités :
 - Chlore liquide : 67,5 t/j (22 300 t/an)
 - Soude caustique : 75,5 t/j (24 000 t/an)
 - Hypochlorite de sodium : 127 t/j (42 000 t/an)
 - Acide chlorhydrique : 108 t/j (35 600 t/an)
- Applications : Traitement des eaux, industrie pétrolière, détergents.

2. Unité de Production de Silicate de Sodium et Silice

- Superficie : 18 150 m²
- Capacités :
 - Sable traité : 300 000 t/an
 - Farine de silice : 45 000 t/an
 - Silicate de sodium liquide : 45 000 t/an
- Applications : Verre, céramique, fonderie, traitement des eaux, secteur pétrolier.

3. Unité de Production de Chlorure Ferrique

- Superficie : 1 000 m²
- Applications : Traitement des eaux usées, industrie chimique.

4. Unité de Dissolution de Soude Caustique

- Superficie : 120 m²
- Rôle : Préparation de soude caustique pour la production de silicate de sodium.

ADWAN CHEMICALS produit des produits chimiques essentiels pour divers secteurs industriels, avec des capacités de production élevées, notamment en chlore liquide, soude caustique, hypochlorite de sodium, acide chlorhydrique, silicate de sodium et farine de silice

1.1.6 Perspectives et Développement Futur

ADWAN CHEMICALS COMPANY envisage d'étendre ses activités à l'exportation vers les marchés maghrébins (Tunisie, Maroc, Libye) et africains. Cette expansion vise à diversifier ses débouchés commerciaux et à renforcer sa position sur le marché international. L'entreprise investit également dans la modernisation de ses installations et l'optimisation de ses processus de production pour répondre aux exigences croissantes de qualité et de durabilité.

1.2 Contexte général de la problématique

1.2.1 Situation actuelle de la maintenance chez Adwan Chemicals

Adwan Chemicals exploite plusieurs unités de production nécessitant des équipements mécaniques complexes, dont des machines tournantes telles que des pompes, compresseurs, moteurs et turbines. Le bon fonctionnement de ces équipements est essentiel pour assurer une production continue et sans interruption. Cependant, l'entreprise fait face à une situation préoccupante : un nombre important de pannes affectant ces machines, notamment au niveau des compresseurs et des turbines.

Actuellement, la maintenance adoptée est en grande partie curative, c'est-à-dire qu'elle intervient après l'apparition de la panne. Ce mode de gestion, bien qu'encore répandu dans certaines industries, engendre plusieurs inconvénients majeurs :

- Des arrêts imprévus de production qui perturbent les chaînes de fabrication ;
- Des coûts de réparation très élevés, incluant le remplacement de pièces critiques et la mobilisation de ressources techniques ;
- Une détérioration des performances globales des équipements due à un manque de prévention ;
- Une réduction de la durée de vie des machines, causée par l'absence de suivi préventif de leur état.

Cette situation rend urgente la mise en place d'une stratégie de maintenance plus efficace, axée sur la prévention et le diagnostic anticipé des défaillances.

Adwan Chemicals repose sur un parc machines important, où les équipements tournants (pompes, compresseurs, turbines) sont essentiels à la continuité des procédés chimiques. Cependant, l'entreprise fait face à :

- Une forte dépendance à la maintenance curative, entraînant des coûts élevés et des interruptions fréquentes ;
- Des pannes récurrentes sur des équipements critiques, notamment les compresseurs ;
- Un manque de stratégie de maintenance préventive ou prédictive, limitant la capacité à anticiper les défaillances.

1.2.2 Focus sur les machines tournantes

Parmi l'ensemble du parc d'équipements de l'entreprise, les machines tournantes occupent une position stratégique particulièrement critique. Ces équipements, essentiels au bon fonctionnement des processus industriels, présentent des caractéristiques techniques complexes qui les rendent particulièrement vulnérables aux défaillances mécaniques.

Les machines tournantes, de par leur nature même, sont soumises à des contraintes mécaniques importantes : forces centrifuges, vibrations, usure des paliers, déséquilibres dynamiques,

et sollicitations thermiques. Ces facteurs, combinés à un environnement industriel parfois agressif, créent des conditions propices à l'apparition de défaillances qui peuvent avoir des conséquences dramatiques sur la continuité de production.

1.2.3 Enjeux pour l'entreprise

Les enjeux identifiés pour l'entreprise sont les suivants :

- Coûts financiers élevés (réparations urgentes, perte de production) ;
- Risques sécuritaires pour les opérateurs en cas de défaillance brutale ;
- Impact sur la productivité (délais non respectés, perturbations de la chaîne de production) ;
- Perte de fiabilité du système industriel global.

1.3 Identification de l'élément critique : le compresseur centrifuge Garo XK 161

Parmi les équipements les plus problématiques de l'entreprise, le compresseur centrifuge à anneau liquide Garo XK161 se distingue par la fréquence et la gravité de ses défaillances. Cet équipement, utilisé dans un processus critique de production, a connu plusieurs incidents importants qui ont eu des conséquences économiques et opérationnelles notables.

1.3.1 Défaillances majeures

Le compresseur centrifuge à anneau liquide **Garo XK161** se distingue par la fréquence et la gravité de ses défaillances. Utilisé dans un processus critique, il a connu plusieurs incidents importants :

- Plusieurs changements d'axe, indiquant une instabilité mécanique chronique ou un défaut de conception ;
- Une panne majeure de la turbine qui a déjà fait l'objet d'une réparation dont le coût s'est élevé à 3 850 594,94 DZD. Cet incident a provoqué des dommages en cascade, notamment la rupture du garniture, entraînant un impact significatif sur la production
- Une **cisaille de l'arbre de rotation** du compresseur XK161B, non encore réparée, représentant une menace grave.

1.3.2 Détail de la panne critique sur le compresseur XK161B : cisaille de l'arbre de rotation

Cette rupture a entraîné des dommages en cascade, affectant notamment la garniture mécanique du compresseur ainsi que les paliers, engendrant ainsi des défaillances secondaires coûteuses. Les estimations préliminaires évaluent le coût total de réparation à plus de 5 000 000 DA, sans compter les pertes liées à l'arrêt de production.

Le coût exorbitant (> 5 000 000 DA) souligne l'urgence d'une stratégie de maintenance proactive.

Bien que le compresseur B (XK161B) soit celui ayant subi la rupture d'arbre, son indisponibilité force l'entreprise à solliciter davantage le compresseur A (XK161A), qui fonctionne encore. Cette surcharge mécanique et opérationnelle engendre plusieurs risques.

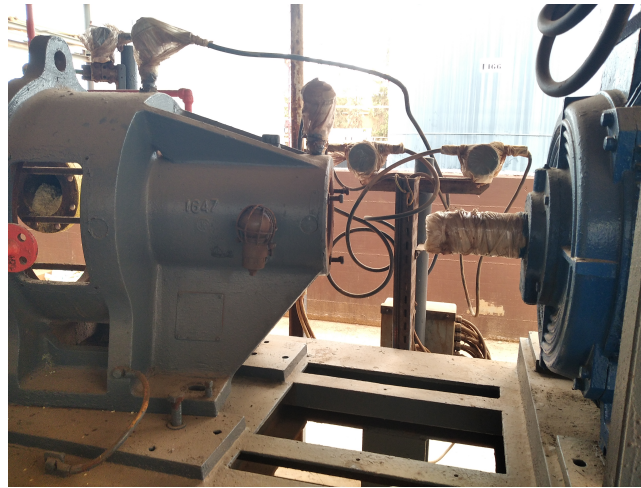


FIGURE 1.2 – cisaille de l'arbre de rotation

1.3.3 Conséquences de l'indisponibilité du compresseur B

Surcharge du compresseur A et usure accélérée

Les deux compresseurs étaient conçus pour fonctionner en alternance. Le compresseur A doit maintenant fonctionner en continu pour compenser l'arrêt du compresseur B, ce qui augmente :

- Les contraintes mécaniques (vibrations, température, pression) ;
- L'usure des composants (roulements, joints, paliers).

Un fonctionnement prolongé sans maintenance adaptée pourrait provoquer une défaillance similaire, reproduisant le scénario critique du compresseur B.

L'utilisation exclusive du compresseur A perturbe l'équilibre du réseau, entraînant :

- Une surconsommation d'énergie (moindre efficacité en régime forcé) ;
- Des désalignements possibles dans le circuit de compression.

Risque d'arrêt total de production en cas de nouvelle panne

Si le compresseur A tombe en panne à son tour (par fatigue ou manque de maintenance préventive), l'entreprise perdra toute capacité de compression, paralysant la production.

Cela entraînerait :

- Un arrêt complet de la chaîne (coûts de *downtime* élevés) ;
- Des réparations urgentes en double (aggravant les dépenses).

1.4 Objectif de l'entreprise

L'entreprise cherche à réduire sa maintenance curative, souvent synonyme de dépenses imprévues et de perturbations opérationnelles, en identifiant les causes récurrentes des défaillances et en proposant des solutions préventives ou prédictives. Dans ce contexte, notre étude se concentrera sur un équipement critique ayant connu plusieurs pannes majeures : le compresseur centrifuge à anneau liquide Garo XK161.

1.4.1 Réduction de la maintenance curative

Face aux difficultés rencontrées, l'entreprise Adwan Chemicals s'est fixé un objectif stratégique prioritaire : diminuer significativement la part de la maintenance curative dans sa stratégie globale de gestion des équipements. Cette démarche s'inscrit dans une logique d'optimisation des coûts de fonctionnement et d'amélioration de la disponibilité des équipements critiques.

L'objectif consiste à mettre en place une approche proactive permettant d'anticiper les défaillances avant qu'elles ne se produisent, réduisant ainsi les coûts d'intervention d'urgence et les arrêts de production non planifiés. Cette transformation nécessite une compréhension approfondie des mécanismes de dégradation des équipements et l'identification des paramètres critiques permettant de prédire l'évolution de leur état de santé.

1.4.2 Ciblage des machines tournantes et approche vibratoire

Pour atteindre cet objectif, l'entreprise a choisi de concentrer ses efforts sur les machines tournantes, équipements particulièrement sensibles et critiques pour la continuité de production. Cette approche ciblée permettra de développer une expertise spécifique et de valider des méthodes qui pourront ensuite être étendues à l'ensemble du parc d'équipements.

Dans cette perspective, une étude approfondie sera menée sur le compresseur centrifuge à anneau liquide Garo XK161, afin d'identifier les causes récurrentes de ses défaillances et proposer des solutions techniques concrètes pour améliorer sa fiabilité, en se basant principalement sur l'analyse des problèmes de vibrations. Cette approche s'appuie sur le fait que les vibrations constituent l'un des indicateurs les plus révélateurs de l'état de santé des machines tournantes et permettent de détecter précocement l'apparition de défauts mécaniques.

1.4.3 La nécessité d'une maintenance basée sur la surveillance des vibrations

Dans le domaine de la maintenance prédictive, l'analyse vibratoire est l'une des techniques les plus performantes pour surveiller l'état de santé des machines tournantes. Elle permet de détecter, à un stade précoce, les anomalies mécaniques telles que :

- Le désalignement ;
- Les défauts de roulements ;
- Les déséquilibres de rotation ;
- Les problèmes au niveau des arbres ou des axes.

Ces défauts, s'ils sont identifiés à temps, peuvent être corrigés avant qu'ils ne causent une panne majeure.

Pour Adwan Chemicals, la mise en place d'un programme de surveillance vibratoire constitue une solution stratégique pour réduire la fréquence des pannes et améliorer la fiabilité de ses installations. En ciblant les équipements les plus critiques, il devient possible d'optimiser les interventions de maintenance, d'en réduire le coût et d'augmenter la disponibilité des machines.

Conclusion

DWAN CHEMICALS COMPANY est un acteur majeur dans l'industrie chimique algérienne, avec une production diversifiée et une forte présence sur le marché local. Grâce à ses investissements continus dans la modernisation de ses installations et à son engagement envers la qualité, l'entreprise est bien positionnée pour poursuivre sa croissance et étendre son in-

fluence à l'international. Son rôle dans le développement économique de la région et son impact sur l'industrie chimique en Algérie en font une entreprise clé dans le secteur. L'entreprise Adwan Chemicals est confrontée à une problématique sérieuse de fiabilité de ses machines tournantes, en particulier du compresseur centrifuge Garo XK161. Les nombreuses défaillances constatées – dont certaines très coûteuses – mettent en évidence les limites d'une stratégie de maintenance curative. Pour sortir de ce cycle de pannes et de réparations répétitives, l'entreprise doit évoluer vers une démarche de maintenance prédictive, centrée sur la surveillance des vibrations.

L'étude qui sera menée dans le cadre de ce projet de fin d'études visera à établir un diagnostic précis de l'état du compresseur Garo, en utilisant l'analyse vibratoire comme outil principal. Les résultats attendus permettront non seulement de proposer des solutions concrètes de fiabilisation, mais aussi de poser les bases d'un système de maintenance plus intelligent, applicable à d'autres équipements critiques de l'entreprise.

Ainsi, à travers cette problématique ciblée, c'est une véritable réflexion stratégique sur la maintenance industrielle que ce travail entend amorcer.

Chapitre 2: Système étudié : Compresseur Garo à anneau liquide XK-161

Introduction

Ce chapitre présente une étude approfondie des compresseurs GARO à anneau liquide pour la compression du chlore gazeux. J’y décris d’abord l’architecture complète de l’unité de compression, incluant ses équipements principaux et leur configuration redondante, et parlant aussi des risques liés au chlore. Ensuite, j’analyse les spécifications techniques du compresseur GARO ASM 850, en mettant l’accent sur ses matériaux anticorrosion et son principe de fonctionnement. Je détaille également le système de motorisation et les dispositifs de sécurité ATEX. Enfin, j’explique le processus complet de compression, depuis l’aspiration jusqu’au refoulement, en soulignant le rôle crucial de l’anneau liquide d’acide sulfurique. Toutes les informations abordées dans ce chapitre sont issues du manuel du compresseur [1].

2.1 Description de l’Unité de Compression du Chlore

2.1.1 Présentation Générale de l’unité



FIGURE 2.1 – L’unité de compression du chlore

L’unité de compression étudiée constitue un système complet de compression par anneau liquide spécifiquement conçu pour la compression de chlore gazeux sec. L’installation comprend deux compresseurs GARO (modèle ASM 850) montés en configuration redondante (1 opérationnel + 1 en secours), alimentés par une tubulure d’admission commune. Bien que les deux compresseurs soient installés, il convient de noter que les équipements périphériques associés (réservoir, refroidisseur et conduites) sont dimensionnés pour fonctionner avec un seul compresseur en service à la fois.

La conception de l'ensemble du système est conforme aux spécifications techniques établies dans les fiches de données des compresseurs et des équipements annexes.

2.1.2 Équipements Constitutifs de l'unité

L'installation comprend les équipements suivants, identifiés par leurs références spécifiques :

TABLE 2.1 – Équipements Constitutifs de l'unité de compression de chlore et leur référence

Équipement	Référence
2 compresseurs	XX161A/B
2 moteurs électriques	XXM161A/B
1 séparateur gaz/liquide	XD-161
1 filtre-séparateur	F-02
1 refroidisseur à plaques	XHE-161
1 filtre temporaire	F-01
2 vannes ON/OFF pour anneau liquide	XV-161AA/BA
1 vanne de régulation de bypass	PCV-4161
2 soupapes de sécurité	PSV-4161A/B
1 lot d'instrumentation	—
1 réseau de tuyauteries et vannes d'isolement	—
1 ensemble de supports de tuyauterie	—
1 filtre en Y	F-03

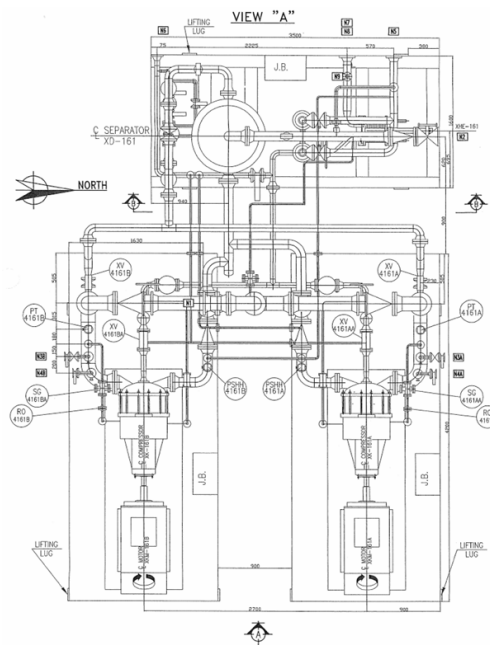


FIGURE 2.2 – Schéma des Équipements Constitutifs de l'unité de compression de chlore

2.1.3 Principe de Fonctionnement de l'Unité

L'unité de compression du gaz de chlore fonctionne à l'aide d'un compresseur à anneau liquide utilisant de l'acide sulfurique comme liquide de compression. Le gaz de chlore brut entre d'abord dans l'unité à travers des filtres (temporaire et en Y) pour éliminer les impuretés solides, puis est dirigé vers l'un des deux compresseurs montés en configuration redondante (1

en service, 1 en secours). Dans le compresseur, le chlore est comprimé en étant mélangé à l'acide sulfurique formant un anneau liquide tournant. À la sortie, le mélange gaz-liquide est envoyé vers un séparateur gaz/liquide qui récupère le chlore gazeux en tête et l'acide sulfurique en fond pour éventuel recyclage. Le gaz comprimé est ensuite refroidi dans un échangeur à plaques, puis filtré une dernière fois pour éliminer tout résidu liquide avant d'être dirigé vers le stockage ou l'étape suivante du procédé.

2.1.4 Risques du Chlore Gazeux (Cl_2)

Le chlore (Cl_2) est un gaz hautement réactif et toxique, largement utilisé dans l'industrie chimique pour la production de dérivés chlorés et la désinfection. Sa manipulation présente des risques majeurs qui nécessitent des mesures de sécurité strictes en raison de sa nature corrosive, asphyxiante et toxique. Dans le cadre de l'unité de compression, une attention particulière est portée sur sa stabilité thermodynamique et sa compatibilité avec les matériaux pour garantir un fonctionnement sûr et efficace.

Risques Associés au Chlore

- **Toxique par inhalation :**

- 1 ppm : Irritation oculaire/nasale
- 15 ppm : maladie pulmonaire (exposition >30 min)
- 50 ppm : mortel



FIGURE 2.3 – Panneau de Danger matières toxiques

- **Irritant** pour les yeux/système respiratoire/peau

- **Corrosion :**

- En présence d'humidité, le chlore se transforme en acides chlorhydrique (HCl) et hypochloreux (HOCl), corrosifs pour les métaux et les tissus organiques.
- Les équipements doivent être conçus en matériaux résistants (Hastelloy, titane) pour éviter les défaillances structurelles.

- **Réactivité Chimique :**

- Le chlore réagit violemment avec les composés organiques, générant des incendies ou des explosions.
- Les fuites doivent être immédiatement neutralisées par des systèmes de lavage gazeux (ex. NaOH).

- **Pression et Température :**

- Sous pression, le chlore peut se liquéfier, entraînant des variations de volume critiques dans le circuit de compression.
- Une surchauffe provoque sa décomposition en radicaux libres, augmentant sa réactivité.

2.2 Caractéristiques Techniques du Compresseur GARO à Anneau Liquide XK-161

2.2.1 Présentation Générale du Compresseur

Le compresseur GARO à anneau liquide mono-étage constitue un équipement industriel spécialisé conçu spécifiquement pour la compression des gaz corrosifs, notamment le chlore. Ce type de compresseur se distingue par sa conception robuste utilisant des matériaux hautement résistants à la corrosion tels que le Hastelloy et l'acier inoxydable, lui conférant une aptitude opérationnelle dans des environnements chimiques particulièrement agressifs.



FIGURE 2.4 – Compresseur GARO à anneau liquide

Ce compresseur appartient à la catégorie des compresseurs volumétriques rotatifs, où le processus de compression s'effectue grâce à un anneau liquide qui remplit simultanément une fonction d'étanchéité et de piston liquide. Cette technologie présente des avantages significatifs pour la compression de gaz dangereux comme le chlore, notamment en minimisant les risques de fuite et de contamination.

2.2.2 Spécifications Techniques du Compresseur GARO

FICHE TECHNIQUE

- Type de compresseur : Compresseur à anneau liquide ASM 850 F
- Marque : GARO
- Étages de compression : mono-étage 1
- Matériaux de construction : Hastelloy et acier inoxydable
- Application : Compression de gaz chlore
- Fluide de service : Acide sulfurique (anneau liquide)

Condition de fonctionnement

- Pression d'entrée : 0,1 bar
- Pression de refoulement : 3,5 bar
- Capacité : 790 Am³/h

- Vitesse : 990 tr/mn
- Liquide d'étanchéité : H₂SO₄ 96-98%
- Débit de liquide d'étanchéité : 13 +/-15%

Lubrification

- Type d'huile : Huile Minérale ou Synthétique ISO VG 68
- Quantité : 2,3 litres

Avantages Spécifiques

- Résistance exceptionnelle à la corrosion grâce aux matériaux utilisés
- Fonctionnement quasi-isotherme favorable pour les gaz sensibles à la température
- Absence de contact métal-métal dans la chambre de compression
- Maintenance réduite comparativement aux compresseurs alternatifs
- Compatibilité avec des gaz humides, contaminés ou corrosifs

2.3 Montage et Composants du Compresseur

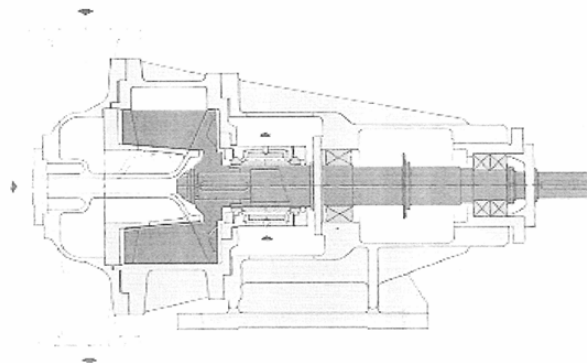


FIGURE 2.5 – Schéma des éléments constitutifs du compresseur

2.3.1 Eléments constitutifs du compresseur

Les parties principales suivantes s'appliquent aux compresseurs à anneau liquide Garo, type ASM :

- Un carter, dont la paroi périphérique intérieure présente une double excentricité perpendiculaire à l'axe de rotation.
- Une roue à aubes, avec des pales inclinées vers l'avant, qui est supportée par un arbre porté par des roulements à rouleaux.
- Un distributeur de gaz conique, dit cône, fixé au couvercle aspiration-compression.
- Une garniture mécanique double, un ensemble composé de deux sous-ensembles assurant l'étanchéité dynamique entre la partie tournante et la partie fixe.
- Un palier avec pieds, qui est la seule partie supportant la machine.

2.3.2 Montage du compresseur

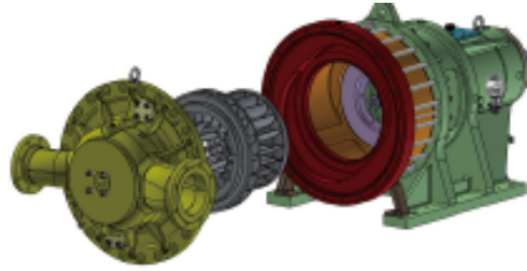


FIGURE 2.6 – Montage du compresseur

Corps Principal

- Carcasse en Hastelloy et acier inoxydable selon les zones d'exposition au fluide
- Conception optimisée pour résister à la corrosion induite par le chlore et l'acide sulfurique
- Structure renforcée pour supporter les contraintes mécaniques liées aux pressions opérationnelles



FIGURE 2.7 – Corps principal du compresseur

Rotor

- Fabriqué principalement en Hastelloy pour une résistance maximale à la corrosion
- Conception à pales radiales optimisées
- Montage excentrique par rapport à l'axe du corps cylindrique
- Équilibrage dynamique pour minimiser les vibrations en fonctionnement

Système d'Étanchéité

- Garnitures mécaniques doubles spécialement conçues pour environnements corrosifs
- Système de barrage liquide pour prévenir les fuites de gaz
- Joints spécifiques résistants aux attaques chimiques

Paliers et Roulements

- Roulements surdimensionnés pour supporter les charges radiales et axiales
- Positionnement à l'extérieur de la zone de compression pour éviter la contamination
- Système de lubrification adapté au fonctionnement continu

Dispositifs de Sécurité

- Soupapes de sécurité calibrées selon la pression maximale admissible
- Instrumentation pour la surveillance des paramètres critiques
- Systèmes redondants pour les applications critiques

Système d'Injection de Liquide

- Circuit d'alimentation en acide sulfurique pour l'anneau liquide
- Système de régulation du niveau de liquide
- Dispositifs de refroidissement intégrés

2.3.3 Motorisation du Compresseur



FIGURE 2.8 – Moteur du compresseur

Caractéristiques nominale du Moteur

- Type : Moteur électrique asynchrone triphasé
- Puissance nominale : 132 kW
- Tension d'alimentation : 380 V
- Configuration : 6 pôles
- Fréquence : 50 Hz
- Vitesse de rotation : 990 tr/min
- Indice de protection : IP55 minimum (généralement IP56 ou supérieur pour environnement corrosif)

Système de Transmission

- Accouplement direct : les deux arbres sont alignés et reliés mécaniquement sans intermédiaire de réduction ou d'élément flexible. Ce type de liaison assure un transfert de puissance efficace et rigide, limitant les pertes d'énergie.

Système de Démarrage

- Démarreur progressif ou variateur de fréquence pour contrôle optimisé du démarrage
- Protection contre les surcharges et courts-circuits
- Instrumentation pour surveillance des paramètres électriques

Protection ATEX

- Certification pour zones explosives selon la classification du site
- Composants antidéflagrants
- Mise à la terre renforcée



FIGURE 2.9 – Marquage ATEX du moteur

2.4 Description de Fonctionnement du Compresseur

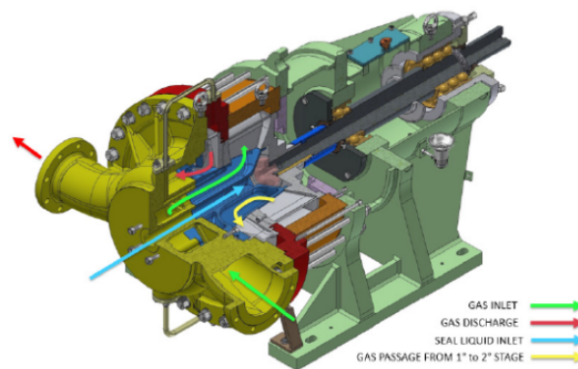


FIGURE 2.10 – Vue technique du compresseur de chlore

2.4.1 Principe de fonctionnement

Les compresseurs à anneau liquide sont des machines à déplacement positif, qui nécessitent un dispositif d'entraînement (généralement un moteur électrique) pour fonctionner.

La rotation de la roue à aubes entraîne le liquide de service qui remplit partiellement le carter intérieur et forme un anneau rotatif, communément appelé anneau liquide, ayant une épaisseur approximativement uniforme. En raison de l'effet de la force centrifuge, le liquide épouse le profil excentrique de la paroi du carter et est forcé de s'éloigner et de se rapprocher du centre de rotation de la roue à aubes à chaque demi-révolution.

Par rapport à chaque cellule formée par deux pales consécutives de la roue à aubes, l'anneau liquide en rotation fonctionne comme un piston liquide. Le gaz est aspiré dans le compresseur durant le premier quart de révolution et comprimé pendant le deuxième quart. Ces cycles se répètent deux fois pour chaque révolution de la roue à aubes.

Le cône, qui est le distributeur interne de gaz et de liquide, est pourvu de deux fentes d'aspiration et deux fentes de refoulement, plus un canal axial équipé de deux buses pour pulvériser le liquide de service dans le milieu d'aspiration.

Les fentes d'aspiration et de refoulement sont respectivement en communication avec les ouvertures à bride d'aspiration et de refoulement du couvercle aspiration-compression, le canal axial sert à l'alimentation du liquide de service.

Étant donné que le carter intérieur est symétrique par rapport à l'axe de rotation de la roue à aubes, la résultante des pressions radiales opposées transmises par le liquide et le gaz à la roue à aubes, et donc à l'arbre, est théoriquement nulle.

Formation de l'Anneau Liquide Lors du démarrage, l'acide sulfurique forme un anneau liquide cylindrique contre les parois du compresseur sous l'effet de la force centrifuge créée par le rotor excentré. Cet anneau assure simultanément la compression du gaz, l'étanchéité sans contact mécanique, l'évacuation thermique et la sécurité intrinsèque (avec un liquide non inflammable). Le système nécessite un renouvellement continu du liquide pour compenser les pertes et évacuer la chaleur, avec trois modes de circulation possibles : circuit fermé (avec refroidissement), circuit ouvert (évacuation totale) ou combiné (recirculation partielle). Les performances optimales requièrent un débit de liquide calibré en conception et des conditions stables d'aspiration/compression, sans déviation majeure des paramètres de conception.

2.4.2 Cycle de Compression

- **Phase d'aspiration** : La rotation du rotor crée une augmentation de volume entre les pales du côté où le rotor est le plus éloigné de la paroi. Cette dépression provoque l'aspiration du gaz chlore à travers l'orifice d'admission.
- **Phase de compression** : À mesure que la rotation se poursuit, l'espace entre les pales et la paroi diminue progressivement, comprimant le gaz piégé entre deux pales consécutives par l'action de l'anneau liquide qui agit comme un piston.
- **Phase de refoulement** : Lorsque le gaz atteint la pression de refoulement requise, il est évacué par l'orifice de sortie vers le système en aval.

Conclusion

L'étude du compresseur Garo à anneau liquide XK-161 révèle une technologie avancée adaptée aux contraintes spécifiques de la compression du chlore gazeux industriel. La conception ingénieuse utilisant l'acide sulfurique comme fluide d'anneau liquide permet d'assurer simultanément l'étanchéité du système et la résistance à la corrosion, deux paramètres critiques pour cette application. Les caractéristiques techniques du compresseur, notamment sa construction en matériaux hautement résistants et son fonctionnement quasi-isotherme, en font une solution optimale pour le traitement sécuritaire des gaz corrosifs. Cette technologie spécialisée représente ainsi un équilibre remarquable entre performance opérationnelle, durabilité des équipements et sécurité des procédés industriels dans l'environnement chimique exigeant de la production de chlore.

Chapitre 3: Les vibrations mécaniques dans les machines tournantes

Introduction

Ce chapitre explore systématiquement les phénomènes vibratoires dans les machines tournantes, en suivant une progression logique en quatre étapes clés d'abord, les fondamentaux des machines tournantes et des vibrations, incluant leurs caractéristiques et méthodes de mesure ; ensuite, le diagnostic des sources principales de vibrations (désalignement, déséquilibre, défauts de roulements, etc.) et les techniques d'analyse vibratoire ; puis, l'application de la norme ISO 20816-3 pour l'évaluation des vibrations. enfin, l'identification des problèmes et défaillances due à cause des vibrations. Cette approche théorique permet de comprendre les mécanismes vibratoires, leurs causes, leurs conséquences et les moyens de les maîtriser, offrant ainsi un cadre complet pour optimiser la performance et la maintenance des machines tournantes dans un contexte industriel.

3.1 Généralités sur les machines tournantes

Les machines tournantes sont des dispositifs mécaniques dont l'élément principal effectue un mouvement de rotation. Elles se divisent généralement en deux grandes familles :

- **Machines motrices** : convertissent une forme d'énergie (électrique, thermique, hydraulique) en énergie mécanique (ex. : moteurs, turbines).
- **Machines réceptrices** : utilisent l'énergie mécanique pour produire un autre effet (ex. : pompes, compresseurs, ventilateurs).

Chaque type a des applications spécifiques selon le domaine industriel concerné (énergie, chimie, agroalimentaire, transport, etc.). Les machines tournantes comportent généralement les éléments suivants :

- **Rotor** : partie mobile qui effectue la rotation.
- **Stator** : partie fixe.
- **Roulements/paliers** : permettent la rotation tout en supportant les charges.
- **Arbre** : transmet le mouvement rotatif.
- **Joints et garnitures** : assurent l'étanchéité.
- **Châssis ou carter** : structure de support.

Les machines tournantes rencontrent divers problèmes et défaillances liés principalement aux phénomènes mécaniques, thermiques et vibratoires. Parmi les plus courants figurent les déséquilibres rotoriques, les désalignements d'arbres, l'usure prématurée des roulements, les jeux excessifs dans les paliers, ainsi que les fuites d'huile ou de fluide dues à des défaillances des joints d'étanchéité. Les vibrations excessives peuvent accélérer la fatigue des matériaux, provoquer le desserrage des fixations et générer du bruit nuisible. Ces défaillances, souvent progressives mais

parfois soudaines, peuvent conduire à des arrêts non planifiés, à une baisse de rendement, voire à des dommages importants sur l'ensemble du système si elles ne sont pas détectées et traitées à temps.

3.2 Généralités sur les vibrations [2]

3.2.1 Définition d'une vibration

Une vibration est une variation avec le temps d'une grandeur caractéristique du mouvement ou de la position d'un système mécanique lorsque la grandeur est alternativement plus grande et plus petite qu'une certaine valeur moyenne ou de référence. Les vibrations sont des mouvements oscillatoires autour d'une position d'équilibre. Elles peuvent résulter de divers facteurs tels que des déséquilibres, des défauts d'alignement ou des forces externes.

3.2.2 Caractéristiques principales des vibrations

Une vibration se caractérise principalement par sa fréquence, son amplitude et sa phase :

- **Amplitude** : Représente la distance maximale par rapport à la position d'équilibre, indiquant l'étendue de l'oscillation.
- **Fréquence** : Nombre de cycles complets effectués par unité de temps, généralement mesuré en hertz (Hz).
- **Période** : Durée nécessaire pour qu'un cycle complet de vibration ait lieu. La période est l'inverse de la fréquence ($T = 1/f$).
- **Phase** : Position du cycle d'oscillation à un instant donné par rapport à un point de référence.

3.2.3 Paramètres de mesure de vibration

Le déplacement

Le déplacement quantifie l'amplitude maximale du signal vibratoire. Historiquement, c'est la grandeur qui fut utilisée en premier car cette mesure était la seule possible avec les moyens de l'époque. Le déplacement est inversement proportionnel au carré de la fréquence : plus la fréquence augmente, plus le déplacement diminue. Son utilisation est réservée aux très basses fréquences : $F < 100$ Hz.

La vitesse

La vitesse est inversement proportionnelle à la fréquence : plus la fréquence augmente, plus la vitesse diminue. Son utilisation est réservée aux basses fréquences $F < 1000$ Hz.

L'accélération

L'accélération, représentative des forces dynamiques, ne dépend pas de la fréquence : c'est le paramètre privilégié en analyse vibratoire sur un large domaine de fréquences $F = 20000$ Hz.

Fréquence

La fréquence (f) est le nombre de cycles de vibration par unité de temps. L'unité de fréquence est l'hertz (Hz), soit un cycle par seconde. Comme la vitesse de rotation des machines tournantes est exprimée en tours par minute (T/M), la fréquence des vibrations auxquelles celles-ci sont soumises est communément exprimée en cycles par minute (C/M). Comme une minute compte 60 secondes, $1 \text{ Hz} = 60 \text{ C/M}$.

3.2.4 Capteurs et transducteurs [3]

Le capteur de vibrations est le premier maillon de la chaîne de mesure. Le but de ce capteur est de transformer une vibration mécanique en un signal électrique. Les capteurs de vibration utilisés peuvent être actifs, ne nécessitant aucune alimentation et ne pouvant fonctionner qu'avec une source d'énergie auxiliaire. La mesure précise des vibrations repose sur l'utilisation de capteurs adaptés. Les principaux types de capteurs utilisés sont :

Capteurs de déplacement

Le capteur de déplacement est un instrument qui produit un signal électrique directement proportionnel au déplacement relatif de la vibration d'un arbre ou d'un rotor. Il est monté en permanence à l'intérieur du palier. Il s'agit d'un capteur "non-contact", c'est-à-dire que le capteur n'entre jamais en contact avec la surface en vibration.

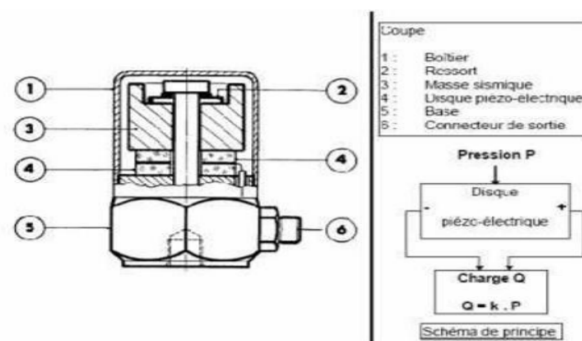


FIGURE 3.1 – Schéma de fonctionnement d'un capteur de déplacement

Principe de fonctionnement : Un oscillateur (appareil qui génère un signal oscillatoire) envoie un signal d'amplitude constante à très haute fréquence au capteur. Le signal, appelé signal porteur, produit un champ magnétique en passant au travers de la petite bobine située à l'extrémité du capteur. L'arbre situé à proximité absorbe une partie de l'énergie du champ magnétique qui, à son tour, produit une réduction proportionnelle de l'amplitude du signal porteur (modulation).

Capteurs de vitesse

Le capteur de vitesse produit un signal électrique directement proportionnel à la vitesse de la vibration absolue mesurée. On l'utilise pour la surveillance générale des vibrations sur les machines industrielles. Il existe plusieurs types de capteurs de vitesse, par exemple capture à bobine mobile, capture à une sonde photo-électrique et capture à une lumière stroboscopique.

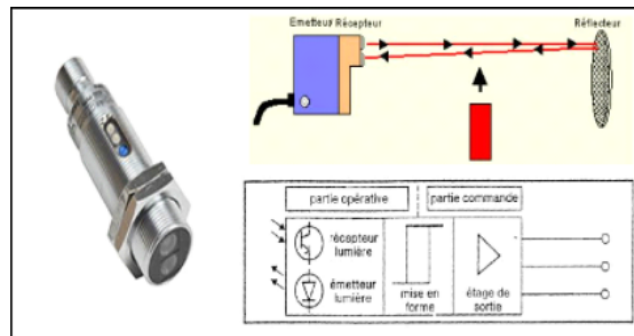


FIGURE 3.2 – Capteur de vitesse photoélectrique

Accéléromètres

L'accéléromètre produit un signal électrique directement proportionnel à l'accélération de la vibration absolue mesurée. L'accéléromètre est le type de capteur le plus répandu aujourd'hui pour les mesures de vibrations des machines. Sa conception permet de mesurer efficacement non seulement l'accélération, mais aussi la vitesse et le déplacement (absolue).

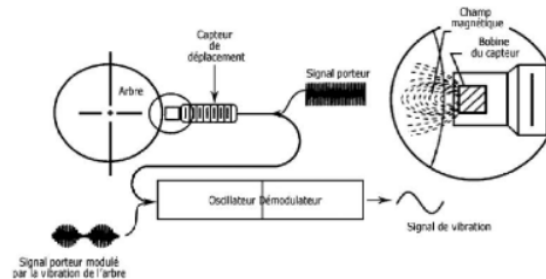


FIGURE 3.3 – Principe de fonctionnement d'un capteur d'accélération

Les éléments actifs de ce type de capteur sont des disques de cristal piézo-électrique présentant la propriété de transformer une sollicitation mécanique (pression ou cisaillement) en charges électriques. Ces disques sont pris entre deux masses relativement importantes par l'intermédiaire d'un ressort de tarage élevé. Lorsque le capteur est soumis à une vibration, les masses exercent une pression alternative sur les disques qui, grâce à leur effet piézoélectrique, créent une variation de charge électrique proportionnelle à la force appliquée et donc à l'accélération des masses.

Capteurs de vitesse

3.2.5 Méthodologies de diagnostic et d'analyse des vibrations [4]

Analyse spectrale

L'analyse spectrale permet de transformer les signaux vibratoires temporels en composantes fréquentielles, facilitant l'identification des sources de vibrations grâce à différentes techniques : la FFT (Transformée de Fourier Rapide) pour décomposer le signal en fréquences distinctes, l'analyse d'ordre qui normalise les données par rapport à la vitesse de rotation de la machine, et les spectres en cascade qui montrent l'évolution du spectre vibratoire en fonction du temps ou de la vitesse de rotation, offrant ainsi une vision dynamique du comportement vibratoire.

Analyse temporelle

L'analyse temporelle examine directement les formes d'onde des vibrations pour en extraire des informations cruciales telles que la valeur crête-à-crête (amplitude maximale des oscillations), le facteur de crête (rapport entre la valeur de crête et la valeur RMS, utile pour détecter des impacts soudains), et le kurtosis (une mesure statistique de la "pointicité" du signal, particulièrement sensible aux chocs répétés et aux défauts localisés), fournissant ainsi des indications précieuses sur l'état mécanique de l'équipement.

Analyse orbitale

L'analyse orbitale, appliquée aux machines équipées de capteurs orthogonaux, permet de visualiser le mouvement de l'arbre sous forme d'une orbite, révélant des informations clés sur les défauts mécaniques : la forme de l'orbite (circulaire, elliptique, ou irrégulière) peut indiquer un déséquilibre, un mauvais alignement ou des jeux mécaniques, tandis que la direction de précession (sens de rotation de l'arbre) et la présence de lobes ou de distorsions dans l'orbite aident à diagnostiquer des problèmes spécifiques comme des roulements défectueux ou des frottements anormaux.

Analyse temps-fréquence

L'analyse temps-fréquence est particulièrement adaptée à l'étude des signaux vibratoires non stationnaires, tels que ceux générés lors des phases transitoires (démarrage, arrêt) ou en présence de défauts évolutifs, en permettant d'observer les variations du contenu fréquentiel au cours du temps. Parmi les méthodes couramment utilisées figurent :

- La transformée de Fourier à court terme (STFT) pour une analyse temps-fréquence simple
- La distribution de Wigner-Ville offrant une résolution plus fine mais sensible aux interférences
- La transformée en ondelettes adaptée aux signaux complexes
- La décomposition empirique en modes (EMD) qui sépare le signal en composantes intrinsèques

Chacune de ces techniques apporte une perspective unique pour le diagnostic vibratoire.

3.2.6 Norme ISO 20816-3 : évaluation et mesurage des vibrations dans les machines tournantes

Définition ISO 20816-3 : Mesures des vibrations mécaniques

L'ISO 20816-3 est une norme internationale qui porte sur les mesures et l'évaluation des vibrations mécaniques des machines. Plus précisément, cette norme traite de la mesure des vibrations des machines industrielles non alternatives avec une puissance nominale supérieure à 15 kW et des vitesses de rotation comprises entre 120 tr/min et 15 000 tr/min.

Utilité de la norme ISO 20816-3

- Elle s'applique à l'évaluation des vibrations mécaniques sur les machines industrielles de puissance nominale supérieure à 15 kW et vitesse de rotation entre 120 et 15 000 tr/min.
- Elle couvre spécifiquement les machines comme les turbines à vapeur, compresseurs, pompes, générateurs et moteurs électriques montés sur fondations rigides ou souples.
- Elle établit un système de classement objectif pour évaluer la sévérité des vibrations.

- Elle fournit des valeurs limites pour différentes classes de machines.
- Elle permet d'anticiper les défaillances en détectant les tendances vibratoires anormales.

Critères d'évaluation [5]

Power	≤15 kW	>15kW ≤300kW		>300kW ≤50MW	
Mounting	Rigid / Flexible	Rigid	Flexible	Rigid	Flexible
Vibration mm/s RMS	Class A	Class A	Class A	Class A	Class A
1.12	Class B	Class A	Class A	Class A	Class A
1.4	Class B	Class B	Class A	Class A	Class A
2.3	Class B	Class B	Class B	Class B	Class A
2.8	Class C	Class C	Class B	Class B	Class A
3.5	Class C	Class C	Class B	Class B	Class B
4.5	Class D	Class D	Class C	Class C	Class B
7.1	Class D	Class D	Class D	Class D	Class C
11.0	Class D	Class D	Class D	Class D	Class D

FIGURE 3.4 – Limites des vibrations selon la norme ISO 20816

En pratique, ce standard définit 4 zones vibratoires qui s'appliquent en fonction de 3 groupes de machines :

- **Zone A** : Niveau vibratoire pour les machines tournantes neuves
- **Zone B** : Niveau vibratoire acceptable pour un équipement en fonctionnement permanent
- **Zone C** : Niveau vibratoire dans lequel la machine peut continuer à fonctionner mais pendant une durée limitée
- **Zone D** : Niveau vibratoire qui met en danger la machine et qui a de grands risques de l'endommager

3.3 Origines des vibrations dans les machines tournantes

3.3.1 Désalignement [3]

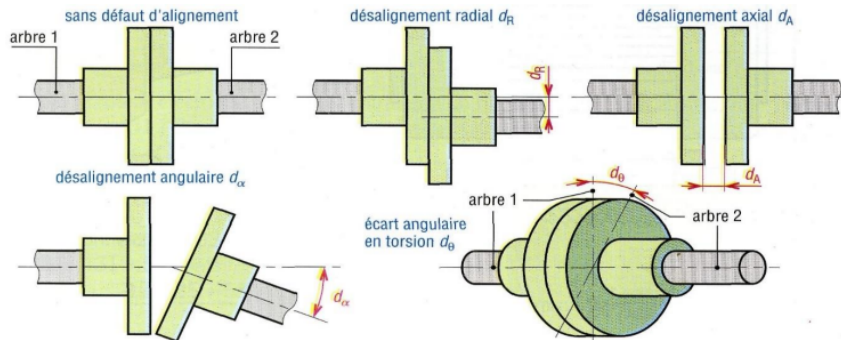


FIGURE 3.5 – Différents types du défaut d'alignement

Le désalignement se produit lorsque les axes de rotation de deux arbres couplés ne sont pas correctement alignés. Ce phénomène constitue la deuxième cause la plus courante de vibrations dans les machines industrielles.

Types de désalignement

Alignement parfait : Deux arbres parfaitement alignés sont colinéaires et fonctionnent comme un arbre solide lorsqu'ils sont couplés.

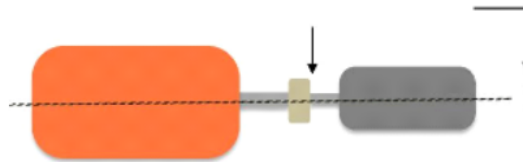


FIGURE 3.6 – Alignement parfait $D = 0$ mm et $\Delta\phi = 0^\circ$

Désalignement parallèle : Les axes des arbres sont parallèles mais décalés. Le désalignement parallèle, également appelé désalignement décalé, fait référence à la distance entre deux axes d'arbres et se mesure généralement en millièmes de pouce. Le décalage peut être présent dans le plan vertical ou horizontal. La figure ?? illustre le décalage, montrant deux arbres appariés qui sont parallèles l'un à l'autre mais non colinéaires. Théoriquement, le décalage est mesuré au niveau de l'axe de l'accouplement.

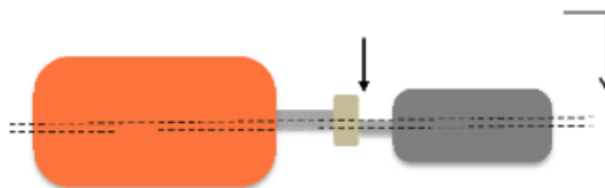


FIGURE 3.7 – Désalignement parallèle $D > 0$ mm et $\Delta\phi = 0^\circ$

Désalignement angulaire : Les axes des arbres se croisent à un certain angle. Une bonne connaissance de l'alignement angulaire, également appelé désalignement frontal, est nécessaire pour comprendre les conditions d'alignement et effectuer les tâches associées à l'alignement des machines et des trains, telles que le dessin des graphiques d'alignement, le calcul des corrections de pied, la spécification de la croissance thermique, l'obtention des spécifications cibles et la détermination de l'alignement des arbres d'espacement. Le désalignement angulaire fait référence à la condition dans laquelle les arbres ne sont pas parallèles mais se trouvent dans le même plan sans décalage. Ce cas est illustré à la figure ?? . Notez qu'en cas de désalignement angulaire, il est possible que les arbres correspondants soient dans le même plan à l'intersection de la face de l'accouplement mais qu'ils aient une relation angulaire telle qu'ils ne sont pas colinéaires.

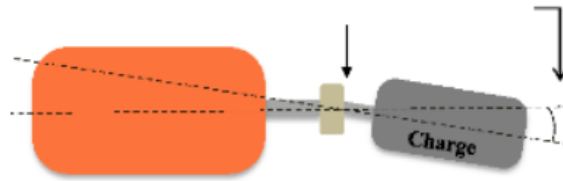


FIGURE 3.8 – Désalignement angulaire $D = 0$ mm et $\Delta\phi > 0^\circ$

Désalignement combiné : Combinaison des deux types précédents. Un désalignement combiné ou oblique se produit lorsque les arbres ne sont pas parallèles et ne se croisent pas au niveau de l'accouplement.

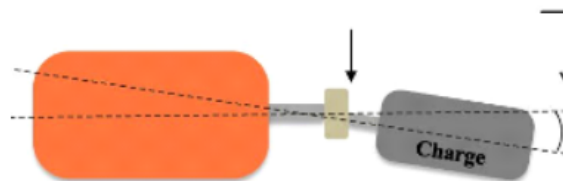


FIGURE 3.9 – Désalignement combiné $D > 0$ mm et $\Delta\phi > 0^\circ$

3.3.2 Défaut de balourd (Déséquilibre de masse)[3]

Le déséquilibre de masse représente l'une des causes les plus fréquentes de vibrations dans les machines tournantes. Il se produit lorsque le centre de masse d'un rotor ne coïncide pas avec son axe de rotation. Cela provoque un déséquilibre de la machine et donc des vibrations. Lorsqu'une machine est déséquilibrée, elle peut causer des dommages à la machine elle-même, aux fondations, aux tuyaux, etc. Il existe trois types de déséquilibre : le déséquilibre statique, le déséquilibre couplé et le déséquilibre dynamique. Les déséquilibres proviennent en général de défauts d'usinage, d'assemblage des rotors ou de montage. En fonctionnement, les rotors peuvent alors aussi se déformer sous l'effet d'échauffements dissymétriques, L'Érosion ou Dépôt de matière.

Types du déséquilibre

Déséquilibre statique : Le centre de masse est déplacé parallèlement à l'axe de rotation. On parle de déséquilibre statique lorsque l'axe du centre de gravité (axe d'inertie) n'est pas aligné sur le centre de rotation (axe de l'arbre) et que le point lourd et le centre de gravité se trouvent dans le même plan. Le déséquilibre statique peut résulter d'un déplacement parallèle de l'axe

de la masse principale par rapport à l'axe de l'arbre, et peut être causé par une distribution ou une déformation non symétrique de la masse. En théorie, le déséquilibre statique peut être détecté en plaçant l'objet avec un point de rotation à chaque extrémité. En cas de déséquilibre statique et de frottement nul, la gravité fera tourner le côté le plus lourd vers le bas.

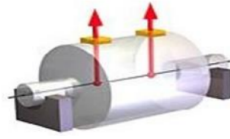


FIGURE 3.10 – Déséquilibre statique

Déséquilibre dynamique : Le centre de masse est incliné par rapport à l'axe de rotation.

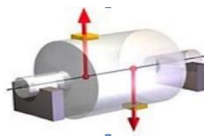


FIGURE 3.11 – Déséquilibre dynamique

Déséquilibre de couple : Deux masses égales placées à 180° l'une de l'autre créent un couple vibratoire. Le déséquilibre couplé apparaît lorsqu'un objet en rotation possède deux ou plusieurs masses déséquilibrées dans des plans différents, qui s'égalisent en position de repos. L'axe de la masse principale n'est plus parallèle au centre de gravité, mais traverse l'axe du centre de gravité. Lorsque le système commence à tourner, ces masses sont influencées par les forces centrifuges, ce qui entraîne des vibrations.

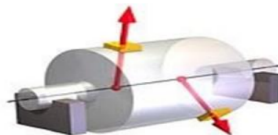


FIGURE 3.12 – Déséquilibre de couple

Balourd d'origine mécanique (rupture d'une aube, etc.) : Lorsqu'il y a rupture et départ d'un morceau du rotor, comme par exemple d'une ailette, on observe généralement une évolution instantanée des vibrations. Cette évolution est mieux perçue si l'on surveille simultanément l'amplitude et la phase des vibrations dans une représentation vectorielle. Les pertes d'aubes se traduisent aussi par des perturbations de l'écoulement (présence d'impulsions de pression répétées).

Frottement (Balourd créé par l'échauffement) : Si au passage par un orifice (palier, joint d'étanchéité par exemple) l'arbre s'échauffe de manière dissymétrique, soit parce qu'il frotte, soit parce que le brassage d'huile provoque un échauffement plus intense d'un côté de l'arbre que de l'autre, si de plus, la déformation de l'arbre qui résulte de cet échauffement déplace à son tour le point chaud (vibration maximum décalée par rapport au point chaud qui lui donne naissance) alors, toutes les conditions sont réunies pour amorcer un phénomène de variations cycliques du déséquilibre.

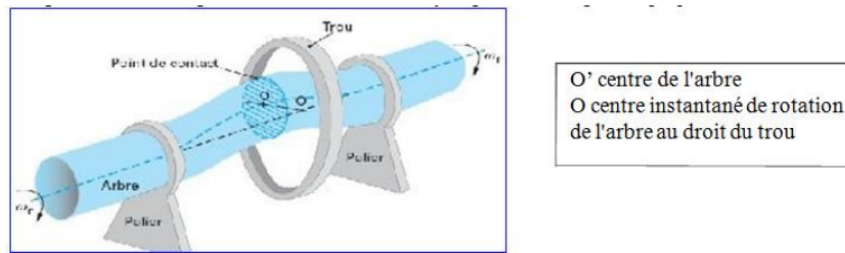


FIGURE 3.13 – Phénomènes de frottement-échauffement (rotor / parties fixes)

Les vibrations dues au déséquilibre se manifestent principalement à la fréquence de rotation (1X) et sont généralement dominantes dans la direction radiale.

3.3.3 Défauts de roulements [5]

Les roulements, éléments critiques des machines tournantes, génèrent des vibrations spécifiques lorsqu'ils commencent à se détériorer. Sources de vibrations liées aux roulements :

- Défauts de piste externe
- Défauts de piste interne
- Défauts de billes/rouleaux
- Défauts de cage

Les vibrations des roulements défectueux sont généralement de haute fréquence et peuvent être détectées par des techniques d'enveloppe ou d'autres méthodes avancées.

3.3.4 Phénomènes de résonance [5]

La résonance se produit lorsque la fréquence d'excitation coïncide avec une fréquence naturelle du système, amplifiant considérablement l'amplitude des vibrations. Caractéristiques de la résonance :

- Augmentation drastique de l'amplitude vibratoire à des vitesses spécifiques
- Changement de phase de 180° en traversant la fréquence de résonance
- Amplification des forces d'excitation même relativement faibles

3.3.5 Jeux mécaniques [6]

Les jeux mécaniques résultent du desserrage des fixations, de l'usure excessive, ou d'un montage inadéquat. Types de jeu mécanique :

- **Jeu rotatif** : Entre l'arbre et son logement
- **Jeu transversal** : Au niveau des fixations ou des fondations
- **Jeu structurel** : Dans la structure de support de la machine

Les jeux mécaniques génèrent souvent un spectre riche en harmoniques et sous-harmoniques de la fréquence de rotation.

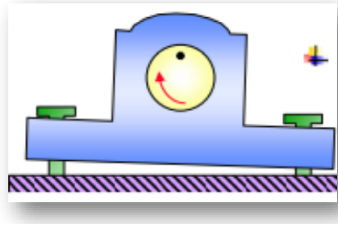


FIGURE 3.14 – Jeu de fondation et leur spectre typologique

3.3.6 Flexion du rotor

Deux paliers du même arbre d'une machine : les axes des deux paliers d'un même corps de machine ne sont pas concentriques. Cette anomalie peut être la conséquence d'un défaut de montage d'un palier, mais également d'un mauvais calage des pattes de fixation ou d'une déformation de châssis (par exemple, sous l'effet de contraintes thermiques), qui se traduit par une flexion de l'arbre du rotor.



FIGURE 3.15 – Flexion du rotor

3.3.7 Problèmes électromagnétiques [7]

Dans les moteurs électriques, diverses conditions électriques peuvent engendrer des vibrations caractéristiques. Sources électromagnétiques de vibrations :

- **Déséquilibre de phases** : Crée des forces magnétiques inégales
- **Barres de rotor cassées** : Dans les moteurs à induction
- **Excentricité de l'entrefer** : L'entrefer, c'est le petit espace entre le stator (la partie fixe) et le rotor (la partie qui tourne) d'une machine électrique. L'excentricité, c'est quand ce vide n'est pas le même tout autour : le rotor n'est pas parfaitement centré dans le stator
- **Harmoniques d'alimentation** : Dues à la qualité du réseau électrique

Ces vibrations se manifestent généralement à la fréquence de ligne (50/60 Hz) et ses harmoniques, ainsi qu'à des fréquences de modulation particulières.

3.3.8 Défaits sur les engrenages[5]

L'engrenage est un des mécanismes élémentaires les plus utilisés pour transmettre du mouvement, et adapter les vitesses de rotation entre organes moteurs et récepteurs. Il est constitué de deux roues dentées mobiles autour d'axes de rotation, et dont l'une entraîne l'autre par l'action de dents successivement en contact. Les engrenages sont parmi les organes les plus sensibles de la chaîne cinématique et peuvent être soumis à un grand nombre d'avaries apparaissant lors du fonctionnement, et dont les causes sont multiples. Parmi les sources essentielles d'excitation d'un engrenage en mouvement on peut noter : L'erreur de concentration dans les roues à engrenage qui provoque des vibrations (balourd). La modification du profil due à l'erreur

de fabrication et à la déformation des dents. * L'influence des arbres et grandeurs des masses (accouplement, moteur,...) sur la charge dynamique Les chocs entre les dents à l'amorce de l'engrènement lorsque la dent non déformée supporte une fraction de la charge tandis que les autres dents se déchargent. La déformation variable des dents produit la variation de la charge le long des profils des dents et une variation de la charge à travers la ligne d'engrènement pour une paire de dents en contact. Les forces de frottement variables en sens. L'expulsion de l'huile et de l'air de l'entre dent. Les fluctuations de la charge des dents surviennent durant l'engrènement des dents même dans les conditions de la charge constante.

3.3.9 Cavitation [8]

: Le phénomène de la cavitation présente dans les écoulements de liquide par la formation de petites bulles d'air dues à une baisse de pression trop brusque. Ce phénomène hydrodynamique induit des vibrations aléatoires qu'il faut pouvoir reconnaître pour les éliminer en modifiant les caractéristiques d'aspiration de la pompe. La cavitation se reconnaît également par un bruit caractéristique. Une cavitation provient de la collision de bulles (produit d'ébullitions locales dans certaines conditions du fluide : basse pression dynamique). Ces collisions sont excessivement brèves et donc amples en fréquence. Les résonances sont excitées dans tout le spectre. Les hautes fréquences sont particulièrement excitées. Dans le spectre d'enveloppe, on observe une augmentation du pied de spectre (carpette) Sans qu'aucune raie ne soit visible.

3.3.10 Autres types des sources des vibrations

: Dans ce chapitre, on a cité les sources de vibration fréquemment rencontrés dans le cas des machines tournantes, néanmoins, il peut y exister d'autres défauts qui influent considérablement sur le comportement vibratoire de la machine. On peut citer : défauts spécifiques aux paliers fluides. défauts de transmissions par courroies. défauts induits par un frottement rotor/stator. les défauts spécifiques aux pompes, turbines, compresseurs. 4. Problèmes et défaillances liés aux vibrations dans les machines tournantes Les vibrations mécaniques, lorsqu'elles sont mal maîtrisées, constituent une source majeure de défaillances dans les machines tournantes. Elles peuvent induire divers phénomènes de détérioration progressive ou soudaine, compromettant à la fois la fiabilité, la performance et la sécurité des équipements industriels.

3.4 Problèmes et défaillances liés aux vibrations dans les machines tournantes [9]

Les vibrations mécaniques, lorsqu'elles sont mal maîtrisées, constituent une source majeure de défaillances dans les machines tournantes. Elles peuvent induire divers phénomènes de détérioration progressive ou soudaine, compromettant à la fois la fiabilité, la performance et la sécurité des équipements industriels.

3.4.1 Fatigue des matériaux

Les sollicitations vibratoires répétées, même à faible amplitude, peuvent entraîner une fatigue des matériaux, caractérisée par l'apparition de fissures au niveau des zones de concentration de contraintes. Sous l'effet des cycles vibratoires, ces fissures se propagent progressivement, jusqu'à provoquer une rupture souvent brutale. Ce phénomène est particulièrement critique pour les éléments soumis à de fortes charges, tels que les arbres, les aubes de turbines ou les structures porteuses.

3.4.2 Usure accélérée

Les vibrations favorisent également l'usure prématurée des composants en contact. Plusieurs mécanismes en sont responsables, notamment l'usure abrasive due aux frottements entre surfaces, le fretting (usure par micro-mouvements oscillatoires), et l'érosion de contact, fréquente dans les roulements et engrenages. Ces formes d'usure réduisent significativement la durée de vie des éléments concernés et engendrent une hausse des coûts de maintenance.

3.4.3 Desserrage des fixations

Un autre effet courant des vibrations est le desserrage progressif des fixations mécaniques (boulons, vis, écrous). Celui-ci résulte du glissement relatif entre les éléments filetés, de la relaxation des contraintes de serrage, ou de l'usure des filets. Ce phénomène est dangereux car il augmente à son tour les niveaux de vibration, initiant un cercle vicieux de détérioration accélérée.

3.4.4 Défaillance des joints d'étanchéité

Les joints, qu'ils soient statiques ou dynamiques, sont particulièrement sensibles aux vibrations. Celles-ci peuvent provoquer l'extrusion du matériau d'étanchéité, accélérer l'usure des surfaces de contact, et conduire à une perte d'efficacité d'étanchéité. Les fuites qui en résultent peuvent gravement compromettre la fiabilité du système, voire entraîner des risques environnementaux ou sécuritaires.

3.4.5 Défaillance des roulements

Les roulements, en tant que composants critiques dans les systèmes rotatifs, sont très vulnérables aux effets vibratoires. Le processus de dégradation commence souvent par l'apparition de microfissures ou de micro-pitting, puis évolue vers un écaillage plus important, avec perte de matière. Si ces signes ne sont pas détectés à temps, la défaillance peut devenir catastrophique, provoquant un grippage ou une rupture complète, souvent à l'origine d'un arrêt brutal de la machine et de dommages collatéraux importants.

3.4.6 Bruit [5]

Le bruit généré par les vibrations mécaniques a un impact significatif à la fois sur le plan technique et humain. Sur le plan technique, il peut indiquer un dysfonctionnement ou une usure prématurée de composants, comme les roulements, les engrenages ou les fixations, pouvant mener à des pannes coûteuses. Sur le plan humain, ce bruit excessif détériore le confort acoustique, provoque du stress, de la fatigue auditive et peut nuire à la santé des opérateurs exposés sur le long terme. De plus, dans un environnement industriel, un niveau sonore élevé peut masquer des sons d'alerte importants, augmentant ainsi les risques d'accidents.

Conclusion

Ce chapitre a permis d'analyser les vibrations mécaniques dans les machines tournantes, en identifiant leurs principales causes (déséquilibre, désalignement, défauts de roulements, etc.), leurs caractéristiques (fréquence, amplitude, phase) et leurs méthodes de mesure (capteurs, analyse spectrale, norme ISO 20816-3). Les conséquences des vibrations excessives (fatigue des matériaux, usure accélérée, défaillances mécaniques) ont également été examinées, soulignant

l'importance d'une surveillance vibratoire pour optimiser la maintenance et prévenir les pannes. Ces connaissances fournissent une base essentielle pour le diagnostic et l'amélioration de la fiabilité des machines tournantes.

Chapitre 4: Etude du problématique : Analyse des données

Introduction

Ce chapitre propose une analyse détaillée des compresseurs XK-161A et XK-161B, éléments critiques du parc industriel, à travers six étapes clés : l'examen des historiques de maintenance pour établir un diagnostic précis des interventions, la typologie des pannes avec un focus particulier sur celles induites par les vibrations, l'évaluation économique des coûts de maintenance curative versus préventive, l'analyse FMD (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité) pour quantifier la performance opérationnelle, l'application de l'AMDEC pour hiérarchiser les modes de défaillance, et l'investigation des pannes majeures via la méthode AdD. L'objectif principal est d'évaluer la criticité de ces équipements sur les plans technique et économique, et de démontrer scientifiquement l'impact des vibrations comme facteur aggravant de défaillances.

4.1 Présentation des Données

Le document présente un tableau de l'historique des interventions techniques réalisées sur les compresseurs **XX-161A** et **XX-161B**, couvrant la période du **28-09-2017** au **26-01-2025**. Il inclut à la fois des actions de maintenance préventive et curative. Ces données permettent d'analyser :

- La fréquence des interventions,
- Les types de pannes rencontrées,
- Les opérations récurrentes.

4.1.1 Caractéristiques du Tableau

voir annexe 1

Le tableau recense **286 interventions** de maintenance, comprenant :

- Des opérations **préventives**,
- Des opérations **curatives**,
- Des opérations **amélioratives**.

Pour chaque intervention, le tableau indique :

- Le **type d'intervention**,
- La **classe d'intervention**,
- Le **temps de réalisation**,
- Le **coût d'intervention**,
- La **date de fin de l'intervention**.

4.1.2 Répartition des Types de Maintenance

Maintenance Préventive

- **182 interventions préventives**, représentant **63.9%** du total.
- **Définition** : Consiste à effectuer des interventions régulières et planifiées pour prévenir les pannes et les défaillances. Elle inclut des activités telles que :
 - L'inspection,
 - La lubrification,
 - Le nettoyage,
 - Le remplacement de pièces.
- **Objectifs** :
 - Réduire les risques de défaillance,
 - Améliorer la fiabilité des équipements,
 - Optimiser les performances.

Maintenance Curative

- **103 interventions curatives**, représentant **36.1%** du total.
- **Définition** : Interventions réalisées après la détection d'une panne ou d'une défaillance pour réparer ou remplacer les composants défectueux.
- **Objectifs** :
 - Remettre l'équipement en état de fonctionnement le plus rapidement possible.

4.2 Analyse des pannes passées des compresseurs

L'historique des pannes montrent que les deux compresseurs XK-161A et XK-161B ont subi de nombreuses interventions préventives et curatives, principalement liées à des problèmes mécaniques, électriques et d'étanchéité. Voici les principales catégories des pannes :

- Pannes mécaniques
- Fuites et problèmes d'étanchéité
- Défaillances électriques et de contrôle
- Problèmes liés à la lubrification
- Problème liés aux vibrations

Chacune de ces catégories a des causes spécifiques, des impacts différents et nécessite des mesures correctives adaptées.

Pannes mécaniques

Les pannes mécaniques sont les plus fréquentes et les plus coûteuses. Elles concernent principalement :

- Les turbines et les arbres (blocages, usure, désalignement)
- Les clapets anti-retour (encrassement, défaillance)
- Les roulements et paliers (surchauffe, grippage)
- Les vannes et brides (serrage insuffisant, corrosion)

Exemples concrets dans les données :

Démontage/remontage pour changement de turbine (OT n°124, 180, 40563)

Blocage de l'arbre (OT n°137, 146, 276) .

Problèmes de clapets anti-retour (OT n°200, 204, 28408)

Causes principales :

- Vibrations excessives
- Fatigue mécanique
- Corrosion chimique (exposition à l'acide sulfurique H_2SO_4 et au gaz du chlore Cl_2).
- Désalignement (flexion, défaut d'excentricité).
- Défauts d'installation (mauvais serrage, montage incorrect).

Fuites et problèmes d'étanchéité

Les fuites sont une cause majeure d'arrêts et de coûts de maintenance. Elles concernent :

- Fuites d'huile (niveau bas, joints défectueux)
- Fuites d'acide sulfurique (H_2SO_4) (corrosion des brides, joints usés)
- Fuites de chlore (danger chimique, nécessite une intervention urgente)

Exemples dans les données :

Fuite H_2SO_4 au niveau des brides (OT n°54734, 54622, 54091)

Fuite de chlore sur les vannes (OT n°94, 222, 29697)

Fuite d'huile au niveau des garnitures (OT n°54017, 54018)

Causes principales :

- Dégradation des joints
- Vibrations excessives
- Serrage insuffisant des brides
- Corrosion des tuyauteries (H_2SO_4 et chlore attaquent les métaux)

Défaillances électriques et de contrôle

Les problèmes électriques entraînent des arrêts intempestifs et des risques de sécurité :

- Problèmes de démarrage (défaut de moteur, disjonctions)
- Pannes des circuits de commande (relais, sectionneurs)
- Dérive des paramètres des variateurs
- Altérations des circuits de puissance
- Dysfonctionnements des capteurs (fausses alarmes)

Exemples dans les données :

Reset du compresseur GARO (OT n°21, 45348, 24383)

Problème d'affichage de démarrage (OT n°133, 170, 171)

Défaillance du sectionneur 400A (OT n°229)

Causes principales :

- Surcharge des composants électriques
- Vibrations endommageant les connexions
- Humidité/corrosion dans les armoires électriques
- Alimentation électrique insuffisante

Problèmes liés à la lubrification

Description :

Une lubrification insuffisante ou inadaptée entraîne des défaillances majeures sur les compresseurs, notamment :

- Niveau d'huile trop bas → Augmentation des frottements, surchauffe des composants et usure accélérée des paliers et roulements
- Contamination de l'huile (par de l'acide sulfurique, des particules métalliques ou de l'eau) → Réduction des propriétés lubrifiantes et risque de corrosion interne
- Dysfonctionnement du système de graissage (pompe défectueuse, conduites bouchées) → Distribution irrégulière d'huile, entraînant des dommages localisés

Ces problèmes peuvent provoquer des pannes critiques, telles que le grippage des turbines ou la détérioration des roulements, nécessitant des réparations coûteuses et des arrêts prolongés.

Exemples dans les données :

Appoint d'huile fréquent (OT n°53962, 53088, 52403)

Changement d'huile (OT n°275, 281)

Problèmes de pompe à huile (OT n°115)

Causes principales :

- Fuites dans le circuit de lubrification
- Intervalle de maintenance trop long
- Mauvaise qualité de l'huile

Les pannes liées aux vibrations

Tableau des interventions sur XK-161A (sans les pannes liées aux vibrations) :

Pour ce tableau concernant l'équipement XK-161A, j'ai éliminé les pannes suivantes liées directement ou indirectement aux vibrations :

Liées directement aux vibrations :

Toutes les fuites (lignes 15, 16, 26, 27, 31, 33, 36, 37, 38, 42, 49, 85) - Les fuites peuvent être causées ou aggravées par des vibrations

Mention explicite de vibrations (ligne 32 - "des vibrations dans le compresseur XK-161A")

Problèmes d'huile (lignes 60, 69, 70, 72, 78) - Les appoints d'huile fréquents peuvent être liés à des fuites causées par vibrations

Potentiellement liées indirectement aux vibrations :

Interventions sur l'arbre (ligne 25 - "Rotation de l'arbre de compresseur GARO A/B")

Démontages et remontages majeurs (lignes 20, 77, 81, 84, 86) - Ces interventions importantes sont souvent liées à l'usure par vibration

Arrangements de câbles (ligne 35) - Les vibrations peuvent endommager les câbles

Tableau des interventions sur XK-161B

Pour ce tableau concernant l'équipement XK-161A, j'ai éliminé les pannes suivantes liées directement ou indirectement aux vibrations :

Liées directement aux vibrations :

Ligne 8, 10, 11, 12, 21, 34, 46, 64, 75, 82, 85 : Toutes les fuites (chlore, huile, acide sulfurique, air) - Les vibrations sont la cause principale de fuites aux joints et brides.

Ligne 65 : "Démontage des joints plaines à l'entrée de compresseur XK-161B" - les vibrations sont la cause principale de défaillance des joints

Ligne 79 : "Désaccouplement de moteur XK161B" - Un désaccouplement peut être causé par des vibrations excessives qui desserrent les connexions

Ligne 68 : "Veuillez mettre des joints pleins au niveau des brides de la ligne chlore du compresseur XK-161B" - Remplacement de joints possiblement détériorés par vibrations

Potentiellement liées indirectement aux vibrations :

Ligne 62 : "Déblocage des vannes man XY4161BA /X4161BB" - Les vibrations peuvent contribuer au blocage des vannes par usure des mécanismes

Ligne 63 : "Blocage de la vanne de sortie acide/chlore de compresseur GARO B vers XD-161" - Même raison que ci-dessus

Ligne 80 : "Veiller à démonter le moteur et vérifier XK161B" - Cette vérification pourrait être liée à des problèmes de vibrations

Ligne 25 : "Rotation de l'arbre de compresseur GARO XK-161A/B" - Les problèmes de rotation d'arbre sont souvent causés par ou créent des vibrations excessives

Ligne 83 : "Démontage et vérification du compresseur XK-161B" - Cette intervention majeure pourrait être liée à l'usure causée par des vibrations

4.3 Analyse économique de la maintenance du compresseur

L'analyse économique des stratégies de maintenance constitue un enjeu majeur dans l'optimisation des coûts opérationnels industriels. Cette section présente une étude comparative détaillée entre la maintenance curative et préventive, basée sur les données collectées sur la période 2017-2024, afin de démontrer l'impact économique disproportionné de la maintenance corrective malgré sa fréquence réduite. L'analyse s'appuie sur les indicateurs économiques suivants :

- Coût total des interventions par type de maintenance
- Nombre d'interventions réalisées
- Coût moyen par intervention
- Coût annuel moyen
- Évolution temporelle des coûts (2017-2024)

4.3.1 Répartition des Coûts Globaux

Les données analysées révèlent une disproportion significative dans la répartition des coûts de maintenance :

Maintenance Préventive :

- Nombre d'interventions : 182 (63,9% du total)
- Coût total : 350 759,53 DA (3,11% des dépenses)
- Part majoritaire en volume d'interventions

Maintenance Curative :

- Nombre d'interventions : 103 (36,1% du total)
- Coût total : 10 914 123,54 DA (96,89% des dépenses)
- Part minoritaire en volume mais majoritaire en coûts

Cette répartition met en évidence un paradoxe économique : bien que la maintenance curative représente seulement 36,1% des interventions totales, elle absorbe la quasi-totalité du budget de maintenance.

La maintenance curative représente 96,89 % des coûts totaux (10 914 123,54 DA) contre seulement 3,11 % pour la maintenance préventive (350 759,53 DA). Malgré un nombre d'interventions bien inférieur (103 contre 182), la maintenance curative engendre des dépenses près de 31 fois plus élevées.

Analyse du Coût Unitaire

L'analyse comparative des coûts unitaires révèle un écart considérable :

Coût Moyen par Intervention

Le coût moyen d'une intervention curative s'élève à 105 965,27 DA, soit 55 fois plus que celui d'une intervention préventive (1 927,25 DA). Ceci s'explique par la nature urgente et complexe des interventions curatives, souvent associées à des réparations majeures ou des remplacements de pièces.

Coût Moyen par Année

Annuellement, la maintenance curative coûte en moyenne 1 364 265,44 DA, contre 43 844,94 DA pour la préventive. Le graphique d'évolution confirme cette tendance, avec une concentration forte des coûts curatifs sur certaines années.

Ratio de coût unitaire :

- Maintenance préventive : 1 927,25 DA par intervention
- Maintenance curative : 105 965,27 DA par intervention
- Rapport curatif/préventif : 55,01

Cette différence de coût unitaire s'explique par plusieurs facteurs économiques :

- Coût des pannes non planifiées : Les arrêts imprévisibles génèrent des coûts directs (réparation d'urgence) et indirects (perte de production)
- Coût des pièces de rechange en urgence : Les commandes urgentes impliquent des surcoûts d'approvisionnement pouvant atteindre 200 à 300% du prix standard
- Coût de la main-d'œuvre en intervention d'urgence : Les heures supplémentaires et les interventions en dehors des horaires normaux majorent significativement les coûts
- Effet cascade des pannes : Une défaillance peut entraîner des dommages collatéraux sur d'autres équipements

L'analyse des coûts annuels moyens confirme la tendance :

- Maintenance préventive : 43 844,94 DA/an
- Maintenance curative : 1 364 265,44 DA/an
- Ratio curatif/préventif annuel : 31,12

TABLE 4.1 – Analyse comparative des interventions de maintenance (2017–2024)

Type	Nbre	Coût total (DA)	Part	Coût moyen (DA)	Coût moyen/an (DA)
Préventive	182	350 759,53	3,11%	1 927,25	43 844,94
Curative	103	10 914 123,54	96,89%	105 965,27	1 364 265,44

Sur la période 2017–2024, l'analyse des données révèle que 182 interventions planifiées (préventives) et 105 interventions non planifiées (curatives) ont été réalisées sur le compresseur XK-161. Le coût cumulé de la maintenance préventive s'élève à 805 000 DA, soit en moyenne 4 423 DA par intervention et 100 625 DA par an. En parallèle, le coût total de la maintenance curative atteint 10 914 123 DA, avec un coût moyen par intervention de 29 903 DA et une dépense annuelle moyenne de 385 000 DA.

L'analyse de la répartition budgétaire met en évidence que la maintenance curative représente près de 73% des dépenses globales, alors qu'elle ne concerne que 37% du nombre total d'interventions. À l'inverse, la maintenance préventive, qui constitue 63% des opérations, ne mobilise que 27% du budget. Cette asymétrie traduit un choix stratégique réactif, où les pannes majeures entraînent des coûts unitaires très élevés (plus de six fois supérieurs à ceux des actions préventives).

4.3.2 Évolution Temporelle des Coûts (2017–2024)

L'analyse chronologique des coûts de maintenance sur la période 2017-2024 révèle des tendances économiques critiques qui nécessitent une attention particulière. L'analyse de l'évolution des coûts sur la période 2017-2024 révèle une tendance alarmante :

TABLE 4.2 – Évolution des coûts de maintenance préventive et curative (2017–2024)

Année	Coût Préventif (DA)	Coût Curatif (DA)	Ratio P/C
2017	2 131	28 375	0,075
2018	56 457	36 968	1,527
2019	33 390	50 496	0,661
2020	66 005	6 799 967	0,010
2021	38 946	104	375,44
2022	43 113	3 933 779	0,011
2023	51 486	3 487	14,76
2024	55 155	3 379	16,32

Le tableau présente l'évolution comparée des coûts annuels de maintenance **curative** et **préventive** entre 2017 et 2024. la tendance sur les cinq dernières années (2020-2024) révèle des écarts significatifs.

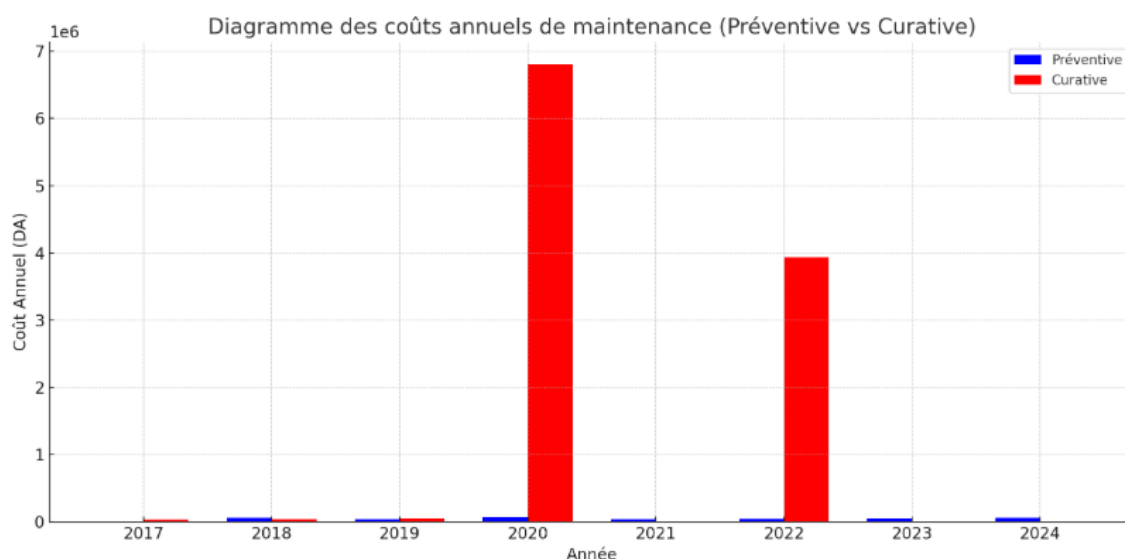


FIGURE 4.1 – Évolution des coûts de maintenance préventive et curative (2017–2024)

Cette évolution divergente illustre l'effet cumulatif de la négligence de la maintenance préventive : plus les équipements vieillissent sans maintenance appropriée, plus les coûts curatifs explosent de manière exponentielle.

Diagramme des coûts de maintenance curative (en rouge)

Ce diagramme montre une instabilité extrême : deux pics majeurs (2020 et 2022)

2020 : le coût curatif explose à près de 6,8 millions DA

2022 : un autre pic significatif à environ 4 millions DA

Ces pics sont élevés à cause des pannes graves non anticipées (changement de turbine, changement d'axe)

Cela souligne le risque élevé d'une stratégie basée principalement sur la maintenance curative

Diagramme des coûts de maintenance préventive (en bleu)

Le diagramme montre une évolution stable et modérée des coûts :
 Le coût reste relativement stable entre 2018 et 2024, oscillant entre 33 000 et 66 000 DA
 Une légère progression entre 2017 et 2020, atteignant environ 66 000 DA
 Légère baisse en 2021, suivie d'une remontée régulière jusqu'à 2024
 Le coût annuel reste constamment inférieur à 70 000 DA
 Cela reflète une stratégie de maintenance planifiée, mais pas suffisante.

Comparaison Préventive vs Curative

Les coûts curatifs surpassent de manière écrasante les coûts préventifs, notamment en 2020 et 2022 où l'écart est de l'ordre de 100 fois plus
 La préventive reste presque constante, tandis que le curatif est explosif et imprévisible
 Cela confirme que la stratégie de maintenance préventive actuelle n'est pas suffisante pour éviter des événements critiques
 Une augmentation ciblée des efforts préventifs aurait probablement permis de réduire significativement les pics curatifs

4.3.3 la réduction des coûts de maintenance après élimination des pannes vibratoires :

Le coût total curatif est : **10 914 123,54 DA**

Le coût restant après élimination des pannes dues aux vibrations est : **4 092 736,95 DA**

Cela implique que les pannes dues aux vibrations ont généré à elles seules :

$$10\,914\,123,54 \text{ DA} - 4\,092\,736,95 \text{ DA} = 6\,821\,386,59 \text{ DA}$$

soit environ **62,5 %** des coûts curatifs totaux.

L'analyse approfondie des coûts curatifs révèle que les **pannes liées aux vibrations représentent à elles seules une part majeure des dépenses de maintenance curative.**

Sur un coût total de **10 914 123,54 DA**, l'élimination de ces pannes réduit le coût global à **4 092 736,95 DA**. Cela signifie que les défaillances causées par les vibrations ont engendré environ **6 821 386,59 DA**, soit près de **62,5 %** des dépenses curatives totales.

Cette donnée met en évidence le poids économique très important de ce type de défaillance. Elle démontre que **la mise en place d'une maintenance conditionnelle ciblée sur les phénomènes vibratoires (surveillance, équilibrage, alignement, etc.) peut permettre de réduire de manière significative les coûts de maintenance.**

4.4 Étude Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité (FMD)

Je vais analyser le tableau d'interventions sur les compresseurs GARO (XK-161A et XK-161B) pour calculer les paramètres de fiabilité, maintenabilité, et disponibilité sur la période du 28/09/2017 au 26/01/2025.

4.4.1 Paramètres clés à calculer [10]

— **MTBF (Mean Time Between Failures)** : Temps moyen entre deux pannes.

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Temps total de fonctionnement}}{\text{Nombre de pannes}}$$

— **MTTR (Mean Time To Repair)** : Temps moyen de réparation.

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Temps total de réparation}}{\text{Nombre de pannes}}$$

— **Taux de Réparation (μ)** :

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

— **Taux de Panne (λ)** :

$$\lambda = \frac{\text{Nombre de pannes}}{\text{Temps total d'observation (jours)}}$$

— **Disponibilité (D)** :

$$D = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}} \times 100\%$$

— **Fiabilité sur 30 jours ($R(t)$)** :

$$R(t) = e^{-\lambda \cdot t}, \quad \text{où } t = 30$$

— **Probabilité de Panne sur 30 jours ($F(t)$)** :

$$F(t) = 1 - R(t)$$

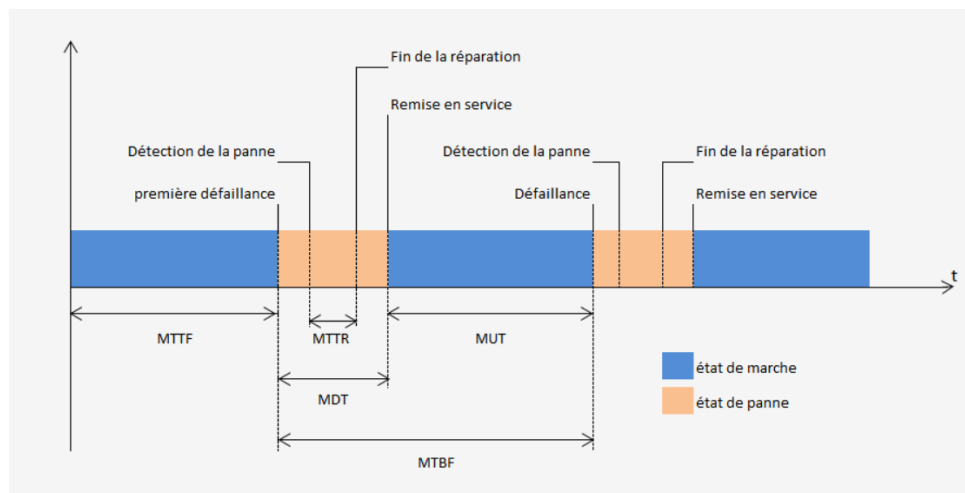


FIGURE 4.2 – Les indicateurs de fiabilité

4.4.2 Calculs des paramètres de fiabilité, de maintenance et de disponibilité pour les deux compresseurs

Compresseur XK-161 A

Données de base :

- Période d'observation : 2678 jours
- Nombre total de pannes : 59
- Temps total d'indisponibilité : 400.85 heures

- Temps de bon fonctionnement :

$$2678 \times 24 - 400.85 = 64272 - 400.85 = 63871.15 \text{ heures}$$

Calculs :

- MTBF :

$$\frac{63871.15}{59} \approx 1083 \text{ h } (\approx 45.1 \text{ jours})$$

Interprétation : une panne toutes les 45 jours en moyenne.

- Taux de panne λ :

$$\lambda = \frac{59}{2678} \approx 0.022 \text{ pannes/jour}$$

Interprétation : environ une panne tous les 45.4 jours.

- Fiabilité à 30 jours :

$$R(30) = e^{-0.022 \times 30} \approx e^{-0.66} \approx 52\%$$

Interprétation : seulement 52% de chances que le compresseur fonctionne sans panne sur 30 jours.

- Probabilité de panne à 30 jours :

$$F(30) = 1 - 0.52 = 48\%$$

Interprétation : 48% de probabilité d'avoir au moins une panne dans les 30 jours.

- MTTR :

$$\frac{400.85}{59} \approx 6.8 \text{ heures}$$

Interprétation : temps moyen de réparation court, ce qui contribue à une bonne disponibilité.

- Taux de réparation μ :

$$\mu = \frac{1}{6.8} \approx 0.147 \text{ réparations/heure}$$

- Disponibilité :

$$D = \frac{1083}{1083 + 6.8} \approx 99.4\%$$

Interprétation : disponibilité élevée grâce à un MTTR relativement faible malgré une fréquence de panne plus élevée.

Compresseur XK-161 B

Données de base :

- Période d'observation : 2678 jours
- Nombre total de pannes : 44
- Temps total d'indisponibilité : 425 heures
- Temps de bon fonctionnement :

$$2678 \times 24 - 425 = 64272 - 425 = 63847 \text{ heures}$$

Calculs :

— MTBF :

$$\frac{63847}{44} \approx 1451 \text{ h } (\approx 60.5 \text{ jours})$$

Interprétation : une panne tous les 60.5 jours en moyenne.

— Taux de panne λ :

$$\lambda = \frac{44}{2678} \approx 0.0164 \text{ pannes/jour}$$

Interprétation : environ une panne tous les 61 jours.

— Fiabilité à 30 jours :

$$R(30) = e^{-0.0164 \times 30} \approx e^{-0.492} \approx 61\%$$

Interprétation : 61% de probabilité que le compresseur fonctionne sans panne sur 30 jours.

— Probabilité de panne à 30 jours :

$$F(30) = 1 - 0.61 = 39\%$$

Interprétation : 39% de probabilité d'avoir une panne dans les 30 jours.

— MTTR :

$$\frac{425}{44} \approx 9.7 \text{ heures}$$

Interprétation : temps moyen de réparation de 9.7 heures.

— Taux de réparation μ :

$$\mu = \frac{1}{9.7} \approx 0.103 \text{ réparations/heure}$$

— Disponibilité :

$$D = \frac{1451}{1451 + 9.7} \approx 99.3\%$$

Interprétation : très bonne disponibilité malgré une MTTR modérément élevé.

TABLE 4.3 – Tableau des paramètres de fiabilité, de maintenance et de disponibilité

Paramètre	Compression XX-161A	Compression XX-161B
MTBF (jours)	45,1	60,5
MTTR (heures)	6,8	9,7
Taux de réparation (1/heure)	0.147	0.103
Temps d'indisponibilité (heures)	400.85%	425%
Taux de disponibilité (D)	99,4%	99,3%
Taux de panne (pannes/jour)	0.022	0.0164
Fiabilité (pour 30 jours)	52,00%	61,00%
Probabilité de panne (pour 30 jours)	48%	39,00%

4.4.3 Calculs des paramètres pour les deux compresseurs après l'élimination des pannes causées par les vibratoires

Dans cette partie, j'ai éliminé les pannes liées aux vibrations et j'ai recalculé les paramètres de fiabilité, de maintenabilité et de disponibilité.

Compresseur XK-161 A (Sans Pannes Liées aux Vibrations)

Données de base :

- Période d'observation : 2678 jours
- Nombre total de pannes (hors vibrations) : 38
- Temps total d'indisponibilité : 300.25 heures
- Temps de bon fonctionnement :

$$2678 \times 24 - 300.25 = 64272 - 300.25 = 63971.75 \text{ heures}$$

Calculs

- MTBF :

$$\frac{63971.75}{38} \approx 1683.5 \text{ h } (\approx 70.1 \text{ jours})$$

Interprétation : une panne tous les 70 jours en moyenne (vs 45 jours avec vibrations).

- Taux de panne λ :

$$\lambda = \frac{38}{2678} \approx 0.0142 \text{ pannes/jour}$$

Interprétation : fréquence des pannes réduite par rapport au cas avec vibrations.

- Fiabilité à 30 jours :

$$R(30) = e^{-0.0142 \times 30} \approx e^{-0.426} \approx 65\%$$

Interprétation : 65% de chances que le compresseur fonctionne sans panne sur 30 jours (vs 52% avec vibrations).

- Probabilité de panne à 30 jours :

$$F(30) = 1 - 0.65 = 35\%$$

Interprétation : 35% de risque de panne dans les 30 jours.

- MTTR :

$$\frac{300.25}{38} \approx 7.9 \text{ heures}$$

Interprétation : temps moyen de réparation raisonnable, légèrement supérieur au cas général.

- Taux de réparation μ :

$$\mu = \frac{1}{7.9} \approx 0.127 \text{ réparations/heure}$$

- Disponibilité :

$$D = \frac{1683.5}{1683.5 + 7.9} \approx 99.5\%$$

Interprétation : excellente disponibilité, confirmant l'impact positif de l'exclusion des pannes dues aux vibrations.

Compresseur XK-161 B Sans Pannes Liées aux Vibrations

Données de base :

- Période d'observation : 2678 jours
- Nombre total de pannes (hors vibrations) : 24
- Temps total d'indisponibilité : 300.5 heures
- Temps de bon fonctionnement :

$$2678 \times 24 - 300.5 = 64272 - 300.5 = 63971.5 \text{ heures}$$

Calculs :

- MTBF :

$$\frac{63971.5}{24} \approx 2665 \text{ h } (\approx 111 \text{ jours})$$

Interprétation : une panne tous les 111 jours en moyenne (vs 60.5 jours avec vibrations).

- Taux de panne λ :

$$\lambda = \frac{24}{2678} \approx 0.009 \text{ pannes/jour}$$

Interprétation : réduction significative du taux de panne sans les effets des vibrations.

- Fiabilité à 30 jours :

$$R(30) = e^{-0.009 \times 30} \approx e^{-0.27} \approx 76\%$$

Interprétation : 76% de probabilité de fonctionnement sans panne sur 30 jours (vs 61% avec vibrations).

- Probabilité de panne à 30 jours :

$$F(30) = 1 - 0.76 = 24\%$$

Interprétation : réduction du risque de panne à 24% (vs 39% avec vibrations).

- MTTR :

$$\frac{300.5}{24} \approx 12.5 \text{ heures}$$

Interprétation : temps moyen de réparation plus élevé, lié à des interventions plus complexes hors contexte vibratoire.

- Taux de réparation μ :

$$\mu = \frac{1}{12.5} \approx 0.08 \text{ réparations/heure}$$

- Disponibilité :

$$D = \frac{2665}{2665 + 12.5} \approx 99.5\%$$

Interprétation : excellente disponibilité malgré une maintenabilité légèrement plus faible.

TABLE 4.4 – Tableau des paramètres de fiabilité, de maintenance et de disponibilité (après l'élimination des pannes liées aux vibrations)

Paramètre	Compression XX-161A	Compression XX-161B
MTBF (jours)	70,1	78
MTTR (heures)	7,9	12,5
Taux de réparation (1/heure)	0.127	0.08
Temps d'indisponibilité (heures)	300,25	300.5%
Taux de disponibilité (D)	99,5%	99,5%
Taux de panne (pannes/jour)	0.0142	0.009
Fiabilité (pour 30 jours)	65,00%	76,00%
Probabilité de panne (pour 30 jours)	35%	24,00%

4.4.4 Comparaison des résultats et impact des vibrations sur la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité

Cette analyse compare les paramètres de fiabilité, maintenance et disponibilité des compresseurs XX-161A et XX-161B avant et après élimination des pannes liées aux vibrations. Les données montrent un impact significatif des vibrations sur les performances des équipements.

Fiabilité

— MTBF (temps moyen entre pannes) :

- XX-161A : **45,1 jours** → **70,1 jours** (+55%)
- XX-161B : **60,5 jours** → **78 jours** (+29%)

Interprétation : L'augmentation significative du MTBF après suppression des vibrations montre que ces dernières sont responsables de plus de 50% des pannes sur le XX-161A. Le XX-161B, bien que moins affecté, voit tout de même son temps de bon fonctionnement augmenter de 29%.

— Taux de panne :

- XX-161A : **0,022** → **0,0142** pannes/jour (-35%)
- XX-161B : **0,0164** → **0,009** pannes/jour (-45%)

Interprétation : La réduction du taux de panne confirme que les vibrations génèrent environ 1 panne supplémentaire toutes les 3 semaines sur le XX-161A et 1 panne supplémentaire par mois sur le XX-161B.

— Fiabilité à 30 jours :

- XX-161A : **52%** → **65%**
- XX-161B : **61%** → **76%**

Interprétation : Sans vibrations, la probabilité de fonctionnement continu pendant un mois passe de 1 chance sur 2 à 2 chances sur 3 pour le XX-161A. L'amélioration est encore plus marquée pour le XX-161B.

Maintenabilité

— MTTR (temps moyen de réparation) :

- XX-161A : **6,8 heures** → **7,9 heures**
- XX-161B : **9,7 heures** → **12,5 heures**

Interprétation : L'augmentation du MTTR suggère que les pannes non-vibratoires sont plus complexes à réparer. Les pannes vibratoires semblent donc être des défaillances "rapides à diagnostiquer et réparer".

— **Taux de réparation :**

— XX-161A : **0,147** → **0,127**

— XX-161B : **0,103** → **0,08**

Interprétation : La diminution du taux de réparation indique que les interventions sont globalement plus espacées dans le temps mais potentiellement plus longues lorsque les vibrations sont éliminées.

Disponibilité

— **Temps d'indisponibilité :**

— XX-161A : **400,75 heures** → **300,25 heures**

— XX-161B : **425 heures** → **300,5 heures**

Interprétation : La réduction de 25% du temps d'arrêt pour les deux compresseurs démontre que les vibrations génèrent des indisponibilités cumulées importantes.

Résultat :

Les données révèlent que les vibrations ont un **impact direct et négatif** sur :

- La **fiabilité** : réduction du MTBF et augmentation du taux de panne
- La **disponibilité** : réduction de la disponibilité du compresseur
- La **maintenabilité** : augmentation du MTTR et du taux de panne

4.5 Analyse des modes de défaillance et de leurs effets et de leurs criticités (AMDEC)

L'objectif principal de l'application de la méthode AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité), est de hiérarchiser les modes de défaillance de chaque composant du compresseur selon leur niveau de criticité, d'en comprendre les causes profondes et d'étudier leurs effets potentiels. Sur cette base, des mesures de prévention, de protection et d'amélioration ciblées ont pu être définies afin d'accroître la fiabilité et la disponibilité de ces machines critiques.

4.5.1 Décomposition du système

Le compresseur étudié a été décomposé en sept sous-systèmes fonctionnels principaux. Chacun de ces sous-systèmes remplit une fonction spécifique et contribue au bon fonctionnement global de l'équipement. La décomposition permet une analyse plus fine des défaillances et une meilleure compréhension des interactions entre les différents éléments du compresseur. Voici la structure de décomposition présentée sous forme de tableau :

TABLE 4.5 – Structure de décomposition du compresseur

Élément	Fonction / État
vanne de Distribution de gaz conique	Distribuer le gaz dans la chambre de compression
Carter	Contenir le fluide et supporter les composants
Rotor	Transmettre la rotation à la roue à aubes
Roue à aubes(turbine)	Créer la compression par rotation
Garniture mécanique	Étanchéité de l'arbre
Roulements/paliers	Guider et supporter la rotation
Moteur	Fournir l'énergie de rotation

4.5.2 Critères d'évaluation

Critères d'évaluation présente les grilles d'appréciation utilisées pour évaluer la criticité de chaque mode de défaillance identifié lors de l'analyse AMDEC

Echelle de probabilité :

La probabilité indique le niveau de probabilité d'occurrence d'un mode de défaillance[7]. Le tableau suivant représente l'estimation de la probabilité.

TABLE 4.6 – Échelle de probabilité d'occurrence

Niveau	Probabilité	Fréquence associée
1	Improbable	1 fois tous les 2 ans ou moins
2	Faible	1 fois par an
3	Modéré	1 fois par mois à par trimestre
4	Élevé	1 fois par 15 jours
5	Très élevé	1 fois par semaine

Échelle de détectabilité des défaillances :

La détection permet d'évaluer la capacité à détecter un mode de défaillance avant qu'il ne produise ses effets. L'échelle de détectabilité est représentée dans le tableau suivant :

TABLE 4.7 – Échelle de détectabilité des défaillances

Niveau	Détectabilité	Méthode de détection associée
1	Très facile	Détection lors d'une simple évaluation visuelle
2	Facile	Détection possible avec des capteurs (pression, niveau, température...)
3	Modérée	Détection via des inspections programmées ou de la maintenance préventive
4	Difficile	Détection uniquement par des tests périodiques spécifiques

Niveau de Gravité :

La gravité évalue les conséquences d'un mode de défaillance sur le système, l'opération et le produit. L'échelle de gravité est représentée dans le tableau suivant.

TABLE 4.8 – Échelle de gravité des défaillances

Niveau	Gravité
1	Aucun impact sur la fonction principale de machine mais une maintenance est requise après la fin de l'opération.
2	Perte partielle de la fonction principale de machine et arrêt temporaire de quelques minutes à une heure.
3	Perte partielle de la fonction principale de machine et arrêt temporaire quelque heures, et peut affecter la qualité de produit.
4	Perte partielle de la fonction principale de machine d'une journée ou plus, ou il peut détruire le produit.
5	Perte totale de la fonction principale de machine, qu'elle nécessite une réparation majeure.

Le critère C : Criticité

La criticité représente le niveau de l'importance d'un mode de défaillance potentiel sur le fonctionnement et les performances d'un système[9].

La criticité permet :

- De noter l'importance du risque engendré par chaque cause de défaillance
- Puis de hiérarchiser les défaillances. Cette hiérarchisation sert à prioriser les actions et mener, ainsi, des actions sur celles qui sont égales ou supérieures au seuil retenu

L'indice de Criticité est calculé pour chaque mode de défaillance, en effectuant le produit de trois indices [6]. Tel que :

$$\text{Criticité} = \text{Détection} \times \text{probabilité} \times \text{Gravité}$$

L'échelle de criticité est représentée dans le tableau suivant.

TABLE 4.9 – Échelle de criticité

Niveau de criticité	Criticité
$C < 12$	Négligeable (Faible)
$12 \leq C \leq 24$	Criticité moyenne
$C > 24$	Criticité élevée (Forte)

4.5.3 Résultat

Afin de mieux comprendre l'approche méthodologique utilisée pour l'analyse des modes de défaillance et de leurs effets, nous présentons ci-dessous un exemple de tableau d'AMDEC. Ce tableau 4.7 illustre les différentes colonnes, telles que les modes de défaillance potentiels, les effets de chaque défaillance, la criticité associée et les actions correctives proposées pour un mode de défaillance sur la machine remplisseuse. L'annexe 8 nous donne une vision complète et exhaustive de l'AMDEC appliquée

TABLE 4.10 – Exemple Tableau AMDEC – Partie 1

Élément	Fonction / État	Mode	Cause de la défaillance
Rotor	Transmettre la rotation à la roue à aubes	Vibrations	Désalignement, déséquilibre

Effet de la défaillance	P	G	D	Criticité	Action corrective
Fissure, fatigue du matériau	3	3	3	27	Équilibrage dynamique, alignement

L'AMDEC nous a permis d'identifier 25 modes de défaillances affectant la fonction du compresseur. Leurs évaluations nous ont permis de les classer selon leur criticité, les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant.

TABLE 4.11 – Liste des modes de défaillances mentionnés dans l'AMDEC ainsi que leur cause et leur criticité

Mode de défaillance	Causes probables	Criticité
Ne s'ouvre pas	Fatigue cyclique, vibrations excessives, blocage mécanique	8
Ne se ferme pas	Dépôts de particules, blocage mécanique	24
Ne démarre pas	Ventilation obstruée, absence d'alimentation, phase défaillante	12
Fonctionnement irrégulier	Flexion, choc mécanique, vibrations excessives, fatigue	27
Fonctionnement irrégulier	Choc hydraulique, fatigue	40
Arrêt prématuré	Humidité, arrêt moteur	9
Arrêt prématuré	Particules abrasives	12
Arrêt prématuré	Alimentation électrique non contrôlée	36
Blocage physique ou coincement	Lubrification insuffisante	40
Court-circuit	Humidité, surtension	40
Fuite	Vibrations excessives, joint défaillant	24
Fuite	Vieillessement, serrage incorrect, vibrations excessives	8
Vibrations	Désalignement du rotor, déséquilibre du rotor	16
Vibrations	Désalignement, déséquilibre	24
Vibrations	Désalignement, déséquilibre	18
Dérives des performances	Désalignement, déséquilibre, surchauffe locale, vibrations	12
Dérives des performances	Température élevée	12
Dérives des performances	Poussière, produits chimiques	9
Dérives des performances	Humidité dans le lubrifiant	16
Dérives des performances	Surcharge électrique, vibrations excessives	8
Défaillance structurelle (rupture)	Fatigue, environnement corrosif, vibrations excessives	36
Défaillance structurelle (rupture)	Fatigue cyclique, vibration excessive, choc mécanique	30
Défaillance structurelle (rupture)	Frottement excessif, vibrations excessives	30
Défaillance structurelle (rupture)	Fatigue cyclique, vibration excessive	30

Interprétation

Défaillances Critiques (Criticité ≥ 30)

Les modes de défaillance suivants nécessitent une attention immédiate :

- **Court-circuit** (Criticité : 40) - Causé par l'humidité et la surtension
- **Blocage physique ou coincement** (Criticité : 40) - Causé par une lubrification insuffisante
- **Fonctionnement irrégulier** (Criticité : 40) - Causé par un choc hydraulique et la fatigue
- **Défaillance structurelle** (Criticité : 30-36) - Causée par la fatigue cyclique et les vibrations
- **Arrêt prématuré** (Criticité : 36) - Causé par une alimentation électrique non contrôlée

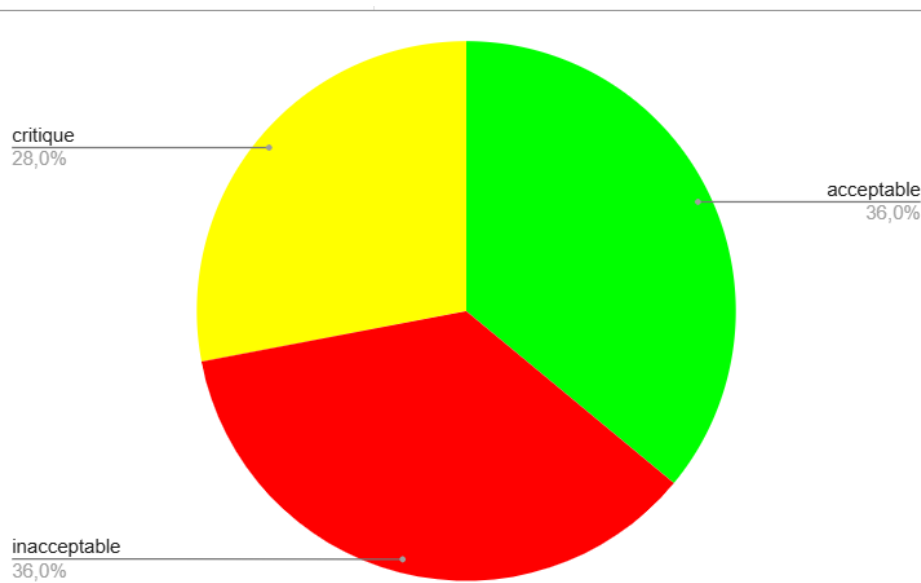


FIGURE 4.3 – : La répartition des modes de défaillance probables selon leur niveau de criticité

+36% des modes de défaillance ont une criticité élevée (>24), +28% des modes de défaillance ont une criticité moyenne, ce qui confirme que le compresseur est un élément critique et ce qui est préoccupant et nécessite des actions urgentes.

Le désalignement du rotor et le déséquilibre du rotor apparaissent à plusieurs reprises comme causes principales :

Vibrations (Criticité : 16, 18, 24)

Dérives des performances (Criticité : 12, 16)

Fonctionnement irrégulier, défaillance structurelle : souvent liés indirectement au rotor (par vibration, flexion ou fatigue)

L'arbre de rotation (rotor) constitue un élément critique du compresseur. En effet, tout défaut affectant cet arbre peut entraîner des dysfonctionnements dans les autres composants du système. Par conséquent, il nécessite une maintenance rigoureuse et spécifique

4.6 Analyse des causes des pannes critiques : application de la méthode AdD

4.6.1 Identification des événements redoutés

a-Rupture de la turbine du compresseur

- **État actuel** : Réparé
- **Coût de réparation** : 3 850 594,94 DZD
- **Conséquences** :
 - Dommages en cascade (rupture de la garniture)
 - Impact significatif sur la continuité de production

b-Cisaillement de l'arbre de rotation

- **État actuel** : pas encore réparé
- **Conséquences** :
 - Dommages en cascade multiples :
 - Rupture de la garniture
 - Rupture des paliers à roulement
 - Rupture de la turbine
 - Estimation préliminaire des coûts :
 - Coût de réparation estimé : > 5 000 000 DA
 - surcharge sur le compresseur A

4.6.2 Élaboration des arbres

Conformément aux étapes de construction des arbres de défaillances, le point de départ était les événements redoutés finaux. Tel que les deux événements “*rupture de la turbine du compresseur*” et “*cisaille de l'arbre de rotation*” pour les deux compresseurs XK-161 A/B. La sélection des événements intermédiaires s’est effectuée de manière progressive en posant la question de savoir si ces causes sont bien nécessaires et suffisantes.

Coupes minimales

Une coupe minimale est la plus petite combinaison d’événements pouvant conduire à l’ER donc on parle sur le chemin critique, leur recherche est faite à partir des règles de l’algèbre de BOOLE illustré dans le tableau 4.12 en considérant que :

TABLE 4.12 – Les règles de l’algèbre de BOOLE

Produit	Somme
$A.B = B.A$	$A + B = B + A$
$A.A = A$	$A + A = A$
$A.(A + B) = A$	$A + A.B = A$
$A.(B.C) = (A.B).C$	$A + (B + C) = (A + B) + C$
$A.(B + C) = A.B + A.C$	$A + B.C = (A + B).(A + C)$

Calcul de la probabilité de l'événement redouté "rupture de la turbine du compresseur" E1

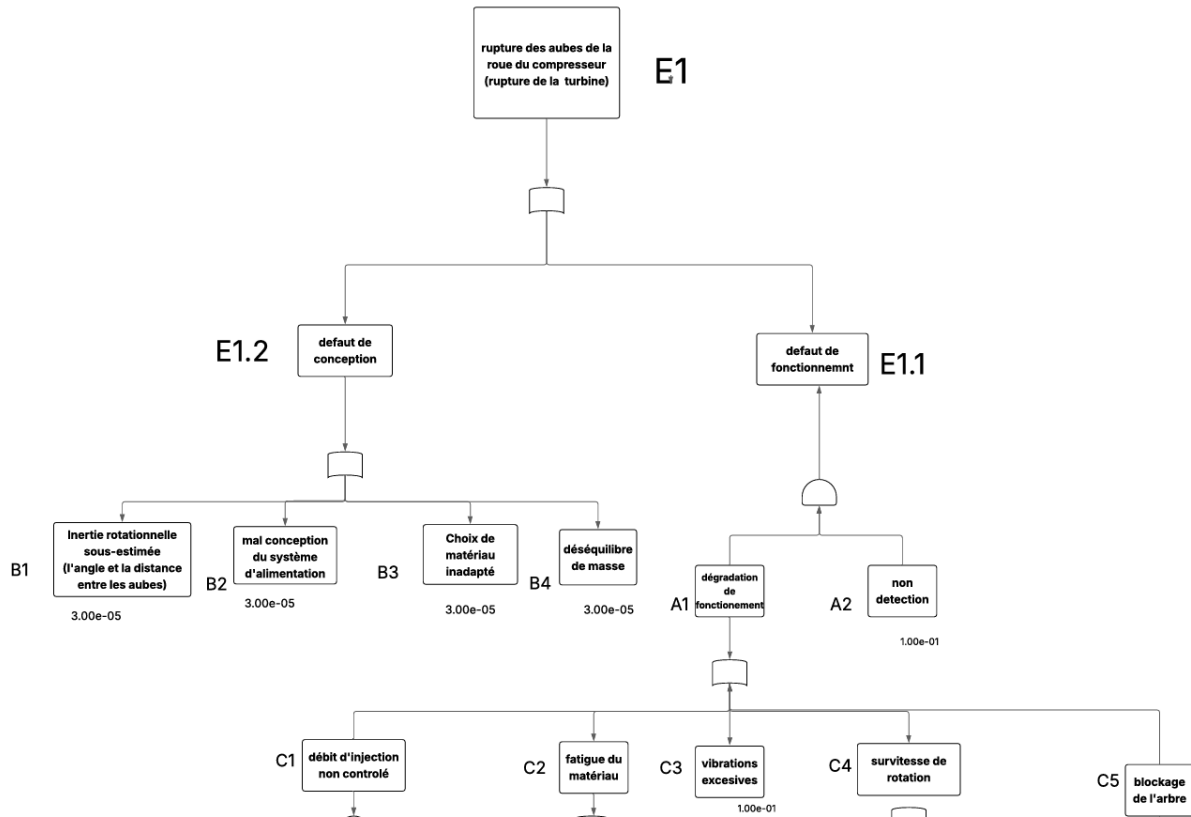


FIGURE 4.4 – une partie de l'arbre de défaillance "rupture de la turbine du compresseur"

$$E1 = E1.1 + E1.2 \quad (4.1)$$

$$E1 = (A1 \cdot A2) + B1 + B2 + B3 + B4 \quad (4.2)$$

$$E1 = ((C1 + C2 + C3 + C4 + C5) \cdot A2) + B1 + B2 + B3 + B4 \quad (4.3)$$

$$E1 = C1 \cdot A2 + C2 \cdot A2 + C3 \cdot A2 + C4 \cdot A2 + C5 \cdot A2 + B1 + B2 + B3 + B4 \quad (4.4)$$

$$E1 = C1.1 \cdot C1.2 \cdot A2 + C2.1 \cdot A2 + 2 \cdot C3 \cdot A2 + C4.1 \cdot A2 + C4.2 \cdot A2 + C5.1 \cdot A2 + C5.2 \cdot A2 + C5.3 \cdot A2 + C5.4 \cdot A2 + B1 + B2 + B3 + B4 \quad (4.5)$$

$$E1 = C1.1 \cdot C1.2 \cdot A2 + C2.1 \cdot A2 + 2 \cdot C3 \cdot A2 + C4.1 \cdot A2 + C4.2 \cdot A2 + C5.1 \cdot A2 + C5.2 \cdot A2 + C3 \cdot A2 + D4 \cdot A2 + D1 \cdot A2 + D2 \cdot A2 + D3 \cdot A2 + B1 + B2 + B3 + B4 \quad (4.6)$$

$$E1 = C1.1 \cdot C1.2 \cdot A2 + (3 \cdot C3 + C4.1 + C4.2 + C5.1 + C5.2 + D4 + D1 + D2 + D3) \cdot A2 + B1 + B2 + B3 + B4 \quad (4.7)$$

$$E1 = 10^{-1} \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-1} + (3 \cdot 10^{-1} + 10^{-1} + 10^{-1} + 10^{-5} + 10^{-2} + 10^{-1} + 10^{-5} + 10^{-5} + 10^{-2}) \cdot 10^{-1} + 4 \cdot 3 \cdot 10^{-5} \quad (4.8)$$

$$E1 = 0,052223 \quad (4.9)$$

Calcul de la probabilité de l'événement redouté "Cisaillement de l'arbre de rotation" E2

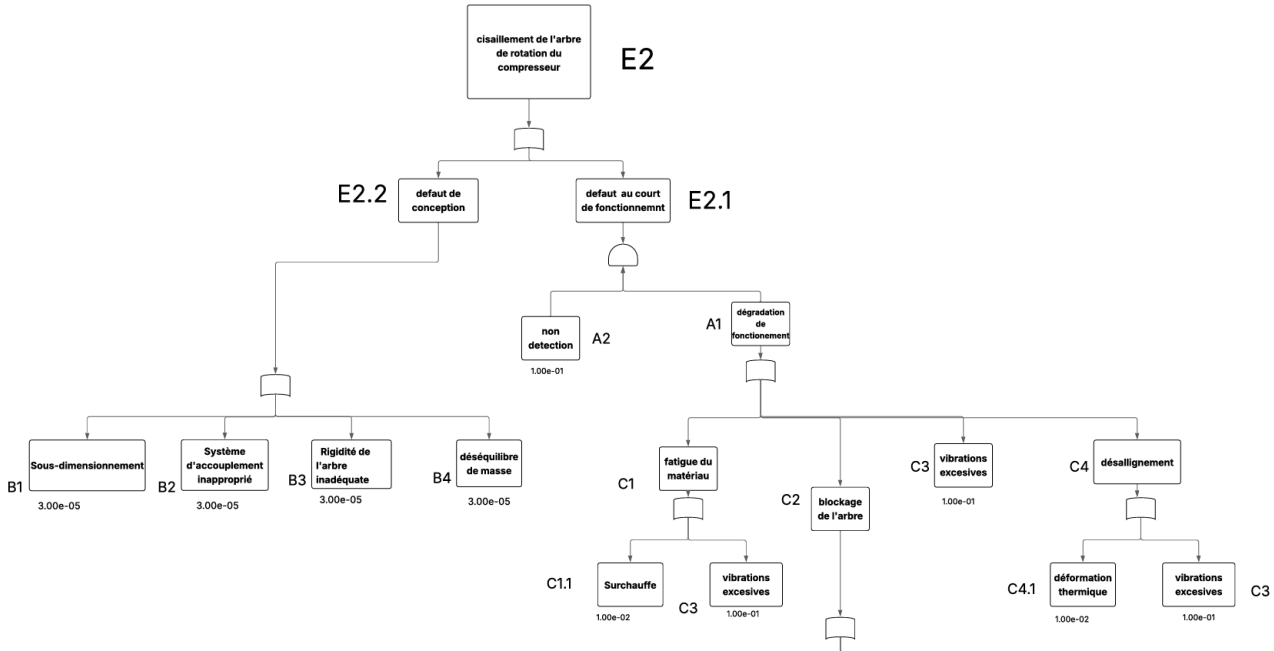


FIGURE 4.5 – une partie de l'arbre de défaillance "Cisaillement de l'arbre de rotation du compresseur"

$$E2 = E2.1 + E2.2 \quad (4.10)$$

$$E2 = A1 \cdot A2 + B1 + B2 + B3 + B4 \quad (4.11)$$

$$E2 = (C1 + C2 + C3 + C4) \cdot A2 + B1 + B2 + B3 + B4 \quad (4.12)$$

$$E2 = C1 \cdot A2 + C2 \cdot A2 + C3 \cdot A2 + C4 \cdot A2 + B1 + B2 + B3 + B4 \quad (4.13)$$

$$E2 = C1.1 \cdot A2 + C3 \cdot A2 + C2.1 \cdot A2 + C2.2 \cdot A2 + C2.3 \cdot A2 + C2.4 \cdot A2 + C3 \cdot A2 + C4.1 \cdot A2 + C3 \cdot A2 + B1 + B2 + B3 + B4 \quad (4.14)$$

$$E2 = C1.1 \cdot A2 + C3 \cdot A2 + C3 \cdot A2 + D4 \cdot A2 + C2.2 \cdot A2 + C2.3 \cdot A2 + D1 \cdot A2 + D2 \cdot A2 + D3 \cdot A2 + C3 \cdot A2 + C4.1 \cdot A2 + C3 \cdot A2 + B1 + B2 + B3 + B4 \quad (4.15)$$

$$E2 = (C1.1 + D4 + C2.2 + C2.3 + D1 + D2 + D3 + C4.1 + 4 \cdot C3) \cdot A2 + B1 + B2 + B3 + B4 \quad (4.16)$$

$$E2 = (10^{-2} + 10^{-2} + 10^{-5} + 10^{-2} + 10^{-1} + 10^{-5} + 10^{-5} + 10^{-2} + 4 \cdot 10^{-1}) \cdot 10^{-1} + 4 \cdot 3 \cdot 10^{-5} \quad (4.17)$$

$$E2 = 0,054123 \quad (4.18)$$

Interprétation des résultats

les deux événements redoutés, "Cisaillement de l'arbre de rotation du compresseur", "rupture de la turbine du compresseur" ont des probabilités de survenance non négligeables, avec le Cisaillement de l'arbre de rotation comme risque le plus critique. Les causes racines identifiées concernent principalement des défaillances techniques (vibrations excessives, dilatation thermique, manque du lubrification, la non-détection, problème d'alimentation et des défauts de conception)

D'après les équations développées, on observe plusieurs aspects importants :

Les deux arbres partagent des composants communs ($B1, B2, B3, B4$) qui contribuent de manière identique à la probabilité de défaillance avec un terme constant de $4 \times 3 \times 10^{-5} = 1,2 \times 10^{-4}$.

Dans l'arbre E1, le terme $C1.1 \times C1.2 \times A2 = 10^{-1} \times 10^{-2} \times 10^{-1} = 10^{-4}$ tend à maintenir une contribution faible grâce au produit de probabilités.

Dans l'arbre E2, les termes sont principalement additifs, ce qui explique une probabilité de défaillance légèrement plus élevée. D'après les équations on peut déduire que les causes les plus probables des événements redoutés (E1 et E2) sont liées aux facteurs suivants : le désalignement, le déséquilibre, la dilatation thermique, la fatigue du matériau et les vibrations excessives.

Conclusion

Ce chapitre a permis d'offrir une vision globale et rigoureuse de la performance et de la criticité des compresseurs XK-161A et XK-161B au travers d'une approche multiphase. En résumé, l'analyse des 286 interventions réalisées sur les compresseurs XK-161A et XK-161B met en lumière un décalage significatif entre le volume et le coût des opérations : si 63,9 % des interventions sont préventives elles ne représentent que 3,1 % du budget de maintenance, tandis que les 36,1 % d'interventions curatives absorbent près de 96,9 % des dépenses totales. Plus encore, les seuls défauts liés aux vibrations engendrent 62,5 % des coûts curatifs, soit plus de 6,8 MDA, soulignant leur poids économique majeur. Sur le plan de la fiabilité et de la disponibilité, le MTBF moyen passe de 45 à 70 jours pour le compresseur A (et de 60 à 111 jours pour le B) dès lors qu'on exclut les pannes vibratoires. Les données de l'étude FDM révèlent que les vibrations ont un impact direct et négatif sur la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité des deux compresseurs. L'application des deux méthodes l'AMDEC et l'AdD met en exergue plusieurs modes de défaillance critiques (blocage physique, fatigue du matériau, dysfonctionnement lié aux vibrations, désalignement, déséquilibre et dilatation thermique) qu'il convient de prioriser. Ces résultats illustrent la nécessité d'une stratégie de maintenance orientée vers la surveillance et la maîtrise des phénomènes vibratoires pour optimiser à la fois les coûts et la performance opérationnelle des compresseurs.

Chapitre 5: Résolution du problème

Introduction

Suite à l'analyse approfondie des défaillances des compresseurs XK-161A/B, ce chapitre propose une démarche corrective en trois axes : des solutions techniques adaptées à chaque problème identifié (cisaillement d'arbre, déséquilibre, etc.), l'élaboration d'un plan de maintenance conditionnelle fondé sur la surveillance vibratoire - méthodologie reproductible sur l'ensemble des machines tournantes -, et une évaluation précise des bénéfices attendus en termes d'amélioration de la fiabilité, d'optimisation des coûts et de réduction des temps d'arrêt. Cette approche combine ainsi résolution des dysfonctionnements existants et mise en place d'un système préventif pérenne.interventions.

5.1 Problèmes techniques et solutions

5.1.1 Problème 01 : Cisaillement de l'Arbre de Rotation

Le cisaillement de l'arbre de rotation représente une défaillance critique résultant de contraintes de torsion excessives.

Solution proposée : Nouveau matériau constructif

Spécifications requises :

- Rigidité élevée : Module d'élasticité important pour limiter les déformations
- Résistance aux températures : Maintien des propriétés mécaniques à haute température
- Faible conductivité thermique : Réduction des gradients thermiques
- Durée de vie élevée : Résistance à la fatigue et à l'usure
- Résistance à la corrosion chlorée : Tenue en milieu chloré agressif

Matériau constructif du rotor : Acier inoxydable 316L

Propriétés du Matériau

- Module d'élasticité (E) : 195 054 000 000 Pa = 195,054 GPa
- Module de cisaillement (G) : 77 GPa = 77×10^9 Pa
- Limite élastique : 310 MPa
- Conductivité thermique : 16,3 W/m°C
- Module d'expansion thermique : $1,6 \times 10^{-5}$ /°C

Matériau Recommandé : Inconel 718

L'utilisation de l'inconel 718 comme matériau constructif pour les arbres de rotation représente une solution optimale pour prévenir les défaillances mécaniques critiques.

Propriétés du Matériau

- Module d'élasticité (E) : $198\,387\,000\,000\text{ Pa} = 198,387\text{ GPa}$
- Module de cisaillement (G) : $79,35\text{ GPa} = 79,35 \times 10^9\text{ Pa}$
- Limite élastique : 1240 MPa
- Conductivité thermique : $11,2\text{ W/m}^\circ\text{C}$
- Module d'expansion thermique : $1,22 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$

Spécifications Géométriques du rotor

- Diamètre du rotor : $80\text{ mm} = 0,08\text{ m}$
- Longueur du rotor : $1\,800\text{ mm} = 1,8\text{ m}$
- Configuration : Rotor plein cylindrique

Calculs de Rigidité [12]

Dans un compresseur centrifuge, la rigidité de l'arbre et des paliers est cruciale pour éviter les vibrations latérales ou torsionnelles, qui pourraient endommager les roues d'aubes ou les joints.

Moments d'Inertie Géométriques :

$$I = \frac{\pi}{64} \times D^4 = \frac{\pi}{64} \times (0,08)^4 = 2,01 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$J = \frac{\pi}{32} \times D^4 = \frac{\pi}{32} \times (0,08)^4 = 4,02 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

Rigidité pour Acier Inoxydable 316L :

$$K_{\text{flexion}} = \frac{3 \times E \times I}{L^3} = \frac{3 \times 195,054 \times 10^9 \times 2,01 \times 10^{-6}}{(1,8)^3} = 1,01 \times 10^5 \text{ N/m}$$

$$K_{\text{torsion}} = \frac{G \times J}{L} = \frac{77 \times 10^9 \times 4,02 \times 10^{-6}}{1,8} = 1,72 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{m/rad}$$

Rigidité pour Inconel 718 :

$$K_{\text{flexion}} = \frac{3 \times E \times I}{L^3} = \frac{3 \times 198,387 \times 10^9 \times 2,01 \times 10^{-6}}{(1,8)^3} = 1,03 \times 10^5 \text{ N/m}$$

$$K_{\text{torsion}} = \frac{G \times J}{L} = \frac{79,35 \times 10^9 \times 4,02 \times 10^{-6}}{1,8} = 1,77 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{m/rad}$$

Calcul du coefficient de sécurité C_s

Calcul du couple transmis :

$$T = \frac{P \times 60}{2\pi \times n} = \frac{132\,000 \times 60}{2\pi \times 990} \approx 1\,275,3 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$F_r = \frac{T}{r} = \frac{1\,275,3}{0,04} \approx 31\,882,5 \text{ N} = 31,88 \text{ kN}$$

Calcul du moment fléchissant :

$$M_{\text{max}} = \frac{F_r \times L}{4} = \frac{31\,880 \times 1,8}{4} \approx 14\,346 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Calcul des contraintes :

$$\sigma_f = \frac{32 \times M_{\max}}{\pi \times d^3} = \frac{32 \times 14\,346}{\pi \times (0,08)^3} \approx 244,5 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{16 \times T}{\pi \times d^3} = \frac{16 \times 1\,275,3}{\pi \times (0,08)^3} \approx 20,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{eq}} = \sqrt{\sigma_f^2 + 3 \times \tau^2} = \sqrt{(244,5)^2 + 3 \times (20,4)^2} \approx 247,0 \text{ MPa}$$

Coefficient de sécurité :

$$C_s = \frac{\sigma_e}{\sigma_{\text{eq}}}$$

$$\text{Pour l'Acier Inox 316L : } C_s = \frac{310}{247,0} \approx 1,26$$

$$\text{Pour l'Inconel 718 : } C_s = \frac{1\,240}{247,0} \approx 5,02$$

Calcul de la durée de vie :

en utilisant les courbe S-N (Courbe de Wöhler) de chaque matériau on peut calculer la durée de vie en fatigue de chaque matériau

La courbe S-N (Contrainte-Nombre de cycles) est une représentation graphique utilisée en fatigue des matériaux pour illustrer la relation entre l'amplitude de la contrainte appliquée (S) et le nombre de cycles (N) qu'un matériau peut endurer avant la rupture par fatigue.

on a la contrainte équivalente

$$\sigma_{\text{eq}} = 247,0 \text{ MPa} \quad (5.1)$$

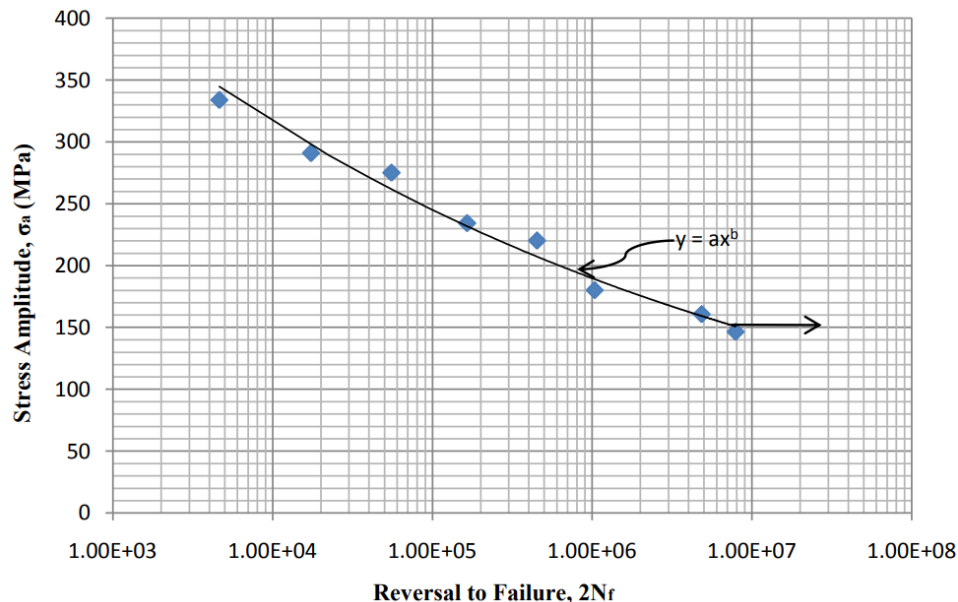


FIGURE 5.1 – Courbe S-N de l'Acier inoxydable [14]

— Durée de vie de l'Acier 316L(pour

$$\sigma_{\text{eq}} = 247,0 \text{ MPa} \quad (5.2)$$

$$: N_{316} = 8.5 \times 10^4 \text{ cycles}$$

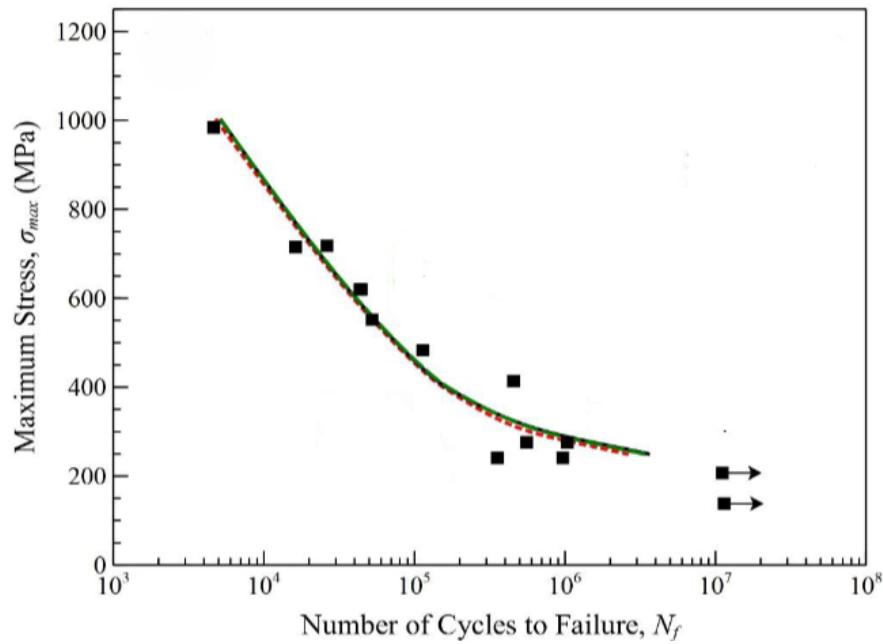


FIGURE 5.2 – Courbe S-N de l'inconel 718 [15]

— Durée de vie de l'Inconel 718(pour

$$\sigma_{eq} = 247,0 \text{ MPa}) \quad (5.3)$$

$$: N_{718} = 2 \times 10^6 \text{ cycles}$$

Calcul

$$\text{Rapport} = \frac{N_{718}}{N_{316}} = \frac{2 \times 10^6 \text{ cycles}}{8.5 \times 10^4 \text{ cycles}} \approx 23.53$$

Résultat

$$N_{718} \approx 23.5 \times N_{316}$$

Interprétation

L'Inconel 718 offre une durée de vie **23.5 fois plus longue** que l'acier inoxydable 316L dans les mêmes conditions de fatigue.

TABLE 5.1 – Comparaison des propriétés des deux matériaux

Critère	Acier 316L	Inconel 718	Interprétation
Module E (GPa)	195,05	198,39	Rigidité légèrement supérieure
Rigidité en flexion (N m^{-1})	$1,01 \times 10^5$	$1,03 \times 10^5$	Résistance aux déformations similaire
Rigidité en torsion (N m rad^{-1})	$1,72 \times 10^5$	$1,77 \times 10^5$	Transmission de couple légèrement meilleure
Limite élastique (MPa)	310	1 240	Résistance mécanique bien supérieure
Coefficient de sécurité (C_s)	1,26	5,02	Marge de sécurité bien plus élevée
Conductivité thermique ($\text{W m}^{-1} \text{°C}^{-1}$)	16,3	11,2	Isolation thermique améliorée
Expansion thermique (°C^{-1})	$1,6 \times 10^{-5}$	$1,22 \times 10^{-5}$	Déformations thermiques réduites
Durée de vie (cycles)	$8,5 \times 10^4$	2×10^6	Résistance à la fatigue 23,5× supérieure

Interprétation L’Inconel 718 offre une résistance remarquable au cisaillement, réduisant considérablement les risques de rupture brutale de l’arbre. Sa stabilité thermique (expansion réduite de 24%) minimise les contraintes thermomécaniques cycliques, principal facteur de propagation des fissures de fatigue. La combinaison de ces propriétés mécaniques et thermiques supérieures permet d’éliminer les modes de défaillance typiques des arbres en acier inoxydable : cisaillement par surcharge, fissuration par fatigue thermique, et rupture progressive par propagation de microfissures, garantissant ainsi une fiabilité et une durée de vie considérablement accrues pour les systèmes rotatifs critiques.

Retour sur investissement

Calcul du volume de l’arbre de rotation

L’arbre est cylindrique, donc son volume V peut être calculé avec la formule du volume d’un cylindre :

$$V = \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times L$$

Avec :

— Diamètre $D = 0.08 \text{ m}$

— Longueur $L = 1.8 \text{ m}$

$$V = \pi \times (0.04)^2 \times 1.8 = \pi \times 0.0016 \times 1.8$$

$$V \approx 3.1416 \times 0.0016 \times 1.8 \approx 0.009\,043 \text{ m}^3$$

Le volume de l’arbre est donc **environ** $0.009\,043 \text{ m}^3$.

Calcul de la masse de l'arbre pour chaque matériau

La masse m est donnée par :

$$m = \rho \times V$$

où ρ est la masse volumique du matériau.

Acier inoxydable 316 ($\rho = 7967.37 \text{ kg m}^{-3}$)

$$m_{\text{acier}} = 7967.37 \times 0.009043 \approx 72.05 \text{ kg}$$

Inconel 718 ($\rho = 8220.83 \text{ kg m}^{-3}$)

$$m_{\text{inconel}} = 8220.83 \times 0.009043 \approx 74.34 \text{ kg}$$

Calcul du prix de chaque arbre

Selon les données de la société **RichConne**, une entreprise spécialisée dans la fabrication de pièces métalliques pour équipements industriels (compresseurs, chaudières, etc.), j'ai extrait le prix au kilogramme pour chaque matériau.

Acier inoxydable 316 (3.4 \$/kg)

$$\text{Prix}_{\text{acier}} = 72.05 \times 3.4 \approx 244.97 \$$$

Inconel 718 (25 \$/kg)

$$\text{Prix}_{\text{inconel}} = 74.34 \times 25 \approx 1858.50 \$$$

Résumé des résultats

TABLE 5.2 – Comparaison des prix des matériaux

Propriété	Acier inoxydable 316	Inconel 718
Masse volumique (kg m^{-3})	7967.37	8220.83
Volume (m^3)	0.009043	0.009043
Masse (kg)	72.05	74.34
Prix (\$)	244.97	1858.50

- L'arbre en **acier inoxydable 316** coûte environ 245 \$.
- L'arbre en **Inconel 718** coûte environ 1858.50 \$, soit **7.6 fois plus cher** que l'acier inoxydable.

L'Inconel 718 est un matériau haut de gamme (résistant à la chaleur et à la corrosion), mais son coût est significativement plus élevé.

Analyse coût-durée de vie

- **Acier inoxydable 316L :**
 - Coût : 245 \$
 - Durée de vie : 8.5×10^4 cycles
- **Inconel 718 :**
 - Coût : 1858.50 \$
 - Durée de vie : 2×10^6 cycles

Calcul du rapport durée de vie/coût

$$\text{Rapport} = \frac{\text{Durée de vie (cycles)}}{\text{Coût (\$)}}$$

$$\begin{aligned} \text{Acier 316L : } R_{316} &= \frac{8.5 \times 10^4}{245} \approx \boxed{347 \text{ cycles/\$}} \\ \text{Inconel 718 : } R_{718} &= \frac{2 \times 10^6}{1858.50} \approx \boxed{1076 \text{ cycles/\$}} \end{aligned}$$

comparaison

- Rapport Inconel/Acier :
- $$\frac{1076}{347} \approx 3.1$$

Résultat

Bien que l’Inconel soit $7.6 \times$ plus cher à l’achat, sa durée de vie $23.5 \times$ plus longue compense largement ce surcoût.

Solutions alternatives et complémentaires

- Traitement thermique optimisé : Trempe et revenu pour propriétés optimales
- Revêtements PVD/CVD : Couches protectrices haute performance Le PVD (Dépôt Physique en Phase Vapeur) et le CVD (Dépôt Chimique en Phase Vapeur) offrent des solutions de revêtements protecteurs haute performance, en améliorant la durabilité, la résistance à l’usure et la résistance à la corrosion des matériaux.

5.1.2 Problème 02 : Alimentation électrique et vitesse de rotation

- L’augmentation de la vitesse de rotation du rotor constitue un dysfonctionnement critique qui peut avoir des conséquences catastrophiques sur l’intégrité mécanique du compresseur.
- Haute alimentation électrique ($380 \pm 5\%$) : Une surtension d’alimentation provoque une augmentation du courant d’alimentation du moteur asynchrone, générant un échauffement excessif sur les enroulements du moteur et produisant aussi des couples pulsatoires, réduisant par conséquence la durée de vie du moteur.
- Déséquilibre de couple dû au manque d’alimentation : La perte d’une phase parmi les trois phases d’alimentation crée un fonctionnement monophasé ou biphasé du moteur, générant des couples pulsatoires et des variations de vitesse dangereuses.

Conséquences techniques

- Contraintes mécaniques excessives : L'augmentation de vitesse génère des forces centrifuges proportionnelles au carré de la vitesse, pouvant dépasser les limites de résistance des matériaux.
- Vibrations importantes : Les variations de vitesse créent des phénomènes de résonance et d'instabilité dynamique.
- Échauffement du moteur : Le fonctionnement déséquilibré provoque des pertes électriques supplémentaires et une surchauffe.
- Usure prématurée : Les conditions de fonctionnement anormales accélèrent la dégradation des composants.

Solution : Régulateur de tension AVR

Principe de fonctionnement : Le régulateur de tension maintient une tension d'alimentation stable et équilibrée sur les trois phases, indépendamment des fluctuations du réseau électrique.

Composants techniques :

- Régulateur automatique de tension (AVR) : Dispositif électronique surveillant et corrigeant les variations de tension.
- Transformateur à prises réglables : Permet l'ajustement fin de la tension de sortie.
- Système de protection contre les déséquilibres : Détection automatique des défauts de phases.

Avantages :

- Stabilité de la vitesse de rotation.
- Protection contre les surtensions et sous-tensions.
- Amélioration du rendement énergétique.
- Réduction des contraintes mécaniques.

5.1.3 Problème 03 : Déséquilibre de Masse du Rotor

Le déséquilibre de masse du rotor résulte d'une répartition non uniforme des masses autour de l'axe de rotation, principalement causée par des déformations thermiques liées à la conduction de chaleur du fluide process à travers le rotor.

Mécanisme de dégradation

- Les gradients de température créent des dilatations différentielles dans le rotor.
- Les cycles thermiques répétés génèrent des contraintes résiduelles.
- Les déformations thermiques permanentes modifient la géométrie et la répartition des masses.
- L'accumulation de dépôts ou la corrosion différentielle aggrave le déséquilibre.

Conséquences dynamiques

- Génération de forces centrifuges déséquilibrées.
- Vibrations synchrones à la vitesse de rotation.
- Usure accélérée des paliers et supports.
- Fatigue des structures par sollicitations cycliques.

Solution : Système d'équilibrage

L'équilibrage est un processus visant à ajuster la répartition de masse d'un objet en rotation pour réduire au minimum les vibrations causées par des forces déséquilibrées. Utilisation de masses mobiles ou de correcteurs hydrauliques/pneumatiques pour compenser le déséquilibre en temps réel.

Équilibrage statique et dynamique

- **Équilibrage statique** : Correction du déséquilibre dans un plan perpendiculaire à l'axe. L'équilibrage statique vise à corriger ce déséquilibre en ajoutant ou en retirant de la masse dans un seul plan du rotor, généralement près du centre de masse, afin que le centre de masse coïncide avec l'axe de rotation.
- **Équilibrage dynamique** : Correction dans deux plans pour éliminer les moments déséquilibrants. L'équilibrage dynamique implique l'ajout ou le retrait de masse dans deux plans ou plus du rotor, afin de déplacer le centre de gravité sur l'axe de rotation.
- **Tolérances selon DIN ISO 1940-1** : Respect des normes d'équilibrage pour machines industrielles .

5.1.4 Problème 04 : Fissures Internes et de Surface

Les fissures internes et de surface constituent des défauts critiques pouvant conduire à des ruptures catastrophiques. Ces défauts résultent de plusieurs mécanismes de dégradation.

Fissures de fatigue

- Propagation sous contraintes cycliques.
- Concentration de contraintes aux changements de section.
- Influence des conditions d'environnement (température, corrosion).

Fissures de corrosion sous contrainte

- Action combinée de contraintes mécaniques et d'environnement corrosif.
- Particulièrement critique en présence de chlorures.
- Progression généralement lente mais imprévisible.

Solution proposée : Contrôle Non Destructif (CND) des matériaux

Les résultats des CND alimentent la base de données de surveillance et permettent d'affiner les modèles prédictifs. Cette synergie entre surveillance continue et contrôles périodiques offre une vision complète de l'état de santé de l'équipement.

Techniques CND Proposées

- **Contrôle par ultrasons** : (fissures internes)
 - Détection de fissures internes dans les arbres et composants critiques.
 - Mesure d'épaisseur pour évaluer l'usure et la corrosion.
 - Fréquence : Semestrielle ou selon état de dégradation détecté.

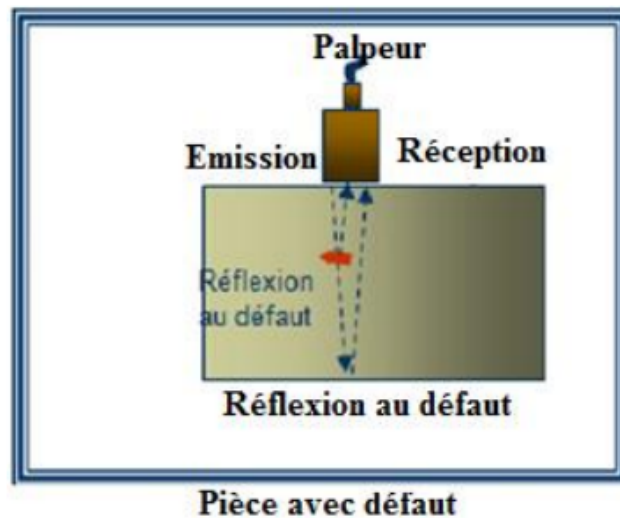


FIGURE 5.3 – Contrôle par ultrasons

- **Contrôle par ressuage** : (fissures superficielles)
 - Détection de fissures superficielles sur les surfaces usinées.
 - Application sur paliers, accouplements, et zones de concentration de contraintes.
 - Fréquence : Semestrielle ou lors d'interventions de maintenance.

5.2 Élaboration d'un plan de maintenance Conditionnelle basée sur la surveillance vibratoire pour le Compresseur Garo XK161

Face aux défaillances coûteuses du compresseur centrifuge à anneau liquide Garo XK161 et aux limites de l'approche de maintenance systémique actuellement pratiquée par l'entreprise Adwan Chemicals, il devient impératif de proposer une solution innovante et efficace. Bien que l'entreprise ait concentré ses efforts sur une maintenance systémique basée sur des interventions planifiées à intervalles réguliers, cette approche ne permet pas d'optimiser les interventions selon l'état réel de l'équipement.

La solution proposée consiste en l'implémentation d'un plan de maintenance conditionnelle (prédictive) intégré, permettant de surveiller en temps réel les paramètres critiques du compresseur et d'anticiper les défaillances avant qu'elles ne compromettent la continuité de production.

5.2.1 Principe de la maintenance conditionnelle proposée

Transition de la maintenance systémique vers la maintenance conditionnelle

La maintenance conditionnelle ou prédictive représente une évolution naturelle de la maintenance systémique. Alors que cette dernière se base sur des interventions programmées selon des échéances temporelles prédéfinies, la maintenance conditionnelle s'appuie sur l'état réel de l'équipement déterminé par la surveillance continue de paramètres critiques.

Cette approche permet d'optimiser les interventions en les réalisant au moment le plus opportun : ni trop tôt (gaspillage de ressources et intervention sur des composants encore en bon état), ni trop tard (risque de panne et maintenance curative coûteuse).

Architecture du système de surveillance proposé

Le plan de maintenance conditionnelle proposé s'articule autour d'un système de surveillance multi-paramètres intégrant :

- Un système de détection en temps réel.
- Un système d'alerte gradué.
- Un système de shutdown d'urgence.
- Interface de supervision.

5.2.2 Paramètres de surveillance

Limites des vibrations

a-vitesse de vibrations

Pour déterminer les valeurs limites de vitesse de vibration admissibles pour le compresseur GARO à anneau liquide, deux paramètres essentiels doivent être considérés : la méthode de montage (rigide ou flexible) et la puissance nominale de l'équipement. Dans le cas spécifique du compresseur étudié :

- **Montage rigide** : Ce choix est justifié par la nécessité de stabilité mécanique et de limitation des déplacements parasites, particulièrement critique pour ce type de compresseur volumétrique.
- **Puissance de 132 kW** : Cette caractéristique place le compresseur dans le **Groupe 2** selon la classification ISO 20816-3 pour les machines tournantes de moyenne puissance (de 15 kW à 300 kW).

Ces paramètres déterminent les seuils vibratoires admissibles pour un fonctionnement optimal.

Alors, valeurs limites des zones pour le compresseur (Groupe 2, montage rigide) : Pour ce

TABLE 5.3 – Valeurs limites des vibrations pour le compresseur GARO selon la norme ISO 20816-3

Zone	Vitesse (mm/s RMS)	Interprétation
A	0–1,12	Bon état
B	1,12–2,8	Acceptable
C	2,8–4,5	Surveillance requise
D	>4,5	Danger

compresseur spécifique (puissance 132 kW), selon la norme ISO 20816, il faut maintenir les vibrations en dessous de 2,8 mm/s RMS (limite B/C) pour un fonctionnement fiable à long terme.

b-Déplacement des vibration pic à pic en μm

Les limites du déplacement pic-à-pic selon la norme ISO 20816-3 sont données par :

$$\begin{aligned}\text{Limite A/B : } d_{p-p} &= \frac{4800}{\sqrt{n}} \\ \text{Limite B/C : } d_{p-p} &= \frac{9000}{\sqrt{n}} \\ \text{Limite C/D : } d_{p-p} &= \frac{13200}{\sqrt{n}}\end{aligned}$$

Étape : Calcul avec $n = 990 \text{ tr/min}$

$$\sqrt{990} \approx 31,464$$

Résultats :

$$\begin{aligned}\text{Zone A/B : } d_{p-p} &= \frac{4800}{31,464} \approx 152,54 \mu m \\ \text{Zone B/C : } d_{p-p} &= \frac{9000}{31,464} \approx 286,01 \mu m \\ \text{Zone C/D : } d_{p-p} &= \frac{13200}{31,464} \approx 419,48 \mu m\end{aligned}$$

TABLE 5.4 – Les limites du déplacement pic à pic (à 990 tr/min)

Zone	Déplacement (μm , p-p)	Interprétation
A	0 – 152,5	Bon état
B	152,5 – 286	Acceptable
C	286 – 419,5	Surveillance requise
D	> 419,5	Danger

selon la norme ISO 20816, il faut maintenir les vibrations en dessous de $286 \mu m$, p-p (limite B/C) pour un fonctionnement fiable à long terme.

Évaluation des limites des paramètres influençant les vibrations

Vitesse de rotation de l'arbre

La vitesse de rotation est un paramètre critique car elle détermine la fréquence d'excitation des vibrations. Lorsque la vitesse de rotation coïncide avec une fréquence naturelle du système (résonance), les amplitudes vibratoires peuvent augmenter considérablement, entraînant des dommages. Le dépassement de la vitesse nominale (990 tr/min) génère des forces centrifuges excessives qui provoquent des vibrations importantes, une usure accélérée des roulements et paliers, et des contraintes mécaniques dangereuses sur les pièces rotatives. Ces sollicitations peuvent conduire à la fatigue des matériaux et au risque de rupture catastrophique des éléments en rotation.

Calcul des limites de vitesse de rotation

Données :

— Moteur asynchrone triphasé

- Nombre de pôles : $p = 6$
- Fréquence : $f = 50 \pm 2 \% \Rightarrow f \in [49, 51] \text{ Hz}$
- Glissement : $s = 1 \% = 0,01$

Formules utilisées :

$$\begin{aligned} \text{Vitesse synchrone} \quad N_s &= \frac{120 \cdot f}{p} \\ \text{Vitesse réelle du rotor} \quad N_r &= N_s \cdot (1 - s) \end{aligned}$$

Calculs :

- Pour $f = 49 \text{ Hz}$:

$$N_s = \frac{120 \cdot 49}{6} = 980 \text{ tr/min} \Rightarrow N_r = 980 \cdot (1 - 0,01) = 970,2 \text{ tr/min}$$

- Pour $f = 50 \text{ Hz}$:

$$N_s = \frac{120 \cdot 50}{6} = 1000 \text{ tr/min} \Rightarrow N_r = 1000 \cdot (1 - 0,01) = 990 \text{ tr/min}$$

- Pour $f = 51 \text{ Hz}$:

$$N_s = \frac{120 \cdot 51}{6} = 1020 \text{ tr/min} \Rightarrow N_r = 1020 \cdot (1 - 0,01) = 1009,8 \text{ tr/min}$$

En tenant compte d'un glissement de 1 %, la vitesse réelle du rotor varie dans l'intervalle :

$$970,2 \text{ tr/min} \leq N_r \leq 1009,8 \text{ tr/min}$$

le dépassement de vitesse nominale peut provoquer une augmentation des forces centrifuges, entraînant des efforts mécaniques accrus sur les paliers, les accouplements et l'arbre lui-même. À l'inverse, une vitesse inférieure à la nominale peut générer des phénomènes vibratoires indésirables, dus à un déséquilibre entre le couple moteur et la charge entraînée par le débit de chlore.

Une variation de cette vitesse peut altérer le profil de compression, entraînant soit une sous-compression (risque de perte de performance), soit une surcompression (risque de surchauffe, surpression ou instabilité du système)

Déséquilibre de masse du rotor : balourd admissible [11]

Dans la norme DIN ISO 1940-1 (anciennement VDI-directive 2060) sont définies les bases sur la mesure du déséquilibre et l'équilibrage. La précision d'un équilibrage est déterminée par la classe de qualité d'équilibrage G (anciennement : Q).

La qualité d'équilibrage ne compte toujours que pour une vitesse d'utilisation donnée du rotor.

Le déséquilibre résiduel admissible est calculé par le nombre de tours d'utilisation (régime), le poids du rotor et la qualité d'équilibrage.

$$U_{adm} = \frac{G \times M}{n} \times 9549$$

- U_{adm} = Déséquilibre admissible du rotor en g·mm/kg (excentricité admissible)

- G = Qualité d'équilibrage (en mm/s)
- M = Masse du rotor en kg
- n = Vitesse de rotation en tr/s
- 9549 = Coefficient de conversion (pour cohérence avec les unités)

D'après cette formule, l'augmentation de vitesse de rotation va diminuer le déséquilibre admissible, alors il est essentiel de garder la vitesse nominale de rotation.

On peut aussi utiliser le graphe de la norme ISO 1940 pour déterminer le déséquilibre admissible.

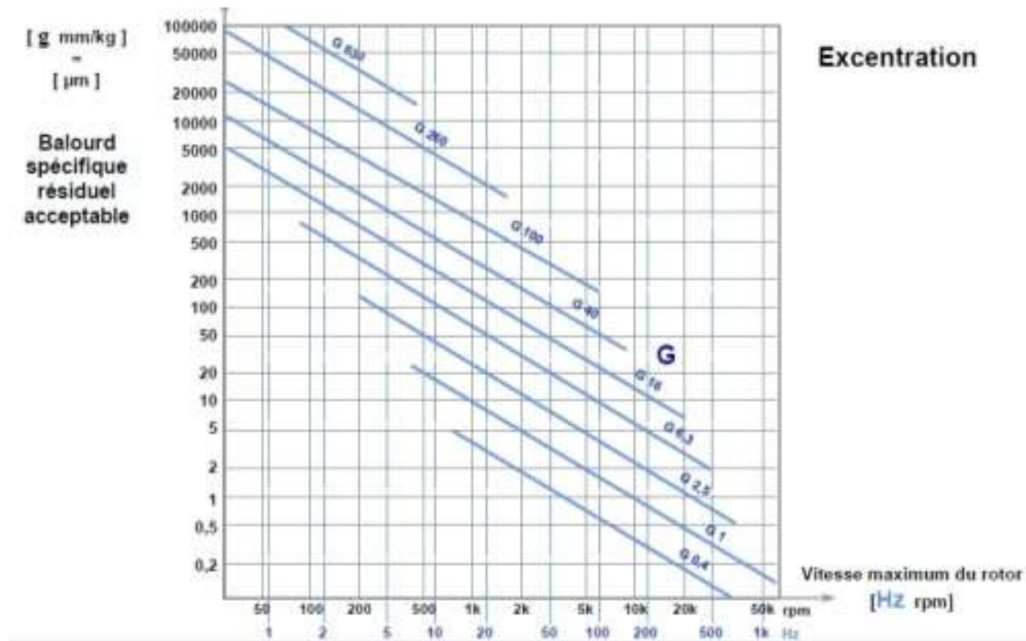


FIGURE 5.4 – Balourd spécifique résiduel admissible correspondant au degré de qualité d'équilibrage G et à la vitesse nominale n [11]

Pour le compresseur **Garo XK-161** :

- $G = 2,5$ mm/s (selon la norme)
- Vitesse nominale du rotor = 990 tr/min (16,5 Hz)

D'après le graphe, le déséquilibre admissible est :

$$U_{adm} = 30 \text{ g} \cdot \text{mm}$$

le dépassement de cette valeur à une vitesse de 990 tr/mn peut entraîner des dommages sur l'arbre de rotation

Niveau d'alignement

L'alignement correct des accouplements de transmission permet au compresseur de fonctionner avec un niveau minimal de vibrations et assure une durée de vie maximale des roulements.

- **Alignement Radial (TIR - Total Indicator Reading)** :
 - Valeur admissible : ± 0.3 mm
 - Signification : Le désalignement radial maximal autorisé entre les arbres du compresseur et du moteur ne doit pas dépasser 0.3 mm en écart positif ou négatif.
 - Mesuré au niveau du diamètre du moyeu (point critique pour la transmission de puissance).

- Un dépassement causerait des vibrations excessives et une usure prématurée des roulements.
- **Alignement Angulaire :**
 - Tolérance admissible : 45 minutes d'arc (45')
 - Conversion : $1^\circ = 60'$, donc $45' = 0.75^\circ$.
 - Impact : Un désalignement angulaire supérieur à 0.75° générerait des contraintes mécaniques asymétriques sur l'accouplement et les joints d'étanchéité.

Distance entre les extrémités de l'arbre (DBSE)

- :
- Valeur nominale : 5 mm
- Tolérance admissible : $+0.75 \text{ mm} / -0 \text{ mm}$
- La distance entre extrémités d'arbres peut varier de 5 mm à 5.75 mm max, mais jamais en dessous de 5 mm.
- Un écart réduirait la marge de sécurité pour l'expansion thermique.

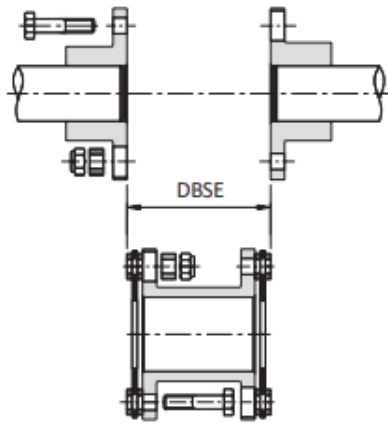


FIGURE 5.5 – Distance entre les extrémités de l'arbre (DBSE)

Excentricité

- **Tolérance admissible** : $\pm 0.10 \text{ mm}$
- **Importance** :
 - Garantit que les centres de rotation des arbres sont coaxiaux avec une précision de 0.1 mm max
 - Critique pour éviter les déséquilibres dynamiques

5.2.3 Systèmes de surveillance

Système de détection en temps réel

- **Architecture** : Réseau de capteurs intelligents connectés à une unité centrale de traitement.
- **Fréquence d'acquisition** : Variable selon le paramètre (de 1 Hz à 50 kHz pour l'analyse vibratoire).
- **Traitement** : Analyse en temps réel avec algorithmes de détection de tendances et de seuils.

TABLE 5.5 – Tableau de surveillance des paramètres mécaniques

Paramètre	Valeur admissible	Limites critiques	Appareil de surveillance	Action corrective
Vitesse de rotation	Vitesse nominale 990 tr/min	$\pm 2\%$ de variation	DMS-360 - Capteur de vitesse sans contact	Vérifier l'alimentation moteur et les charges mécaniques
Alignement radial	± 0.3 mm max	> 0.4 mm	Détecteur d'alignement laser	Réalignement immédiat
Alignement angulaire	≤ 45 minutes d'arc	> 60 minutes d'arc	Détecteur d'alignement laser	Réalignement immédiat
Distance DBSE	5 mm à 5.75 mm	> 5.75 mm ou < 5 mm	Détecteur d'alignement laser	Arrêt et inspection mécanique
Excentricité	± 0.10 mm max	> 0.15 mm	Détecteur d'alignement laser	Équilibrage dynamique requis
Déséquilibre de masse	< 30 g mm	≥ 30 g mm	Capteurs MEMS	Équilibrage de l'arbre de rotation
Vibrations	≤ 2.8 mm/s RMS	> 4.5 mm/s RMS	Vibromètre laser Doppler (sans contact)	Arrêt et inspection mécanique

Système d'alerte gradué

— Niveau 1 - Alerte préventive :

- Déclenchement : Dépassement des valeurs admissibles.
- Action : Notification au service maintenance pour planification d'intervention.

— Niveau 2 - Alerte d'urgence :

- Déclenchement : Dépassement des limites.
- Action : Intervention immédiate requise, préparation d'arrêt programmé.

— Niveau 3 - Shutdown d'urgence :

- Déclenchement : Dépassement des seuils critiques ou évolution rapide des paramètres.
- Action : Arrêt automatique du compresseur pour éviter les dommages catastrophiques.

Interface de supervision

- **Tableau de bord centralisé** : Visualisation en temps réel de tous les paramètres surveillés.
- **Historisation** : Stockage des données pour analyse de tendances et diagnostic approfondi.
- **Rapports automatiques** : Génération de rapports périodiques d'état de santé de l'équipement.

5.3 Bénéfices attendus de la solution

5.3.1 Réduction de la maintenance curative

La maintenance conditionnelle basée sur la surveillance des paramètres de fonctionnement permet une réduction significative des interventions curatives , La détection précoce des ano-

malies s'appuie sur l'analyse continue des données de vibration, désalignement, vitesse de rotation, déséquilibre et autres indicateurs critiques. Cette approche permet d'identifier les dérives de performance avant qu'elles n'évoluent vers des défaillances majeures. Les systèmes de surveillance en temps réel génèrent des alertes automatiques dès que les paramètres franchissent les seuils prédéfinis, permettant ainsi aux équipes de maintenance d'intervenir de manière ciblée. Cette anticipation transforme les pannes catastrophiques coûteuses en interventions planifiées et maîtrisées.

5.3.2 Amélioration de la disponibilité

La maintenance prédictive et conditionnelle maximise la disponibilité tout en réduisant les coûts et les temps d'arrêt. Elle joue un rôle clé en permettant de :

- **Réduction des arrêts imprévus**

La surveillance en temps réel des paramètres critiques (vibrations, vitesse de rotation, désalignement, etc.) permet de détecter les anomalies avant qu'elles ne provoquent des pannes. Les alertes automatiques facilitent des interventions rapides, évitant ainsi des interruptions coûteuses de la production.

- **Augmentation du temps de bon fonctionnement (MTBF)**

Le remplacement des réparations d'urgence par des actions préventives réduit la fréquence des pannes majeures. L'analyse des données historiques aide à ajuster les seuils d'alerte et à optimiser les intervalles de maintenance, prolongeant ainsi la durée de bon fonctionnement des machines.

- **Meilleure planification des arrêts maintenance**

Les interventions peuvent être programmées pendant les périodes de faible activité, minimisant l'impact sur la production. Une préparation optimale (pièces disponibles, équipes prêtes) réduit les temps d'immobilisation et améliore l'efficacité des opérations.

- **Amélioration de la fiabilité globale**

La détection précoce des anomalies évite l'aggravation des défauts, prolongeant ainsi la durée de vie des équipements. Une maintenance mieux ciblée élimine les risques de sur-maintenance ou de négligence, garantissant un fonctionnement stable et durable.

5.3.3 Optimisation économique

L'implémentation du plan de maintenance prédictive nécessite un investissement initial de **1 101 378,26 DA** (soit 8 519,59 USD) réparti comme suit :

TABLE 5.6 – Coût des équipements de maintenance prédictive

Équipement	Prix minimum (USD)
Régulateur tension 380V (PNI SVT-10K)	687,99 USD
Capteur vibration (PCE-VDL 16I)	359,74 USD
Alignement laser (Easy-Laser XT770)	5 500,00 USD
Déséquilibre de masse (Vibromera Balanset-1)	1 725,41 USD
Capteur vitesse (Honeywell 722543)	12,56 USD (par unité)
Capteur ultrason (Microsonic mic+340/D/TC)	233,89 USD
Total	8 519,59 USD
Conversion en Dinar Algérien	1 101 378,26 DA

Retour sur investissement

Données de Base (sur 8 ans)

- Coût total actuel des pannes : **10 914 123,54 DA**
- Part attribuable aux vibrations : **6 821 386,59 DA** (62,5%)
- Coût résiduel après élimination : **4 092 736,95 DA**
- Coût d'investissement : **1 101 378,26 DA** (une fois)
- Réduction annuelle des pannes :

$$\frac{6\,821\,386,59 \text{ DA}}{8 \text{ ans}} = \mathbf{852\,673 \text{ DA/an}}$$

Si le plan de maintenance proposé arrive à éliminer **tous les pannes liées aux vibrations** :

- On peut avoir une économie annuelle de **852 673 DA 15 mois**

Cas 1 : Élimination totale des pannes vibratoires

- Investissement initial : **1 101 378,26 DA** (équipements seulement)
- Économies annuelles : **852 673 DA/an**

Calcul du retour sur investissement :

$$\text{ROI} = \frac{1\,101\,378,26 \text{ DA}}{852\,673 \text{ DA/an}} = \mathbf{1,29 \text{ ans}} \text{ (soit 15 mois et 15 jours)}$$

- Le retour sur investissement se fait en seulement **15 mois et 15 jours**

Cas 2 : Élimination de 50% des pannes D'après l'analyse AMDEC et AdD :

- Le désalignement, le déséquilibre de masse et les vibrations sont les causes probables de la majorité des pannes sur le compresseur

Si on arrive à éliminer **juste la moitié des pannes liées aux vibrations** :

- On peut avoir une économie annuelle de **426 337 DA/an**
- Le retour sur investissement se fait en **31 mois** (une durée plus longue mais acceptable)
- Investissement initial : **1 101 378 DA**
- Économies annuelles :

$$\frac{6\,821\,386 \text{ DA} \times 50\%}{8 \text{ ans}} = \mathbf{426\,337 \text{ DA/an}}$$

Calcul du retour sur investissement :

$$\text{ROI} = \frac{1\,101\,378 \text{ DA}}{426\,337 \text{ DA/an}} = \mathbf{2,58 \text{ ans}} \text{ (soit 31 mois)}$$

Malgré la négligence des pertes de production dues aux arrêts de production, cette analyse démontre que le plan de maintenance proposé offre une solution économiquement viable, avec des bénéfices tangibles pour l'entreprise.

Conclusion

Les solutions développées dans ce chapitre apportent des améliorations significatives à la performance et à la durabilité du compresseur. Le remplacement de l'arbre par un matériau en Inconel 718 offre une résistance mécanique et thermique supérieure, éliminant les risques de rupture. La régulation électrique par AVR stabilise la vitesse de rotation et prévient les surcharges, tandis que l'équilibrage dynamique et les contrôles non destructifs (ultrasons, ressuage) permettent de détecter et corriger les défauts avant qu'ils ne deviennent critiques. Le système de maintenance conditionnelle, intégrant une surveillance en temps réel des vibrations ,et des paramètres qui génèrent les vibrations , optimise les interventions et réduit les pannes imprévues. Ces mesures combinées assurent une meilleure disponibilité de l'équipement, une prolongation de sa durée de vie et une réduction des coûts de maintenance, alignant ainsi les pratiques sur les standards industriels les plus exigeants.

Conclusion générale

Ce projet de fin d'études, mené au sein de l'entreprise ADWAN CHEMICALS COMPANY, avait pour objectif principal de résoudre la problématique critique des défaillances répétées des compresseurs centrifuges à anneau liquide GARO XK-161A et XK-161B, et plus largement d'optimiser la stratégie de maintenance des machines tournantes dans un environnement industriel chimique exigeant. L'analyse approfondie menée tout au long de ce travail a permis d'identifier et de quantifier l'impact majeur des phénomènes vibratoires sur la performance opérationnelle des équipements étudiés. Les données collectées révèlent une réalité préoccupante : bien que les interventions curatives ne représentent que 36,1 % du nombre total d'interventions, elles absorbent 96,9 % du budget de maintenance. Plus alarmant encore, les seuls défauts liés aux vibrations génèrent 62,5 % des coûts curatifs, soit plus de 6,8 millions de dinars algériens.

L'étude de fiabilité, maintenabilité et disponibilité (FMD) a démontré scientifiquement que la maîtrise des vibrations permet d'améliorer significativement le MTBF, passant de 45 à 70 jours pour le compresseur XK-161A et de 60 à 111 jours pour le XK-161B. Cette amélioration substantielle confirme que les vibrations constituent le facteur critique limitant la performance de ces équipements.

Sur le plan technique, ce projet a permis de développer une approche méthodologique rigoureuse combinant plusieurs outils d'analyse : l'étude historique des pannes, l'analyse des modes de défaillance et de leurs effets critiques (AMDEC), l'arbre de défaillance (AdD), et l'application des normes ISO 20816-3 pour l'évaluation vibratoire. Cette démarche multidisciplinaire a abouti à l'identification précise des modes de défaillance critiques et à la proposition de solutions techniques adaptées.

Les solutions préconisées, notamment le remplacement de l'arbre par un matériau en Inconel 718, l'implémentation d'un système de régulation électrique AVR, et la mise en place de contrôles non destructifs, répondent directement aux défaillances identifiées tout en s'inscrivant dans une logique de maintenance prédictive.

L'implémentation du système de maintenance conditionnelle basé sur la surveillance vibratoire en temps réel représente un changement paradigmatique majeur pour ADWAN CHEMICALS. Cette évolution d'une approche curative vers une stratégie prédictive permettra non seulement de réduire drastiquement les coûts de maintenance, mais aussi d'améliorer la disponibilité des équipements et

de prolonger leur durée de vie utile.

La méthodologie développée présente l'avantage d'être reproductible sur l'ensemble du parc de machines tournantes de l'entreprise, offrant ainsi un potentiel d'amélioration à l'échelle de toute l'installation industrielle.

Ce travail ouvre plusieurs perspectives d'amélioration continue. L'extension de la surveillance vibratoire à d'autres équipements critiques permettra de capitaliser sur les acquis méthodologiques. En définitive, ce projet de fin d'études a démontré qu'une approche scientifique rigoureuse de l'analyse des défaillances, combinée à une stratégie de maintenance conditionnelle basée sur la surveillance vibratoire, permet d'obtenir des gains substantiels tant sur les plans technique qu'économique. Les résultats obtenus confirment l'hypothèse de départ selon laquelle la maîtrise des phénomènes vibratoires constitue la clé d'amélioration de la fiabilité des machines tournantes.

Au-delà des bénéfices immédiats pour ADWAN CHEMICALS, ce travail contribue à l'enrichissement des connaissances en maintenance industrielle dans le contexte spécifique de l'industrie chimique algérienne, et propose une méthodologie transposable à d'autres secteurs industriels confrontés à des problématiques similaires de fiabilité des équipements rotatifs.

Bibliographie

- [1] Garo. (2015). *Operation manual : Garo ASM850F chlorine compressor* (Réf. 09523–AK-KIM/ADWAN CHEMICAL ALGERIA 08-23-15). [Manuel technique].
- [2] Scheffer, C., & Girdhar, P. (2004). *Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance*. Elsevier.
- [3] Girdhar, P., & Girdhar, P. (2012). *Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance* (2nd ed.). Elsevier.
- [4] Bently, D. E., & Hatch, C. T. (2002). *Fundamentals of Rotating Machinery Diagnostics*. Bently Pressurized Bearing Company.
- [5] International Organization for Standardization. (2020). *ISO 20816-3 :2020 - Mechanical vibration — Measurement and evaluation of machine vibration — Part 3 : Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15 000 r/min when measured in situ*.
- [6] Randall, R. B. (2011). *Vibration-based Condition Monitoring : Industrial, Aerospace and Automotive Applications*. Wiley.
- [7] Sinha, J. K. (Ed.). (2014). *Vibration Problems in Machines : Diagnosis and Resolution*. Springer.
- [8] Pillay, P. (2001). *Electromagnetic Analysis and Condition Monitoring of Electric Machines*. IEEE Press.
- [9] Karassik, I. J. (2008). Pump cavitation : Phenomena, causes, effects and prevention. *Hydraulic Institute Standards*, 17, 41–58.
- [10] Mitchell, J. S. (2007). *Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance* (2nd ed.). Elsevier.
- [11] Jackadit. (2024). *Introduction au concept FMD*. Récupéré de <https://jackadit.com/index.php?p=indus3>
- [12] Miracle, D. B., Donaldson, S. L., Henry, S. D., Moosbrugger, C., Anton, G. J., Sanders, B. R., ... & Scott Jr, W. W. (2001). *ASM Handbook* (Vol. 21, pp. 107–119). Materials Park, OH : ASM International.
- [13] International Organization for Standardization. (2003). *ISO 1940-1 : Mechanical vibration — Balance quality requirements for rotors in a constant (rigid) state — Part 1 : Specification and verification of balance tolerances*.
- [14] Mohammad, K. A., Ali, A., Sahari, B. B., & Abdullah, S. (2012, September). Fatigue behavior of austenitic type 316L stainless steel. In *IOP conference series : materials science and engineering* (Vol. 36, No. 1, p. 012012). IOP Publishing.
- [15] Yadollahi, A., Mahtabi, M. J., Doude, H. R., & Newman Jr, J. C. (2017). Prediction of fatigue lives in additively manufactured alloys based on the crack-growth concept.

Annexe

		ANNEXE 01	Historique de la maintenance du compresseur Garo xk-161								
	N° d'OT	Équipement	Intervention	Description de l'intervention	Type d'intervention	Classe d'intervention	Heures réalisées	Coût total	N° de DI	Zone	Date de fin
1	58558	XK-161B	CURA055530	Voir demarrage de compresseur GARO	PREV	ELEC	1	407,56	DI00041060	CHL	2025-01-26 22:00:00.0
2	57817	XK-161A	CURA054847	Préventive	PREV	MECA	4	1630,48		CHL	2025-01-03 12:32:00.0
3	57165	XK-161B	CURA054242	Préventive	PREV	ELEC	2,5	1018,9		CHL	2024-10-15 21:30:00.0
4	56984	XK-161B	CURA054075	Préventive	PREV	MECA	4	1630,24		CHL	2024-10-06 03:09:00.0
5	56417	XK-161B	CURA053540	Ouverture et fermeture pour déblocage de clapet anti retour de compresseur GARO	CURA	MECA	2	535,26	DI00039610	CHL	2024-08-24 18:00:00.0
6	55454	XK-161A	CURA052648	Préventive	PREV	MECA	4	1716,06		CHL	2024-06-30 20:09:00.0
7	55343	XK-161A	CURA052547	Preventive	PREV	ELEC	5	2037,8		CHL	2024-07-25 23:30:00.0
8	54734	XK-161B	CURA051969	Fuite H2SO4 XK-161B	PREV	MECA	3	807,63		CHL	2024-05-06
9	54622	XK-161B	CURA051864	Fuite H2SO4 XK-161B	PREV	MECA	4,5	1694,09	DI00038341	CHL	2024-05-05 12:30:00.0
10	54564	XK-161B	CURA051811	Verification l emperriage XK-161B	CURA	ELEC	2	815,12	DI00038327	CHL	2024-04-25 12:30:00.0
11	54421	XK-161B	CURA051668	VOIR LE XK-161B	PREV	ELEC	4	1630,24	DI00038211	CHL	2024-04-19 17:00:00.0
12	54273	XK-161B	CURA051529	Préventive	PREV	MECA	5	2123,62		CHL	2024-04-25 15:12:00.0
13	54192	XK-161B	CURA051458	Réparation chemin de câble et arrangement les cable (garo)	CURA	INST	3	1213,83	DI00038034	CHL	2024-04-04 12:00:00.0
14	54180	XK-161A	CURA051446	Reparation chemin de cable	PREV	CHAUD	3	1181,88		CHL	2024-04-04 14:42:00.0
15	54179	XK-161A	CURA051443	Reparation chemin de cable	PREV	ELEC	8	3260,48		CHL	2024-04-04 17:00:00.0
16	54124	XK-161B	CURA051391	Préventive	PREV	ELEC	4	1630,24		CHL	2024-04-21
17	54091	XK-161B	CURA051363	Fuite d'huile et acide sulfurique au niveau de XK-161B	PREV	MECA	59,5	26581,36		CHL	2024-04-04 14:40:00.0
18	54017	XK-161B	CURA051290	Fuite d'huile et acide sulfurique au niveau de XK-161B	PREV	MECA	20	5659,05	DI00037955	CHL	2024-03-31 02:00:00.0
19	53962	XK-161B	CURA051237	Appoint d'huile XK-161B	PREV	MECA	1	269,21	DI00037871	CHL	2024-03-21 21:00:00.0
20	53088	XK-161B	CURA050433	Appoint d'huile XK-161B	PREV	MECA	2	535,26	DI00037247	CHL	2024-01-24 17:00:00.0
21	52620	XK-161B	CURA049996	Reset de compresseur GARO XK-161B	PREV	ELEC	1	407,56	DI00036954	CHL	2023-12-23 21:00:00.0
22	52531	XK-161B	CURA049920	Appoint d'huile au niveau de compresseur GARO XK-161B	PREV	CHAUD	1	407,56	DI00036888	CHL	2023-11-18 14:00:00.0
23	52403	XK-161A	CURA049800	Préventive	PREV	MECA	5	2165,34		CHL	2024-01-10 12:33:00.0
24	52386	XK-161B	CURA049783	Appoint d'huile au niveau de compresseur GARO XK-161B	PREV	MECA	1	267,63	DI00036809	CHL	2023-12-08 20:00:00.0
25	52383	XK-161B	CURA049780	Appoint d'huile au niveau de compresseur GARO XK-161B	PREV	MECA	1	269,21	DI00036806	CHL	2023-12-08 10:00:00.0
26	52291	XK-161A	CURA049695	Préventive	PREV	ELEC	1	407,56		CHL	2023-12-09 20:00:00.0
27	51873	XK-161B	CURA049298	Appoint d'huile XK-161B	CURA	MECA	1	407,62	DI00036445	CHL	2023-11-08 16:00:00.0
28	51845	XK-161A	CURA049270	Démontage et remontage de compresseur XK-161A pour changement de l'axe	PREV	MECA	14,5	5563,745		CHL	2023-11-07 12:30:00.0
29	51441	XK-161B	CURA048885	Appoint d'huile XK-161B	PREV	MECA	0	0	DI00036110	CHL	2023-10-11 08:05:53.0
30	51407	XK-161B	CURA048851	Veuillez faire l'appoint d'huile pour XK-161B	PREV	MECA	0	0	DI00036077	CHL	2023-10-10 08:15:54.0
31	51291	XK-161B	CURA048735	Mainetnance preventive	PREV	ELEC	5	2037,8		CHL	2023-12-04 04:00:00.0
32	51189	XK-161B	CURA048654	Préventive	PREV	MECA	7	3024,56		CHL	2023-10-11 02:29:00.0
33	50862	XK-161B	CURA048338	Appoint d'huile pour compresseur GARO	PREV	MECA	1	407,56	DI00035718	CHL	2023-09-10 07:00:00.0
34	50513	XK-161B	CURA047992	Appoint d'huile compresseur GARO XK-161B	PREV	MECA	4	1076,84	DI00035485	CHL	2023-08-20 23:16:00.0
35	50364	XK-161B	CURA047839	Addition d'huile dans xk-161B	PREV	MECA	3	807,63	DI00035377	CHL	2023-08-12
36	50124	XK-161B	CURA047638	Appoint d'huile dans XK-161B	PREV	MECA	1	269,21	DI00035258	CHL	2023-07-28 19:30:00.0
37	49820	XK-161B	CURA047356	Appoint d'huile au niveau de compresseur GARO K-161B	PREV	MECA	1	269,21	DI00035010	CHL	2023-07-10 14:00:00.0
38	49588	XK-161B	CURA047132	Verification d'huile de comprésseur garo	PREV	MECA	2,25	872,985	DI00034889	CHL	2023-06-28 11:00:00.0
39	49542	XK-161B	CURA047090	Appoint d'huile au niveau de compresseur GARO XK-161B	PREV	MECA	4	1716,18	DI00034862	CHL	2023-06-26 10:33:00.0
40	49471	XK-161A	CURA047019	Maintenance préventive	PREV	MECA	4	1630,48		CHL	2023-07-09 12:18:00.0
41	49038	XK-161B	CURA046605	Ajout d'huile pour le compresseur XK-161B	PREV	MECA	1,5	545,19	DI00034493	CHL	2023-06-04 17:30:00.0
42	48999	XK-161A	CURA046566	Préventive	PREV	ELEC	2	815,12		CHL	2023-07-06
43	48874	XK-161B	CURA046447	Appoint d'huile pour le compresseur XK-161B	PREV	MECA	1	363,46	DI00034380	CHL	2023-05-29
44	48855	XK-161B	CURA046431	Appoint d'huile au niveau de XK-161B	PREV	MECA	1	407,56	DI00034365	CHL	2023-05-28 16:00:00.0
45	48392	XK-161B	CURA045985	XK-161B besoin d'huile	PREV	MECA	1	407,56	DI00033995	CHL	2023-06-19 23:00:00.0
46	48210	XK-161B	CURA045821	APOIT D HUILE POUR COMPRESSEUR GARO XK-161B	PREV	MECA	1,5	403,815	DI00033871	CHL	2023-04-15 20:00:00.0
47	48191	XK-161B	CURA045805	Appoint d'huile compresseur GARO XK-161B	PREV	MECA	1,5	403,815	DI00033855	CHL	2023-04-20 09:00:00.0
48	48151	XK-161B	CURA045765	Préventive	PREV	ELEC	2	815,12		CHL	2023-04-17 23:00:00.0
49	48149	XK-161B	CURA045763	XK-161B besoin d'huile	CURA	MECA	2	535,26	DI00033831	CHL	2023-04-11 16:24:00.0
50	48093	XK-161B	CURA045711	Préventive	PREV	MECA	2	858,09		CHL	2023-05-03 11:58:00.0
51	47705	XK-161B	CURA045343	Appoint d'huile compresseur GARO XK-161B	PREV	MECA	1,5	403,815	DI00033503	CHL	2023-03-20 08:00:00.0
52	47703	XK-161B	CURA045341	Appoint d'huile pour XK-161B	PREV	MECA	1	267,63	DI00033493	CHL	2023-03-20 02:00:00.0
53	47648	XK-161B	CURA045286	Appoint d'huile pour XK-161B	PREV	MECA	3	805,26	DI00033464	CHL	2023-03-19 08:00:00.0
54	47562	XK-161A	CURA045208	Démontage et remontage de compresseur XK-161A pour changement de l'axe	PREV	MECA	12,5	4896,05		CHL	2023-10-24 15:31:00.0
55	47389	XK-161B	CURA045044	Veillez faire un appoint d'huile pour compresseur garo	CURA	MECA	1,5	545,19	DI00033272	CHL	2023-03-02 20:00:00.0
56	47388	XK-161B	CURA045043	Voir le reset du XK-161B	CURA	ELEC	0	0	DI00033245	CHL	2023-03-02 14:38:13.0
57	47346	XK-161B	CURA045001	Appoint d'huile XK-161B	PREV	MECA	1,5	401,445	DI00033250	CHL	2023-03-01 08:00:00.0
58	47271	XK-161B	CURA044932	Appoint d'huile XK-161B	PREV	MECA	1,5	611,34	DI00033207	CHL	2023-02-25
59	47270	XK-161B	CURA044931	Appoint d'huile XK-161B	PREV	MECA	1,5	611,34	DI00033206	CHL	2023-02-23 23:30:00.0
60	47130	XK-161B	CURA044799	Appoint d'huile pour XK-161B	PREV	MECA	1	407,56	DI00033070	CHL	2023-03-08
61	47100	XK-161B	CURA044769	Appoint d'huile au niveau de compresseur GARO XK-161B	PREV	MECA	1,5	403,815	DI00033047	CHL	2023-02-15 17:30:00.0
62	46771	XK-161B	CURA044452	Addition l'huile dans XK-161B	PREV	MECA	2,5	908,65	DI00032860	CHL	2023-01-29 21:00:00.0
63	46766	XK-161B	CURA044447	Appoint d'huile XK-161B	PREV	MECA	1	407,56	DI00032855	CHL	2023-01-29 15:30:00.0
64	46742	XK-161B	CURA044423	Fuite dans le bride de filtre entree chlore vers XK-161B	CURA	MECA	5,5	1999,03	DI00032830	CHL	2023-01-29
65	46738	XK-161B	CURA044419	Appoint d'huile XK-161B	PREV	MECA	1	943,27	DI00032826	CHL	2023-01-18 17:00:00.0
66	46623	XK-161B	CURA044311	Appoint d'huile dans XK-161B	PREV	MECA	1,5	611,34	DI00032741	CHL	2023-01-21 15:30:00.0
67	46620	XK-161B	CURA044308	Appoint d'huile au niveau de XK-161B	PREV	MECA	1,5	611,34	DI00032738	CHL	2023-01-20 10:30:00.0
68	46601	XK-161B	CURA044289	Appoint d'huile dans XK-161B	PREV	MECA	1	407,62	DI00032729	CHL	2023-01-19 10:28:00.0
69	46562	XK-161B	CURA044252	Apoint d'huile pour compresseur GARO XK-161B	PREV	MECA	2,5	1018,9	DI00032689	CHL	2023-01-17 16:30:00.0
70	46425	XK-161B	CURA044136	A poit dhuile pour compresseur GARO XK-161B	PREV	MECA	13,5	6052,23	DI00032587	CHL	2023-01-09 13:00:00.0
71	46395	XK-161B	CURA044108	Addition l'huile dans XK-161B	PREV	MECA	1,5	611,34	DI00032561	CHL	2023-01-07 20:30:00.0

72	46385	XK-161B	CURA044098	Bruit au niveau de XK-161B	PREV	ELEC	8	3260,48	DI00032551	CHL	2023-01-05 12:00:00.0
73	46363	XK-161B	CURA044076	Appoint d'huile de XK-161B	PREV	MECA	2	815,12	DI00032539	CHL	2023-01-04 10:00:00.0
74	46118	XK-161B	CURA043834	Appoint d'huile pour compresseur XK-161B	PREV	MECA	2	815,12	DI00032346	CHL	2022-12-19 05:30:00.0
75	45996	XK-161A	CURA043726	Préventive	PREV	MECA	6	2574,27		CHL	2023-01-19 16:00:00.0
76	45962	XK-161B	CURA043692	Appoint d 'huile de XK-161B	PREV	MECA	2,5	1414,68	DI00032250	CHL	2022-12-13 17:30:00.0
77	45924	XK-161A	CURA043654	Preventive (démontage l'accouplement et verification l'etat de moteur)	PREV	ELEC	0	0		CHL	2022-12-11 09:40:20.0
78	45883	XK-161B	CURA043620	Appoint d'huile au niveau de compresseur GARO XK-161B	PREV	MECA	1	267,63	DI00032216	CHL	2022-12-08 05:30:00.0
79	45869	XK-161B	CURA043608	Appoint d'huile pour XK-161B	PREV	MECA	1	407,56	DI00032207	CHL	2022-12-07 10:00:00.0
80	45784	XK-161A	CURA043523	Mise en place joint plient dans la vanne drainage XK-161A	PREV	MECA	4	1632,22	DI00032141	CHL	2022-12-03 17:30:00.0
81	45718	XK-161B	CURA043463	Appoint d'huile au niveau de compresseur GARO XK-161B	PREV	MECA	1	267,63	DI00032091	CHL	2022-11-30 00:30:00.0
82	45348	XK-161B	CURA043111	Reset de compresseur GARO XK-161B	CURA		0	0	DI00031660	CHL	
83	45113	XK-161B	CURA042889	Appoint d'huile de XK-161B	PREV	MECA	3,5	936,705	DI00031661	CHL	2022-10-26 07:30:00.0
84	45038	XK-161B	CURA042814	Fuite sur la bride de sortie de la ligne de recyclage de XK-161 B	CURA	MECA	3	1406,274081	DI00031610	CHL	2022-10-23 09:00:00.0
85	44999	XK-161A	CURA042775	Démontage et nettoyage de streaner de XD-4161	PREV	MECA	4	1070,52	DI00031562	CHL	2022-10-19 16:30:00.0
86	44975	XK-161B	CURA042751	Appoint d'huile de compresseur XK-161B	PREV	MECA	1,5	611,34	DI00031545	CHL	2022-10-18 19:00:00.0
87	44934	XK-161B	CURA042725	Appoint d'huile de compresseur GARO XK-161B	PREV	MECA	2	815,24	DI00031527	CHL	2022-10-17 11:00:00.0
88	44920	XK-161B	CURA042711	Appoint d'huile sur compresseur XK-161B	PREV	MECA	2	815,12	DI00031487	CHL	2022-10-26 07:30:00.0
89	44886	XK-161B	CURA042677	Appoint d'huile au niveau de XK-161B	PREV	MECA	1,5	611,34	DI00031467	CHL	2022-10-14 19:00:00.0
90	44782	XK-161B	CURA042576	Fuite d'huile au niveau de XK-161B	CURA	MECA	2	815,24	DI00031395	CHL	2024-04-22 10:44:00.0
91	44774	XK-161B	CURA042568	Veuillez faire un appoint d'huile au niveau de XK-161B	PREV	MECA	2	815,12	DI00031396	CHL	2022-10-09 07:30:00.0
92	44740	XK-161B	CURA042534	Preventive	PREV	ELEC	0	0		CHL	
93	44713	XK-161B	CURA042512	Veuillez faire un appoint d'huile pour XK-161B	PREV	MECA	2	815,12	DI00031366	CHL	2022-10-08 07:30:00.0
94	44647	XK-161B	CURA042451	Fuite de chlore au niveau de bride de sortie de de compresseur GARO XK-161B	CURA	MECA	2	535,26	DI00031307	CHL	2022-10-03 14:00:00.0
95	44615	XK-161B	CURA042422	Préventive	PREV	MECA	6	2528,8		CHL	2022-10-26 12:00:00.0
96	44547	XK-161B	CURA042353	Réparation appoint d'huile de compresseur GARO XK-161B	PREV	MECA	2	535,26	DI00031242	CHL	2022-09-28 02:00:00.0
97	44527	XK-161B	CURA042333	Appoint d'huile au niveau de compresseur GARO XK-161BV	PREV	MECA	3	802,89	DI00031217	CHL	2022-09-27 02:00:00.0
98	44366	XK-161B	CURA042172	Veuillez nettoyer le strainer de D-161 de l'unité compresseur Garo	CURA	MECA	1,5	545,19	DI00031101	CHL	2022-09-13 07:00:00.0
99	44267	XK-161B	CURA042073	Compresseur GARO demande appoint d'huile	PREV	MECA	1	363,46	DI00031038	CHL	2022-09-07 10:00:00.0
100	43416	XK-161B	CURA041295	Veuillez voir le probleme de disjonction du moteur compresseur XK-161B	CURA	ELEC	2	815,12	DI00030471	CHL	2022-07-13 21:00:00.0
101	43292	XK-161A	CURA041182	Préventive	PREV	ELEC	0	0		CHL	
102	42976	XK-161A	CURA040885	Fuite d'air au niveau de compresseur GARO XK-161A	CURA	INST	2	815,12	DI00030155	CHL	2022-06-13 11:00:00.0
103	42892	XK-161A	CURA040807	Preventive	PREV	ELEC	2	815,12		CHL	2022-06-10 01:00:00.0
104	42854	XK-161A	CURA040774	Préventive	PREV	MECA	5,5	2413,22		CHL	2022-06-11 12:00:00.0
105	42352	XK-161A	CURA040285	Fuite d'huile au niveau de XK-161A	CURA	MECA	3,5	936,705	DI00029767	CHL	2022-05-09 16:30:00.0
106	42218	XK-161B	CURA040163	Apoint d'huile dans XK-161B	PREV	MECA	2	815,12	DI00029652	CHL	2022-05-02 14:00:00.0
107	42216	XK-161A	CURA040161	XK-161A demande un appoint de huile	PREV	MECA	1,5	611,34	DI00029649	CHL	2022-05-01 08:30:00.0
108	41796	XK-161A	CURA039770	Démontage et remontage de compresseur XK-161A pour changement de l'axe	CURA	MECA	29,5	5259,97		CHL	2023-02-26 13:00:00.0
109	41733	XK-161B	CURA039707	Veuillez rearmier le compresseur garo XK-161B	CURA	ELEC	2	815,12	DI00029289	CHL	2022-03-30 22:00:00.0
110	41715	XK-161B	CURA039689	Préventive	PREV	MECA	8	3432,36		CHL	2022-04-20 12:00:00.0
111	41551	XK-161A	CURA039529	Fuite de H2SO4 au niveau de compresseur GARO XK-161A	PREV	MECA	1,5	611,34	DI00029147	CHL	2022-03-23 15:00:00.0
112	41295	XK-161A	CURA039294	Démontage /montage de streaner de XK-161	PREV	MECA	5	2037,8	DI00028942	CHL	2022-03-09 13:00:00.0
113	41293	XK-161B	CURA039292	Blocage de la vanne d'isolation de streaner de XD-4161	CURA	MECA	4	1630,24	DI00028937	CHL	2022-03-09 10:30:00.0
114	41119	XK-161A	CURA039125	Démontage et remontage de compresseur XK-161A pour changement de l'axe	CURA	MECA	21	6815,955		CHL	2022-03-08 10:00:00.0
115	40980	XK-161B	CURA038989	Voir le problem de la fuite d'huile au niveau de la garniture de l'arbre de XK-161B	PREV	MECA	1,5	545,19	DI00028763	CHL	2022-03-20 08:00:00.0
116	40917	XK-161B	CURA038931	Veuillez verifier electriquement le test du compresseur	CURA	ELEC	12	4840,32	DI00028712	CHL	2022-02-16 12:00:00.0
117	40916	XK-161B	CURA038930	Veuillez verifier les fuites du compresseur Garo XK-161 B	PREV	MECA	2	815,12	DI00028711	CHL	2022-02-17 03:00:00.0
118	40842	XK-161A	CURA038856	Installation d'un joint plein au niveau la bride de XV-4161A	PREV	MECA	2	726,92	DI00028648	CHL	2022-02-12 03:00:00.0
119	40765	XK-161B	CURA038786	Vérification les roulements et graissage	PREV	ELEC	18	3668,04		CHL	2022-02-07 17:00:00.0
120	40742	XK-161B	CURA038767	Vérification les clapé de sortie 4"	PREV	MECA	3	1300,84	DI00028556	CHL	2022-02-06 09:30:00.0
121	40735	XK-161A	CURA038760	Mise en place joint plein a lentre H2SO4 vers XK-161A garniture (0.5 pouce)	PREV	MECA	1	407,56	DI00028547	CHL	2022-02-05 20:00:00.0
122	40734	XK-161A	CURA038759	Mise en place joint plein a lentre H2SO4 vers XK-161A	PREV	MECA	1,5	611,34	DI00028546	CHL	2022-02-05 22:00:00.0
123	40603	XK-161A	CURA038635	Démontage et remontage de compresseur XK-161A pour changement de l'axe	CURA	MECA	58	23282,95		CHL	2022-02-10 17:30:00.0
124	40594	XK-161B	CURA038626	Démontage et remontage de compresseur XK-161B pour changement de turbine	CURA	MECA	115	3858594,15		CHL	2022-02-14 15:30:00.0
125	40570	XK-161A	CURA038603	Démontage et remontage de compresseur du XK-161A	CURA	MECA	39,5	14761,066	DI00028438	CHL	2022-01-31 15:30:00.0
126	40563	XK-161A	CURA038596	Préventive xk-161A	PREV	ELEC	16	3260,48		CHL	2022-01-30 16:00:00.0
127	40518	XK-161B	CURA038551	Démontage /montage XK-161 B pour changement la turbine	CURA	MECA	47	17985,19	DI00028440	CHL	2022-01-31 22:30:00.0
128	40346	XK-161B	CURA038395	Veuillez verifier le compresseur GARO XK-161B	PREV	MECA	4	1070,52	DI00028301	CHL	2022-01-18 05:30:00.0
129	40330	XK-161B	CURA038379	Fuite au niveau de XK-161B	CURA	MECA	0	0	DI00028283	CHL	2022-01-17 13:09:48.0
130	40321	XK-161A	CURA038370	Vérification de XK-161A	CURA	ELEC	3	0	DI00028277	CHL	2022-01-16 16:00:00.0
131	39546	XK-161A	CURA037636	Préventive	PREV	ELEC	5	2037,8		CHL	2021-12-28
132	39372	XK-161A	CURA037469	Préventive	PREV	MECA	8	3432,36		CHL	2021-12-30 13:30:00.0
133	39125	XK-161A	CURA037222	Voir problème d'indication de marche de compresseur GARO XK-161A	CURA	INST	1	407,56	DI00027472	CHL	2021-11-20 04:00:00.0
134	38379	XK-161B	CURA036527	Graissage les 2 vanne E/S du H2SO4 pour XK-161B	PREV	MECA	0,5	203,78	DI00026953	CHL	2021-10-12 18:30:00.0
135	38378	XK-161A	CURA036526	Graissage les 2 vanne E/S du H2SO4 pour XK-161A	PREV	MECA	0,5	203,78	DI00026952	CHL	2021-10-12 18:00:00.0
136	38299	XK-161B	CURA036449	Préventive	PREV	ELEC	4,5	1834,02		CHL	2021-10-30 05:30:00.0
137	38177	XK-161B	CURA036335	Déblocage l'arbre de compresseur GARO XK-161B	PREV	MECA	3,5	936,705	DI00026798	CHL	2021-10-03 04:30:00.0
138	38099	XK-161A	CURA036258	Voir problème de démarrage de compresseur XK-161A	CURA	ELEC	1,5	611,34	DI00026747	CHL	2021-03-29 13:30:00.0
139	38026	XK-161B	CURA036185	Préventive	PREV	MECA	6	2159,04		CHL	2021-10-05 17:00:00.0
140	37938	XK-161A	CURA036097	Rotation de l'arbre de compresseur GARO XK-161A/B	CURA	MECA	1,5	401,445	DI00026666	CHL	2021-09-23 04:30:00.0
141	37336	XK-161A	CURA035530	Appoint d'huile au niveau de XK-161A	PREV	MECA	2,5	673,025	DI00026275	CHL	2021-08-28 08:00:00.0
142	37328	XK-161A	CURA035522	Fuite d'air au niveau de flexible de XK-161A	CURA	INST	2	815,12	DI00026267	CHL	2021-08-27 08:00:00.0
143	37254	XK-161A	CURA035448	Fuite d'air au niveau de compresseur XK-161A	CURA	INST	2	804,88	DI00026170	CHL	2021-08-21 17:00:00.0
144	37198	XK-161A	CURA035394	Changement visible XK- 161A	CURA	ELEC	2,75	1120,79	DI00026156	CHL	2021-08-18 14:45:00.0
145	37123	XK-161A	CURA035319	Fuite d'air au niveau de flexible de XK-161A	CURA	INST	3	2069,6	DI00026095	CHL	2021-08-12 16:00:00.0

146	37010	XK-161B	CURA035204	Déblocage de l'arbre de compresseur GARO XK-161B	PREV	MECA	5,5	1471,965	DI00026035	CHL	2021-08-06 23:00:00.0
147	36899	XK-161A	CURA035094	Installation des supportes pour les pipes d'unité comp Garos XK-161A (Soudeur)	PREV	CHAUD	3,5	4072,405		CHL	2021-08-03 14:30:00.0
148	36720	XK-161A	CURA034950	Changement la vanne d'isolement de FIT-4161A	CURA	INST	7	2852,92	DI00025840	CHL	2021-07-17 16:30:00.0
149	36680	XK-161A	CURA034910	Fuite au niveau de compresseur XK-161A .	CURA		0	0	DI00025828	CHL	
150	36655	XK-161A	CURA034885	Installation des supportes pour les pipes d'unité comp Garos XK-161A (Soudeur)	PREV	CHAUD	12,5	6949,055	DI00025804	CHL	2021-07-31 14:30:00.0
151	36644	XK-161A	CURA034874	Vibrations excessives élevées dans le compresseur XK-161A	CURA	MECA	0	0	DI00025799	CHL	2021-07-25 08:51:15.0
152	36125	XK-161A	CURA034382	manque fixation la ligne d'entrée de XK-161A	PREV	MECA	1,5	5390,07	DI00025438	CHL	2021-06-15 11:00:00.0
153	36113	XK-161A	CURA034370	Préventive	PREV	MECA	6	2574,27		CHL	2021-06-14 16:00:00.0
154	36016	XK-161A	CURA034271	Appoint d'huile au niveau de compresseur GARO A	PREV	MECA	1,5	611,43	DI00025356	CHL	2021-06-09 14:30:00.0
155	35877	XK-161A	CURA034132	Préventive	PREV	ELEC	0	0		CHL	
156	35253	XK-161A	CURA033555	Appoint d'huile au niveau de XK-161A	PREV	MECA	2	815,12	DI00024863	CHL	2021-05-06 09:30:00.0
157	35225	XK-161A	CURA033527	Vanne manu d'isolement de FIT-4161A non étanche	CURA	MECA	1,5	1641,54	DI00024844	CHL	2021-05-06 11:00:00.0
158	35176	XK-161B	CURA033477	Préventive	PREV	MECA	6	2617,12		CHL	2021-04-30 12:00:00.0
159	34810	XK-161B	CURA033118	Preventive	PREV	ELEC	4	1630,24		CHL	2021-04-12 23:00:00.0
160	34484	XK-161A	CURA032819	Soudure des supports pour chemin de cables XK-161	PREV	CHAUD	4	1453,78		CHL	2021-03-31 11:00:00.0
161	34482	XK-161B	CURA032817	Fuite acide sulfurique de la ligne de drainage de compresseur GARO XK-161B	CURA	MECA	3,5	1426,46	DI00024332	CHL	2021-05-16 04:30:00.0
162	34459	XK-161A	CURA032794	Soudure des supports pour chemin de cables XK-161	PREV	CHAUD	3	1090,335		CHL	2021-03-29 14:30:00.0
163	34457	XK-161A	CURA032792	réparation et Arrangement câble de compresseur GARO XK-161A/B	CURA	INST	63	39275,795	DI00024304	CHL	2021-03-31 16:30:00.0
164	34298	XK-161A	CURA032634	Fuite au niveau de FIT-4161	CURA	MECA	6,5	2780,48	DI00024188	CHL	2021-03-21 16:30:00.0
165	34225	XK-161A	CURA032561	FUITE SUR LA LIGNE DE DRAINE DE XK-161A	CURA	MECA	0	0	DI00024122	CHL	2021-03-18 08:19:02.0
166	33740	XK-161A	CURA032103	Fuite sur la ligne de drainage de de XK-161A	CURA	MECA	4,5	1834,02	DI00023798	CHL	2021-02-22 12:00:00.0
167	32916	XK-161A	CURA031306	Il manque branchement électrique a coté XK-161	TAMEL	ELEC	4	1630,24	DI00023246	CHL	2021-01-19 10:00:00.0
168	32733	XK-161A	CURA031123	Appoint d'huile de compresseur GARO XK-161A	PREV	MECA	1	267,63	DI00023088	CHL	2021-01-11 23:30:00.0
169	32476	XK-161A	CURA030864	Préventive	PREV	MECA	3	1222,68		CHL	2020-12-31 23:00:00.0
170	32362	XK-161A	CURA030781	Problème d'afichage de démarrage compresseur GARO XK-161A	CURA	INST	2	1064,36	DI00022801	CHL	2020-12-27 16:00:00.0
171	32336	XK-161A	CURA030755	Problème d'afichage de démarrage compresseur GARO XK-161A	CURA	ELEC	2	815,12	DI00022802	CHL	2020-12-27 17:30:00.0
172	31036	XK-161B	CURA029513	Préventive	PREV	MECA	2,5	669,075		CHL	2020-10-31 02:30:00.0
173	30659	XK-161A	CURA029131	Apoint d'huile au niveau de compresseur garo XK-161A	PREV	MECA	2	726,92	DI00021573	CHL	2020-10-09 07:30:00.0
174	30316	XK-161A	CURA028818	Appoint huile dans XK-161A	PREV	MECA	1,5	401,445	DI00021337	CHL	2020-09-25 16:30:00.0
175	30073	XK-161A	CURA028575	Vérification l'arrêt de compresseur XK-161A (ampérage)	CURA	ELEC	0	0	DI00021122	CHL	
176	29697	XK-161A	CURA028226	Plusieurs fuites de Cl2 dans XK-161A manque serrage des boulons	CURA	MECA	3	802,89	DI00020914	CHL	2020-08-31 10:00:00.0
177	29621	XK-161A	CURA028150	Découpage des boulons des brides de compresseur XK-161	CURA	MECA	5	1971,65		CHL	2020-08-26 21:00:00.0
178	29619	XK-161B	CURA028148	Vérification et déblocage le clapé d'entrée Cl2 du XK-161B	PREV	MECA	3	807,63	DI00020843	CHL	2020-08-26 15:00:00.0
179	29618	XK-161A	CURA028147	Mise en place les joints plain pour isolation XK-161A	PREV	MECA	4	1422,715	DI00020842	CHL	2020-08-26 16:30:00.0
180	29611	XK-161A	CURA028140	Veillez changer la turbine + cone du compresseur XK-161A	CURA	MECA	52,5	6719361,895	DI00020839	CHL	2020-08-26 13:00:00.0
181	29260	XK-161A	CURA027786	Appoint d'huile VG68 pour les deux compresseurs	PREV	MECA	2,5	673,025	DI00020591	CHL	2020-08-04 00:30:00.0
182	29137	XK-161B	CURA027693	Changement de lavanne manuelle 4" de la sortie XK-161B	CURA	MECA	2	815,12	DI00020520	CHL	2020-07-28 11:30:00.0
183	29098	XK-161B	CURA027654	Reparation vanne auto XV- 4161B	CURA	INST	12	25393,08	DI00020460	CHL	2020-07-23 11:00:00.0
184	29096	XK-161B	CURA027652	la fuite Voir la vanne de XV-4161B	CURA	INST	0	0	DI00020458	CHL	2020-07-26 08:18:45.0
185	29082	XK-161B	CURA027638	Voir la vanne d'entrée Cl2 du XK-161B	CURA	MECA	4	1265,34	DI00020444	CHL	2020-07-26 19:30:00.0
186	29081	XK-161A	CURA027637	Vérification la vanne de sortie Cl2 de XK-161A	PREV	MECA	3,5	1426,46	DI00020443	CHL	2020-07-22 15:30:00.0
187	29078	XK-161A	CURA027634	Vérification la vanne de sortie Cl2 de XK-161A	PREV	MECA	1	407,62	DI00020440	CHL	2020-07-28 08:30:00.0
188	29077	XK-161A	CURA027633	Voir la vanne d'entrée Cl2 du XK-161A	PREV	MECA	6,5	2234,09	DI00020439	CHL	2020-07-26 22:30:00.0
189	29064	XK-161A	CURA027620	Il y a une tige endommagé dans une bride de la ligne de drainage.	CURA	CHAUD	9	3133,62	DI00020435	CHL	2020-07-26 10:30:00.0
190	29020	XK-161A	CURA027576	Fuite de la ligne H2SO4 de 1" changement de joint et les boulon	CURA	MECA	1,5	403,815	DI00020398	CHL	2020-09-11 11:00:00.0
191	29019	XK-161A	CURA027575	Changement deux vannes manuelles de nitrogène entée xk-161A	CURA	MECA	5	1817,3	DI00020397	CHL	2020-07-21 11:00:00.0
192	29017	XK-161B	CURA027573	Remontage des instruments compresseur GARO B	CURA	INST	55	31467,96	DI00020395	CHL	2020-07-20 11:00:00.0
193	29013	XK-161B	CURA027569	Veuillez démonter et remonter les deux clapets pour nettoyage	PREV	MECA	11,5	3365,235		CHL	2020-07-21 15:00:00.0
194	28987	XK-161A	CURA027543	Changement le manomètre de pression PI	CURA	INST	9	4697,28		CHL	2020-07-16 15:00:00.0
195	28956	XK-161A	CURA027512	Vanne d'isolement de PI-4161 bloquée (déblocage ou changement)	CURA	MECA	1,5	611,43		CHL	2020-07-16 13:30:00.0
196	28955	XK-161A	CURA027511	Instalation manometre PI-4161 dans XD-161	CURA	INST	2	1672,28	DI00020331	CHL	2020-07-20 13:00:00.0
197	28940	XK-161B	CURA027496	Veuillez démonter la tuyauterie & vannes de compresseur	PREV	CHAUD	46	15527,86		CHL	2020-07-16 11:30:00.0
198	28933	XK-161A	CURA027489	Démontage & remontage de les instruments de compresseur GARO XK161A/B	PREV	INST	11	4450,71	DI00020315	CHL	2020-07-13
199	28922	XK-161A	CURA027478	Demande de vérification prèssostat XK-161A/B	PREV	INST	4	1630,24	DI00020308	CHL	2020-07-13 11:00:00.0
200	28903	XK-161B	CURA027459	Ouverture et nettoyage clapé anti-retour sortie compréseur garo xk-161b	PREV	MECA	6,5	2450,69	DI00020293	CHL	2020-07-12 16:30:00.0
201	28891	XK-161B	CURA027447	Voir ft-4161b	CURA	INST	1	727,09	DI00020286	CHL	2020-07-12 17:00:00.0
202	28880	XK-161B	CURA027436	Démontage & Remontage les conduites & vannes de XK161 A/B	PREV	MECA	64,75	23520,7225	DI00020276	CHL	2020-07-27 14:00:00.0
203	28878	XK-161B	CURA027434	Veiuillez demonter le commessuer GARO B	PREV	MECA	0	0	DI00020274	CHL	2020-07-10 16:08:01.0
204	28461	XK-161B	CURA027046	Démontage/Montage NRV-4161B pour nettoyage	PREV	MECA	3	1104,05	DI00020010	CHL	2020-06-21 16:30:00.0
205	28408	XK-161A	CURA026993	Démontage et vérification des clapets anti retour d'entrée chlore au niveau de compresseur GARO	PREV	MECA	16	8032,24	DI00019978	CHL	2020-07-14 15:30:00.0
206	28406	XK-161B	CURA026991	Démontage et vérification de clapet anti retour de sortie chlor au niveau de compresseur GARO	PREV	MECA	0	0	DI00019979	CHL	2020-06-18 08:37:17.0
207	28231	XK-161B	CURA026811	Vanne manuelle de SP-compresseur ne fonctionne pas	CURA	CHAUD	0	0	DI00019845	CHL	2020-06-07 08:23:05.0
208	27601	XK-161B	CURA026247	Les deux vannes d'appoint d'acid sulfurique vers XK-161B n'est pas étanche	CURA	MECA	4	1630,48	DI00019497	CHL	2020-07-16 11:30:00.0
209	25918	XK-161A	CURA024653	La vanne LCV-4161 passing	CURA	INST	4	2316,4	DI00018465	CHL	2020-02-24 10:00:00.0
210	25917	XK-161A	CURA024652	Vérification de compresseur GARO XK-161A (débit aside sulfurique reste low	PREV	MECA	0	0	DI00018463	CHL	2020-01-30 09:42:07.0
211	24746	XK-161A	CURA023542	Installation joints pleins au niveau de compresseur GARO XK-161A	PREV	MECA	0	0	DI00017674	CHL	2019-12-02 10:09:44.0
212	24450	XK-161A	CURA023255	Démontage/Montage le clapé d'entrée Cl2 du XK-161A pour nettoyage	PREV	MECA	0	0	DI00017484	CHL	2019-11-18 09:11:57.0
213	24449	XK-161B	CURA023254	Mise en place les joints plain dans XK-161B	PREV	MECA	0	0	DI00017483	CHL	2019-11-18 09:12:32.0
214	24383	XK-161B	CURA023188	Reset de compresseur GARO KX-161B	CURA	ELEC	2,5	1018,9	DI00017454	CHL	2019-11-15 11:00:00.0
215	24292	XK-161A	CURA023106	Appoint d'huile au niveau de compresseur GARO, KX-161A	PREV	MECA	1,5	545,19	DI00017394	CHL	2019-11-09 20:00:00.0
216	23670	XK-161A	CURA022506	Mise en place d' un joint plein dans l'entree chlore vers XK-161A/B	PREV	MECA	1,5	611,34	DI00016999	CHL	2019-10-13 07:00:00.0
217	23630	XK-161A	CURA022465	Démontage le strainner du H2So4 pour nettoyage avant HE-4161	PREV	MECA	3,5	1292,42	DI00016958	CHL	2019-10-16 16:30:00.0
218	23477	XK-161B	CURA022311	Intervention ele dans XK-161B	CURA	ELEC	3	1222,68	DI00016876	CHL	2019-10-05 15:00:00.0
219	23037	XK-161A	CURA021899	Appoint d'huile au niveau de compresseur GARO XK-161A	CURA	MECA	1	363,46	DI00016571	CHL	2019-09-12 08:00:00.0

220	22714	XK-161A	CURA021605	La vanne manuel du SP-4161 est cassé	CURA	CHAUD	2,5	878,12	DI00016376	CHL	2019-08-29 14:30:00.0
221	22689	XK-161A	CURA021580	Démontage et vérification de clapet anti-retour d'entrée chlore vers XK-161A	PREV	MECA	3	1090,38	DI00016350	CHL	2019-08-28 15:00:00.0
222	22160	XK-161B	CURA021088	Deblockage des vannes man XY4161BA /X4161BB	CURA	MECA	43,5	19764,885	DI00015950	CHL	2019-07-28 14:30:00.0
223	21823	XK-161B	CURA020770	Blockage de la vanne de sortie acide/chlore de chompresseur GARO B vers XD-161	CURA	MECA	1	267,63	DI00015710	CHL	2019-07-11 09:00:00.0
224	21682	XK-161A	CURA020642	Appoint d'huile compresseur K-161A	PREV	MECA	0,5	181,73	DI00015602	CHL	2019-07-03 08:00:00.0
225	21470	XK-161B	CURA020439	Fuite importants dans les 2 bride (Entrée +drain) du H2SO4 de XK-161B	CURA	MECA	1,5	611,34	DI00015454	CHL	2019-06-21 20:30:00.0
226	21270	XK-161B	CURA020246	Reparation du cable aux niveaux de circuit de puissance	PREV	ELEC	0	0		CHL	2019-06-15 15:30:25.0
227	21162	XK-161B	CURA020136	Ouverture et fermeture de compresseur GARO pour vérification	PREV	MECA	31,5	12670,145		CHL	2019-06-13 22:00:00.0
228	21157	XK-161B	CURA020131	Démontage des joints plaine a l'entré de compresseur XK-161B	CURA	MECA	7	2632,42		CHL	2019-06-12 23:00:00.0
229	21039	XK-161A	CURA020034	Changement de Sectionneur 400 A du compresseur	CURA	ELEC	9	3630,24		CHL	2019-05-08 11:00:00.0
230	20830	XK-161A	CURA019836	Veuillez verifer le niveau d'huile pour le compresseur Garo XK-161A	PREV	MECA	1,5	403,815	DI00015159	CHL	2019-04-27 20:30:00.0
231	20748	XK-161A	CURA019754	Manque handles valve des vannes de strainer et by pass de XD-161 vers HE-161	CURA	MECA	5,5	1999,03	DI00015097	CHL	2019-04-30 14:45:00.0
232	20629	XK-161A	CURA019645	Fuite dans NRV-4161A	PREV	MECA	3	1222,68	DI00015036	CHL	2019-04-16 09:00:00.0
233	20568	XK-161B	CURA019590	Montage de pipe d'acide sulfurique de l'echauteur XHE-161 vers compresseur GARO XK-161A/B	PREV	MECA	24,5	9268,97	DI00014995	CHL	2019-04-15 14:30:00.0
234	20566	XK-161B	CURA019588	Veuillez mettre des joints pleins au niveau des brides de la ligne chlore du compresseur XK-161B	CURA	MECA	5	1534,55	DI00014993	CHL	2019-04-13 14:00:00.0
235	20564	XK-161B	CURA019586	Veuillez demonter le clapet anti-retour de la ligne chlore du compresseur XK-161B	PREV	MECA	3,5	942,235	DI00014985	CHL	2019-04-11 21:00:00.0
236	20555	XK-161B	CURA019577	Veuillez faire une revision de compresseur XK161B	PREV	MECA	3,5	4346,46	DI00014973	CHL	2019-04-11 10:30:00.0
237	19736	XK-161A	CURA018796	Appoint d'huile au niveau de compresseur XK-161A	CURA	MECA	1	363,46	DI00014452	CHL	2019-02-12 17:30:00.0
238	19213	XK-161A	CURA018297	Veuillez reparer la fuite d'air au nuveau du detendeur XK-161	PREV	INST	1	407,56	DI00014070	CHL	2019-02-01 09:00:00.0
239	19140	XK-161A	CURA018224	Appoint d'huile au niveau de compresseur GARO XK-161A	PREV	MECA	1,5	545,19	DI00013976	CHL	2019-01-25 20:00:00.0
240	18728	XK-161A	CURA017841	Voir le manque et la fuite de la bouteille d'huile XK-161A	PREV	MECA	1	407,56	DI00013646	CHL	2019-01-01 14:30:00.0
241	18164	XK-161A	CURA017310	Appoint d'huile au niveau de compresseur XK-161A	PREV	MECA	1	407,62	DI00013265	CHL	2018-12-01 01:00:00.0
242	17957	XK-161A	CURA017108	Appoint d'huile au niveau de XK-161A	CURA	MECA	1	407,62	DI00013127	CHL	2018-11-20 07:30:00.0
243	17845	XK-161A	CURA017008	Veuillez reparer la commande de xk161A	CURA		0	0	DI00013051	CHL	
244	17751	XK-161A	CURA016918	Veuillez faire un appoint d'huile dans le XK-161A	CURA	MECA	1	269,21	DI00012988	CHL	2018-11-09 07:30:00.0
245	17332	XK-161A	CURA016515	Veuillez brancher le cable d'alimentation	CURA		0	0	DI00012699	CHL	
246	16526	XK-161A	CURA015745	Appoint d'huile au niveau de compresseur AGRO XK-161A	PREV	MECA	1,5	545,19	DI00012138	CHL	2018-09-04 23:30:00.0
247	16135	XK-161A	CURA015370	XK-161A manque huile de refroidissement	PREV	MECA	1	269,21	DI00011840	CHL	2018-08-12 16:30:00.0
248	15950	XK-161A	CURA015183	Elimination d'une fuite pour 2 vanne xv-4161a et xv4161b	PREV	INST	1	404,61		CHL	2018-07-30 07:30:00.0
249	15865	XK-161A	CURA015129	Veuillez nettoyer l'unité des deux compresseurs garo XK-161A/B	CURA		0	0	DI00011659	CHL	2018-08-05 11:52:47.0
250	15806	XK-161B	CURA015070	Fuite de chlore dans un bride qui manque un boulon à coté XV-4161B	PREV	MECA	6,5	5012,06	DI00011601	CHL	2018-07-30 23:30:00.0
251	15775	XK-161B	CURA015039	Fuite d'air dans le compresseur XK-161B	CURA	INST	1	407,56	DI00011576	CHL	2018-07-25 14:00:00.0
252	15139	XK-161B	CURA014421	Demontag et nettoyage de la ligne entre XK-162B et XD-161	PREV	MECA	2,5	1018,9	DI00011132	CHL	2018-06-20 12:00:00.0
253	15050	XK-161B	CURA014340	Démontage les ligne de H2SO4 entre XD-161 et XK-161B	PREV	MECA	6,5	2472,74	DI00011067	CHL	2018-06-21 21:00:00.0
254	15049	XK-161A	CURA014339	Démontage les ligne entr XD-161 et XK-161A	PREV	MECA	6	2445,36	DI00011066	CHL	2018-06-19 16:00:00.0
255	14816	XK-161A	CURA014109	Demontez la coduite de h2so4 de garniture de XK161A	PREV	MECA	1,5	611,34		CHL	2018-05-30 16:00:00.0
256	14723	XK-161B	CURA014011	Changement de la vanne CV2 d'acid sulphirique de compresseur XK-161B vers XD-161	CURA	MECA	5,5	1999,03	DI00010868	CHL	2018-05-29 12:00:00.0
257	14710	XK-161A	CURA014002	Démontage et montage clapet anti-retour après le nettoyage pour XK-161A.	CURA	MECA	19,5	6771,745	DI00010856	CHL	2018-05-29 15:30:00.0
258	14700	XK-161A	CURA013992	Demontez la coduite de h2so4 de garniture de XK161A	PREV	MECA	3,5	1426,46	DI00010852	CHL	2018-05-30 00:30:00.0
259	14699	XK-161A	CURA013991	Veillez demonter les deux clapet de XK161A/B	PREV	MECA	8,5	3287,86	DI00010851	CHL	2018-05-29 00:30:00.0
260	14433	XK-161A	CURA013739	Manque d'huile dans compresseur A	CURA	MECA	1	407,56	DI00010705	CHL	2018-05-14 09:00:00.0
261	14205	XK-161B	CURA013517	Vanne manuelle du XK161B besoin d'un serrage	PREV	MECA	1	407,56	DI00010544	CHL	2018-05-03 17:00:00.0
262	14201	XK-161B	CURA013513	Désaccouplement de moteur XK161B	CURA	MECA	5	2037,92		CHL	2018-05-03 22:30:00.0
263	14196	XK-161B	CURA013508	Veiller demonter le moteur et verfier XK161B	CURA	ELEC	4,25	1732,13	DI00010534	CHL	2018-05-03 10:30:00.0
264	14167	XK-161A	CURA013481	Veuillez serrer le pipe de chlore entree XK161A	PREV	MECA	1,5	611,34	DI00010525	CHL	2018-05-02 14:30:00.0
265	13586	XK-161B	CURA012897	Préventive	PREV	MECA	2	815,12		CHL	2018-04-07 19:30:00.0
266	13510	XK-161A	CURA012823	Serrage du fuite de compresseur garo A	PREV	MECA	2	726,92	DI00010056	CHL	2018-03-28
267	13320	XK-161A	CURA012646	Déblocage de l'arbre de compresseur XK-161A	PREV	MECA	2,5	908,65	DI00009867	CHL	2018-03-17 12:00:00.0
268	13037	XK-161A	CURA012387	Fuite du H2SO4 sur la garniture du compresseur GARO A (Préventif conditionnel)	PREV	MECA	84,5	1350165,53		CHL	2018-03-13 15:30:00.0
269	12802	XK-161A	CURA012160	Installation joins pleins au niveau des pipes d'entrée et de sortie chlore de XK-161A	PREV	MECA	0	0	DI00009531	CHL	2018-02-21 11:53:26.0
270	12436	XK-161A	CURA011806	Fuite du H2SO4 sur la garniture du compresseur GARO A (Préventif conditionnel)	PREV	MECA	38	20890,39	DI00009251	CCL	2018-02-28 15:30:00.0
271	12412	XK-161A	CURA011782	Préventive	PREV	MECA	2	815,12		CCL	2018-02-05 02:00:00.0
272	12225	XK-161B	CURA011603	Motage de NRV de chlore coté XK-161B	PREV	MECA	5,5	2241,58	DI00009115	CCL	2018-01-27 05:30:00.0
273	12224	XK-161A	CURA011602	Montage le NRV de chlore coté XK-161A	PREV	MECA	5,5	2241,58	DI00009114	CCL	2018-01-27
274	12178	XK-161A	CURA011555	L'ouverture le couvercle de clapet anti_retour de chlore XK-161A	CURA	MECA	5	2044,854634	DI00009097	CCL	2018-01-26 05:30:00.0
275	11371	XK-161B	CURA010775	Changement d'huile de compresseur XK-161B	PREV	MECA	0,5	203,78	DI00008470	CCL	2017-12-10 22:30:00.0
276	11083	XK-161B	CURA010499	Blocage de arbre de compresseur GARO XK-161B	PREV	MECA	1,5	545,19	DI00008263	CCL	2017-11-26 10:00:00.0
277	10954	XK-161B	CURA010381	FUITE DE H2SO4 AU NIVEAU DE LA VANNE MANUELLE DE COMPRESSEUR xk161b	CURA	MECA	7	2544,22	DI00008169	CCL	2017-11-18 10:00:00.0
278	10928	XK-161A	CURA010355	Veillez changer la vanne de nitrogene de XK1691A	PREV	MECA	4	3366,981919	DI00008148	CCL	2017-11-17 14:00:00.0
279	10509	XK-161B	CURA009951	Démontage et vérification du compresseur XK-161B	CURA	MECA	21,25	11728,96539	DI00007837	CCL	2017-10-25 17:45:00.0
280	10506	XK-161A	CURA009948	Démontage de la turbine de compresseur XK-161A	CURA	MECA	7	2679,491115	DI00007835	CCL	2017-10-24 12:30:00.0
281	10069	XK-161B	CURA009524	Changement d'huile de compresseur XK161B	PREV	MECA	3,5	1382,36	DI00007591	CCL	2017-10-01 07:30:00.0
282	10037	XK-161A	CURA009495	Fuite de chlore au niveau de XK-161A/B	CURA	MECA	4,5	1834,02	DI00007557	CCL	2017-09-27 11:00:00.0
283	10005	XK-161A	CURA009467	Démontage et vérification du compresseur GARO XK-161A	CURA	MECA	24	9588,133234	DI00007535	CCL	2017-09-28 01:00:00.0

ANNEXE 02 :Tableau des Interventions Préventives (PREV)							
N° d'OT	Equipement	Intervention	Description de l'intervention	Heures réalisées	Coût total	Zone	Date de fin
1	XK-161A	CURA054847	Préventive	1	407,56	CHL	2025-01-26 22:00:00.0
2	XK-161A	CURA054847	Préventive	4	1630,48	CHL	2025-01-03 12:32:00.0
3	XK-161B	CURA054242	Préventive	2,5	1018,9	CHL	2024-10-15 21:30:00.0
4	XK-161B	CURA054075	Préventive	4	1630,24	CHL	2024-10-06 03:09:00.0
6	XK-161A	CURA052648	Préventive	4	1716,06	CHL	2024-06-30 20:09:00.0
7	XK-161A	CURA052547	Preventive	5	2037,8	CHL	2024-07-25 23:30:00.0
8	XK-161B	CURA051969	Fuite H2SO4 XK-161B	3	807,63	CHL	2024-05-06
9	XK-161B	CURA051864	Fuite H2SO4 XK-161B	4,5	1694,09	CHL	2024-05-05 12:30:00.0
11	XK-161B	CURA051668	VOIR LE XK-161B	4	1630,24	CHL	2024-04-19 17:00:00.0
13	XK-161B	CURA051458	Réparation chemin de câble et arrangement les cable (garo)	3	1213,83	CHL	2024-04-04 12:00:00.0
12	XK-161B	CURA051529	Préventive	5	2123,62	CHL	2024-04-25 15:12:00.0
14	XK-161A	CURA051446	Reparation chemin de cable	3	1181,88	CHL	2024-04-04 14:42:00.0
15	XK-161A	CURA051443	Reparation chemin de cable	8	3260,48	CHL	2024-04-04 17:00:00.0
16	XK-161B	CURA051391	Préventive	4	1630,24	CHL	2024-04-21
17	XK-161B	CURA051363	Fuite d'huile et acide sulfurique au niveau de XK-161B	59,5	26581,36	CHL	2024-04-04 14:40:00.0
18	XK-161B	CURA051290	Fuite d'huile et acide sulfurique au niveau de XK-161B	20	5659,05	CHL	2024-03-31 02:00:00.0
19	XK-161B	CURA051237	Appoint d'huile XK-161B	1	269,21	CHL	2024-03-21 21:00:00.0
20	XK-161B	CURA050433	Appoint d'huile XK-161B	2	535,26	CHL	2024-01-24 17:00:00.0
21	XK-161A	CURA049800	Préventive	5	2165,34	CHL	2024-01-10 12:33:00.0
22	XK-161B	CURA049996	Reset de compresseur GARO XK-161B	1	407,56	CHL	2023-12-23 21:00:00.0
23	XK-161B	CURA049920	Appoint d'huile au niveau de compresseur GARO XK-161B	1	407,56	CHL	2023-11-18 14:00:00.0
24	XK-161B	CURA049783	Appoint d'huile au niveau de compresseur GARO XK-161B	1	267,63	CHL	2023-12-08 20:00:00.0
25	XK-161B	CURA049780	Appoint d'huile au niveau de compresseur GARO XK-161B	1	269,21	CHL	2023-12-08 10:00:00.0
26	XK-161A	CURA049695	Préventive	1	407,56	CHL	2023-12-09 20:00:00.0
28	XK-161A	CURA049270	Démontage et remontage de compresseur XK-161A pour changement de l'axe	14,5	5563,745	CHL	2023-11-07 12:30:00.0
29	XK-161B	CURA048885	Appoint d'huile XK-161B	0	0	CHL	2023-10-11 08:05:53.0
30	XK-161B	CURA048851	Veuillez faire l'appoint d'huile pour XK-161B	0	0	CHL	2023-10-10 08:15:54.0
31	XK-161B	CURA048735	Mainetnance preventive	5	2037,8	CHL	2023-12-04 04:00:00.0
32	XK-161B	CURA048654	Préventive	7	3024,56	CHL	2023-10-11 02:29:00.0
33	XK-161B	CURA048338	Appoint d'huile pour compresseur GARO	1	407,56	CHL	2023-09-10 07:00:00.0
34	XK-161B	CURA047992	Appoint d'huile compresseur GARO XK-161B	4	1076,84	CHL	2023-08-20 23:16:00.0
35	XK-161B	CURA047839	Addition d'huile dans xk-161B	3	807,63	CHL	2023-08-12
36	XK-161B	CURA047638	Appoint d'huile dans XK-161B	1	269,21	CHL	2023-07-28 19:30:00.0
37	XK-161B	CURA047356	Appoint d'huile au niveau de compresseur GARO K-161B	1	269,21	CHL	2023-07-10 14:00:00.0
38	XK-161B	CURA047132	Verification d'huile de compréssieur garo	2,25	872,985	CHL	2023-06-28 11:00:00.0
39	XK-161B	CURA047090	Appoint d'huile au niveau de compresseur GARO XK-161B	4	1716,18	CHL	2023-06-26 10:33:00.0
40	XK-161A	CURA047019	Maintenance préventive	4	1630,48	CHL	2023-07-09 12:18:00.0
41	XK-161B	CURA046605	Ajout d'huile pour le compresseur XK-161B	1,5	545,19	CHL	2023-06-04 17:30:00.0
42	XK-161A	CURA046566	Préventive	2	815,12	CHL	2023-07-06
43	XK-161B	CURA046447	Appoint d'huile pour le compresseur XK-161B	1	363,46	CHL	2023-05-29

44	XK-161B	CURA046431	Appoint d'huile au niveau de XK-161B	1	407,56	CHL	2023-05-28 16:00:00.0
45	XK-161B	CURA045985	XK-161B besoin d'huile	1	407,56	CHL	2023-06-19 23:00:00.0
46	XK-161B	CURA045821	APOIT D HUILE POUR COMPRESSEUR GARO XK-161B	1,5	403,815	CHL	2023-04-15 20:00:00.0
47	XK-161B	CURA045805	Appoint d'huile compresseur GARO XK-161B	1,5	403,815	CHL	2023-04-20 09:00:00.0
48	XK-161B	CURA045765	Préventive	2	815,12	CHL	2023-04-17 23:00:00.0
50	XK-161B	CURA045711	Préventive	2	858,09	CHL	2023-05-03 11:58:00.0
51	XK-161B	CURA045343	Appoint d'huile compresseur GARO XK-161B	1,5	403,815	CHL	2023-03-20 08:00:00.0
52	XK-161B	CURA045341	Appoint d'huile pour XK-161B	1	267,63	CHL	2023-03-20 02:00:00.0
53	XK-161B	CURA045286	Appoint d'huile pour XK-161B	3	805,26	CHL	2023-03-19 08:00:00.0
54	XK-161A	CURA045208	Démontage et remontage de compresseur XK-161A pour changement de l'axe	12,5	4896,05	CHL	2023-10-24 15:31:00.0
57	XK-161B	CURA045001	Appoint d'huile XK-161B	1,5	401,445	CHL	2023-03-01 08:00:00.0
58	XK-161B	CURA044932	Appoint d'huile XK-161B	1,5	611,34	CHL	2023-02-25
59	XK-161B	CURA044931	Appoint d'huile XK-161B	1,5	611,34	CHL	2023-02-23 23:30:00.0
60	XK-161B	CURA044799	Appoint d'huile pour XK-161B	1	407,56	CHL	2023-03-08
61	XK-161B	CURA044769	Appoint d'huile au niveau de compresseur GARO XK-161B	1,5	403,815	CHL	2023-02-15 17:30:00.0
62	XK-161B	CURA044452	Addition l'huile dans XK-161B	2,5	908,65	CHL	2023-01-29 21:00:00.0
63	XK-161B	CURA044447	Appoint d'huile XK-161B	1	407,56	CHL	2023-01-29 15:30:00.0
65	XK-161B	CURA044419	Appoint d'huile XK-161B	1	943,27	CHL	2023-01-18 17:00:00.0
66	XK-161B	CURA044311	Appoint d'huile dans XK-161B	1,5	611,34	CHL	2023-01-21 15:30:00.0
67	XK-161B	CURA044308	Appoint d'huile au niveau de XK-161B	1,5	611,34	CHL	2023-01-20 10:30:00.0
68	XK-161B	CURA044289	Appoint d'huile dans XK-161B	1	407,62	CHL	2023-01-19 10:28:00.0
69	XK-161B	CURA044252	Apoint d'huile pour compresseur GARO XK-161B	2,5	1018,9	CHL	2023-01-17 16:30:00.0
70	XK-161B	CURA044136	A poit dhuile pour compresseur GARO XK-161B	13,5	6052,23	CHL	2023-01-09 13:00:00.0
71	XK-161B	CURA044108	Addition l'huile dans XK-161B	1,5	611,34	CHL	2023-01-07 20:30:00.0
72	XK-161B	CURA044098	Bruit au niveau de XK-161B	8	3260,48	CHL	2023-01-05 12:00:00.0
73	XK-161B	CURA044076	Appoint d'huile de XK-161B	2	815,12	CHL	2023-01-04 10:00:00.0
74	XK-161A	CURA043726	Préventive	6	2574,27	CHL	2023-01-19 16:00:00.0
75	XK-161B	CURA043834	Appoint d'huile pour compresseur XK-161B	2	815,12	CHL	2022-12-19 05:30:00.0
76	XK-161B	CURA043692	Appoint d 'huile de XK-161B	2,5	1414,68	CHL	2022-12-13 17:30:00.0
77	XK-161A	CURA043654	Preventive (démontage l'accouplement et verification l'etat de moteur)	0	0	CHL	2022-12-11 09:40:20.0
78	XK-161B	CURA043620	Appoint d'huile au niveau de compresseur GARO XK-161B	1	267,63	CHL	2022-12-08 05:30:00.0
79	XK-161B	CURA043608	Appoint d'huile pour XK-161B	1	407,56	CHL	2022-12-07 10:00:00.0
80	XK-161A	CURA043523	Mise en place joint plient dans la vanne drainage XK-161A	4	1632,22	CHL	2022-12-03 17:30:00.0
81	XK-161B	CURA043463	Appoint d'huile au niveau de compresseur GARO XK-161B	1	267,63	CHL	2022-11-30 00:30:00.0
83	XK-161B	CURA042889	Appoint d'huile de XK-161B	3,5	936,705	CHL	2022-10-26 07:30:00.0
85	XK-161A	CURA042775	Démontage et nettoyage de streaner de XD-4161	4	1070,52	CHL	2022-10-19 16:30:00.0
86	XK-161B	CURA042751	Appoint d'huile de compresseur XK-161B	1,5	611,34	CHL	2022-10-18 19:00:00.0
87	XK-161B	CURA042725	Appoint d'huile de compresseur GARO XK-161B	2	815,24	CHL	2022-10-17 11:00:00.0
88	XK-161B	CURA042711	Appoint d'huile sur compresseur XK-161B	2	815,12	CHL	2022-10-26 07:30:00.0
89	XK-161B	CURA042677	Appoint d'huile au niveau de XK-161B	1,5	611,34	CHL	2022-10-14 19:00:00.0
91	XK-161B	CURA042568	Veuillez faire un appoint d'huile au niveau de XK-161B	2	815,12	CHL	2022-10-09 07:30:00.0
92	XK-161B	CURA042534	Preventive	0	0	CHL	
93	XK-161B	CURA042512	Veuillez faire un appoint d'huile pour XK-161B	2	815,12	CHL	2022-10-08 07:30:00.0

95	XK-161B	CURA042422	Préventive	6	2528,8	CHL	2022-10-26 12:00:00.0
96	XK-161B	CURA042353	Réparation appoint d'huile de compresseur GARO XK-161B	2	535,26	CHL	2022-09-28 02:00:00.0
97	XK-161B	CURA042333	Appoint d'huile au niveau de compresseur GARO XK-161BV	3	802,89	CHL	2022-09-27 02:00:00.0
99	XK-161B	CURA042073	Compresseur GARO demande appoint d'huile	1	363,46	CHL	2022-09-07 10:00:00.0
101	XK-161A	CURA041182	Préventive	0	0	CHL	
103	XK-161A	CURA040807	Preventive	2	815,12	CHL	2022-06-10 01:00:00.0
104	XK-161A	CURA040774	Préventive	5,5	2413,22	CHL	2022-06-11 12:00:00.0
107	XK-161A	CURA040161	XK-161A demande un appoint de huile	1,5	611,34	CHL	2022-05-01 08:30:00.0
108	XK-161A	CURA039770	Démontage et remontage de compresseur XK-161A pour changement de l'axe	29,5	5259,97	CHL	2023-02-26 13:00:00.0
110	XK-161B	CURA039689	Préventive	8	3432,36	CHL	2022-04-20 12:00:00.0
111	XK-161A	CURA039529	Fuite de H2SO4 au niveau de compresseur GARO XK-161A	1,5	611,34	CHL	2022-03-23 15:00:00.0
112	XK-161A	CURA039294	Démontage /montage de streaner de XK-161	5	2037,8	CHL	2022-03-09 13:00:00.0
115	XK-161B	CURA038989	Voir le probelem de la fuite d'huile au niveau de la garniture de l'arbre de XK-161B	1,5	545,19	CHL	2022-03-20 08:00:00.0
117	XK-161B	CURA038930	Veuillez verifier les fuites du compresseur Garo XK-161 B	2	815,12	CHL	2022-02-17 03:00:00.0
118	XK-161A	CURA038856	Installation d'un joint plein au niveau la bride de XV-4161A	2	726,92	CHL	2022-02-12 03:00:00.0
119	XK-161B	CURA038786	Vérification les roulements et graissage	18	3668,04	CHL	2022-02-07 17:00:00.0
120	XK-161B	CURA038767	Vérification les clapé de sortie 4"	3	1300,84	CHL	2022-02-06 09:30:00.0
121	XK-161A	CURA038760	Mise en place joint plein a lentre H2SO4 vers XK-161A garniture (0.5 pouce)	1	407,56	CHL	2022-02-05 20:00:00.0
122	XK-161A	CURA038759	Mise en place joint plein a lentre H2SO4 vers XK-161A	1,5	611,34	CHL	2022-02-05 22:00:00.0
126	XK-161A	CURA038596	Préventive xk-161A	16	3260,48	CHL	2022-01-30 16:00:00.0
128	XK-161B	CURA038395	Veuillez verifier le compresseur GARO XK-161B	4	1070,52	CHL	2022-01-18 05:30:00.0
129	XK-161B	CURA038379	Fuite au niveau de XK-161B	0	0	CHL	2022-01-17 13:09:48.0
130	XK-161A	CURA038370	Vérification de XK-161A	3	0	CHL	2022-01-16 16:00:00.0
131	XK-161A	CURA037636	Préventive	5	2037,8	CHL	2021-12-28
132	XK-161A	CURA037469	Préventive	8	3432,36	CHL	2021-12-30 13:30:00.0
134	XK-161B	CURA036527	Graissage les 2 vanne E/S du H2SO4 pour XK-161B	0,5	203,78	CHL	2021-10-12 18:30:00.0
135	XK-161A	CURA036526	Graissage les 2 vanne E/S du H2SO4 pour XK-161A	0,5	203,78	CHL	2021-10-12 18:00:00.0
136	XK-161B	CURA036449	Préventive	4,5	1834,02	CHL	2021-10-30 05:30:00.0
137	XK-161B	CURA036335	Débloccage l'arbre de compresseur GARO XK-161B	3,5	936,705	CHL	2021-10-03 04:30:00.0
139	XK-161B	CURA036185	Préventive	6	2159,04	CHL	2021-10-05 17:00:00.0
140	XK-161A	CURA036097	Rotation de l'arbre de compresseur GARO XK-161A/B	1,5	401,445	CHL	2021-09-23 04:30:00.0
141	XK-161A	CURA035530	Appoint d'huile au niveau de XK-161A	2,5	673,025	CHL	2021-08-28 08:00:00.0
147	XK-161A	CURA035094	Installation des supportes pour les pipes d'unité comp Garos XK-161A (Soudeur)	3,5	4072,405	CHL	2021-08-03 14:30:00.0
150	XK-161A	CURA034885	Installation des supportes pour les pipes d'unité comp Garos XK-161A (Soudeur)	12,5	6949,055	CHL	2021-07-31 14:30:00.0
151	XK-161A	CURA034874	Vibrations excessives élevées dans le compresseur XK-161A	0	0	CHL	2021-07-25 08:51:15.0
152	XK-161A	CURA034382	manque fixation la ligne d'entrée de XK-161A	1,5	5390,07	CHL	2021-06-15 11:00:00.0
153	XK-161A	CURA034370	Préventive	6	2574,27	CHL	2021-06-14 16:00:00.0
154	XK-161A	CURA034271	Appoint d'huile au niveau de compresseur GARO A	1,5	611,43	CHL	2021-06-09 14:30:00.0
155	XK-161A	CURA034132	Préventive	0	0	CHL	
156	XK-161A	CURA033555	Appoint d'huile au niveau de XK-161A	2	815,12	CHL	2021-05-06 09:30:00.0
158	XK-161B	CURA033477	Préventive	6	2617,12	CHL	2021-04-30 12:00:00.0
159	XK-161B	CURA033118	Preventive	4	1630,24	CHL	2021-04-12 23:00:00.0
160	XK-161A	CURA032819	Soudure des supports pour chemin de cables XK-161	4	1453,78	CHL	2021-03-31 11:00:00.0

162	XK-161A	CURA032794	Soudure des supports pour chemin de cables XK-161	3	1090,335	CHL	2021-03-29 14:30:00.0
167	XK-161A	CURA031306	Il manque branchement électrique a coté XK-161	4	1630,24	CHL	2021-01-19 10:00:00.0
168	XK-161A	CURA031123	Appoint d'huile de compresseur GARO XK-161A	1	267,63	CHL	2021-01-11 23:30:00.0
169	XK-161A	CURA030864	Préventive	3	1222,68	CHL	2020-12-31 23:00:00.0
172	XK-161B	CURA029513	Préventive	2,5	669,075	CHL	2020-10-31 02:30:00.0
173	XK-161A	CURA029131	Apoint d'huile au niveau de compresseur garo XK-161A	2	726,92	CHL	2020-10-09 07:30:00.0
174	XK-161A	CURA028818	Appoint huile dans XK-161A	1,5	401,445	CHL	2020-09-25 16:30:00.0
178	XK-161B	CURA028148	Vérification et déblocage le clapé d'entrée Cl2 du XK-161B	3	807,63	CHL	2020-08-26 15:00:00.0
179	XK-161A	CURA028147	Mise en place les joints plain pour isolation XK-161A	4	1422,715	CHL	2020-08-26 16:30:00.0
181	XK-161A	CURA027786	Appoint d'huile VG68 pour les deux compresseurs	2,5	673,025	CHL	2020-08-04 00:30:00.0
193	XK-161B	CURA027569	Veillez démonter et remonter les deux clapets pour nettoyage	11,5	3365,235	CHL	2020-07-21 15:00:00.0
197	XK-161B	CURA027496	Veillez démonter la tuyauterie & vannes de compresseur	46	15527,86	CHL	2020-07-16 11:30:00.0
198	XK-161A	CURA027489	Démontage & remontage de les instruments de compresseur GARO XK161A/B	11	4450,71	CHL	2020-07-13
199	XK-161A	CURA027478	Demande de vérification prèssostat XK-161A/B	4	1630,24	CHL	2020-07-13 11:00:00.0
200	XK-161B	CURA027459	Ouverture et nettoyage clapé anti-retour sortie comprèseur garo xk-161b	6,5	2450,69	CHL	2020-07-12 16:30:00.0
202	XK-161B	CURA027436	Démontage & Remontage les conduites & vannes de XK161 A/B	64,75	23520,7225	CHL	2020-07-27 14:00:00.0
204	XK-161B	CURA027046	Démontage/Montage NRV-4161B pour nettoyage	3	1104,05	CHL	2020-06-21 16:30:00.0
205	XK-161A	CURA026993	Démontage et vérification des clapets anti retour d'entrée chlore au niveau de compresseur GARO	16	8032,24	CHL	2020-07-14 15:30:00.0
216	XK-161A	CURA022506	Mise en place d' un joint plein dans l'entree chlore vers XK-161A/B	1,5	611,34	CHL	2019-10-13 07:00:00.0
217	XK-161A	CURA022465	Démontage le strainer du H2So4 pour nettoyage avant HE-4161	3,5	1292,42	CHL	2019-10-16 16:30:00.0
221	XK-161A	CURA021580	Démontage et vérification de clapet anti-retour d'entrée chlore vers XK-161A	3	1090,38	CHL	2019-08-28 15:00:00.0
224	XK-161A	CURA020642	Appoint d'huile compresseur K-161A	0,5	181,73	CHL	2019-07-03 08:00:00.0
226	XK-161B	CURA020246	Reparation du cable aux niveaux de circuit de puissance	0	0	CHL	2019-06-15 15:30:25.0
227	XK-161B	CURA020136	Ouverture et fermeture de compresseur GARO pour vérification	31,5	12670,145	CHL	2019-06-13 22:00:00.0
230	XK-161A	CURA019836	Veillez verifier le niveau d'huile pour le compresseur Garo XK-161A	1,5	403,815	CHL	2019-04-27 20:30:00.0
232	XK-161A	CURA019645	Fuite dans NRV-4161A	3	1222,68	CHL	2019-04-16 09:00:00.0
233	XK-161B	CURA019590	Montage de pipe d'acide sulfurique de l'echauteur XHE-161 vers compresseur GARO XK-161A/B	24,5	9268,97	CHL	2019-04-15 14:30:00.0
235	XK-161B	CURA019586	Veillez demonter le clapet anti-retour de la ligne chlore du compresseur XK-161B	3,5	942,235	CHL	2019-04-11 21:00:00.0
236	XK-161B	CURA019577	Veillez faire une revision de compresseur XK161B	3,5	4346,46	CHL	2019-04-11 10:30:00.0
238	XK-161A	CURA018297	Veillez reparer la fuite d'air au niveau du detendeur XK-161	1	407,56	CHL	2019-02-01 09:00:00.0
239	XK-161A	CURA018224	Appoint d'huile au niveau de compresseur GARO XK-161A	1,5	545,19	CHL	2019-01-25 20:00:00.0
240	XK-161A	CURA017841	Voir le manque et la fuite de la bouteille d'huile XK-161A	1	407,56	CHL	2019-01-01 14:30:00.0
241	XK-161A	CURA017310	Appoint d'huile au niveau de compresseur XK-161A	1	407,62	CHL	2018-12-01 01:00:00.0
242	XK-161A	CURA017108	Appoint d'huile au niveau de XK-161A	1	407,62	CHL	2018-11-20 07:30:00.0
246	XK-161A	CURA015745	Appoint d'huile au niveau de compresseur AGRO XK-161A	1,5	545,19	CHL	2018-09-04 23:30:00.0
247	XK-161A	CURA015370	XK-161A manque huile de refroidissement	1	269,21	CHL	2018-08-12 16:30:00.0
248	XK-161A	CURA015183	Elimination d'une fuite pour 2 vanne xv-4161a et xv4161b	1	404,61	CHL	2018-07-30 07:30:00.0
252	XK-161B	CURA014421	Demontag et nettoyage de la ligne entre XK-162B et XD-161	2,5	1018,9	CHL	2018-06-20 12:00:00.0
253	XK-161B	CURA014340	Démontage les ligne de H2SO4 entre XD-161 et XK-161B	6,5	2472,74	CHL	2018-06-21 21:00:00.0
254	XK-161A	CURA014339	Démontage les ligne entr XD-161 et XK-161A	6	2445,36	CHL	2018-06-19 16:00:00.0
255	XK-161A	CURA014109	Demontez la coduite de h2so4 de garniture de XK161A	1,5	611,34	CHL	2018-05-30 16:00:00.0
258	XK-161A	CURA013992	Demontez la coduite de h2so4 de garniture de XK161A	3,5	1426,46	CHL	2018-05-30 00:30:00.0
259	XK-161A	CURA013991	Veillez demonter les deux clapet de XK161A/B	8,5	3287,86	CHL	2018-05-29 00:30:00.0

261	XK-161B	CURA013517	Vanne manuelle du XK161B besoin d'un serrage	1	407,56	CHL	2018-05-03 17:00:00.0
264	XK-161A	CURA013481	Veillez serrer le pipe de chlore entree XK161A	1,5	611,34	CHL	2018-05-02 14:30:00.0
265	XK-161B	CURA012897	Préventive	2	815,12	CHL	2018-04-07 19:30:00.0
266	XK-161A	CURA012823	Serrage du fuite de compresseur garo A	2	726,92	CHL	2018-03-28
267	XK-161A	CURA012646	Déblocage de l'arbre de compresseur XK-161A	2,5	908,65	CHL	2018-03-17 12:00:00.0
268	XK-161A	CURA012387	Fuite du H2SO4 sur la garniture du compresseur GARO A (Préventif conditionnel)	84,5	13501,65	CHL	2018-03-13 15:30:00.0
270	XK-161A	CURA011806	Fuite du H2SO4 sur la garniture du compresseur GARO A (Préventif conditionnel)	38	20890,39	CCL	2018-02-28 15:30:00.0
271	XK-161A	CURA011782	Préventive	2	815,12	CCL	2018-02-05 02:00:00.0
272	XK-161B	CURA011603	Motage de NRV de chlore coté XK-161B	5,5	2241,58	CCL	2018-01-27 05:30:00.0
273	XK-161A	CURA011602	Montage le NRV de chlore coté XK-161A	5,5	2241,58	CCL	2018-01-27
275	XK-161B	CURA010775	Changement d'huile de compresseur XK-161B	0,5	203,78	CCL	2017-12-10 22:30:00.0
276	XK-161B	CURA010499	Blocage de arbre de compresseur GARO XK-161B	1,5	545,19	CCL	2017-11-26 10:00:00.0
281	XK-161B	CURA009524	Changement d'huile de compresseur XK161B	3,5	1382,36	CCL	2017-10-01 07:30:00.0

Annexe 03 : Tableau des Interventions Curatives (CURA)								
N° d'OT	Équipement	Intervention	Description de l'intervention	Type d'intervention	Heures réalisées	Coût total	N° de DI	Date de fin
5	XK-161B	CURA053540	Ouverture et fermeture pour déblocage de clapet anti retour de compresseur GARO	CURA	2	535,26	DI00039610	2024-08-24 18:00:00.0
10	XK-161B	CURA051811	Vérification l emperage XK-161B	CURA	2	815,12	DI00038327	2024-04-25 12:30:00.0
13	XK-161B	CURA051458	Réparation chemin de câble et arrangement les cable (garo)	CURA	3	1213,83	DI00038034	2024-04-04 12:00:00.0
90	XK-161B	CURA042576	Fuite d'huile au niveau de XK-161B	CURA	2	815,24	DI00031395	2024-04-22 10:44:00.0
27	XK-161B	CURA049298	Appoint d'huile XK-161B	CURA	1	407,62	DI00036445	2023-11-08 16:00:00.0
49	XK-161B	CURA045763	XK-161B besoin d'huile	CURA	2	535,26	DI00033831	2023-04-11 16:24:00.0
55	XK-161B	CURA045044	Veillez faire un appoint d'huile pour compresseur garo	CURA	1,5	545,19	DI00033272	2023-03-02 20:00:00.0
56	XK-161B	CURA045043	Voir le reset du XK-161B	CURA	0	0	DI00033245	2023-03-02 14:38:13.0
64	XK-161B	CURA044423	Fuite dans le bride de filtre entree chlore vers XK-161B	CURA	5,5	1999,03	DI00032830	2023-01-29
84	XK-161B	CURA042814	Fuite sur la bride de sortie de la ligne de recyclage de XK-161 B	CURA	3	1406,27	DI00031610	2022-10-23 09:00:00.0
94	XK-161B	CURA042451	Fuite de chlore au niveau de bride de sortie de de compresseur GARO XK-161B	CURA	2	535,26	DI00031307	2022-10-03 14:00:00.0
98	XK-161B	CURA042172	Veuiliez nettoyer le strainer de D-161 de l'unité compresseur Garo	CURA	1,5	545,19	DI00031101	2022-09-13 07:00:00.0
100	XK-161B	CURA041295	Veuiliez voir le probleme de disjonction du moteur compresseur XK-161B	CURA	2	815,12	DI00030471	2022-07-13 21:00:00.0
102	XK-161A	CURA040885	Fuite d'air au niveau de compresseur GARO XK-161A	CURA	2	815,12	DI00030155	2022-06-13 11:00:00.0
105	XK-161A	CURA040285	Fuite d'huile au niveau de XK-161A	CURA	3,5	936,705	DI00029767	2022-05-09 16:30:00.0
109	XK-161B	CURA039707	Veuiliez rearmar le compresseur garo XK-161B	CURA	2	815,12	DI00029289	2022-03-30 22:00:00.0
113	XK-161B	CURA039292	Blocage de la vanne d'isolation de streaner de XD-4161	CURA	4	1630,24	DI00028937	2022-03-09 10:30:00.0
114	XK-161A	CURA039125	Démontage et remontage de compresseur XK-161A pour changement de l'axe	CURA	21	6815,955	-	2022-03-08 10:00:00.0
116	XK-161B	CURA038931	Veuiliez verifier electriquement le test du compresseur	CURA	12	4840,32	DI00028712	2022-02-16 12:00:00.0
123	XK-161A	CURA038635	Démontage et remontage de compresseur XK-161A pour changement de l'axe	CURA	58	23282,95	-	2022-02-10 17:30:00.0
124	XK-161B	CURA038626	Démontage et remontage de compresseur XK-161B pour changement de turbine	CURA	115	3858594,15	-	2022-02-14 15:30:00.0
125	XK-161A	CURA038603	Démontage et remontage de compresseur du XK-161A	CURA	39,5	14761,066	DI00028438	2022-01-31 15:00:00.0
127	XK-161B	CURA038551	Démontage /montage XK-161 B pour changement la turbine	CURA	47	17985,19	DI00028440	2022-01-31 22:30:00.0
129	XK-161B	CURA038379	Fuite au niveau de XK-161B	CURA	0	0	DI00028283	2022-01-17 13:09:48.0
130	XK-161A	CURA038370	Vérification de XK-161A	CURA	3	0	DI00028277	2022-01-16 16:00:00.0
133	XK-161A	CURA037222	Voir problème d'indication de marche de compresseur GARO XK-161A	CURA	1	407,56	DI00027472	2021-11-20 04:00:00.0
138	XK-161A	CURA036258	Voir problème de démarrage de compresseur XK-161A	CURA	1,5	611,34	DI00026747	2021-03-29 13:30:00.0
140	XK-161A	CURA036097	Rotation de l'arbre de compresseur GARO XK-161A/B	CURA	1,5	401,445	DI00026666	2021-09-23 04:30:00.0
142	XK-161A	CURA035522	Fuite d'air au niveau de flexible de XK-161A	CURA	2	815,12	DI00026267	2021-08-27 08:00:00.0
143	XK-161A	CURA035448	Fuite d'air au niveau de compresseur XK-161A	CURA	2	804,88	DI00026170	2021-08-21 17:00:00.0
144	XK-161A	CURA035394	Changement visible XK- 161A	CURA	2,75	1120,79	DI00026156	2021-08-18 14:45:00.0
145	XK-161A	CURA035319	Fuite d'air au niveau de flexible de XK-161A	CURA	3	2069,6	DI00026095	2021-08-12 16:00:00.0
148	XK-161A	CURA034950	Changement la vanne d'isolement de FIT-4161A	CURA	7	2852,92	DI00025840	2021-07-17 16:30:00.0
149	XK-161A	CURA034910	Fuite au niveau de compresseur XK-161A .	CURA	0	0	DI00025828	-
151	XK-161A	CURA034874	Vibrations excessives élevées dans le compresseur XK-161A	CURA	0	0	DI00025799	2021-07-25 08:51:15.0
157	XK-161A	CURA033527	Vanne manu d'isolement de FIT-4161A non étanche	CURA	1,5	1641,54	DI00024844	2021-05-06 11:00:00.0
161	XK-161B	CURA032817	Fuite acide sulfurique de la ligne de drainage de compresseur GARO XK-161B	CURA	3,5	1426,46	DI00024332	2021-05-16 04:30:00.0
163	XK-161A	CURA032792	Réparation et Arrangement câble de compresseur GARO XK-161A/B	CURA	63	39275,795	DI00024304	2021-03-31 16:30:00.0
164	XK-161A	CURA032634	Fuite au niveau de FIT-4161	CURA	6,5	2780,48	DI00024188	2021-03-21 16:30:00.0
165	XK-161A	CURA032561	FUITE SUR LA LIGNE DE DRAINE DE XK-161A	CURA	0	0	DI00024122	2021-03-18 08:19:02.0
166	XK-161A	CURA032103	Fuite sur la ligne de drainage de de XK-161A	CURA	4,5	1834,02	DI00023798	2021-02-22 12:00:00.0
167	XK-161A	CURA031306	Il manque branchement électrique a coté XK-161	TAMEL	4	1630,24	DI00023246	2021-01-19 10:00:00.0
170	XK-161A	CURA030781	Problème d'affichage de démarrage compresseur GARO XK-161A	CURA	2	1064,36	DI00022801	2020-12-27 16:00:00.0
171	XK-161A	CURA030755	Problème d'affichage de démarrage compresseur GARO XK-161A	CURA	2	815,12	DI00022802	2020-12-27 17:30:00.0
175	XK-161A	CURA028575	Vérification l'arrêt de compresseur XK-161A (ampérage)	CURA	0	0	DI00021122	-
176	XK-161A	CURA028226	Plusieurs fuites de Cl2 dans XK-161A manque serrage des boulons	CURA	3	802,89	DI00020914	2020-08-31 10:00:00.0
177	XK-161A	CURA028150	Découpage des boulons des brides de compresseur XK-161	CURA	5	1971,65	-	2020-08-26 21:00:00.0
180	XK-161A	CURA028140	Veillez changer la turbine + cone du compresseur XK-161A	CURA	52,5	6719361,895	DI00020839	2020-08-26 13:00:00.0
182	XK-161B	CURA027693	Changement de lavanne manuelle 4" de la sortie XK-161B	CURA	2	815,12	DI00020520	2020-07-28 11:30:00.0
183	XK-161B	CURA027654	Reparation vanne auto XV- 4161B	CURA	12	25393,08	DI00020460	2020-07-23 11:00:00.0
184	XK-161B	CURA027652	la fuite Voir la vanne de XV-4161B	CURA	0	0	DI00020458	2020-07-26 08:18:45.0

185	XK-161B	CURA027638	Voir la vanne d'entrée CI2 du XK-161B	CURA	4	1265,34	DI00020444	2020-07-26 19:30:00.0
189	XK-161A	CURA027620	Il y a une tige endommagé dans une bride de la ligne de drainage.	CURA	9	3133,62	DI00020435	2020-07-26 10:30:00.0
190	XK-161A	CURA027576	Fuite de la ligne H2SO4 de 1" changement de joint et les boulon	CURA	1,5	403,815	DI00020398	2020-09-11 11:00:00.0
191	XK-161A	CURA027575	Changement deux vannes manuelles de nitrogène entée xk-161A	CURA	5	1817,3	DI00020397	2020-07-21 11:00:00.0
192	XK-161B	CURA027573	Remontage des instruments compresseur GARO B	CURA	55	31467,96	DI00020395	2020-07-20 11:00:00.0
194	XK-161A	CURA027543	Changement le manomètre de pression PI	CURA	9	4697,28	-	2020-07-16 15:00:00.0
195	XK-161A	CURA027512	Vanne d'isolement de PI-4161 bloquée (déblocage ou changement)	CURA	1,5	611,43	-	2020-07-16 13:30:00.0
196	XK-161A	CURA027511	Installation manometre PI-4161 dans XD-161	CURA	2	1672,28	DI00020331	2020-07-20 13:00:00.0
201	XK-161B	CURA027447	Voir fi-4161b	CURA	1	727,09	DI00020286	2020-07-12 17:00:00.0
203	XK-161B	CURA027434	Veillez demonter le compresseur GARO B	CURA	0	0	DI00020274	2020-07-10 16:08:01.0
207	XK-161B	CURA026811	Vanne manuelle de SP-compresseur ne fonctionne pas	CURA	0	0	DI00019845	2020-06-07 08:23:05.0
208	XK-161B	CURA026247	Les deux vannes d'appoint d'acid sulfurique vers XK-161B n'est pas étanche	CURA	4	1630,48	DI00019497	2020-07-16 11:30:00.0
209	XK-161A	CURA024653	La vanne LCV-4161 passing	CURA	4	2316,4	DI00018465	2020-02-24 10:00:00.0
210	XK-161A	CURA024652	Vérification de compresseur GARO XK-161A (débit aside sulfurique reste low	CURA	0	0	DI00018463	2020-01-30 09:42:07.0
211	XK-161A	CURA023542	Installation joints pleins au niveau de compresseur GARO XK-161A	CURA	0	0	DI00017674	2019-12-02 10:09:44.0
212	XK-161A	CURA023255	Démontage/Montage le clapé d'entrée CI2 du XK-161A pour nettoyage	CURA	0	0	DI00017484	2019-11-18 09:11:57.0
213	XK-161B	CURA023254	Mise en place les joints plain dans XK-161B	CURA	0	0	DI00017483	2019-11-18 09:12:32.0
214	XK-161B	CURA023188	Reset de compresseur GARO KX-161B	CURA	2,5	1018,9	DI00017454	2019-11-15 11:00:00.0
215	XK-161A	CURA023106	Appoint d'huile au niveau de compresseur GARO, KX-161A	CURA	1,5	545,19	DI00017394	2019-11-09 20:00:00.0
216	XK-161A	CURA022506	Mise en place d' un joint plein dans l'entree chlore vers XK-161A/B	CURA	1,5	611,34	DI00016999	2019-10-13 07:00:00.0
217	XK-161A	CURA022465	Démontage le strainer du H2So4 pour nettoyage avant HE-4161	CURA	3,5	1292,42	DI00016958	2019-10-16 16:30:00.0
218	XK-161B	CURA022311	Intervention ele dans XK-161B	CURA	3	1222,68	DI00016876	2019-10-16 15:00:00.0
219	XK-161A	CURA021899	Appoint d'huile au niveau de compresseur GARO XK-161A	CURA	1	363,46	DI00016571	2019-09-12 08:00:00.0
220	XK-161A	CURA021605	La vanne manuel du SP-4161 est cassé	CURA	2,5	878,12	DI00016376	2019-08-29 14:30:00.0
221	XK-161A	CURA021580	Démontage et vérification de clapet anti-retour d'entrée chlore vers XK-161A	CURA	3	1090,38	DI00016350	2019-08-28 15:00:00.0
222	XK-161B	CURA021088	Deblockage des vannes man XY4161BA /X4161BB	CURA	43,5	19764,885	DI00015950	2019-07-28 14:30:00.0
223	XK-161B	CURA020770	Blockage de la vanne de sortie acide/chlore de chompresseur GARO B vers XD-161	CURA	1	267,63	DI00015710	2019-07-11 09:00:00.0
225	XK-161B	CURA020439	Fuite importants dans les 2 bride (Entrée +drain) du H2SO4 de XK-161B	CURA	1,5	611,34	DI00015454	2019-06-21 20:30:00.0
227	XK-161B	CURA020136	Ouverture et fermeture de compresseur GARO pour vérification	CURA	31,5	12670,145	-	2019-06-13 22:00:00.0
228	XK-161B	CURA020131	Démontage des joints plaine a l'entré de compresseur XK-161B	CURA	7	2632,42	-	2019-06-12 23:00:00.0
229	XK-161A	CURA020034	Changement de Sectionneur 400 A du compresseur	CURA	9	3630,24	-	2019-05-08 11:00:00.0
231	XK-161A	CURA019754	Manque handles valve des vannes de strainer et by pass de XD-161 vers HE-161	CURA	5,5	1999,03	DI00015097	2019-04-30 14:45:00.0
234	XK-161B	CURA019588	Veillez mettre des joints pleins au niveau des brides de la ligne chlore du compresseur XK-161B	CURA	5	1534,55	DI00014993	2019-04-13 14:00:00.0
237	XK-161A	CURA018796	Appoint d'huile au niveau de compresseur XK-161A	CURA	1	363,46	DI00014452	2019-02-24 17:30:00.0
242	XK-161A	CURA017108	Appoint d'huile au niveau de XK-161A	CURA	1	407,62	DI00013127	2018-11-20 07:30:00.0
243	XK-161A	CURA017008	Veillez reparer la commande de xk161A	CURA	0	0	DI00013051	-
244	XK-161A	CURA016918	Veillez faire un appoint d'huile dans le XK-161A	CURA	1	269,21	DI00012988	2018-11-09 07:30:00.0
245	XK-161A	CURA016515	Veillez brancher le cable d'alimentation	CURA	0	0	DI00012699	-
249	XK-161A	CURA015129	Veillez nettoyer l'unité des deux compresseurs garo XK-161A/B	CURA	0	0	DI00011659	2018-08-05 11:52:47.0
251	XK-161B	CURA015039	Fuite d'air dans le compresseur XK-161B	CURA	1	407,56	DI00011576	2018-07-25 14:00:00.0
256	XK-161B	CURA014011	Changement de la vanne CV2 d'acid sulphirique de compresseur XK-161B vers XD-161	CURA	5,5	1999,03	DI00010868	2018-05-29 12:00:00.0
257	XK-161A	CURA014002	Démontage et montage clapet anti-retour après le nettoyage pour XK-161A.	CURA	19,5	6771,745	DI00010856	2018-05-29 15:30:00.0
260	XK-161A	CURA013739	Manque d'huile dans compresseur A	CURA	1	407,56	DI00010705	2018-05-14 09:00:00.0
262	XK-161B	CURA013513	Désaccouplement de moteur XK161B	CURA	5	2037,92	-	2018-05-03 22:30:00.0
263	XK-161B	CURA013508	Veiller demonter le moteur et verfier XK161B	CURA	4,25	1732,13	DI00010534	2018-05-03 10:30:00.0
269	XK-161A	CURA012160	Installation joins pleins au niveau des pipes d'entrée et de sortie chlore de XK-161A	CURA	0	0	DI00009531	2018-02-21 11:53:26.0
270	XK-161A	CURA011806	Fuite du H2SO4 sur la garniture du compresseur GARO A (Préventif conditionnel)	CURA	38	20890,39	DI00009251	2018-02-28 15:30:00.0
274	XK-161A	CURA011555	L'ouverture le couvercle de clapet anti retour de chlore XK-161A	CURA	5	2044,85	DI00009097	2018-01-26 05:30:00.0
277	XK-161B	CURA010381	FUITE DE H2SO4 AU NIVEAU DE LA VANNE MANUELLE DE COMPRESSEUR xk161b	CURA	7	2544,22	DI00008169	2017-11-18 10:00:00.0
279	XK-161B	CURA009951	Démontage et vérification du compresseur XK-161B	CURA	21,25	11728,965	DI00007837	2017-10-25 17:45:00.0
280	XK-161A	CURA009948	Démontage de la turbine de compresseur XK-161A	CURA	7	2679,491	DI00007835	2017-10-24 12:30:00.0
282	XK-161A	CURA009495	Fuite de chlore au niveau de XK-161A/B	CURA	4,5	1834,02	DI00007557	2017-09-27 11:00:00.0
283	XK-161A	CURA009467	Démontage et vérification du compresseur GARO XK-161A	CURA	24	9588,133	DI00007535	2017-09-28 01:00:00.0

Annexe 04 :Interventions Curatives Compresseur XK-161A

N° d'OT	N° Intervention	Description	Type	Classe	Heures	Coût total	N° DI	Date fin
102	CURA040885	Fuite d'air au niveau de compresseur GARO XK-161A	CURA	INST	2	815.12	DI00030155	2022-06-13 11:00:00
105	CURA040285	Fuite d'huile au niveau de XK-161A	CURA	MECA	3,5	936.705	DI00029767	2022-05-09 16:30:00
114	CURA039125	Démontage et remontage de compresseur XK-161A pour changement de l'axe	CURA	MECA	21	6815.955	-	2022-03-08 10:00:00
123	CURA038635	Démontage et remontage de compresseur XK-161A pour changement de l'axe	CURA	MECA	58	23282.95	-	2022-02-10 17:30:00
125	CURA038603	Démontage et remontage de compresseur du XK-161A	CURA	MECA	39,5	14761.066	DI00028438	2022-01-31 15:30:00
130	CURA038370	Vérification de XK-161A	CURA	ELEC	3	0	DI00028277	2022-01-16 16:00:00
133	CURA037222	Voir problème d'indication de marche de compresseur GARO XK-161A	CURA	INST	1	407.56	DI00027472	2021-11-20 04:00:00
138	CURA036258	Voir problème de démarrage de compresseur XK-161A	CURA	ELEC	1,5	611.34	DI00026747	2021-03-29 13:30:00
140	CURA036097	Rotation de l'arbre de compresseur GARO XK-161A/B	CURA	MECA	1,5	401.445	DI00026666	2021-09-23 04:30:00
142	CURA035522	Fuite d'air au niveau de flexible de XK-161A	CURA	INST	2	815.12	DI00026267	2021-08-27 08:00:00
143	CURA035448	Fuite d'air au niveau de compresseur XK-161A	CURA	INST	2	804.88	DI00026170	2021-08-21 17:00:00
144	CURA035394	Changement visible XK- 161A	CURA	ELEC	2,75	1120.79	DI00026156	2021-08-18 14:45:00
145	CURA035319	Fuite d'air au niveau de flexible de XK-161A	CURA	INST	3	2069.6	DI00026095	2021-08-12 16:00:00
148	CURA034950	Changement la vanne d'isolement de FIT-4161A	CURA	INST	7	2852.92	DI00025840	2021-07-17 16:30:00
149	CURA034910	Fuite au niveau de compresseur XK-161A .	CURA	-	0	0	DI00025828	-
151	CURA034874	Vibrations excessives élevées dans le compresseur XK-161A	CURA	MECA	0	0	DI00025799	2021-07-25 08:51:15
157	CURA033527	Vanne manu d'isolement de FIT-4161A non étanche	CURA	MECA	1,5	1641.54	DI00024844	2021-05-06 11:00:00
163	CURA032792	Réparation et Arrangement câble de compresseur GARO XK-161A/B	CURA	INST	63	39275.795	DI00024304	2021-03-31 16:30:00
164	CURA032634	Fuite au niveau de FIT-4161	CURA	MECA	6,5	2780.48	DI00024188	2021-03-21 16:30:00
165	CURA032561	FUITE SUR LA LIGNE DE DRAINE DE XK-161A	CURA	MECA	0	0	DI00024122	2021-03-18 08:19:02
166	CURA032103	Fuite sur la ligne de drainage de de XK-161A	CURA	MECA	4,5	1834.02	DI00023798	2021-02-22 12:00:00
167	CURA031306	Il manque branchement électrique a coté XK-161	TAMEL	ELEC	4	1630.24	DI00023246	2021-01-19 10:00:00
170	CURA030781	Problème d'affichage de démarrage compresseur GARO XK-161A	CURA	INST	2	1064.36	DI00022801	2020-12-27 16:00:00
171	CURA030755	Problème d'affichage de démarrage compresseur GARO XK-161A	CURA	ELEC	2	815.12	DI00022802	2020-12-27 17:30:00
175	CURA028575	Vérification l'arrêt de compresseur XK-161A (ampérage)	CURA	ELEC	0	0	DI00021122	-
176	CURA028226	Plusieurs fuites de Cl2 dans XK-161A manque serrage des boulons	CURA	MECA	3	802.89	DI00020914	2020-08-31 10:00:00
177	CURA028150	Découpage des boulons des brides de compresseur XK-161	CURA	MECA	5	1971.65	-	2020-08-26 21:00:00
189	CURA027620	Il y a une tige endommagée dans une bride de la ligne de drainage.	CURA	CHAUD	9	3133.62	DI00020435	2020-07-26 10:30:00
190	CURA027576	Fuite de la ligne H2SO4 de 1" changement de joint et les boulon	CURA	MECA	1,5	403.815	DI00020398	2020-09-11 11:00:00
191	CURA027575	Changement deux vannes manuelles de nitrogène entée xk-161A	CURA	MECA	5	1817.3	DI00020397	2020-07-21 11:00:00
194	CURA027543	Changement le manomètre de pression PI	CURA	INST	9	4697.28	-	2020-07-16 15:00:00
195	CURA027512	Vanne d'isolement de PI-4161 bloquée (déblocage ou changement)	CURA	MECA	1,5	611.43	-	2020-07-16 13:30:00
196	CURA027511	Installation manometre PI-4161 dans XD-161	CURA	INST	2	1672.28	DI00020331	2020-07-20 13:00:00
209	CURA024653	La vanne LCV-4161 passing	CURA	INST	4	2316.4	DI00018465	2020-02-24 10:00:00
210	CURA024652	Vérification de compresseur GARO XK-161A (débit aside sulfurique reste low	CURA	MECA	0	0	DI00018463	2020-01-30 09:42:07
211	CURA023542	Installation joints pleins au niveau de compresseur GARO XK-161A	CURA	MECA	0	0	DI00017674	2019-12-02 10:09:44
212	CURA023255	Démontage/Montage le clapet d'entrée Cl2 du XK-161A pour nettoyage	CURA	MECA	0	0	DI00017484	2019-11-18 09:11:57
215	CURA023106	Appoint d'huile au niveau de compresseur GARO, KX-161A	CURA	MECA	1,5	545.19	DI00017394	2019-11-09 20:00:00
216	CURA022506	Mise en place d' un joint plein dans l'entree chlore vers XK-161A/B	CURA	MECA	1,5	611.34	DI00016999	2019-10-13 07:00:00
217	CURA022465	Démontage le strainer du H2SO4 pour nettoyage avant HE-4161	CURA	MECA	3,5	1292.42	DI00016958	2019-10-16 16:30:00
219	CURA021899	Appoint d'huile au niveau de compresseur GARO XK-161A	CURA	MECA	1	363.46	DI00016571	2019-09-12 08:00:00
220	CURA021605	La vanne manuel du SP-4161 est cassé	CURA	CHAUD	2,5	878.12	DI00016376	2019-08-29 14:30:00
221	CURA021580	Démontage et vérification de clapet anti-retour d'entrée chlore vers XK-161A	CURA	MECA	3	1090.38	DI00016350	2019-08-28 15:00:00
229	CURA020034	Changement de Sectionneur 400 A du compresseur	CURA	ELEC	9	3630.24	-	2019-05-08 11:00:00
231	CURA019754	Manque handles valve des vannes de strainer et by pass de XD-161 vers HE-161	CURA	MECA	5,5	1999.03	DI00015097	2019-04-30 14:45:00
237	CURA018796	Appoint d'huile au niveau de compresseur XK-161A	CURA	MECA	1	363.46	DI00014452	2019-02-24 17:30:00
242	CURA017108	Appoint d'huile au niveau de XK-161A	CURA	MECA	1	407.62	DI00013127	2018-11-20 07:30:00
243	CURA017008	Veillez reparer la commande de xk161A	CURA	-	0	0	DI00013051	-
244	CURA016918	Veillez faire un appoint d'huile dans le XK-161A	CURA	MECA	1	269.21	DI00012988	2018-11-09 07:30:00
245	CURA016515	Veillez brancher le cable d'alimentation	CURA	-	0	0	DI00012699	-
249	CURA015129	Veillez nettoyer l'unité des deux compresseurs garo XK-161A/B	CURA	-	0	0	DI00011659	2018-08-05 11:52:47
257	CURA014002	Démontage et montage clapet anti-retour après le nettoyage pour XK-161A.	CURA	MECA	19,5	6771.745	DI00010856	2018-05-29 15:30:00
260	CURA013739	Manque d'huile dans compresseur A	CURA	MECA	1	407.56	DI00010705	2018-05-14 09:00:00
269	CURA012160	Installation joins pleins au niveau des pipes d'entrée et de sortie chlore de XK-161A	CURA	MECA	0	0	DI00009531	2018-02-21 11:53:26
270	CURA011806	Fuite du H2SO4 sur la garniture du compresseur GARO A (Préventif conditionnel)	CURA	MECA	38	20890.39	DI00009251	2018-02-28 15:30:00
274	CURA011555	L'ouverture le couvercle de clapet anti_retour de chlore XK-161A	CURA	MECA	5	2044.85	DI00009097	2018-01-26 05:30:00
280	CURA009948	Démontage de la turbine de compresseur XK-161A	CURA	MECA	7	2679.491	DI00007835	2017-10-24 12:30:00
282	CURA009495	Fuite de chlore au niveau de XK-161A/B	CURA	MECA	4,5	1834.02	DI00007557	2017-09-27 11:00:00
283	CURA009467	Démontage et vérification du compresseur GARO XK-161A	CURA	MECA	24	9588.133	DI00007535	2017-09-28 01:00:00

ANNEXE 05 : Interventions Curatives Compresseur XK-161B								
N° d'OT	N° Intervention	Description	Type	Classe	Heures	Coût total	N° DI	Date fin
5	CURA053540	Ouverture et fermeture pour déblocage de clapet anti retour de compresseur GARO	CURA	MECA	2	535.26	DI00039610	2024-08-24 18:00:00
10	CURA051811	Verification l emperage XK-161B	CURA	ELEC	2	815.12	DI00038327	2024-04-25 12:30:00
27	CURA049298	Appoint d'huile XK-161B	CURA	MECA	1	407.62	DI00036445	2023-11-08 16:00:00
49	CURA045763	XK-161B besoin d'huile	CURA	MECA	2	535.26	DI00033831	2023-04-11 16:24:00
55	CURA045044	Veillez faire un appoint d'huile pour compresseur garo	CURA	MECA	1,5	545.19	DI00033272	2023-03-02 20:00:00
56	CURA045043	Voir le reset du XK-161B	CURA	ELEC	0	0	DI00033245	2023-03-02 14:38:13
64	CURA044423	Fuite dans le bride de filtre entree chlore vers XK-161B	CURA	MECA	5,5	1999.03	DI00032830	2023-01-29
82	CURA043111	Reset de compresseur GARO XK-161B	CURA	-	0	0	DI00031660	-
84	CURA042814	Fuite sur la bride de sortie de la ligne de recyclage de XK-161 B	CURA	MECA	3	1406.27	DI00031610	2022-10-23 09:00:00
90	CURA042576	Fuite d'huile au niveau de XK-161B	CURA	MECA	2	815.24	DI00031395	2024-04-22 10:44:00
94	CURA042451	Fuite de chlore au niveau de bride de sortie de de compresseur GARO XK-161B	CURA	MECA	2	535.26	DI00031307	2022-10-03 14:00:00
98	CURA042172	Veillez nettoyer le strainer de D-161 de l'unite compresseur Garo	CURA	MECA	1,5	545.19	DI00031101	2022-09-13 07:00:00
100	CURA041295	Veillez voir le probleme de disjonction du moteur compresseur XK-161B	CURA	ELEC	2	815.12	DI00030471	2022-07-13 21:00:00
109	CURA039707	Veillez rearmar le compresseur garo XK-161B	CURA	ELEC	2	815.12	DI00029289	2022-03-30 22:00:00
113	CURA039292	Blocage de la vanne d'isolation de streaner de XD-4161	CURA	MECA	4	1630.24	DI00028937	2022-03-09 10:30:00
116	CURA038931	Veillez verifier electriquement le test du compresseur	CURA	ELEC	12	4840.32	DI00028712	2022-02-16 12:00:00
124	CURA038626	Démontage et remontage de compresseur XK-161B pour changement de turbine	CURA	MECA	115	3858594.15	-	2022-02-14 15:30:00
127	CURA038551	Démontage /montage XK-161 B pour changement la turbine	CURA	MECA	47	17985.19	DI00028440	2022-01-31 22:30:00
129	CURA038379	Fuite au niveau de XK-161B	CURA	MECA	0	0	DI00028283	2022-01-17 13:09:48
161	CURA032817	Fuite acide sulfurique de la ligne de drainage de compresseur GARO XK-161B	CURA	MECA	3,5	1426.46	DI00024332	2021-05-16 04:30:00
182	CURA027693	Changement de lavanne manuelle 4" de la sortie XK-161B	CURA	MECA	2	815.12	DI00020520	2020-07-28 11:30:00
183	CURA027654	Reparation vanne auto XV- 4161B	CURA	INST	12	25393.08	DI00020460	2020-07-23 11:00:00
184	CURA027652	la fuite Voir la vanne de XV-4161B	CURA	INST	0	0	DI00020458	2020-07-26 08:18:45
185	CURA027638	Voir la vanne d'entrée Cl2 du XK-161B	CURA	MECA	4	1265.34	DI00020444	2020-07-26 19:30:00
192	CURA027573	Remontage des instruments compresseur GARO B	CURA	INST	55	31467.96	DI00020395	2020-07-20 11:00:00
201	CURA027447	Voir ft-4161b	CURA	INST	1	727.09	DI00020286	2020-07-12 17:00:00
203	CURA027434	Veiuillez demonter le comressuer GARO B	CURA	MECA	0	0	DI00020274	2020-07-10 16:08:01
207	CURA026811	Vanne manuelle de SP-compresseur ne fonctionne pas	CURA	CHAUD	0	0	DI00019845	2020-06-07 08:23:05
208	CURA026247	Les deux vannes d'appoint d'acid sulfurique vers XK-161B n'est pas étanche	CURA	MECA	4	1630.48	DI00019497	2020-07-16 11:30:00
213	CURA023254	Mise en place les joints plain dans XK-161B	CURA	MECA	0	0	DI00017483	2019-11-18 09:12:32
214	CURA023188	Reset de compresseur GARO KX-161B	CURA	ELEC	2,5	1018.9	DI00017454	2019-11-15 11:00:00
218	CURA022311	Intervention ele dans XK-161B	CURA	ELEC	3	1222.68	DI00016876	2019-10-05 15:00:00
222	CURA021088	Deblockage des vannes man XY4161BA /X4161BB	CURA	MECA	43,5	19764.885	DI00015950	2019-07-28 14:30:00
223	CURA020770	Blockage de la vanne de sortie acide/chlore de chompresseur GARO B vers XD-161	CURA	MECA	1	267.63	DI00015710	2019-07-11 09:00:00
225	CURA020439	Fuite importants dans les 2 bride (Entrée +drain) du H2SO4 de XK-161B	CURA	MECA	1,5	611.34	DI00015454	2019-06-21 20:30:00
227	CURA020136	Ouverture et fermeture de compresseur GARO pour vérification	CURA	MECA	31,5	12670.145	-	2019-06-13 22:00:00
228	CURA020131	Démontage des joints plain a l'entré de compresseur XK-161B	CURA	MECA	7	2632.42	-	2019-06-12 23:00:00
234	CURA019588	veillez mettre des joints pleins au niveau des brides de la ligne chlore du compresseur XK-161B	CURA	MECA	5	1534.55	DI00014993	2019-04-13 14:00:00
251	CURA015039	Fuite d'air dans le compresseur XK-161B	CURA	INST	1	407.56	DI00011576	2018-07-25 14:00:00
256	CURA014011	Changement de la vanne CV2 d'acid sulphirique de compresseur XK-161B vers XD-161	CURA	MECA	5,5	1999.03	DI00010868	2018-05-29 12:00:00
262	CURA013513	Désaccouplement de moteur XK161B	CURA	MECA	5	2037.92	-	2018-05-03 22:30:00
263	CURA013508	Veiller demonter le moteur et verfier XK161B	CURA	ELEC	4,25	1732.13	DI00010534	2018-05-03 10:30:00
277	CURA010381	FUITE DE H2SO4 AU NIVEAU DE LA VANNE MANUELLE DE COMPRESSEUR xk161b	CURA	MECA	7	2544.22	DI00008169	2017-11-18 10:00:00
279	CURA009951	Démontage et vérification du compresseur XK-161B	CURA	MECA	21,25	11728.965	DI00007837	2017-10-25 17:45:00

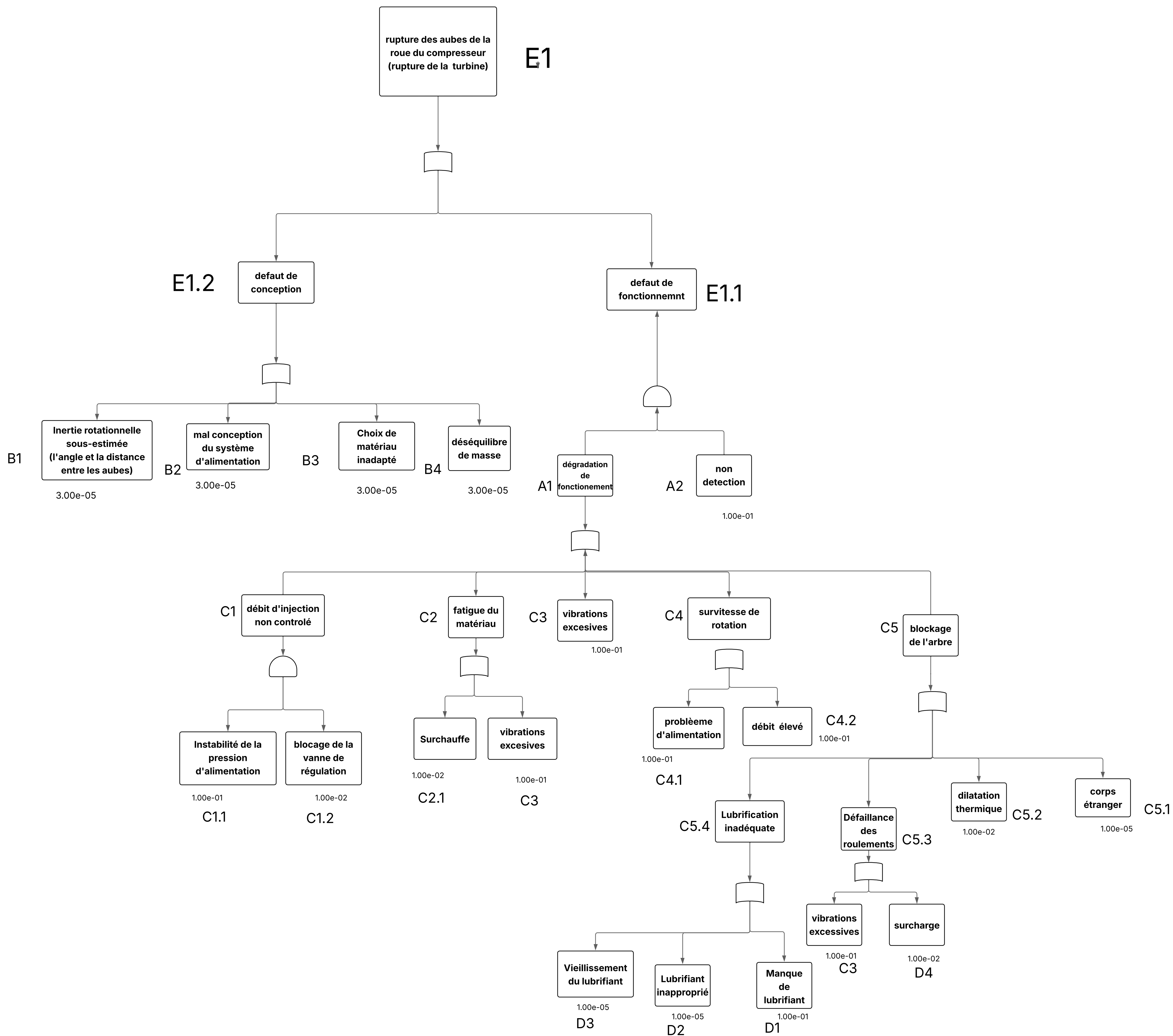
ANNEXE 06 : Interventions Curatives Compresseur XK-161A (Sans pannes liées aux vibrations)

N° d'OT	N° Intervention	Description	Type	Heures	Coût total	N° DI	Date de fin
114	CURA039125	Démontage et remontage de compresseur XK-161A pour changement de l'axe	CURA	21	6815,955	-	2022-03-08 10:00:00
123	CURA038635	Démontage et remontage de compresseur XK-161A pour changement de l'axe	CURA	58	23282,95	-	2022-02-10 17:30:00
125	CURA038603	Démontage et remontage de compresseur du XK-161A	CURA	39,5	14761,066	DI00028438	2022-01-31 15:30:00
130	CURA038370	Vérification de XK-161A	CURA	3	0	DI00028277	2022-01-16 16:00:00
133	CURA037222	Voir problème d'indication de marche de compresseur GARO XK-161A	CURA	1	407,56	DI00027472	2021-11-20 04:00:00
138	CURA036258	Voir problème de démarrage de compresseur XK-161A	CURA	1,5	611,34	DI00026747	2021-03-29 13:30:00
144	CURA035319	Changement visible XK- 161A	CURA	2,75	1120,79	DI00026156	2021-08-18 14:45:00
148	CURA034950	Changement la vanne d'isolement de FIT-4161A	CURA	7	2852,92	DI00025840	2021-07-17 16:30:00
163	CURA032634	Réparation et Arrangement câble de compresseur GARO XK-161A/B	CURA	63	39275,795	DI00024304	2021-03-31 16:30:00
167	CURA031306	Il manque branchement électrique a coté XK-161	TAMEL	4	1630,24	DI00023246	2021-01-19 10:00:00
170	CURA030781	Problème d'affichage de démarrage compresseur GARO XK-161A	CURA	2	1064,36	DI00022801	2020-12-27 16:00:00
171	CURA030755	Problème d'affichage de démarrage compresseur GARO XK-161A	CURA	2	815,12	DI00022802	2020-12-27 17:30:00
175	CURA028575	Vérification l'arrêt de compresseur XK-161A (ampérage)	CURA	0	0	DI00021122	-
177	CURA028150	Découpage des boulons des brides de compresseur XK-161	CURA	5	1971,65	-	2020-08-26 21:00:00
189	CURA027620	Il y a une tige endommagé dans une bride de la ligne de drainage	CURA	9	3133,62	DI00020435	2020-07-26 10:30:00
191	CURA027575	Changement deux vannes manuelles de nitrogène entée xk-161A	CURA	5	1817,3	DI00020397	2020-07-21 11:00:00
194	CURA027543	Changement le manomètre de pression PI	CURA	9	4697,28	-	2020-07-16 15:00:00
196	CURA027511	Installation manometre PI-4161 dans XD-161	CURA	2	1672,28	DI00020331	2020-07-20 13:00:00
209	CURA024653	La vanne LCV-4161 passing	CURA	4	2316,4	DI00018465	2020-02-24 10:00:00
210	CURA024652	Vérification de compresseur GARO XK-161A (débit aside sulfurique reste low	CURA	0	0	DI00018463	2020-01-30 09:42:07
212	CURA023255	Démontage/Montage le clapé d'entrée CI2 du XK-161A pour nettoyage	CURA	0	0	DI00017484	2019-11-18 09:11:57
215	CURA023106	Appoint d'huile au niveau de compresseur GARO, KX-161A	CURA	1,5	545,19	DI00017394	2019-11-09 20:00:00
217	CURA022465	Démontage le strainer du H2So4 pour nettoyage avant HE-4161	CURA	3,5	1292,42	DI00016958	2019-10-16 16:30:00
219	CURA021899	Appoint d'huile au niveau de compresseur GARO XK-161A	CURA	1	363,46	DI00016571	2019-09-12 08:00:00
220	CURA021605	La vanne manuel du SP-4161 est cassé	CURA	2,5	878,12	DI00016376	2019-08-29 14:30:00
221	CURA021580	Démontage et vérification de clapet anti-retour d'entrée chlore vers XK-161A	CURA	3	1090,38	DI00016350	2019-08-28 15:00:00
229	CURA020034	Changement de Sectionneur 400 A du compresseur	CURA	9	3630,24	-	2019-05-08 11:00:00
231	CURA019754	Manque handles valve des vannes de strainer et by pass de XD-161 vers HE-161	CURA	5,5	1999,03	DI00015097	2019-04-30 14:45:00
237	CURA018796	Appoint d'huile au niveau de compresseur XK-161A	CURA	1	363,46	DI00014452	2019-02-24 17:30:00
242	CURA017108	Appoint d'huile au niveau de XK-161A	CURA	1	407,62	DI00013127	2018-11-20 07:30:00
243	CURA017008	Veillez reparer la commande de xk161A	CURA	0	0	DI00013051	-
244	CURA016918	Veillez faire un appoint d'huile dans le XK-161A	CURA	1	269,21	DI00012988	2018-11-09 07:30:00
245	CURA016515	Veillez brancher le cable d'alimentation	CURA	0	0	DI00012699	-
249	CURA015129	Veillez nettoyer l'unité des deux compresseurs garo XK-161A/B	CURA	0	0	DI00011659	2018-08-05 11:52:47
257	CURA014002	Démontage et montage clapet anti-retour après le nettoyage pour XK-161A	CURA	19,5	6771,745	DI00010856	2018-05-29 15:30:00
260	CURA013739	Manque d'huile dans compresseur A	CURA	1	407,56	DI00010705	2018-05-14 09:00:00
274	CURA011555	L'ouverture le couvercle de clapet anti_retour de chlore XK-161A	CURA	5	2044,85	DI00009097	2018-01-26 05:30:00
280	CURA009948	Démontage de la turbine de compresseur XK-161A	CURA	7	2679,491	DI000078	

ANNEXE 07 : Interventions Curatives Compresseur XK-161B (Sans pannes liées aux vibrations)									
N° d'OT	N° Intervention	Description	Type	Classe	Heures	Coût total	N° DI	Date fin	
5	CURA053540	Ouverture et fermeture pour déblocage de clapet anti retour de compresseur GARO	CURA	MECA	2	535,26	DI00039610	2024-08-24 18:00:00	
10	CURA051811	Verification l emperrage XK-161B	CURA	ELEC	2	815,12	DI00038327	2024-04-25 12:30:00	
27	CURA049298	Appoint d'huile XK-161B	CURA	MECA	1	407,62	DI00036445	2023-11-08 16:00:00	
49	CURA045763	XK-161B besoin d'huile	CURA	MECA	2	535,26	DI00033831	2023-04-11 16:24:00	
55	CURA045044	Veillez faire un appoint d'huile pour compresseur garo	CURA	MECA	1,5	545,19	DI00033272	2023-03-02 20:00:00	
56	CURA045043	Voir le reset du XK-161B	CURA	ELEC	0	0	DI00033245	2023-03-02 14:38:13	
82	CURA043111	Reset de compresseur GARO XK-161B	CURA	-	0	0	DI00031660	-	
98	CURA042172	Veillez nettoyer le strainer de D-161 de l'unité compresseur Garo	CURA	MECA	1,5	545,19	DI00031101	2022-09-13 07:00:00	
100	CURA041295	Veillez voir le probleme de disjonction du moteur compresseur XK-161B	CURA	ELEC	2	815,12	DI00030471	2022-07-13 21:00:00	
109	CURA039707	Veillez rearmar le compresseur garo XK-161B	CURA	ELEC	2	815,12	DI00029289	2022-03-30 22:00:00	
116	CURA038931	Veillez verifier electriquement le test du compresseur	CURA	ELEC	12	4840,32	DI00028712	2022-02-16 12:00:00	
124	CURA038626	Démontage et remontage de compresseur XK-161B pour changement de turbine	CURA	MECA	115	3858594,15	-	2022-02-14 15:30:00	
127	CURA038551	Démontage /montage XK-161 B pour changement la turbine	CURA	MECA	47	17985,19	DI00028440	2022-01-31 22:30:00	
182	CURA027693	Changement de lavanne manuelle 4" de la sortie XK-161B	CURA	MECA	2	815,12	DI00020520	2020-07-28 11:30:00	
183	CURA027654	Reparation vanne auto XV- 4161B	CURA	INST	12	25393,08	DI00020460	2020-07-23 11:00:00	
184	CURA027652	la fuite Voir la vanne de XV-4161B	CURA	INST	0	0	DI00020458	2020-07-26 08:18:45	
192	CURA027573	Remontage des instruments compresseur GARO B	CURA	INST	55	31467,96	DI00020395	2020-07-20 11:00:00	
201	CURA027447	Voir ft-4161b	CURA	INST	1	727,09	DI00020286	2020-07-12 17:00:00	
203	CURA027434	Veillez demonter le comressuer GARO B	CURA	MECA	0	0	DI00020274	2020-07-10 16:08:01	
207	CURA026811	Vanne manuelle de SP-compresseur ne fonctionne pas	CURA	CHAUD	0	0	DI00019845	2020-06-07 08:23:05	
214	CURA023188	Reset de compresseur GARO KX-161B	CURA	ELEC	2,5	1018,9	DI00017454	2019-11-15 11:00:00	
218	CURA022311	Intervention ele dans XK-161B	CURA	ELEC	3	1222,68	DI00016876	2019-10-05 15:00:00	
227	CURA020136	Ouverture et fermeture de compresseur GARO pour vérification	CURA	MECA	31,5	12670,145	-	2019-06-13 22:00:00	
256	CURA014011	Changement de la vanne CV2 d'acid sulphurique de compresseur XK-161B vers XD-161	CURA	MECA	5,5	1999,03	DI0		

ANNEXE 08 : Analyse des Modes de Défaillances,de leurs Effets et de leurs criticités (AMDEC) sur le compresseur GARO										
Élément	Fonction / État	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	P	G	PND	Criticité (P×G×PND)	Action corrective	
vanne de Distribution de gaz conique	Distribuer le gaz dans la chambre de compression	Ne s'ouvre pas	Fatigue cyclique, vibration excessive, blocage mcanique	Arrêt de production	2	2	2	8	Maintenance préventive, inspection mécanique	
		Ne se ferme pas	Dépôts de particules, blocage mécanique	débit non contrôlé	2	3	4	24	Filtration améliorée, nettoyage périodique	
		Fuite	vibrations excessives, joint défailant	Fuites locales, dispersion du gaz toxique	2	4	3	24	Matériaux résistants à l'abrasion	
Carter	Contenir le fluide et supporter les composants	Défaillance structurelle (rupture)	Fatigue, environnement corrosif, vibrations excessives	Fuite de fluide(chlore), arrêt de production	3	4	3	36	Contrôle de corrosion, matériaux adaptés	
		Fuite	Vieillessement, serrage incorrect, vibrations excessives	Fuites aux interfaces	1	4	2	8	Contrôle du serrage, joints adaptés	
		Vibrations	désalignement du rotor, déséquilibre du rotor	glissement du corps	4	2	2	16	Équilibrage, fixation renforcée	
Rotor	Transmettre la rotation à la roue à aubes	Dérives des performances	désalignement, déséquilibre,Surchauffe locale, vibrations	fonctionnement dégradé	1	4	3	12	inspection mécanique	
		Vibrations	désalignement, déséquilibre	fissure , fatigue du matériau	3	4	2	24	Équilibrage , Alignement	
		Fonctionnement irrégulier	flexion, choc mécanique, vibrations excessifs, fatigue	Perturbation du flux, cisaille du rotor	3	3	3	27	Contrôle de vitesse, régulation	
		Défaillance structurelle (rupture)	Fatigue cyclique, vibration excessive, choc mécanique	Rupture catastrophique	3	5	2	30	contrôle de vitesse, CND	
		Arrêt prématuré	Humidité, arrêt de moteur	Arrêt de production	3	1	3	9	Protection contre l'humidité	
Roue à aubes (turbine)	Créer la compression par rotation	Fonctionnement irrégulier	Choc hydraulique, fatigue	Déséquilibre brutal, rupture des aubes	4	5	2	40	Contrôle des coups de bélier	
		Arrêt prématuré	Particules abrasives	Perte d'efficacité	1	4	3	12	Filtration, matériaux résistants	
		Dérives des performances	température élevée	Réduction de la capacité de compression	1	3	4	12	Refroidissement, contrôle thermique	
Garniture mécanique	Étanchéité de l'arbre	Vibrations	désalignement du rotor, déséquilibre du rotor	Rupture catastrophique	2	4	2	16	Équilibrage , Alignement	
		Défaillance structurelle (rupture)	Frottement excessif , vibrations excessives	Fusion des faces d'étanchéité	3	5	2	30	Lubrification, refroidissement	
		Dérives des performances	Poussière, produits chimiques	Dégradation du matériau	1	3	3	9	Contrôle non-destructif CND	
Roulements/paliers	Guider et supporter la rotation	Blocage physique ou coincement	Lubrification insuffisante	Blocage du rotor	4	5	2	40	Système de lubrification fiable	
		Défaillance structurelle (rupture)	Fatigue cyclique, vibration excessive	Rupture catastrophique	3	5	2	30	Surveillance vibratoire	
		Vibrations	désalignement, déséquilibre	bruit, fissure des roulements	2	3	3	18	Équilibrage , Alignement	
		Dérives des performances	Humidité dans le lubrifiant	Réduction de la durée de vie	1	4	4	16	Étanchéité améliorée	
Moteur	Fournir l'énergie de rotation	Ne démarre pas	Ventilation obstruée, pas alimenté, phase défailant	arrêt de production	2	2	3	12	Nettoyage ventilation	
		Arrêt prématuré	alimentation élecrtique non contrôlé	Arrêt de moteur, moteur défailant	3	4	3	36	Régulation électrique	
		Dérives des performances	Surcharge électrique, vibrations excessives	Arrêt du moteur,	1	4	2	8	Protection surcharge	
		Court-circuit	Humidité, surtension	Arrêt imprévu	2	5	4	40	Arrêt du moteur	

ANNEXE 09 : L'arbre de défaillance de l'évènement redouté "rupture de la turbine du compresseur"



ANNEXE 10 : L'arbre de défaillance de l'évènement redouté "cisaillement de l'arbre de rotation "

