

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية
Université de Ghardaïa

N° d'enregistrement
/...../...../...../...../..



كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
قسم الآلية والكهروميكانيك
Département d'automatique et électromécanique

Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme

Licence professionnelle

Domaine : Sciences et technologies,
Filière : Energies renouvelables
Spécialité : Energies renouvelables et environnement

Thème

**Surveillance vibratoire et intervention pratique sur le
compresseur centrifuge**

Présenté par :
Djenfi Rebiha

Soutenue publiquement le 20/05/2025

Devant le jury composé de :

BELAGHIT Abdelhakem	MCB	Université.de ghardaia	Président
ZITANI Brahim	MAA	Université.de ghardaia	Encadreur
CHARA Nadia	Ingénieur	Sonatrach Hassi R'mel.	Co-encadreur
TAHTAH Reda	MCB	Université.de ghardaia	Examineur

Année universitaire 2024/2025

Résumé

Ce travail, réalisé au sein de la raffinerie SONATRACH HASSI R'MEL a porté sur le diagnostic de défauts mécaniques au niveau de l'accouplement entre une turbine à deux étages (haute pression HP et basse pression LP) et un compresseur centrifuge. Une analyse vibratoire approfondie a été effectuée pour identifier les causes des anomalies observées en fonctionnement. L'étude a inclus le contrôle de l'alignement de l'accouplement, l'examen des conditions de lubrification (pression, température, qualité de l'huile), ainsi que l'analyse des spectres vibratoires. Trois recommandations ont été proposées : vérification de l'alignement, contrôle du système de lubrification, et mise en place d'un suivi vibratoire post-intervention. Ce travail m'a permis de développer mes compétences en diagnostic industriel et d'approfondir mes connaissances sur le rôle des machines tournantes dans la transmission d'énergie.

Mots clés : Turbine, Compresseur, Alignement, Diagnostc.

Resume

This work, carried out at the SONATRACH HASSI R'MEL refinery, focused on diagnosing mechanical faults in the coupling between a two-stage turbine (high pressure HP and low pressure LP) and a centrifugal compressor. A detailed vibration analysis was conducted to identify the causes of anomalies observed during operation. The study included checking the coupling alignment, examining lubrication conditions (pressure, temperature, oil quality), and analyzing vibration spectra.

Three recommendations were proposed:

verification of alignment, inspection of the lubrication system, and implementation of post-maintenance vibration monitoring.

This project allowed me to develop my skills in industrial diagnostics and deepen my understanding of the role of rotating machinery in energy transmission.

Keywords: Turbine, Compressor, Alignment, Diagnostics

ملخص

يندرج هذا العمل ضمن التربص في مصفاة سوناطراك حاسي الرمل وقد تمحور حول تشخيص أعطال ميكانيكية على مستوى الاقتران بين توربين ثنائي المراحل (ضغط عالي HP وضغط منخفض LP) وضغط طرد مركزي. تم تنفيذ تحليل اهتزازي دقيق لتحديد أسباب الاهتزازات غير الطبيعية التي ظهرت أثناء التشغيل. شملت الدراسة فحص محاذاة الاقتران، ومراقبة ظروف اشتغال نظام التزييت (الضغط، درجة الحرارة، وجودة الزيت)، بالإضافة إلى تحليل أطياف الاهتزاز. أسفرت النتائج عن ثلاث توصيات أساسية: التحقق من المحاذاة، مراقبة نظام التزييت، واعتماد متابعة اهتزازية بعد التدخل. مكّني هذا العمل من تعزيز مهاراتي في مجال التشخيص الصناعي وفهم أعمق لأهمية الآلات الدوارة في نقل الطاقة داخل الوحدات الصناعية

الكلمات المفتاحية: جهاز التوسيع التوربيني، المحاكاة، المردود، التمدد

DÉDICACE

J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail à :

toute ma famille pour leurs soutiens durant toutes mes années d'études.

Rebiha

REMERCIEMENTS

*Avant toute chose, je rends grâce à **Allah**, le Tout-Puissant, pour m'avoir donné la santé, la patience et la force nécessaires pour mener à bien ce travail.*

Je tiens ensuite à exprimer ma profonde gratitude à toute personne ayant contribué, de près ou de loin, à l'élaboration de ce mémoire

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.

*Je remercie tout d'abord mon encadreur, Monsieur **Zitani Brahim**, pour ses orientations, ses conseils précieux et son accompagnement tout au long de ce travail.*

*Mes sincères remerciements vont également à Madame **CHARA Nadia**, Ingénieur Mécanique service Compresseurs au sein de la société **SONATRACH** –DP Hassi R'mel, pour son accueil chaleureux, son encadrement professionnel et son soutien tout au long de mon stage.*

Je remercie aussi l'ensemble du personnel technique de l'unité pour leur collaboration, leur disponibilité et les connaissances qu'ils m'ont partagées.

Enfin, j'adresse mes remerciements les plus sincères à ma famille et à mes amis pour leur soutien moral, leur patience et leurs encouragements constants tout au long de mon parcours universitaire.

Rebiha

Table de matières

1	DÉDICACE.....	I
2	REMERCIEMENTS	III
3	RESUME	I
4	LISTE DES FIGURES.....	VI
5	LISTE DES TABLEAUX.....	VIII
6	LISTE DES ABREVIATIONS.....	IX
7	INTRODUCTION GENERALE	1
1	CHAPITRE I PRESENTATION DE CHAMP HASSI R'MEL ET GENERALITE	
	SUR LES COMPRESSEURS CENTRIFUGES.....	2
1.1	Introduction :	1
1.2	Situation géographique de Hassi R'mel :	2
1.3	Historique du champ de Hassi R'mel :	2
1.4	Développement du champ de Hassi R'mel :	3
1.5	Capacité de production	3
1.6	Direction régionale de Hassi R'mel :	3
1.7	Les installations gazières à Hassi R'mel :	4
1.8	Les activités du champ de Hassi R'mel.....	5
1.9	Composantes principales de la station :	7
1.10	Description des compresseurs centrifuges utilisés dans la station de compression	8
1.11	Diaphragme :	9
1.12	Ensemble rotor du BCL 405/c	10
1.13	Piston d'équilibrage :	11
1.14	Paliers porteurs :	12
1.15	Paliers de butée :	13
1.16	1.15:Disque de butée :	13
1.17	Caractéristiques de fonctionnement du compresseur BCL 405/c	14
1.18	Conclusion.....	15
2	CHAPITRE II LA MAINTENANCE DES COMPRESSEURS CENTRIFUGE	
	BCL405/C	16
2.1	Introduction	17
2.2	Maintenance	17
2.2.1	Objectifs de la maintenance :	17
2.2.2	Type de maintenance :	17
2.2.3	Maintenance Préventive (Maintenance effectuée avant la défaillance) :	18
2.3	Entretien du compresseur BCL405/c :	20
2.3.1	Mise en route :	20
2.3.2	Arrêt :	21
2.3.3	Entretien courant :	22
2.4	La maintenance des compresseurs centrifuge BCL405C :	23
2.5	Conclusion.....	39
3	CHAPITRE III ANALYSE VIBRATION.....	40
3.1	Introduction :	41
3.2	Qu'est-ce que la vibration ?	41
3.3	Choix des unités vibratoires:	42
3.4	Points de mesure:.....	42
3.5	Principes de base des ondes:.....	44
3.5.1	Fréquence (cycle):.....	45
3.5.2	Amplitude	45
3.5.3	Phase	46

3.5.4	la Forme du signal	46
3.6	Outils pour la surveillance et le diagnostic	47
3.6.1	Temporel.....	47
3.6.2	Valeur maximale (Acc).....	47
3.6.3	Amplitude crête à crête (ou inter-crête).....	47
3.6.4	La valeur efficace Aeff ou RMS (Root Mean Square - valeur efficace moyenne) : ..	47
3.6.5	Vitesse effective.....	48
3.6.6	Accélération effective	48
3.7	Indicateurs spécifiques	48
3.7.1	Facteur de crête.....	48
3.7.2	Facteur K	49
3.7.3	Zone de fréquence.....	50
3.7.4	Analyse du domaine orbital	51
3.7.5	la forme d'orbite et le défaut probable	52
3.8	Les vibrations	52
3.8.1	Explication.....	52
3.8.2	Catégories	52
3.8.3	Capteur de proximité	52
3.8.4	Attributs	53
3.8.5	Limitations.....	53
3.8.6	Capteurs de vitesse vibratoire.....	54
3.8.7	Capteurs piézoélectriques de vitesse	54
3.8.8	Détecteurs de vitesse.....	55
3.8.9	Propriétés	55
3.8.10	Contraintes	55
3.8.11	les accéléromètres	56
3.8.12	Spécifications	56
3.8.13	Limitations	57
3.9	Catégories de systèmes de surveillance.....	57
3.9.1	Système de contrôle continu « en temps réel ».....	58
3.9.2	Procédé automatisé	59
3.9.3	Manual Method.....	59
3.10	Types d'anomalies dans les machines en rotation	59
3.11	Rapport du diagnostic.....	61
3.12	Conclusion des analyse et constitutions:	62
4	CONCLUSION GENERALE	64
5	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	65
6	ANNEXES	66
6.1	Annexes N° 1.....	66
6.2	Annexes N° 2.....	67
6.3	Annexes N° 3.....	68
6.4	Annexes N° 4.....	69
6.5	Annexes N° 5.....	70
6.6	Annexes N° 6.....	71
6.7	Annexes N° 7.....	72
6.8	Annexes N° 8.....	73
6.9	Annexes N° 9.....	74
6.10	Annexes N° 10.....	75
6.11	Annexes N° 11.....	76

Liste des figures

Figure 1-1 Situation géographique " Hassi-R'mel "	2
Figure 1-2 Organigramme de la direction régionale de HassiR'mel.....	4
Figure 1-3 Répartition des différentes installations sur le champ de HASSI R'MEL	4
Figure 1-4 Codification du compresseur BCL 405/	8
Figure 1-5 ensemble aérodynamique d'un compresseur centrifuge.....	10
Figure 1-6 roues fermée à contre disque	11
Figure 1-7 Labyrinthe et piston d'équilibrage	11
Figure 1-8 Piston d'équilibrage	12
Figure 1-9 palier porteur.....	12
Figure 1-10 Palier de butée	13
Figure 1-11 disque de buttée	13
Figure 2-1 Types de la maintenance.....	18
Figure -2.2 Type d'entretien.....	20
Figure2-3 le caches.....	24
Figure 2-4 Accouplement	25
Figure 2-5 Composants du compresseur	26
Figure 2-6 cache et les conduites	27
Figure 2-7 Mouvement de mesurer	27
Figure 2-8mouvement de mesurer.....	28
Figure 2-9 palier actif	28
Figure 2-10 l'écrou de butée	29
Figure 2-11 couvercle et la cale interne	29
Figure 2-12 Les tiges d'extraction.....	30
Figure 2-13 Fixer les secteurs	30
Figure 2-14 Démontage de la couronne.	31
Figure 2-15 La couronne	31
Figure 2-16 les secteurs	31
Figure 2-17 triangle et les tiges	32
Figure 2-18 Labyrinthe d'extrémité	32
Figure 2-19 Labyrinthe de piston d'équilibrage.....	33
Figure 2-20 Phase inspection et contrôle	33
Figure 2-21 Compresse centrifuge	34
Figure 2-22 Labyrinthe inter-étage.....	35
Figure 2-23 jeu de cale (roue/entretoise).....	35
Figure 2-24 Vérin	37
Figure 3-1 The nature of vibration	41
Figure 3-2 un accéléromètre.....	42
Figure 3-3 lieu d'onde harmonique simple du mouvement de la masse du ressort en fonction du temps	43
Figure 3-4: forme d'onde de l'accélération, de la vitesse du déplacement de la masse dans un mouvement harmonique simple	44
Figure 3-5 comparaison d'ondes de différentes amplitudes.....	45
Figure 3-6 Relation de phase entre deux	46
Figure 3-7 Trois méthodes de mesure d'amplitude d'un signal a fréquence unique onde sinusoïdale	48
Figure 3-8 le principe du facteur de crête.....	49
Figure 3-9 variation du facteur k en fonction du temps	49
Figure 3-10 signature vibratoire typique dans le domaine fréquentiel.....	50
Figure 3-11 Relation entre la domaine temporel et le domaine fréquentiel	51

Figure 3-12 trace orbital génère à partir de deux sondes de proximité orthogonales	51
Figure 3-13 orthogonal proximité probe	53
Figure 3-14 Deux types de composants piézoélectriques	54
Figure 3-15 capteur de vitesse.....	55
Figure 3-16 Accéléromètres piézoélectriques	56
Figure 3-17 off-line monitoring	57
Figure 3-18 surveillance en ligne	58
Figure 3-19 Déséquilibre statique et de couple	60
Figure 3-20 Accouplement en etude	61

Liste des tableaux

Tableau 1-1 caractéristiques du compresseur BCL/405 c	14
Tableau 0-1 jeu d'aspiration et jeu total et refoulement.....	36

Liste des abréviations

HR :	Hassi R'mel
HP :	Haute pression
LP :	Basse pression
Hz :	Hertz (unité de fréquence)
RPM :	Revolutions Per Minute (tours par minute)
kW :	Kilowatt (unité de puissance)
MPa :	Mégapascal (unité de pression)
MCS:	Système de controle mécanique
PPM :	Partie par millions
T :	Température (°C)
v:	Volume (m ³)
W:	Travail mécanique (KJ/h)
η:	Rendement (%)

Introduction générale

Dans un contexte de transition énergétique, la compréhension et la maîtrise des systèmes de production, de conversion et de transmission d'énergie représentent un enjeu crucial pour les ingénieurs du secteur. Bien que ma formation soit centrée sur les énergies renouvelables, il est essentiel d'acquérir une vision globale des systèmes énergétiques, incluant les installations industrielles conventionnelles encore largement utilisées à l'échelle mondiale.

C'est dans ce cadre que j'ai effectué mon stage au sein de la raffinerie **SONATRACH HASSI R'MEL** un site industriel complexe où les machines tournantes jouent un rôle fondamental dans le fonctionnement des procédés. Ces équipements — turbines, compresseurs, pompes, alternateurs — assurent la transmission du travail mécanique et la conversion de l'énergie, que ce soit sous forme thermique, électrique ou cinétique. Leur bon fonctionnement conditionne à la fois la performance, la sécurité et la continuité de l'activité industrielle.

Ma mission a porté plus précisément sur l'analyse du comportement dynamique d'un train tournant, composé d'une turbine à gaz et un compresseur centrifuge.

Suite à l'observation d'anomalies vibratoires, un diagnostic technique a été réalisé afin d'identifier les sources potentielles de dysfonctionnement et de formuler des recommandations adaptées. L'étude s'est appuyée sur des relevés de données vibratoires, l'analyse du système de lubrification, ainsi que des contrôles d'alignement mécaniques.

Ce stage, bien que réalisé dans un environnement issu du secteur pétrolier, m'a permis de renforcer mes compétences techniques en diagnostic énergétique et en maintenance industrielle. Il m'a surtout offert une meilleure compréhension du rôle central que jouent les machines tournantes dans la chaîne de production d'énergie — une réalité commune aux systèmes fossiles comme renouvelables.

Chapitre I

**Présentation de champ Hassi R'Mel et
Généralité sur les Compresseurs Centrifuges**

1.1 Introduction :

L'énergie constitue un pilier central du développement économique de l'Algérie, un pays dont l'économie reste largement tributaire des hydrocarbures. Parmi ces ressources, le gaz naturel occupe une place de plus en plus stratégique à l'échelle mondiale, en raison de ses vastes réserves et de ses avantages environnementaux indéniables.

Découvert en 1921, le gaz naturel a connu une transformation profonde, soutenue par les avancées technologiques, qui lui ont permis de s'imposer comme une ressource énergétique essentielle dans divers secteurs économiques, notamment dans le domaine résidentiel, le transport et l'industrie. L'Algérie, qui détient environ 10 % des réserves mondiales de gaz naturel, voit plus de la moitié de ces réserves concentrées dans le gisement de Hassi R'Mel, le plus important du pays.

Le gaz naturel extrait en Algérie est essentiellement composé de méthane (C_1), mais il inclut également des hydrocarbures plus lourds et des impuretés, telles que l'azote, le dioxyde de carbone (CO_2) et l'eau. En fonction de sa composition et de son mode d'utilisation, il peut se présenter sous plusieurs formes distinctes, à savoir :

Gaz sec ou gaz de vente: riche principalement en méthane (C_1) et en éthane (C_2), destiné à des usages variés, notamment dans le secteur résidentiel et industriel.

Gaz de pétrole liquéfié (GPL): composé principalement de propane (C_3) et de butane (C_4), utilisé surtout comme carburant et dans les applications domestiques.

Condensats : formés d'hydrocarbures plus lourds (C_5 et au-delà), utilisés dans la production de divers dérivés pétroliers.

Cette diversité de fractions permet une exploitation et une valorisation optimisées du gaz naturel, en adéquation avec les besoins énergétiques et les exigences économiques modernes de l'Algérie.[1]

1.2 Situation géographique de Hassi R'mel :

Le gisement de gaz de Hassi R'mel se trouve à environ 550 km au sud d'Alger, à une altitude de 760 m. Il s'étend sur une superficie de 3 500 km² (70 km dans l'axe nord-sud et 50 km est-ouest), occupant un vaste plateau rocaillieux. Le climat de la région est aride, caractérisé par une humidité moyenne de 19 % en été et 34 % en hiver, Les températures y sont extrêmes, variant de -5 °C en hiver à 45 °C en été.

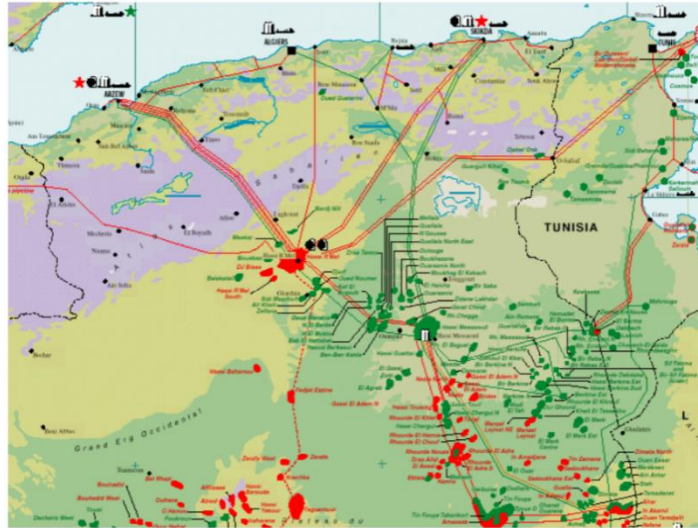


Figure 1-1 Situation géographique " Hassi-R'mel "

1.3 Historique du champ de Hassi R'mel :

Découvert en 1951, le gisement de Hassi R'mel a vu la réalisation du premier forage d'exploitation, le puits HR1, en 1952, près de la localité de Berrière. Ce premier puits a permis de confirmer la présence d'un gaz riche en condensats, situé dans les formations trias gersoises à une profondeur de 2 332 mètres, sous une pression de 310 atm et une température de 90 °C. Entre 1957 et 1960, sept autres puits (HR2 à HR8) ont été forés pour étudier et exploiter davantage ce gisement.

Classé quatrième au niveau mondial et premier en Algérie, le gisement s'étend sur une superficie de 3 500 km², avec une longueur de 70 km du nord au sud et 50 km d'est en ouest. Les réserves de gaz, localisées entre 2 110 et 2 280 mètres de profondeur, sont estimées à environ 2 415 milliards de m³, tandis que les ressources totales du gisement sont évaluées à plus de 2 800 milliards de m³. [1]

1.4 Développement du champ de Hassi R'mel :

Le gisement de Hassi R'Mel, découvert en 1951, constitue un pilier majeur de l'économie algérienne, positionnant le pays parmi les quatre plus grands producteurs mondiaux de gaz. Son développement s'est déroulé en plusieurs étapes déterminantes:

Première étape (1961-1969) : En 1961, une première unité de traitement (Module 0) est mise en service, avec une capacité de 1,3 milliard de m³/an. Cette période coïncide également avec la construction de la première usine de liquéfaction à Arzew en 1964. En 1969, la capacité de traitement est augmentée pour atteindre 4 milliards de m³/an.

Deuxième étape (1969-1971) : Après la nationalisation des hydrocarbures en 1971, la capacité de traitement du gisement est considérablement élargie, atteignant 14 milliards de m³/an.

Troisième étape : La capacité de traitement est encore renforcée, culminant à 94 milliards de m³ par an grâce à la construction de quatre complexes de traitement (chacun d'une capacité de 20 milliards de m³ par an) et de deux stations de réinjection (capacité de 30 milliards de m³ par an et 600 000 CV chacune).

Étape actuelle : Après plus d'un quart de siècle d'exploitation, la stratégie vise à maintenir le niveau de production en introduisant la recompression et en mettant en œuvre le projet "Boosting" pour optimiser les installations existantes sans modifier le process.

1.5 Capacité de production

Le champ de Hassi R'Mel peut atteindre les productions suivantes :

100 milliards de m³ de gaz sec.

12 millions de tonnes de condensat.

3,5 millions de tonnes de GPL.

1.6 Direction régionale de Hassi R'mel :

La mission principale de la Direction régionale de Hassi R'Mel est axée sur le développement et l'exploitation des hydrocarbures. Pour accomplir efficacement ses objectifs, elle s'est structurée autour de sous-directions et divisions, présentées dans la figure (I.2). Cette structure permet de répondre de façon efficace aux exigences du plan de charge.

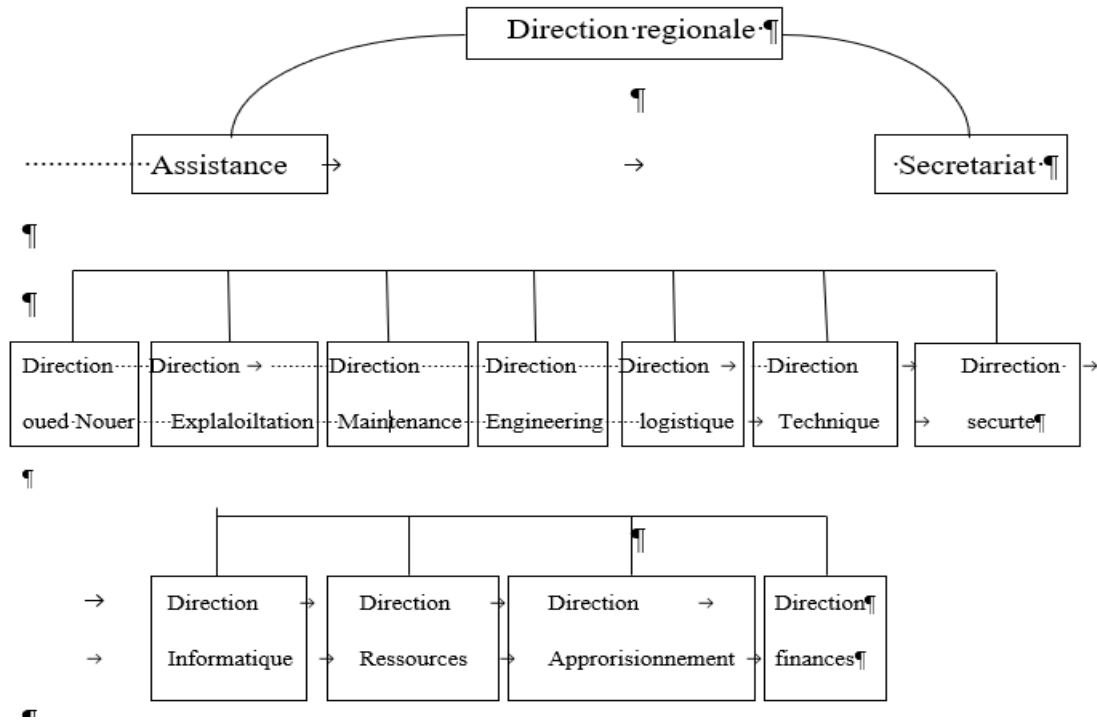


Figure 1-2 Organigramme de la direction régionale de HassiR'mel

1.7 Les installations gazières à Hassi R'mel :

L'aménagement des installations gazières sur le champ de Hassi R'Mela été conçu pour garantir une exploitation optimale du gisement et maximiser la récupération des hydrocarbures liquides. Les cinq modules de traitement de gaz (0, 1, 2, 3 et 4) sont disposés de manière alternée entre les deux stations de compression (Nord et Sud) afin d'optimiser le balayage du gisement et d'assurer une meilleure efficacité opérationnelle.

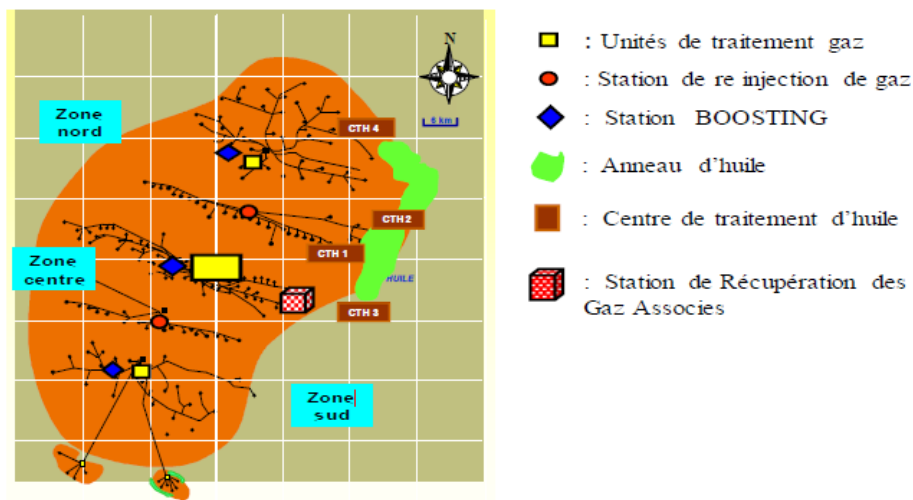


Figure 1-3 Répartition des différentes installations sur le champ de HASSI R'MEL

Les installations mises en œuvre sont comme suit :

A - Zone Centre :

Modules de traitement de gaz 0, 1 et 4, ainsi que les installations communes (commun).

Centre de Stockage et de Transfert (CSTF).

Centre National de Dispatching de Gaz (CNDG).

Stations de Récupération des Gaz Associés (SRGA1 et SRGA2).

Station BOOSTING Centre phase II.

Station BOOSTING Centre phase III.

B - Zone Nord :

Module de traitement de gaz 3.

Station de Compression Nord (SCN).

Station BOOSTING Nord phase II.

Station BOOSTING Nord phase III.

C - Zone Sud :

Module de traitement de gaz 2.

Station de Compression Sud (SCS).

Centre de Traitement G/Djebel Bissa.

Centre de Traitement de Gaz CTG/HR-Sud.

Station BOOSTING Sud phase II.

Station BOOSTING Sud phase III.

1.8 Les activités du champ de Hassi R'mel

Modules de traitement :

Le champ de Hassi R'Mel dispose de cinq modules de traitement de gaz. Quatre d'une

capacité de 60 millions de m³/jour et un plus ancien (Module 0) de 30 millions de m³/jour. Les modules 1 et 0 partagent une unité complémentaire ("communs" ou "phase B").

Les hydrocarbures liquides (GPL et condensat) sont stockés au CSTF, et deux stations de réinjection (90 millions de m³/jour chacune) maintiennent la pression du gisement. Le parc comprend également :

5 500 machines tournantes.

2 000 équipements statiques.

16 000 instruments de mesure et de contrôle.

Centre de Stockage et de Transfert (CSTF).

Centre de Stockage et Transfert (CSTF) : Situé dans la zone centrale, le CSTF stocke et prépare le GPL et le condensat avant leur expédition vers Arzew. Il comprend :

3 bacs de 35 000 m³ et 4 bacs de 45 000 m³ pour le condensat.

12 sphères de 7 000 m³ pour le GPL.

Les vapeurs de GPL sont récupérées et réinjectées pour éviter le torchage.

Station de Récupération des Gaz Associés (SRGA) :

Mise en service en 1999, la SRGA traite 4 000 m³/jour de gaz associés avec quatre turbocompresseurs d'une capacité totale de 1 million de m³/jour.

Centre National de Dispatching du Gaz (CNDG) :

Le CNDG collecte et distribue le gaz de Hassi R'Mel et d'autres champs vers les unités GNL, Sonelgaz et les marchés internationaux.

Anneau d'huile :

Découvert en 1979, cet anneau est exploité grâce à 60 puits et 5 centres de traitement d'huile (CTH1, CTH2, CTH3, CTH4 et CTH Sud).

Centre de formation :

Créé en 1976 et modernisé en 1998, le centre de formation de Hassi R'Mel assure la qualification des techniciens et ingénieurs face aux évolutions technologiques.

Stations BOOSTING

Les stations de boosting ont été mises en place pour comprimer le gaz brut issu des puits

producteurs, afin de maintenir une pression d'entrée de 103 bars, nécessaire au bon fonctionnement des modules de traitement de gaz.

Stations de compression :

Ces installations assurent la réinjection du gaz sec pour maintenir la pression et optimiser la récupération des hydrocarbures. Elles régulent également la pression pour l'approvisionnement national et international.

Chaque station (Nord et Sud) est équipée de 18 turbocompresseurs, organisés en paires, avec une compression en deux étapes (BP et HP), refroidie par des aéroréfrigérants.

La station de compression est conçue pour comprimer le gaz provenant des installations de traitement (T0, T1, T2 et T3) et le réinjecter dans le sous-sol (la nappe gazière de HASSI R'MEL).

La réinjection a pour but de maintenir la pression du gaz dans le réseau de distribution national et international à 70 kg/cm^2 . Et d'éviter de torcher le gaz et le perdre inutilement. Et de maintenir la pression du gisement élevée afin de récupérer le maximum de liquide (condensât et GPL).

Capacité de la station :

Le débit de la station est environ 3387884 m³/h ou 296940 kg /h pour un poids moléculaire de gaz égal à 18,84 g de 3387884 m³/h.

1.9 Composantes principales de la station :

- un pré séparateur ;
- un groupe de 04 séparateurs (parallèle) pour le gaz procès ;
- neuf turbocompresseurs premiers étage (BP) ;
- neuf turbocompresseurs deuxièmes étage (HB) ;
- quatre salles machines ;
- deux postes de fuel gaz pour l'alimentation des turbines ;
- deux générateurs de gaz inerte pour les travaux de soudures et la purge ;
- quatre groupes d'aéro réfrigérateurs pour le refroidissement du gaz et de l'huile ;
- un turbogénérateur ;

- un système de distribution de l'énergie électrique ;
- une unité de transfère d'épuration de l'huile ;
- une unité de production d'air comprimé pour instruments et de service ;
- un groupe de traitement d'eau ;
- une unité de refroidissement d'eau ;
- une unité de production de gaz inerte ;
- un système anti- incendie à eau ;
- un système anti-incendie par des agents chimique ;
- un système de torche ;
- bâtiment de salle de contrôle.

1.10 Description des compresseurs centrifuges utilisés dans la station de compression

Les deux étages de compression du gaz sont réalisés avec deux compresseurs centrifuges BCL 405/a et BCL 405/c du type Barrel pour hautes pression.

La puissance absorbée par chaque ligne est de 33000 cv

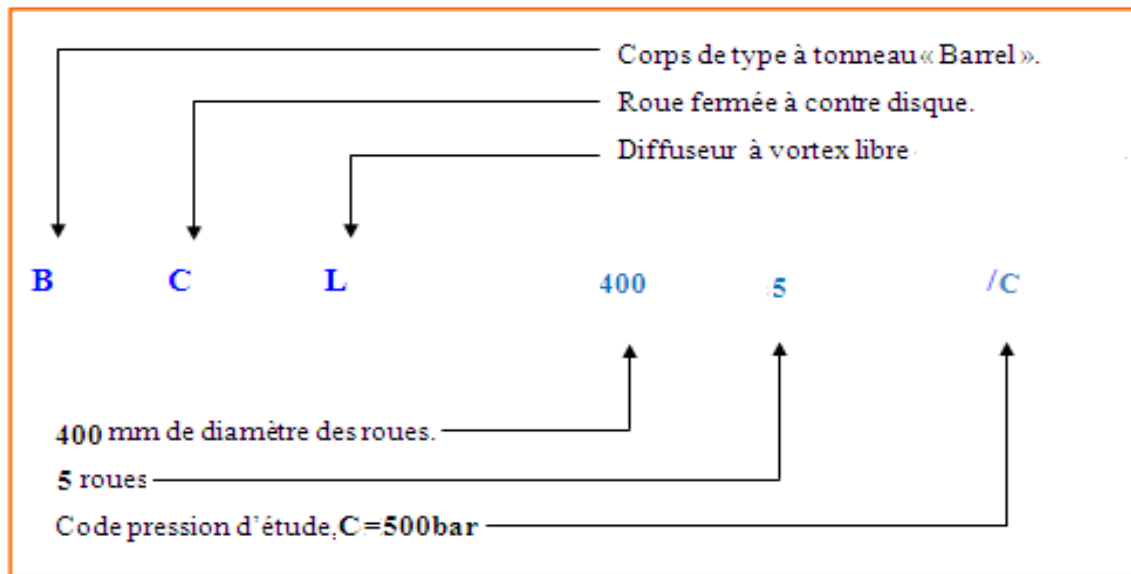


Figure 1-4 Codification du compresseur BCL 405/

Un compresseur centrifuge est une machine dynamique à écoulement continu de fluide. Des roues solidaires à l'arbre fournissent de l'énergie à ce dernier. Une partie de cette énergie est

transformée en augmentation de pression directement dans les roues, le reste dans le stator, c'est-à-dire dans les diffuseurs.

Le compresseur centrifuge BCL 405/c comprend principalement un ensemble statorique (corps, diaphragmes, étanchéités, et paliers) et un ensemble rotatif (rotor constitués par un arbre, des roues, un tambour d'équilibrage et un disque de butée) qui assure leur fonctionnement.

Corps :

Est une enveloppe dans laquelle se renferme l'ensemble du compresseur ou un grand cylindre qui contient deux brides pour l'aspiration et le refoulement du gaz, il est fermé à ses extrémités par deux grands flasques.[1]

1.11Diaphragme :

Les diaphragmes constituent le profilage aérodynamique de la partie fixe du compresseur, ils sont divisés en trois types :

Diaphragme d'aspiration :

A la tâche d'acheminer le gaz à l'entrée de la première roue.

Diaphragmes intermédiaires :

Ils ont une double tâche, former le diffuseur où la transformation de l'énergie cinétique en celle de pression, le canal de retour pour diriger le gaz vers l'entrée de la roue suivante.

Diaphragme de refoulement :

Forme le diffuseur de la dernière roue et la volute de refoulement.

Chaque diaphragme contient des anneaux en labyrinthe qui servent d'étanchéité sur le contre-disque de la roue.

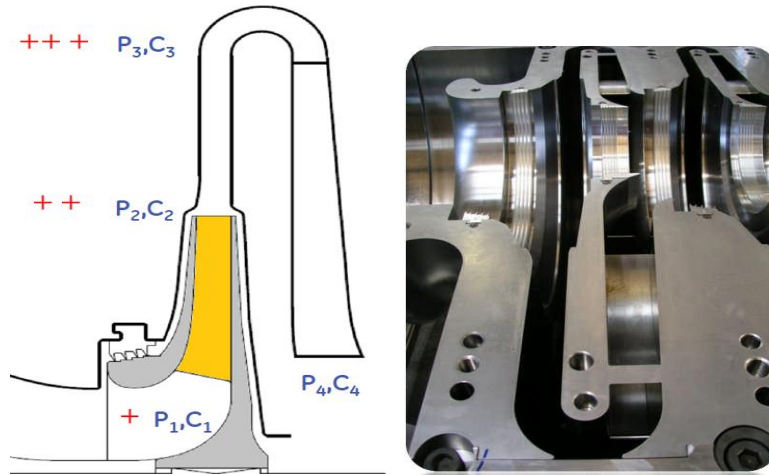


Figure 1-5 ensemble aérodynamique d'un compresseur centrifuge

1.12 Ensemble rotor du BCL 405/c

La partie rétorque du compresseur est composée de l'arbre sur lequel est monté, le piston d'équilibrage, les cinq roues à aubes, le collet de buté, et le moyeu d'accouplement.

Arbre :

Il est constitué d'une partie centrale à diamètre constant où sont montées les roues et les chemises. Il est en acier à des propriétés mécaniques meilleures.

Roues :

Les roues sont frettées sur l'arbre avec un serrage de tolérance négative pour éviter leur desserrage aux hautes vitesses de vibration due aux forces centrifuges. Elles sont constituées d'un disque, les aubes et un contre disque. Leur construction est en acier allié (la norme AFNOR : 35NCD6) ayant des propriétés mécaniques élevées mais à faible pourcentage de carbone pour obtenir une bonne soudure.

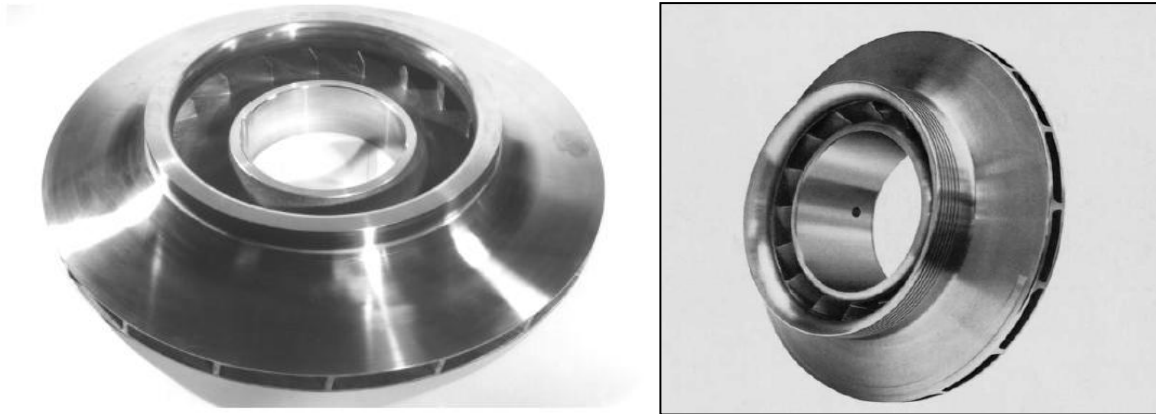


Figure 1-6 roues fermée à contre disque

1.13 Piston d'équilibrage :

Il est monté après la dernière roue, sur une clavette de calage comme les roues, il est en acier X12C13. Il a pour but de diminuer la poussée axiale due à la différence de pression agissant sur les roues, dirigée vers l'aspiration.



Figure 1-7 Labyrinthe et piston d'équilibrage

Piston d'équilibrage Roue Diaphragme Arbre

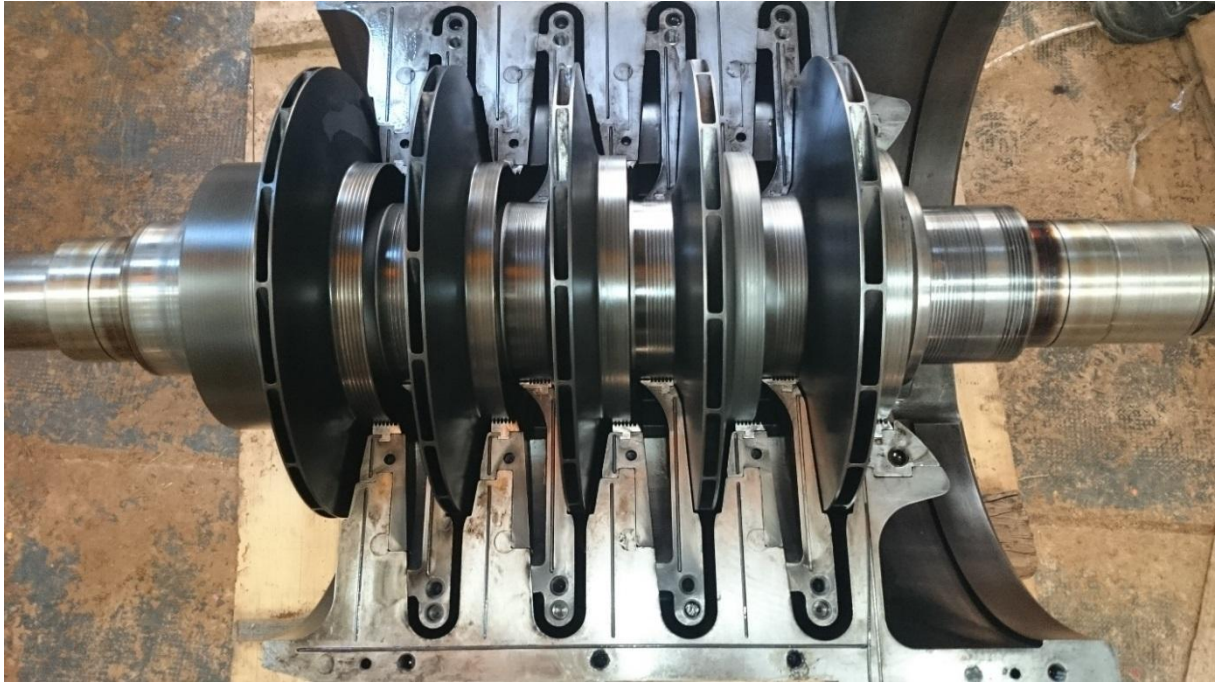


Figure 1-8 Piston d'équilibrage

1.14 Paliers porteurs :

Le rotor est porté par deux paliers à patins oscillants et à lubrification forcée.

L'huile sous pression arrive aux paliers radialement et passe à travers des orifices pour lubrifier les patins et les taquets. L'huile sort ensuite latéralement.

Les patins porteurs sont réalisés en acier revêtu de métal blanc. Ils sont solidaires des taquets en acier et sont en place dans leur logement formé par le carter.



Figure 1-9 palier porteur

1.15 Paliers de butée :

Le palier de butée est du type à secteur flottant. La butée se compose de deux paliers (actif et inactif) chacun avec six taquets , séparés par un collet en acier ; La butée est capable de supporter des charges dans les deux sens de la direction axiale et les patins sont conçus de façon à distribuer la poussée axiale du rotor également à chaque patin.



Figure 1-10 Palier de butée

1.161.15:Disque de butée :

Le disque de butée est trempé et rectifié sur ces deux faces il est monté sur l'arbre pour maintenir le rotor dans sa position axiale correct.

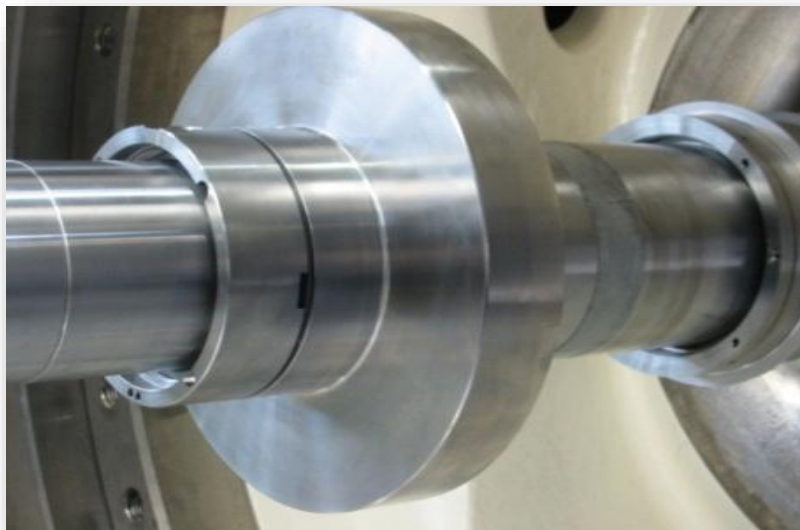


Figure 1-11 disque de buttée

1.17 Caractéristiques de fonctionnement du compresseur BCL 405/c

Tableau 1-1 caractéristiques du compresseur BCL/405 c

Gaz comprimé	Gaz naturel
Débit m^3/h	363.912

Condition du gaz à l'aspiration	
Poids moléculaire	18.84 +20
Rapport K (cp/cv)	18.84 +20
Compressibilité	18.84 +20

Pression bar	68.5 +78.5
Température °C	45 +58

Condition du gaz de refoulement	
Température en aval de réfrigérant °C	60
Pression bar	364.5

Puissance absorbée sur l'arbre cv	33550
Vitesse de rotation TPM	10323
Sens de rotation (vue coté turbine)	Dans le sens des aiguilles d'une montre

1.18 Conclusion

Pour conclure, le compresseur centrifuge joue un rôle fondamental dans le domaine industriel, notamment dans les secteurs de la production d'énergie, de la pétrochimie et des systèmes de réfrigération. Grâce à son principe de fonctionnement basé sur la force centrifuge, il permet la compression continue des gaz avec un rendement élevé et une grande fiabilité. Contrairement aux compresseurs volumétriques, il offre un débit constant, ce qui le rend idéal pour les applications à grande échelle.

Les principaux avantages du compresseur centrifuge résident dans sa conception compacte, sa faible maintenance, et sa capacité à fonctionner à haute vitesse avec des pertes mécaniques réduites. Toutefois, sa performance dépend fortement de la qualité de l'équilibrage, du contrôle des vibrations, et de la surveillance continue de ses composants, tels que les paliers, les roulements et les roues.

Ainsi, maîtriser le fonctionnement, les conditions de maintenance, et les outils de surveillance (comme la vibration et la thermographie) est indispensable pour garantir une longue durée de vie et éviter les arrêts imprévus.

Chapitre II

**La maintenance des compresseurs centrifuge
BCL405/C**

2.1 Introduction

La maintenance se définit comme l'ensemble des opérations visant à conserver ou à rétablir un dispositif, un équipement ou un système dans les états spécifiés. La maintenance inclut des interventions telles que le dépannage, la lubrification ou l'amélioration, qui servent à préserver le potentiel de l'équipement pour garantir la continuité et la production.

On considère que la maintenance est de bonne qualité lorsqu'elle est effectuée à un coût global optimal.

2.2 Maintenance

2.2.1 Objectifs de la maintenance :

Les objectifs de la maintenance peuvent être classés en deux types :

Objectifs Financiers :

- Minimiser les coûts de maintenance.
- Garantir le service de maintenance dans le cadre d'un budget prédéfini.

Objectifs Opérationnels :

- ☐ Assurer que l'équipement soit maintenu dans les conditions optimales.
- ☐ Garantir une disponibilité optimale de l'équipement à un coût le plus bas possible.
- ☐ prolonger la longévité des équipements.
- ☐ maintenir les installations avec le strict nécessaire et les renouveler à des intervalles préétablis.
- ☐ Garantir une opération sécurisée et performante à chaque instant.
- ☐ Améliorer l'efficacité des équipements.

2.2.2 Type de maintenance :

Au cours de l'utilisation des appareils du compresseur centrifuge, diverses pièces peuvent subir des usures et dégradations, requérant un suivi constant et la mise en œuvre de divers types d'entretien.

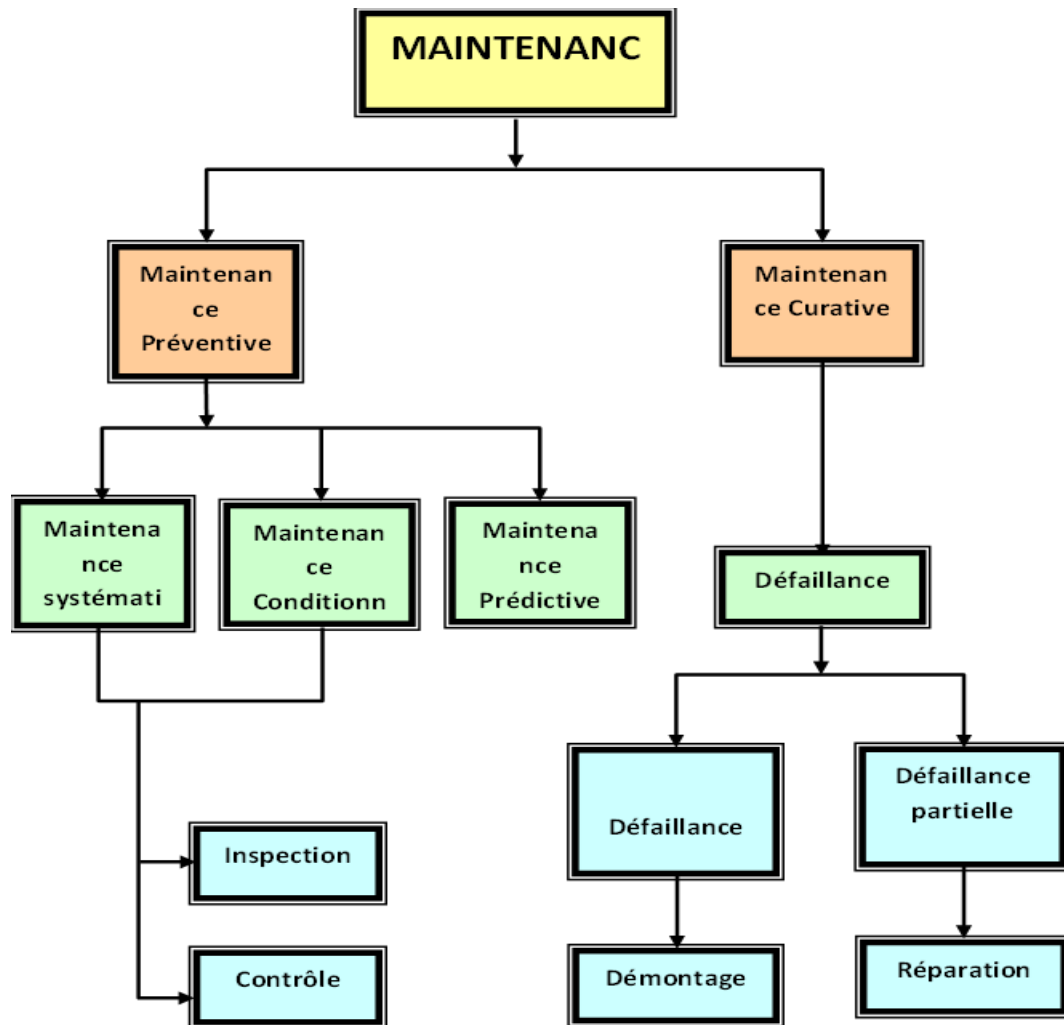


Figure 2-1 Types de la maintenance

2.2.3 Maintenance Préventive (Maintenance effectuée avant la défaillance) :

L'entretien est dit préventif lorsque l'intervention sur le matériel a lieu avant que ne survienne une défaillance. Son objectif est de renforcer la probabilité de fonctionnement adéquat d'un système. Elle englobe la maintenance systématique et la maintenance conditionnelle.

a) Maintenance préventive systématique :

Cette maintenance implique le remplacement de composants considérés comme trop usés ainsi que la réalisation d'interventions régulières planifiées, tels que le graissage des parties de l'équipement. La substitution de l'huile de lubrification, des joints, etc., se fait selon un calendrier préétabli.

b) Maintenance préventive Conditionnelle :

Elle implique une surveillance et une analyse constantes de la performance d'un équipement et de son comportement au fil du temps.

Elle fait habituellement référence aux appareils cruciaux dont une interruption inattendue peut entraîner d'énormes pertes de production. Ces opérations incluent les enregistrements de températures, les évaluations de vibrations, les mesures de pressions, l'analyse d'huiles et de produits transportés ainsi que les mesures d'épaisseurs. Ce type de maintenance offre un aspect prédictif.

c) Maintenance corrective :(maintenance effectuée après défaillance) :

L'objectif de la maintenance corrective, également appelée curative (terme non standardisé), est de restaurer les qualités perdues du matériel indispensables à son bon fonctionnement.

Elle est mise en œuvre uniquement après l'occurrence d'une panne ou d'une défaillance. Elle offre donc la restauration optimale de l'appareil en procédant à la réparation requise.

d) Entretien :

L'entretien comprend toutes les mesures qui assurent le fonctionnement optimal et la longévité de l'équipement au fil du temps. C'est une exigence primordiale pour toute installation industrielle afin qu'elle puisse produire de façon constante et rester en excellent état opérationnel à long terme.

Types d'entretien, Il existe deux types:

1). Entretien de maintien :

Il corrige ou empêche la défaillance, autrement dit, il rétablit l'état de fonctionnement normal.

C'est possible.

- Accidentel : Effectue une réparation suite à une défaillance.
- Planifié : un rendez-vous d'entretien établi.
- En ce qui concerne l'inspection : elle peut être réalisée sous deux conditions.

2). L'entretien d'amélioration :

Il s'agit d'une simple amélioration visant à obtenir une meilleure efficacité (le coût de maintenance, modification et/ou remplacement est comparé au coût d'entretien) en délaissant la maintenance d'amélioration moins attrayante. L'entretien peut être classé en entretien (programmé, préventif, accidentel ou d'urgence) ; l'ensemble peut être représenté de la manière suivante : (fig. 2.2).[2]

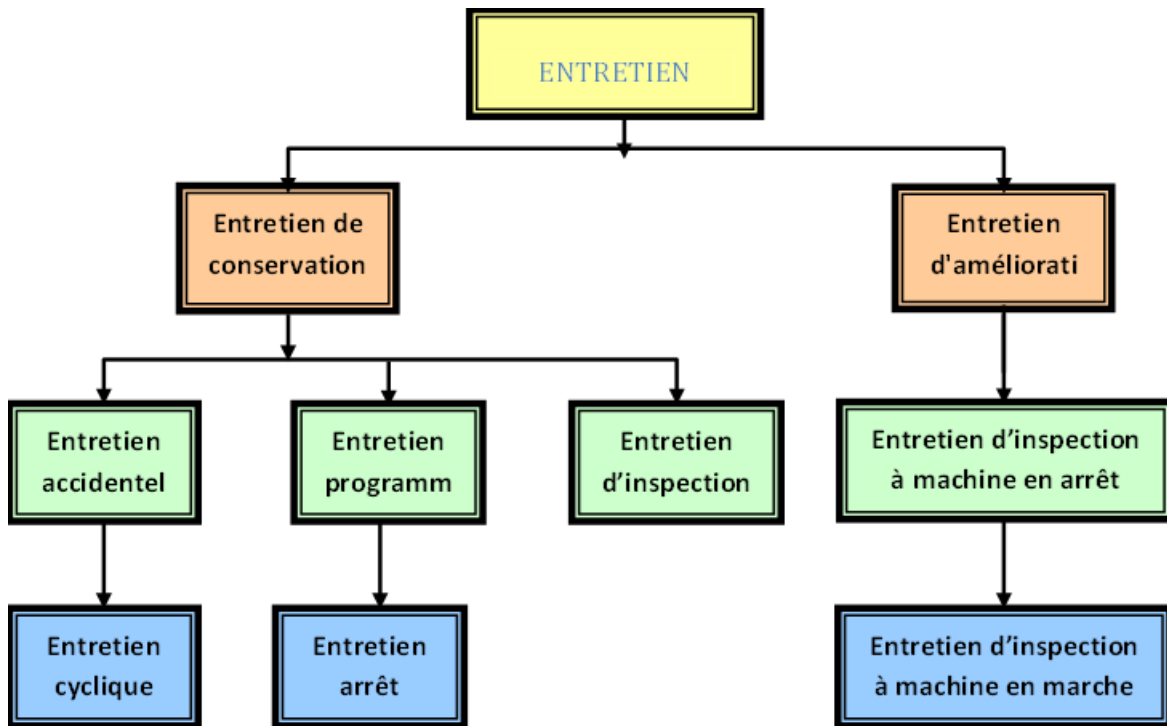


Figure 2-2 Type d'entretien

2.3 Entretien du compresseur BCL405/c :

2.3.1 Mise en route :

Les directives servent de manuel d'instructions pour accompagner l'utilisateur lors de l'initialisation et par la suite pendant l'opération du compresseur centrifuge.

Il est clair que le compresseur ne doit absolument pas fonctionner sans pression ni flux d'huile de lubrification pour prévenir toute détérioration des paliers. Il est également essentiel d'avoir un flux d'huile d'étanchéité, car cette huile est la seule responsable de la lubrification des anneaux d'étanchéité. Si on faisait tourner les anneaux à sec, ils subiraient de graves dommages. Par conséquent, il est impératif de ne jamais faire fonctionner le compresseur tant que les systèmes d'huile de lubrification et d'étanchéité ne sont pas pleinement opérationnels.

1. Se conformer aux directives de démarrage fournies par les fabricants de l'équipement principal et auxiliaire.
2. Vérifiez si la purge des corps de compresseur est intégralement scellée après l'élimination de tout condensat et avant d'appliquer la pression au groupe.
3. Assurez-vous que le système de lubrification par huile est opérationnel et que l'apport d'huile

au compresseur se fait aux pressions et températures appropriées.

4. Assurez-vous que le système d'huile d'étanchéité fonctionne et que l'huile est fournie au compresseur avec la pression appropriée.
5. Les dispositifs de contrôle de processus pour ce compresseur sont fournis par des fabricants différents. Les directives ci-dessous représentent une procédure générale à suivre, en complément des instructions présentes dans le manuel d'exploitation.
6. Si la vanne d'aspiration principale sur le conduit de gaz technologique du compresseur doit être fermée, que ce soit pour simplifier le démarrage ou pour des facteurs technologiques liés à l'unité, il est impératif de la rouvrir au plus vite afin d'éviter une surchauffe du rotor et des composants du compresseur.
7. Si une soupape de décharge est présente sur le tuyau de refoulement, elle doit être totalement ouverte avant la mise en marche, puis progressivement fermée une fois que le compresseur atteint sa vitesse.
8. il ne faut pas faire fonctionner un compresseur lorsqu'il y a pompage. Un fort pompage est facilement détectable par un « battement » audible du compresseur, des vibrations et de grandes fluctuations de pression et de débit au refoulement. Un pompage partiel n'est toujours audible mais peut être détecté en cas de conditions instables de pression et de débit au refoulement.

2.3.2 Arrêt :

1. Quand c'est faisable, diminuez la charge ou à la fois la charge et la cadence de l'entraînement principal, en garantissant un refroidissement, si cela est stipulé dans les directives du fabricant, évitez d'entraîner le compresseur en surcharge.
2. Cesser l'entraînement principal conformément aux directives fournies par le fabricant. Les pompes d'huile pour l'étanchéité et la lubrification doivent rester en marche jusqu'à ce que le groupe cesse de tourner par inertie. Évitez de déclencher le pompage du compresseur.
3. S'il est indiqué dans le manuel d'opération, fermez les vannes d'entrée et de sortie du compresseur. Si on les maintient ouvertes et que la pression s'accroît, le mécanisme d'étanchéité doit demeurer opérationnel.
4. Le compresseur est exposé à la pression maximale ;
 - a) Maintenez le système d'étanchéité en marche.

b) Veillez à ne pas dépasser la pression mentionnée dans la section.

c) maintenir une surveillance « opérationnelle » de la console d'huile et du compresseur (réservoir d'huile d'étanchéité sous pression et purgeurs d'huile).

2.3.3 Entretien courant :

L'entretien régulier, y compris la fréquence des révisions partielles et complètes, dépend majoritairement du genre de gaz comprimé utilisé et du mode d'exploitation du groupe, qu'il soit continu ou non. Il n'est pas possible d'évaluer de manière précise le niveau de salissure, d'érosion ou de corrosion interne du compresseur. On envisagera de mettre en place des vérifications pour mesurer le niveau d'obstruction, etc., surtout si l'on remarque une diminution graduelle des performances du compresseur.

Les directives peuvent soutenir l'élaboration de méthodes d'entretien adaptées à l'usage spécifique du groupe.

a. Une fois par jour :

1. Identifiez et consignez toutes les pressions et températures qui ne sont pas captées automatiquement par des instruments de mesure. Voici la liste des principaux relevés à effectuer. Toutefois, chaque installation étant unique, c'est en se basant sur une connaissance approfondie de celle-ci que l'opérateur déterminera les indicateurs clés pour assurer le bon fonctionnement des équipements.

a) température des paliers du compresseur ; b) température et pression à la sortie et à l'entrée du gaz traité par le compresseur ;

c) Température et pression de l'huile de lubrification et d'étanchéité avant et après refroidisseur et le filtre.

d) Pression de l'huile de lubrification aux paliers du compresseur.

e) Pression différentielle de l'huile d'étanchéité pour les joints d'étanchéité du compresseur.

2. Nous suggérons à l'opérateur d'établir une liste des valeurs normales de fonctionnement concernant les pressions, la température, la pression différentielle, etc., indiquées dans ce manuel ainsi que dans les autres manuels fournis par les fabricants des équipements liés. De plus, il est conseillé d'établir aussi une liste des écarts maximaux acceptables par rapport aux conditions standards.

Remarque : le suivi constant de ces données, de manière visuelle ou automatique, n'est

d'aucune valeur si ces enregistrements ne sont pas vérifiés et si des actions préventives ne sont pas mises en œuvre si besoin. Sous des conditions standards d'opération, la longévité de tous les composants mécaniques est tributaire du discernement et de l'attention fournis par l'utilisateur.

3. En complément de l'équipement principal, il est nécessaire de vérifier les performances de toutes les pompes à huile de lubrification, etc., par rapport aux directives du fabricant.

4. Si les conduites d'air instrumenté sont dotées de purgeurs à contrôle manuel pour l'élimination des condensats, ouvrez le robinet de purge et refermez-le une fois la purge effectuée.

b. Une fois par semaine :

1. L'installation comprend des filtres à huile type duplex. Contrôler la pression différentielle (qui indique le degré d'encrassement) et mettre en service le filtre qui n'est pas en fonctionnement. Ne pas passer d'un ensemble à l'autre si la pression différentielle n'est pas excessif. Avant de passer à l'ensemble de réserve, s'assurer qu'il est rempli d'huile et qu'il a été purgé de tout air. On peut commuter les ensembles duplex à simple vanne de transfert sans qu'il y ait nécessité d'arrêt de l'ensemble du groupe. S'assurer que l'ensemble qui était en service est nettoyé et prêt au réemploi.

2. Contrôler la commande de la pompe à huile auxiliaire, si cela est possible pendant la procédure d'entretien.

c. Tous les trois mois

1. si cela est possible en fonction du mode de fonctionnement de l'équipement, vérifiez tous les dispositifs d'arrêt d'urgence.

2. recalibrer tous les instruments de mesure dont la précision est douteuse.

3. Vérifier l'acidité, la sédimentation, la viscosité et le niveau d'humidité de l'huile de lubrification. Si la vérification le requiert, remplacez l'huile et la cartouche de filtre. La chute de pression au niveau du filtre ne doit pas dépasser 1,05 Kg / Cm² de différence de pression.

2.4 La maintenance des compresseurs centrifuge BCL405C :

- Dans ces zones, on dénombre 84 compresseurs centrifuges.

Pour garantir la production continue, il est nécessaire de garantir la disponibilité des

compresseurs grâce à une gestion efficace de la maintenance.

Les compresseurs BCL 405 C suivent une politique de maintenance prescrite par le fabricant NEUVO PIGNONE.

La maintenance préventive régulière est réalisée de la manière suivante :

Révision N 1 :

Elle consiste à démonter toutes les pièces mécaniques du côté aspiration et du côté refoulement, sans toucher au flasque ni au bundle. Cette opération est généralement réalisée après un fonctionnement de 8000 heures.

Révision N 2 :

On ne conserve que la 'casing', qui requiert des outils spécifiques et un personnel qualifié. Elle garantit le démontage intégral du compresseur et l'inspection de toutes les dimensions, ce qui est réalisé après 16 000 heures d'utilisation.

La maintenance corrective est effectuée suite à une panne, le degré de l'intervention dépend principalement de la nature de la panne ; par exemple : une consommation d'huile due à une usure excessive des chemises « inférieure à 137.8 mm » requiert une action sur le rotor, justifiant le démontage complet de l'aérodynamique.[3]

Motifs de l'intervention :



Figure 2-3 le caches

Révision planifiée Niveau I, convertie en Niveau II (en raison du détachement de l'anneau de maintien dans la zone d'étanchéité).

- Démonter les tuyaux de gaz de : (référence et équilibrage), ainsi que les conduites d'huile de lubrification.
- Retirer les caches : (les refoulements et le cache d'accouplement).
- Identifier le mouvement de couplage (déplacement)
- Déposer l'accouplement (interface + les deux moyeux).



Figure 2-4 Accouplement

- Évaluer l'écart entre les manchons à l'aide du micromètre.
- Identifier la pénétration : Il s'agit de la distance mesurée entre l'extrémité de l'arbre du rotor et l'extrémité externe du manchon.
- Démontez le manchon en utilisant une pompe haute pression SKF.
- Retrait des sondes de contrôle des vibrations VIAS.
- Affiche le niveau porteur On desserre les vis, puis on procède à l'extraction à l'aide de trois tiges dédiées.

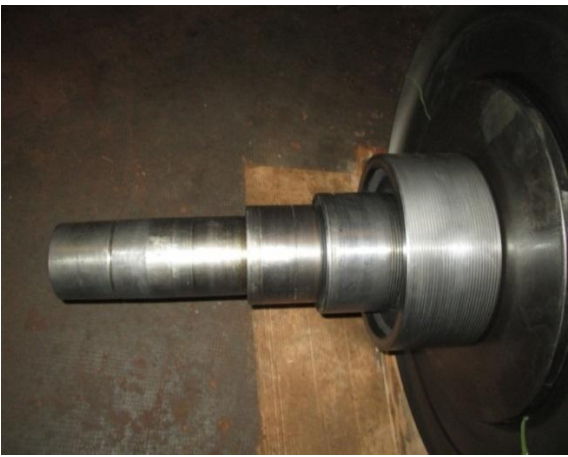
	
les caches	Pompe HP
	
Le manchon	Palier porteur
	
Bloc d'étanchéité	<i>Bague de retenue</i>

Figure 2-5 Composants du compresseur

Nous avons remarqué que la bague de retenue du côté refoulement a été découverte délogée.

La révision prévue de niveau 1 a été requalifiée en niveau 2.

A ;Coté aspiration :

- Démontage partiel du cache et des conduites.



Figure 2-6 cache et les conduites

- identifier le jeu radial
- Et évaluer le jeu de butée (le mouvement potentiel du rotor pendant l'opération du compresseur).

Écart de fonctionnement : 0,50 mm (en dehors de la tolérance).



Figure 2-7 Mouvement de mesurer

Démonter les capteurs de vibrations VIAS.

- Démontage du couvercle de palier porteur, des demi-cales et du palier porteur.
- Évaluer le jeu d'aspiration

Mouvement de mesurer



Figure 2-8 mouvement de mesurer

- Démontage du palier de butée actif + couvercle



Figure 2-9 palier actif

- Dévissez l'écrou de butée avec une clé appropriée, puis retirez la rondelle de frein
- L'écrou de butée

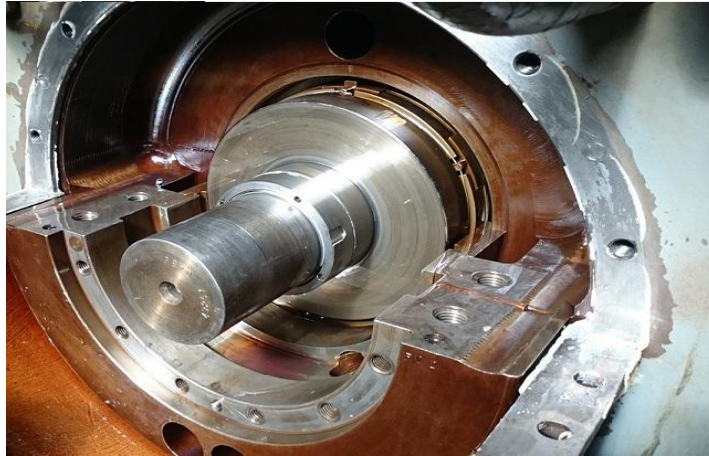


Figure 2-10 l'écrou de butée

- L'extraction du disque de butée se fait par injection d'huile, et on utilise une pompe haute pression SKF pour ce faire.
- Retrait du palier de butée inactif et du couvercle de palier.
- Désassemblage de la cale interne.

Couvercle

La cale interne



Figure 2-11 couvercle et la cale interne



Figure 2-12 Les tiges d'extraction

- Indiquer le total du jeu
- Retrait du flasque : pour détacher le flasque, il est nécessaire de libérer les quatre secteurs de la rainure (ou gorge) du flasque en serrant les écrous sur les tiges fixes des secteurs.



Figure 2-13 Fixer les secteurs

- Il faut dévisser les vis de la couronne pour dégager le flasque.
- Installer les tiges dédiées pour le prélèvement du flasque.

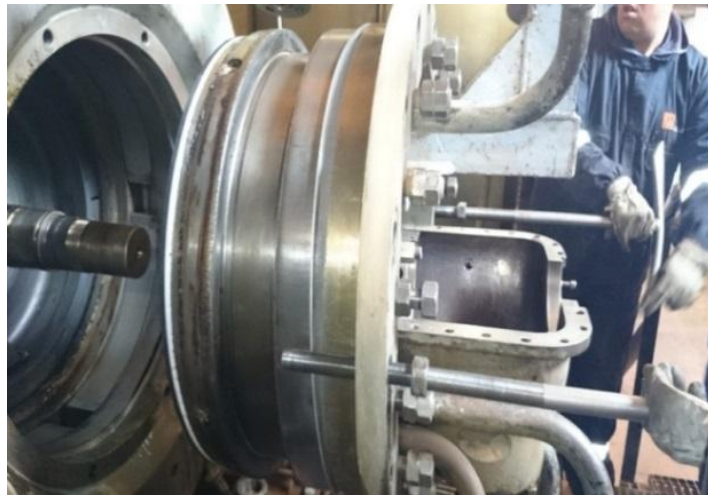


Figure 2-14 Démontage de la couronne.



Figure 2-15 La couronne

Démontage des secteurs de blocage du faisceau.



Figure 2-16 les secteurs

- Récupération du faisceau à l'aide d'un outil spécifique (les tiges + triangle).



Figure 2-17 triangle et les tiges

- Démarquer les demi-caisses et retirer les diaphragmes.
- Démarquer les demi-caisses et retirer les diaphragmes.



Figure 2-18 Labyrinthe d'extrémité

- Démontez le labyrinthe du côté aspiration en dévissant les vis de fixation.



Figure 2-19 Labyrinthe de piston d'équilibrage

- Démontez le labyrinthe du piston d'équilibrage en dévissant les vis de fixation.

Phase inspection et contrôle:



Figure 2-20 Phase inspection et contrôle

- Le nettoyage de la caisse du compresseur.
- Examen visuel de la surface du patin et du taquet.
- Contrôler visuellement l'état du rotor (manchons, roue, zone de palier, entretoise...)

- Évaluer les côtes du rotor (chemises, zone des paliers, roues, entretoises).
- Nettoyage du flacon.
- Assurer la propreté et inspecter l'état de surface des labyrinthes entre les étages ainsi que ceux aux extrémités.
- Contrôler les jeux des labyrinthes d'extrémités et le labyrinthe du piston d'équilibrage.



Figure 2-21 Compresse centrifuge

- Préparation et nettoyage des paliers (palier porteur côté aspiration et côté refoulement ainsi que les paliers de butée actif et inactif)
- Contrôle des jeux des bagues hautes pression et basse pression
- Évaluer l'épaisseur des patins neufs en comparaison avec celle des patins plus anciens, et effectuer une démarche similaire pour les taquets.
- Remise en état du rotor (changement de la bague de retenue).
- La bague est montée à chaud.
- L'équilibrage du rotor se fait dans l'atelier d'équilibrage.
- Les éléments de rechange :
- Les anneaux hauts et basse pression
- Le labyrinthe entre les étages (la roue et l'entretoise)
- Labyrinthe du côté aspiration et côté refoulement

- Labyrinthe du piston d'équilibrage
- Les patins ainsi que les taquets
- Les joints « téflon et O-ring »



Figure 2-22 Labyrinthe inter-étage

Phase de réassemblage :



Figure 2-23 jeu de cale (roue/entretoise)

- Réassemblage des diaphragmes
- Attacher les diaphragmes à l'aide de vis (boîtier supérieur).
- Assemblage du labyrinthe entre les étages et fixation à l'aide de vis (boîte supérieure)
- Positionner le rotor sur la caisse inférieure.
- Identifier le jeu de labyrinthe - jeu de cale (roue/entretoise)

- Le centrage du rotor s'effectue de la manière suivante :
- Positionner la roue avant dernière en fonction de son diffuseur.
- Positionner le comparateur de manière axiale avec le rotor (le comparateur doit entrer en contact avec le rotor).
- Déplacer le rotor du côté aspiration et noter la valeur indiquée par le comparateur (écart aspiration).
- Positionnez le rotor du côté de refoulement et notez la valeur affichée sur le comparateur (jeu total).

Tableau 0-1 jeu d'aspiration et jeu total et refoulement

Jeu d'aspiration	Jeu total	Jeu de refoulement
[4] 3.20	[5] 7.10	[6] 4.10

- Positionner les joints de bundle
- Assemblez les demi-caisses et fixez-les à l'aide de vis et de goupilles.
- Positionner le joint en téflon sur le faisceau et le joint du flasque lorsqu'il est chaud.
- Assemblage du paquet dans le corps, en employant le même mécanisme de désassemblage.

Remarque : il est nécessaire de nettoyer la caisse et d'appliquer de la graisse sur le joint ainsi que sur la surface de contact.

- Assemblage des secteurs
- Remontage de la couronne
- Vérification du jeu total
- Si le jeu diminue, on attribue la valeur à la partie refoulement du jeu, et si elle augmente, on la distribue entre le jeu aspiration et le jeu refoulement.
- Pour le remontage du flasque, on se sert du même outil que celui utilisé lors du démontage.
- Vérifier l'ensemble du jeu.
- Si le jeu est réduit, on déduit alors la valeur du jeu aspiration.

- Restauration de l'étanchéité du côté d'aspiration ainsi que le serrage du bloc.
- Remontage de l'étanchéité du côté de refoulement.
- Remontage du palier porteur du côté de refoulement avec serrage
- Évaluer le jeu radial du côté de refoulement.
- Rassemblement du manchon,

manchon et la pompe haute pression SKF pour l'injection d'huile.



Figure 2-24 Vérin

Côté de tirage :

- Évaluer l'épaisseur des cales.
- Remontage de la cale interne.
- Remarque : la cale interne ajuste le jeu de refoulement.
- Remontage du palier de butée non actif
- Positionner manuellement la butée d'essai
- Retirer le jeu d'aspiration

Il est nécessaire que la valeur du jeu soit proche de celle mesurée après l'installation du flasque.

- Réinstaller la butée, la rondelle de freinage et l'écrou de butée.
- Reconstruction du palier de butée actif

- Réassemblage du niveau de support.
- Reconstitution de la cale externe (deux demi-cales)

NB: les demi-clef sont installées entre le palier actif et le palier porteur.

Augmenter le niveau du but.

NB: Si les jeux ne sont pas conformes, nous allons ajuster l'épaisseur du calage interne et/ou externe.

- Évaluer le mouvement radial.
- Installer les capteurs de vibration VIAS.
- Remonter les couvercles et les conduits.

Côté de refoulement :

- Remontage de l'accouplement
- Vérification du déplacement d'accouplement
- Remontage des caches et diverses conduites
- Remontage des paquets.

2.5 Conclusion

En définitive, l'entretien du compresseur centrifuge est essentiel pour assurer la fiabilité, la sécurité et l'efficacité des équipements industriels. Le compresseur centrifuge, élément central de plusieurs processus tels que ceux des centrales électriques, des raffineries et d'unités de production, est exposé à des conditions opérationnelles sévères. Cela le rend sensible à différents types d'usure, de vibrations irrégulières et de pannes mécaniques.

Un entretien soigneusement organisé, qu'il soit préventif, correctif ou conditionnel, permet non seulement d'éviter des pannes inattendues mais aussi d'étendre significativement la longévité de l'appareil. Les activités d'entretien devraient comporter des vérifications fréquentes, le suivi des indices de fonctionnement (comme la température, la pression, les vibrations), l'huilage approprié des éléments en mouvement, et aussi le renouvellement régulier des pièces essentielles.

En outre, l'incorporation de technologies récentes telles que la surveillance par vibrations, l'analyse thermique ou les systèmes prédictifs de maintenance fondés sur l'intelligence artificielle pave la voie vers une amélioration plus approfondie de la performance du compresseur. Ces instruments favorisent la prévision des pannes et l'organisation plus judicieuse des interventions techniques, diminuant de ce fait les dépenses et les interruptions de production.

En définitive, entre la théorie et l'application concrète, l'entretien du compresseur centrifuge nécessite une démarche rigoureuse, pluridisciplinaire et en constante évolution. Elle représente un élément clé dans toute approche de fiabilité industrielle, où la prévention, l'examen des données et l'habileté humaine sont mobilisés pour favoriser une performance durable.

Chapitre III

Analyse vibration

3.1 Introduction :

Toutes les machines tournantes en fonctionnement produisent des vibrations. La détérioration de leur fonctionnement, entraînant une modification de la répartition dynamique de l'énergie, entraîne souvent une augmentation du niveau vibratoire. L'analyse de l'évolution de ce dernier permet d'obtenir des informations très pertinentes sur l'état fonctionnel de la machine.

L'utilisation des vibrations pour la surveillance des machines n'est pas nouvelle – les mécaniciens avaient l'habitude de placer leurs visseuses sur un moteur pour « écouter les mouvements internes ». Cependant, ces techniques ont connu des améliorations significatives grâce à la modernisation des équipements, augmentant exponentiellement l'efficacité de la maintenance moderne.[4].

3.2 Qu'est-ce que la vibration ?

Le cas le plus traditionnel est celui d'un objet de masse M sur lequel est fixé un ressort ayant une rigidité K . Tant qu'aucune force n'est exercée sur la masse M et qu'elle reste immobile, il n'y a pas de vibration. Veuillez consulter la figure. En exerçant une force sur la masse, celle-ci se déplace vers la gauche, provoquant la compression du ressort. Quand on lâche la masse, celle-ci reprend sa position neutre avant de se déplacer davantage vers la droite jusqu'à ce que la tension du ressort stoppe son mouvement. La masse se renverse alors et reprend son mouvement vers la gauche. Il passe de nouveau par la position neutre et touche la limite du côté gauche. Théoriquement, ce mouvement pourrait se poursuivre sans fin s'il n'y a pas d'amortissement dans le système et aucun facteur externe (comme la friction). [5]

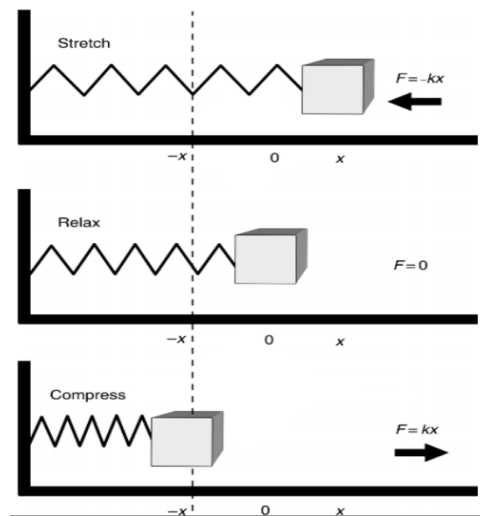


Figure 3-1 The nature of vibration

3.3 Choix des unités vibratoires:

Choix de l'accéléromètre

Les types des capteurs de mesure vibratoire

1. Capteur de déplacement
2. Capteur de vitesse
3. Capteur d'accélération

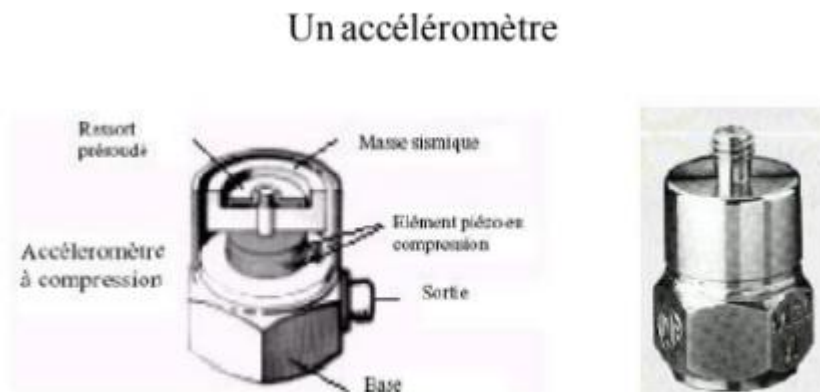


Figure 3-2 un accéléromètre

3.4 Points de mesure:

En examinant les caractéristiques vibratoires d'une machine, on peut tirer de nombreuses informations sur son état et déceler d'éventuels problèmes mécaniques. Nous sommes désormais en mesure de déterminer les attributs qui définissent un signal vibratoire. En suivant le concept masse-ressort, nous sommes à même d'examiner les propriétés des vibrations en représentant le déplacement de la masse en relation avec le temps. La figure 1 représente ce tracé. Figure 3.2

Le cycle de mouvement est représenté par le déplacement de la masse depuis sa position neutre vers sa limite supérieure de course, puis son retour à travers la position neutre jusqu'à sa limite inférieure de course. Ce cycle comprend toutes les données requises pour quantifier les vibrations du système. Un mouvement constant de la masse ne produira qu'une répétition du même cycle.

On dit que ce mouvement est périodique et harmonique, et la liaison entre le déplacement de la masse et le temps se formule comme une équation sinusoïdale :

$$X(t) = X_0 \sin(\omega t)$$

X = déplacement à un instant t donné ;

X_0 = déplacement maximal ;

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f ;$$

ω = est parfois appelée fréquence circulaire (rd/s)

f = fréquence (cycles/s – hertz – Hz) ;

t = temps (secondes).

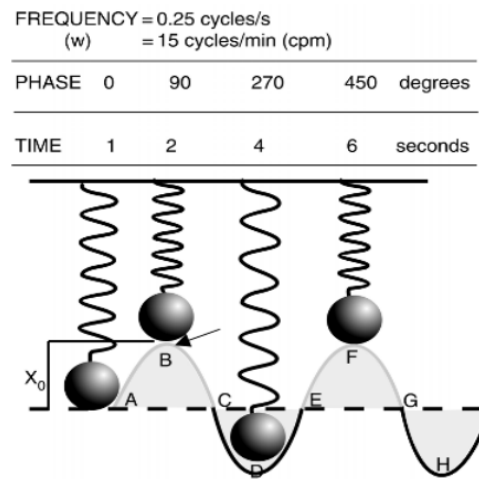


Figure 3-3 lieu d'onde harmonique simple du mouvement de la masse du ressort en fonction du temps

Quand la masse oscille de haut en bas, sa vitesse évolue de nulle à un pic maximal. On peut obtenir la vitesse en réalisant la dérivation de l'équation du déplacement par rapport au temps :

$$Velocity = V = \frac{dX}{dt} = X_0 \cdot \omega \cdot \cos(\omega t)$$

De même, l'accélération de la masse varie et peut être obtenue en dérivant l'équation de vitesse:

$$Acceleration = a = \frac{dV}{dt} = -X_0 \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega t)$$

Figure3. 2 Lieu d'onde harmonique simple du mouvement de la masse du ressort en fonction du temps

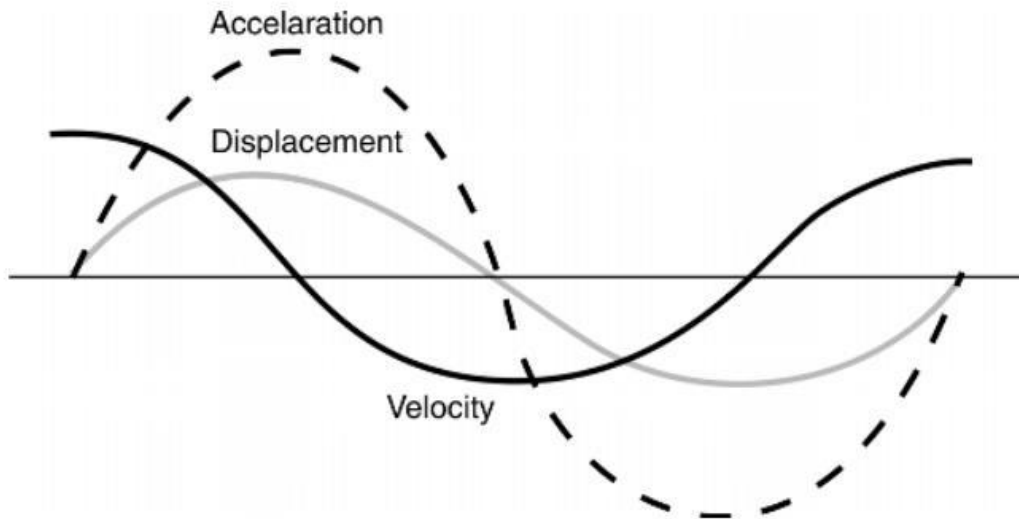


Figure 3-4: forme d'onde de l'accélération, de la vitesse du déplacement de la masse dans un mouvement harmonique simple

3.5 Principes de base des ondes:

On utilise souvent des expressions comme cycle, fréquence, longueur d'onde, amplitude et phase pour caractériser les ondes. Nous allons à présent examiner en profondeur ces termes ainsi que d'autres, car ils servent aussi à illustrer la diffusion des ondes vibratoires.

Nous allons aussi traiter des ondes, des harmoniques, des transformations de Fourier et des valeurs vibratoires globales, car ces notions sont associées au diagnostic des machines à travers l'analyse vibratoire. Dans la figure 3-4, qui compare des ondes de différentes amplitudes, les ondes 1 et 2 présentent des fréquences et des longueurs d'onde identiques, cependant, elles diffèrent par leurs amplitudes. La ligne de référence (ligne de déplacement nul) représente la position qu'aurait occupée une particule de matière si elle n'avait pas Les ondes 1 et 2 possèdent des fréquences et des longueurs d'onde identiques, cependant elles diffèrent par leurs amplitudes. La ligne de référence (ligne de position zéro) représente l'endroit où se situerait une particule matérielle sans l'influence perturbatrice du mouvement ondulatoire.

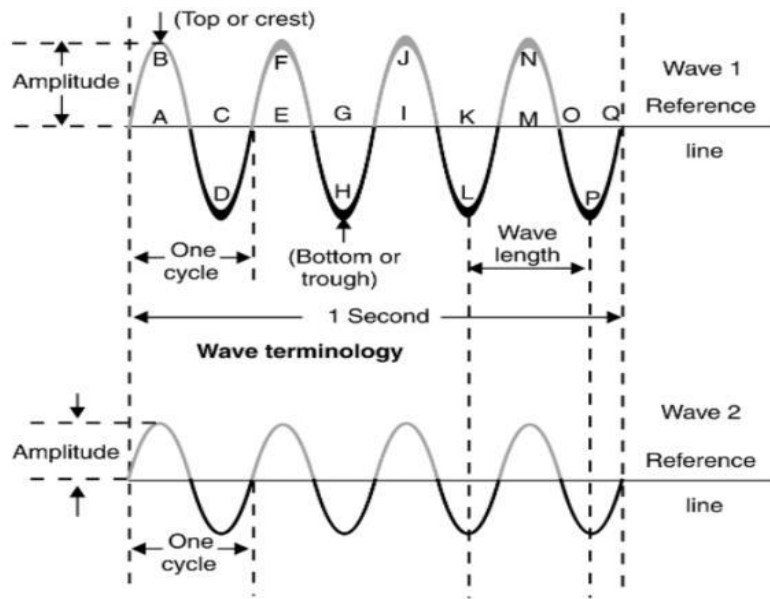


Figure 3-5 comparaison d'ondes de différentes amplitudes

3.5.1 Fréquence (cycle):

La fréquence représente le nombre de fois qu'une vibration se produit par unité de temps.

Au point E, l'onde débute sa seconde oscillation, qui se conclut au point I, suivie d'une troisième oscillation qui atteint son terme au point M, et ainsi de suite.

Le sommet ou crête, parfois appelé pic de l'alternance positive (valeur maximale au-dessus de la ligne), et le creux ou dépression, parfois désigné comme pic de l'alternance négative (valeur maximale en dessous de la ligne), sont représentés à la figure 3-4. Ainsi, un cycle comprend un sommet et un trough.

La fréquence (f), mesurée en cycles par seconde ou hertz (Hz), représente l'inverse de la période exprimée en secondes.

3.5.2 Amplitude

Il est possible que deux ondes présentent une longueur d'onde identique, mais la crête de l'une peut se situer plus haut par rapport à la ligne de référence que celle de l'autre, comme illustré par les ondes 1 et 2 dans la figure 3-4.

L'amplitude correspond à la hauteur de la crête d'une onde par rapport à la ligne de référence. L'amplitude d'une onde fournit une indication proportionnelle de la quantité d'énergie qu'elle transporte.

On se réfère à une succession ininterrompue d'ondes, comme de A à Q, possédant une

amplitude et une longueur d'onde identiques, en tant que train d'ondes.

3.5.3 Phase

En analysant les deux ondes illustrées dans la figure 3-5, on remarque qu'elles sont identiques en termes d'amplitude et de fréquence, mais que leurs crêtes subissent un décalage de $T/4$. On désigne ce décalage temporel par le terme de déphasage qui est quantifié par l'angle de phase. Un déphasage de T représente un angle de phase de 360° ; par conséquent, un déphasage de $T/4$ équivaut à un angle de phase de 90° . Dans ce contexte, on décrirait habituellement ces deux ondes comme étant déphasées de 90 degrés.

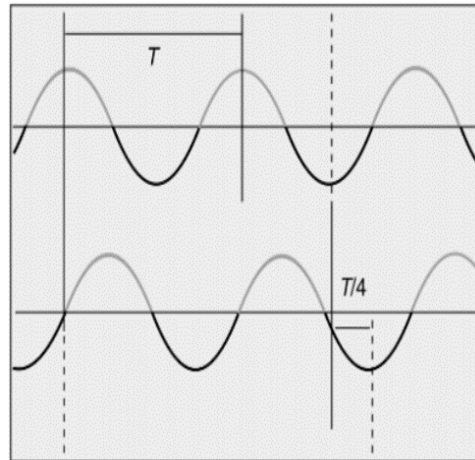


Figure 3-6 Relation de phase entre deux

3.5.4 la Forme du signal

Nous avons vu précédemment, dans le cadre de la nature des vibrations, que le déplacement, la vitesse et l'accélération d'un système masse-ressort en mouvement peuvent être représentés par des ondes sinusoïdales et Co sinusoïdales. La forme d'onde est une représentation visuelle (ou graphique) de la valeur instantanée du mouvement en fonction du temps. 3.5 Outils de surveillance et de diagnostic Les outils de surveillance sont des grandeurs physiques utilisées pour surveiller les installations. Leurs évolutions permettent d'alerter le technicien d'une dégradation du fonctionnement sans pour autant identifier l'élément défectueux.

3.6 Outils pour la surveillance et le diagnostic

Les outils de surveillance sont des grandeurs physiques utilisées pour surveiller les installations.

Leurs évolutions permettent d'alerter le technicien d'une dégradation du fonctionnement sans identifier l'élément défectueux. [6]

Il existe :

- Indicateurs temporels, scalaires ou niveaux globaux (NG) ;
- Analyse fréquentielle (spectre).
- Analyse orbitale.
- Indicateurs spécifiques

3.6.1 Temporel

Les profils de données temporels, qui illustrent les données vibratoires en amplitude sur une échelle temporelle, sont désignés comme tels.

La figure 2.5 illustre des exemples de données dans le domaine temporel. Les données temporelles sont utiles pour repérer certains problèmes mécaniques, mais leur analyse peut être délicate étant donné que le signal dans le temps englobe toute la cinématique et les bruits produits par la machine au cours de l'enregistrement.

3.6.2 Valeur maximale (Acc)

Elle illustre l'étendue maximale du signal par rapport à sa valeur de référence.

3.6.3 Amplitude crête à crête (ou inter-crête)

Elle dénote la variation entre les valeurs extrêmes du signal sur une période d'observation spécifiée.

3.6.4 La valeur efficace A_{eff} ou RMS (Root Mean Square - valeur efficace moyenne) :

Tout comme en électricité, elle reflète l'amplitude rectifiée « statique » du signal redressé, dénotant donc l'énergie générée par le mouvement vibratoire. La formule ci-dessous fournit le niveau maximal tolérable, peu importe l'appareil utilisé :

Quand : T : symbolise la durée, le laps de temps requis pour achever un cycle de vibration.

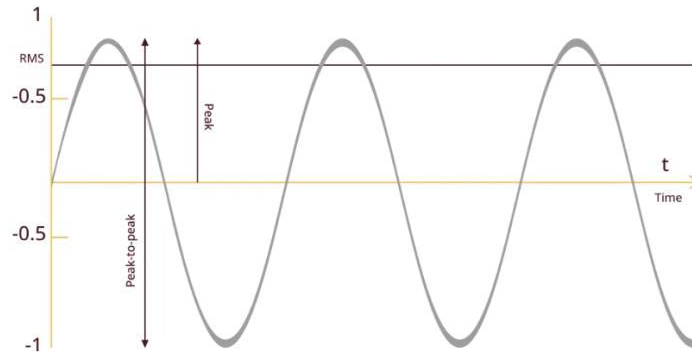


Figure 3-7 Trois méthodes de mesure d'amplitude d'un signal à fréquence unique onde sinusoïdale

3.6.5 Vitesse effective

Cet indicateur est également révélateur des phénomènes dits « basses fréquences » (BF). Ces phénomènes sont les plus énergétiques, et donc les plus destructeurs. Ils peuvent également provoquer de l'usure ou des fissures. Une augmentation du balourd, un défaut de lignée, entraînera une augmentation anormale de cet indicateur.

3.6.6 Accélération effective

Cet indicateur est révélateur des phénomènes dits « haute fréquence » (HF), tels que les défauts de roulements, d'engrenages...

Une hausse anormale de l'accélération est souvent associée à une détérioration progressive des roulements.

3.7 Indicateurs spécifiques

3.7.1 Facteur de crête

Le défaut majeur de cet indicateur est de présenter des valeurs sensiblement identiques dans les deux cas extrêmes (état neuf et fin de vie du roulement). [11]

Seule son évolution est significative. Il s'agit cependant d'un indicateur stable.

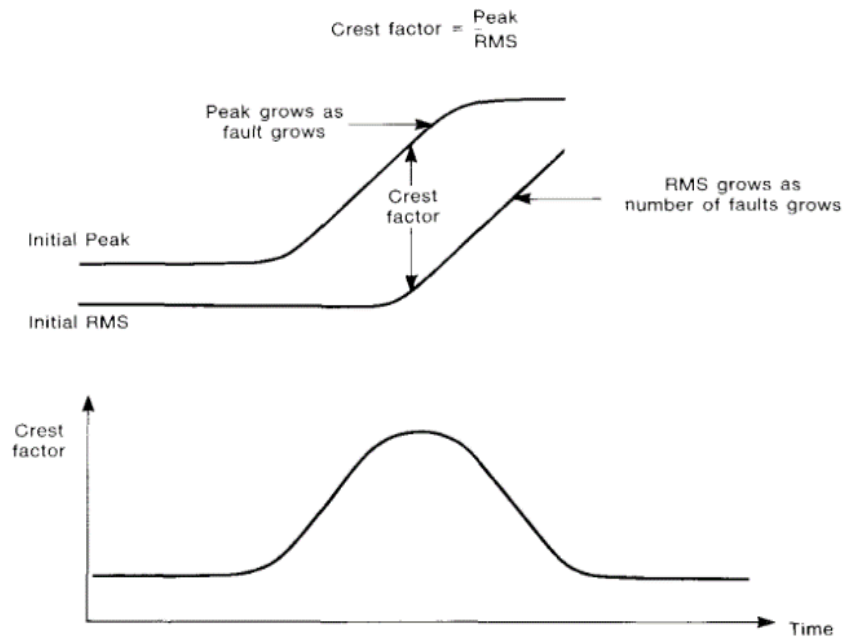


Figure 3-8 le principe du facteur de crête

3.7.2 Facteur K

Pour une analyse ponctuelle des roulements, le facteur K est plus fiable. La valeur est directement associée à l'état des roulements.

Du fait de son mode de calcul basé sur g^2 , le facteur K n'est pas stable et se distingue du facteur de crête FC.

$$K = \text{App} \times \text{RMS}$$

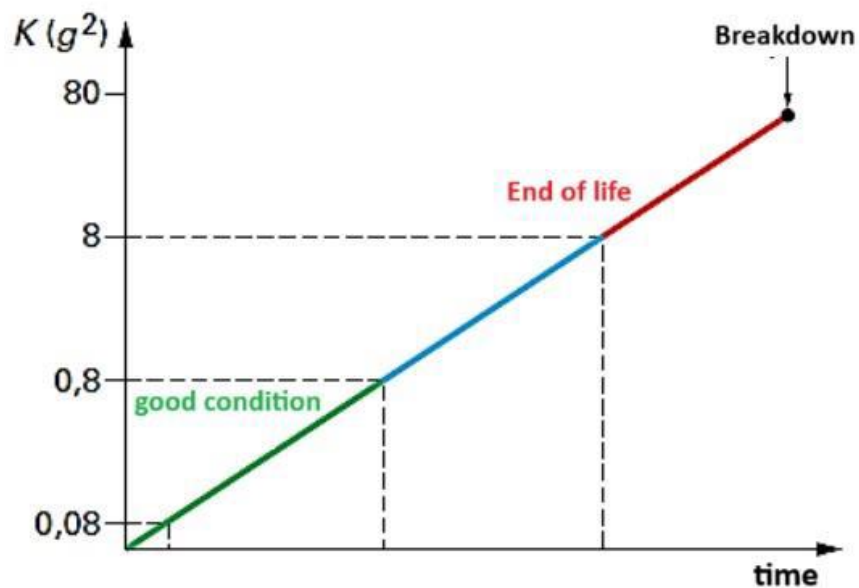


Figure 3-9 variation du facteur k en fonction du temps

3.7.3 Zone de fréquence

L'intervalle de fréquences renvoie à la fraction du signal qui se trouve dans une plage de fréquences spécifique sur l'ensemble des fréquences. La représentation de la signature du signal dans le domaine des fréquences est montrée à la figure 3-9. Une représentation en fréquence peut intégrer des données sur le décalage de phase à appliquer à chaque sinusoïde afin de regrouper les éléments fréquentiels et récupérer le signal d'origine temporelle.

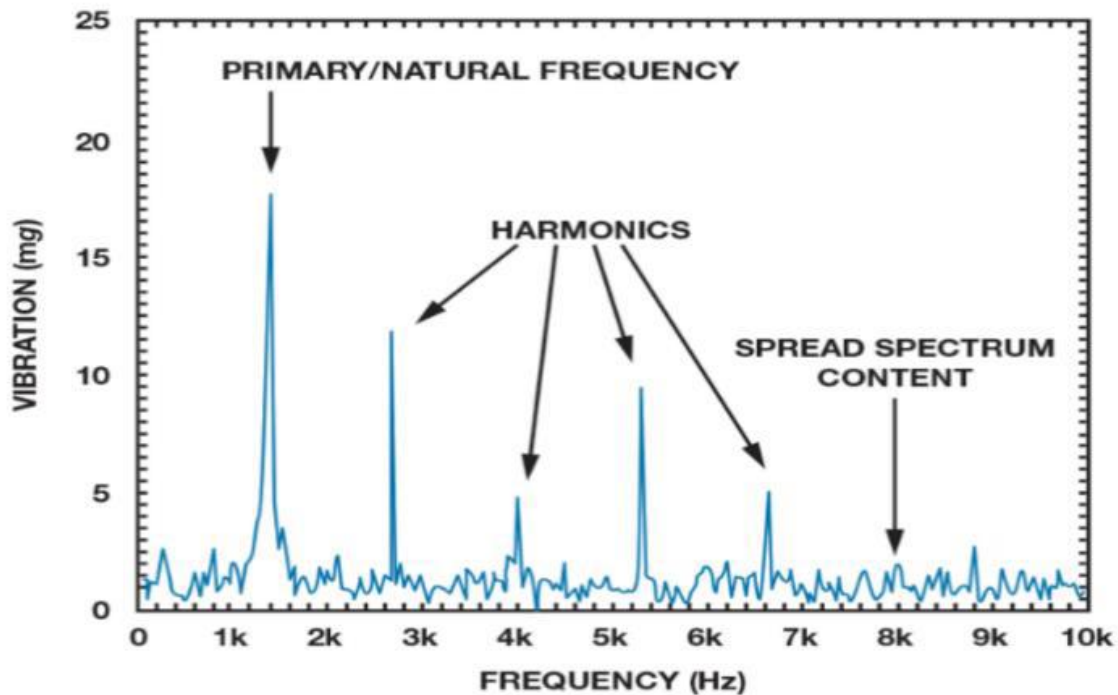


Figure 3-10 signature vibratoire typique dans le domaine fréquentiel

On obtient les données fréquentielles en recourant à un algorithme mathématique dénommé transformée de Fourier rapide (FFT) pour transformer les données temporelles. La FFT offre la possibilité de décrire chaque élément vibratoire d'un spectre complexe de trains de machines sous forme d'un pic de fréquence distinct. L'amplitude fréquentielle peut être définie comme le déplacement par unité de temps associé à une fréquence spécifique, illustré sur l'axe vertical en relation avec la fréquence sur l'axe horizontal. La figure 3-10 illustre la relation entre les domaines fréquentiel et temporel.[7]

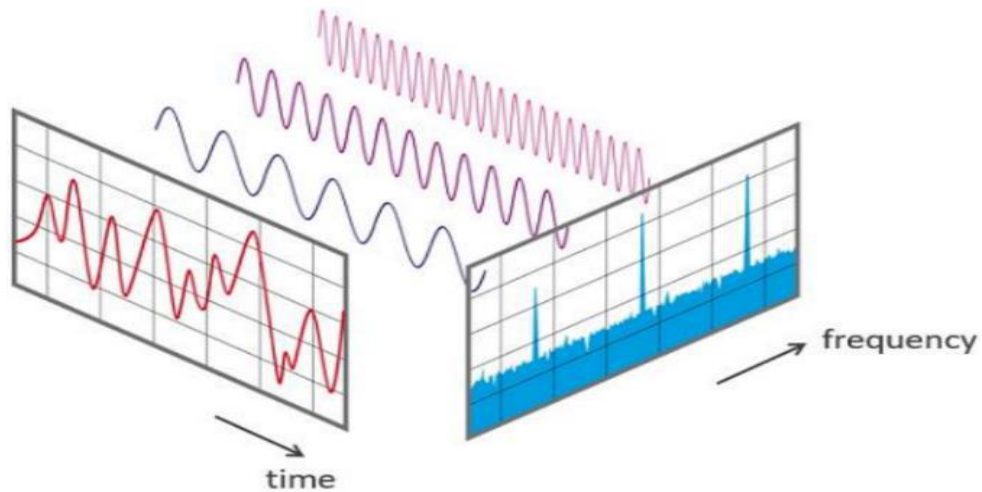


Figure 3-11 Relation entre la domaine temporel et le domaine fréquentiel

3.7.4 Analyse du domaine orbital

L'orbite indique le parcours de l'axe de l'arbre en relation avec une paire de capteurs à courants de Foucault qui sont perpendiculaires. Habituellement fixés de manière rigide au boîtier de la machine, ces capteurs sont souvent positionnés près d'un roulement ; par conséquent, l'orbite indique généralement le cheminement de l'axe de l'arbre en relation avec le jeu du roulement. L'orbite est sans doute le format de tracé singulier le plus efficace accessible pour le professionnel du diagnostic des machines.[8].

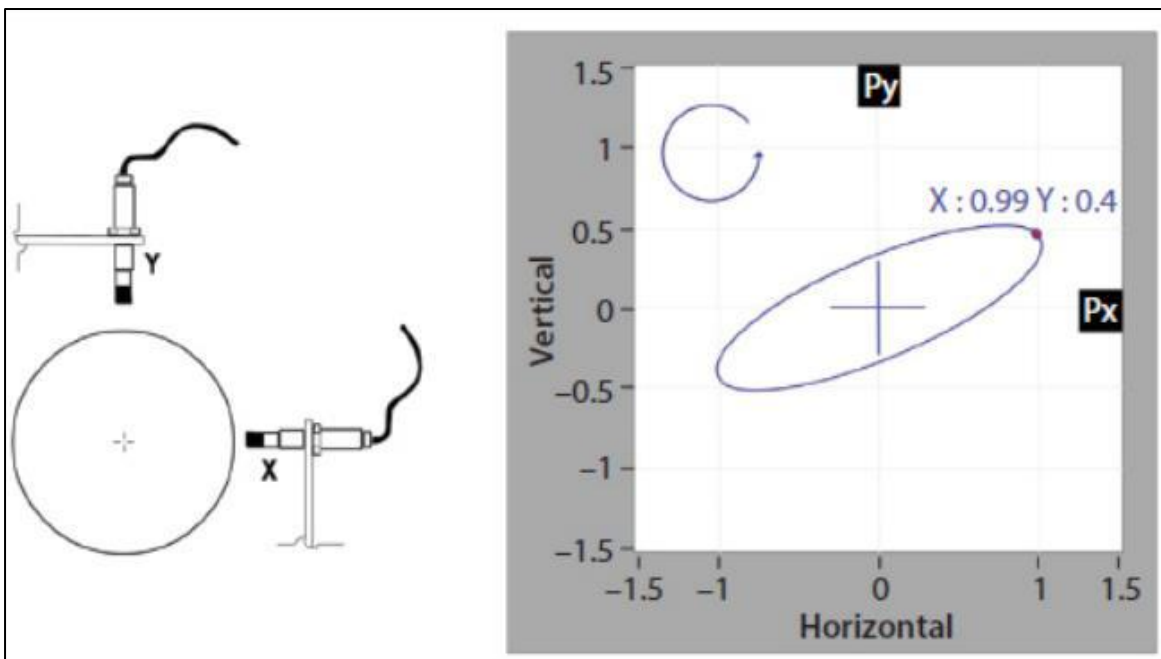


Figure 3-12 trace orbital générée à partir de deux sondes de proximité orthogonales

3.7.5 la forme d'orbite et le défaut probable

Les imperfections dans le fonctionnement des machines tournantes peuvent conduire à différents types de problèmes, comme le déséquilibre, le décalage de l'axe et la turbulence de l'huile dans l'arbre du rotor. On a bien observé que les différentes sortes de défauts dans la dynamique d'un rotor correspondent à des configurations spécifiques d'orbite. Le tableau ci-dessous résume les formes d'orbite représentatives correspondantes.[9]

3.8 Les vibrations

3.8.1 Explication

Un transducteur est un appareil qui transforme une forme d'énergie, telle qu'une vibration, en une autre forme d'énergie, généralement sous forme de courant électrique ou de tension. Les capteurs de vitesse, les accéléromètres et les sondes à courants de Foucault ou de proximité sont parmi les transducteurs les plus fréquemment employés. Chaque catégorie de transducteur offre des bénéfices particuliers pour certaines utilisations, mais tous possèdent aussi leurs contraintes. Aucun capteur ne satisfait à toutes les exigences de mesure. Un des éléments clés pour toute application est de sélectionner le transducteur le plus approprié à la mission. Voici une présentation des divers transducteurs de vibrations.[15]

3.8.2 Catégories

Tel que mentionné dans le segment « Nature des vibrations », les vibrations peuvent être quantifiées en termes de déplacement, de vitesse ou d'accélération. Selon les caractéristiques de la source de vibration, on distingue différents genres de transducteurs.

3.8.3 Capteur de proximité

La sonde de proximité, aussi connue sous le nom de « sonde à courants de Foucault » ou « capteur de déplacement », est un dispositif fixe. Elle englobe tous les capteurs qui réalisent une détection à distance, contrairement à des capteurs comme les commutateurs de fin de course, qui identifient les objets par contact direct. Les détecteurs de proximité traduisent les informations relatives au mouvement ou à la présence d'un objet en un signal électrique.

On distingue trois sortes de systèmes de détection qui réalisent cette conversion.

- les systèmes qui fonctionnent grâce aux courants de Foucault créés par induction

électromagnétique dans les métaux à repérer ;

- les systèmes qui identifient les changements de capacité électrique lorsque l'objet ciblé s'approche ;
- les systèmes qui emploient des aimants et des commutateurs à lames souples.

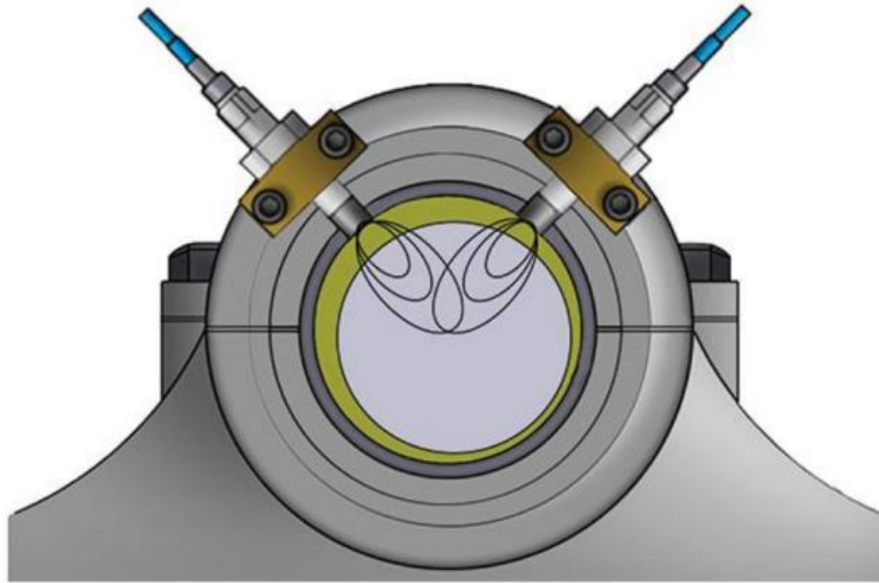


Figure 3-13 orthogonal proximité probe

3.8.4 Attributs

- Les détecteurs de proximité identifient un objet sans contact physique, évitant ainsi toute érosion ou dégât.
- Aucun contact n'est exploité lors de la sortie, prolongeant ainsi la longévité du capteur (sauf pour les capteurs qui font appel à des aimants). Les détecteurs de proximité conviennent aux environnements où l'eau ou l'huile sont présents.
- Les capteurs de proximité sont utilisables sur une vaste gamme de températures.
- Les capteurs de proximité sont insensibles aux couleurs.

3.8.5 Limitations

- L'étalonnage absolu des sondes de proximité représente un défi.
- Les fluctuations des caractéristiques magnétiques et les anomalies géométriques de l'arbre engendrent des signaux incorrects.
- Ils ont une gamme de fréquences restreinte.

3.8.6 Capteurs de vitesse vibratoire

Actuellement, la plupart des données concernant les vibrations des machines sont consignées et mesurées en termes de vitesse. Dans les secteurs de transformation, on analyse généralement la majorité des mesures de vibrations en pouces par seconde (ips) aux États-Unis, ou en millimètres par seconde (mm/s) selon le système SI. Pour les mesures dans la gamme de fréquences de 100 à 30 000 CPM (1,7 à 500 Hz), il est généralement conseillé d'utiliser des mesures de vitesse.

Types principaux de capteurs de vitesse :

3.8.7 Capteurs piézoélectriques de vitesse

Pour de nombreuses installations de capteurs permanents dans les papeteries, les aciéries et les centrales électriques, un capteur PVT constitue le meilleur investissement. Le PVT est essentiellement un accéléromètre piézoélectrique doté d'un convertisseur de vitesse intégré. Le transducteur utilise un élément de détection piézocéramique et une masse sismique dense pour produire une charge de sortie proportionnelle à l'accélération. Le signal de charge à haute impédance est converti dans les capteurs en une tension de sortie à basse impédance et intégré à la vitesse [15].

Des vues en coupe des PVT en mode compression et cisaillement sont présentées à la figure3.

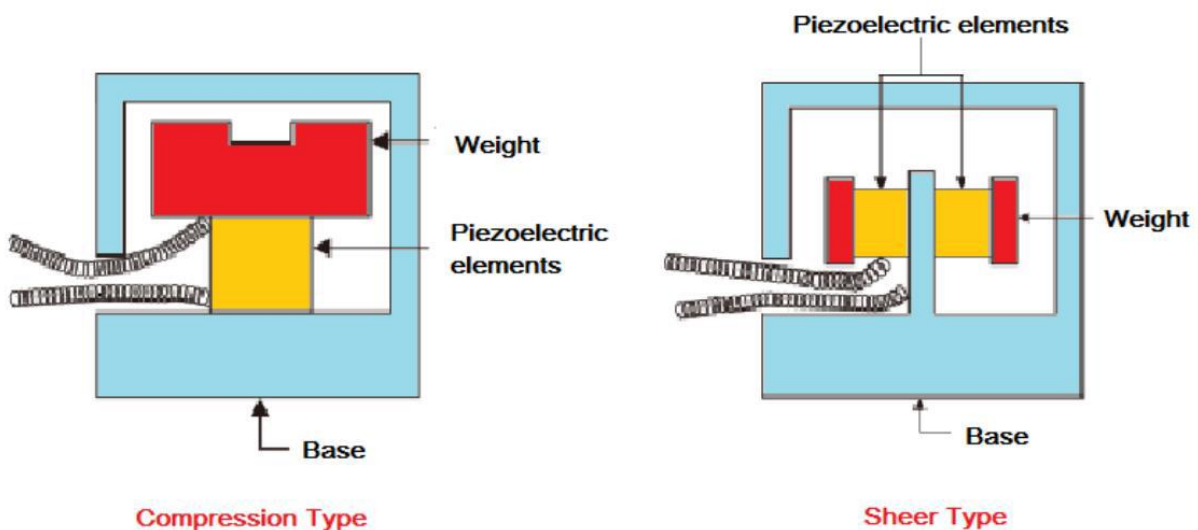


Figure 3-14 Deux types de composants piézoélectriques

3.8.8 Détecteurs de vitesse

Le dispositif de mesure de la vitesse est constitué de bobines, d'un fil conducteur et d'un aimant. Il est élaboré de manière à ce que si le boîtier est déplacé, l'aimant cherche à demeurer fixe du fait de son inertie (voir figure 3.5). L'interaction entre le champ magnétique et la bobine génère un courant qui est proportionnel à la vitesse de déplacement, et l'instrument produit un signal qui est directement proportionnel à la fréquence de vibration.

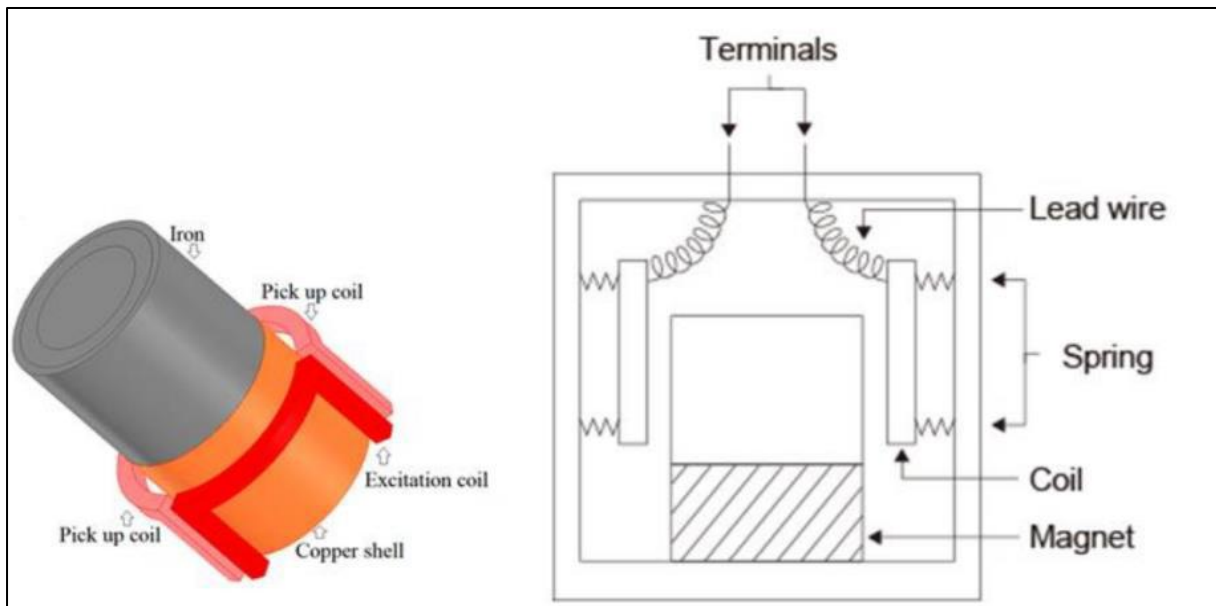


Figure 3-15 capteur de vitesse

3.8.9 Propriétés

- Facilité d'installation
- Réaction satisfaisante dans les fréquences intermédiaires
- Résiste à des températures hautes
- Pas besoin de source d'alimentation externe
- Prix le plus abordable

3.8.10 Contraintes

- Résonance à faible fréquence et déphasage
- Bruit transversal
- Volume considérable et poids important
- Exige une incorporation électronique pour le transport

3.8.11 les accéléromètres

L'accéléromètre piézoélectrique est un instrument qui produit lui-même son énergie. Voici le principe : quand un matériau piézoélectrique est exposé à une tension mécanique (cisaillement, compression ou flexion), un courant électrique se produit sur ses surfaces, en relation directe avec la contrainte (voir figure 3.6).

Elle couvre une plage de fréquences allant de moins de 1 à 10 000 Hz.

Des matériaux naturels et synthétiques tels que le quartz, la tourmaline, le sulfate de lithium et le sel de Rochelle produisent une charge électrique en réponse à une déformation ou à une tension mécanique.

La charge électrique s'évanouit lorsque la charge mécanique est éliminée.

On désigne ces matériaux comme des matériaux piézoélectriques, tandis que les transducteurs utilisant l'effet piézoélectrique sont nommés transducteurs piézoélectriques.

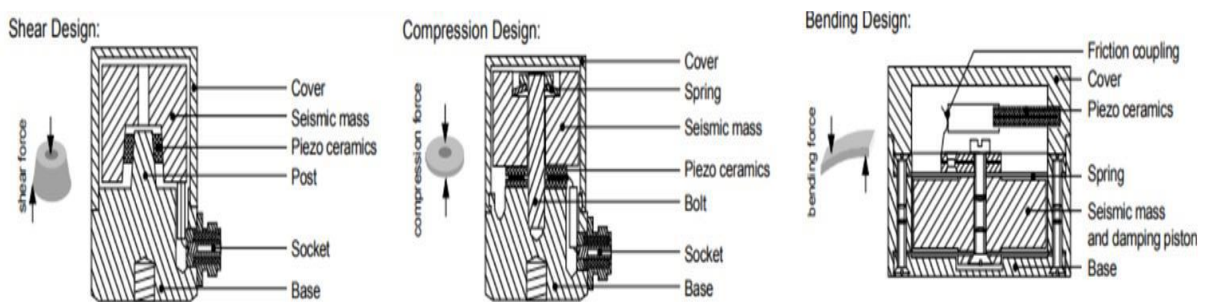


Figure 3-16 Accéléromètres piézoélectriques

3.8.12 Spécifications

- Fonctionnement sur une vaste gamme de fréquences (0,3-40 kHz)
- Excellente linéarité sur un large éventail dynamique
- Option d'incorporer le signal pour délivrer des renseignements sur la vitesse et le mouvement
- Précision remarquable dans une vaste gamme de conditions environnementales (-50 à 700 °C)
- Fiabilité exceptionnelle dans le temps (absence de composants en mouvement)
- Compact et présentant un haut ratio masse-sensibilité

3.8.13 Limitations

- Sensible à la méthode de montage et à l'état de surface
- Incapable de mesurer les vibrations relatives ou la position de l'arbre
- Réponse au signal dynamique faible en dessous de 10 Hz ;
- Sensible aux bruits, aux mouvements et aux interférences électriques.

3.9 Catégories de systèmes de surveillance

Système de surveillance sporadique « hors ligne »

Le système de contrôle discontinu, aussi connu sous le nom de système de surveillance hors ligne, s'appuie sur l'évaluation des vibrations à des moments prédéterminés sur le site. L'analyse est par la suite réalisée sur site ou à une date ultérieure après la collecte des données. La surveillance sporadique offre des indications anticipées sur les pannes émergentes et est souvent mise en place lorsqu'une alerte anticipée est nécessaire, lorsqu'un diagnostic de pointe est indispensable, quand des interventions doivent être réalisées à différents emplacements d'une machine et dans le cas où les machines présentent une certaine complexité.

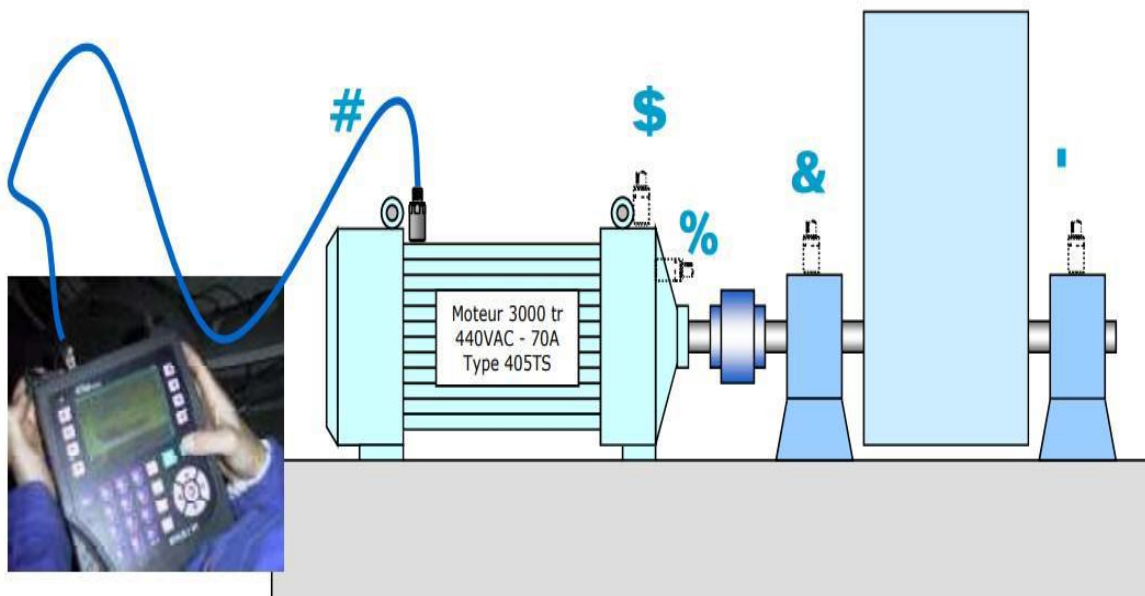


Figure 3-17 off-line monitoring

3.9.1 Système de contrôle continu « en temps réel »

Un système de suivi continu, aussi connu sous le nom de système de contrôle en temps réel, s'appuie sur l'évaluation constante des vibrations à des emplacements spécifiques de la machine et la mise en parallèle des résultats avec les seuils de vibration admis. Dans ce dispositif, des transducteurs sont en permanence mis en place à chaque emplacement de mesure.

Ce système est couramment déployé dans les applications critiques où :

- personne n'est disponible pour prendre les mesures (offshore, stations de pompage isolées, etc.) ;
- il faut stopper la machine avant qu'une défaillance ne se produise pour prévenir un accident majeur.
- Une défaillance immédiate peut se produire, obligeant à arrêter la machine.
- L'intervention humaine est impossible dans un environnement (explosif, toxique ou à haute température).
- Ce mécanisme est aussi employé quand il est indispensable d'assurer la protection de l'équipement en temps réel (situation des équipements onéreux).

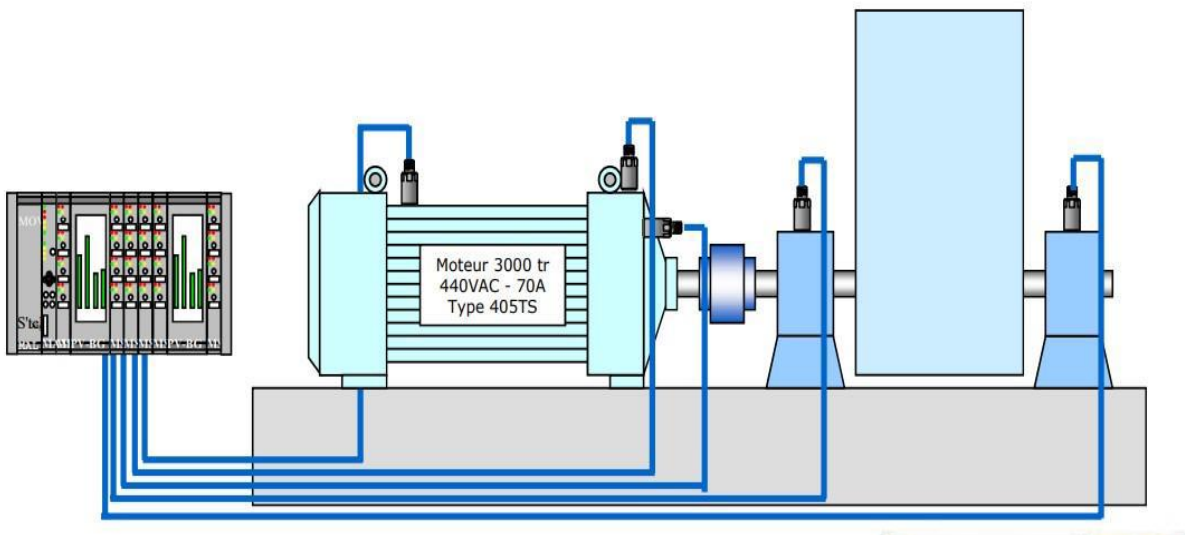


Figure 3-18 surveillance en ligne

3.9.2 Procédé automatisé

Dans cette approche, des accéléromètres sont fixés en permanence sur les équipements et connectés à des systèmes d'acquisition de données. Ces derniers recueillent et traitent les informations à des intervalles précis (chaque minute, chaque heure, chaque jour, chaque semaine, etc.), selon l'importance de la machine. Comme l'illustre le diagramme 6.1, cette approche a une structure allégée et demande moins d'effectif pour les activités de tous les jours. Les informations recueillies sont immédiatement disponibles sur le web afin que toutes les parties concernées puissent les examiner.

3.9.3 Manual Method

Cette technique nécessite l'utilisation d'employés compétents pour transférer manuellement les trajets depuis un logiciel installé sur un ordinateur vers un dispositif de collecte de données. Ce dispositif est déplacé d'un appareil à un autre au sein de l'usine, et autorise la collecte d'informations à chaque position spécifiée sur un appareil. Sous des conditions de fonctionnement normales, les données sont généralement recueillies une fois par mois ou par trimestre. Après la collecte des données, l'appareil est relié à un ordinateur et les trajets sont transférés dans le logiciel pour une analyse. Comme démontré à la figure 6.2, cette approche requiert une intervention manuelle substantielle de professionnels compétents afin d'assurer l'efficacité du procédé. Les informations recueillies sont souvent extraites puis transmises par email à d'autres intervenants qui n'ont pas obligatoirement accès à l'ordinateur sur lequel le logiciel est installé.

3.10 Types d'anomalies dans les machines en rotation

Dans cette partie, nous étudions diverses anomalies dans les machines en rotation. Cela inclut généralement un arbre tournant, un roulement, une transmission, un rotor, un stator, et ainsi de suite.[10]

Définition : L'arbre tourne principalement dans une direction. C'est une distribution uniforme de la masse t .

On distingue trois catégories :

- a- Déséquilibre statique a- L'axe d'inertie principale et l'axe géométrique sont en parallèle.
- b- Le couple provoque un déséquilibre entre l'axe d'inertie principal et l'axe géométrique central, qui se rencontrent au centre.
- c- En raison d'un balourd dynamique, l'axe d'inertie principale et l'axe géométrique central ne se croisent pas ou ne coïncident pas.

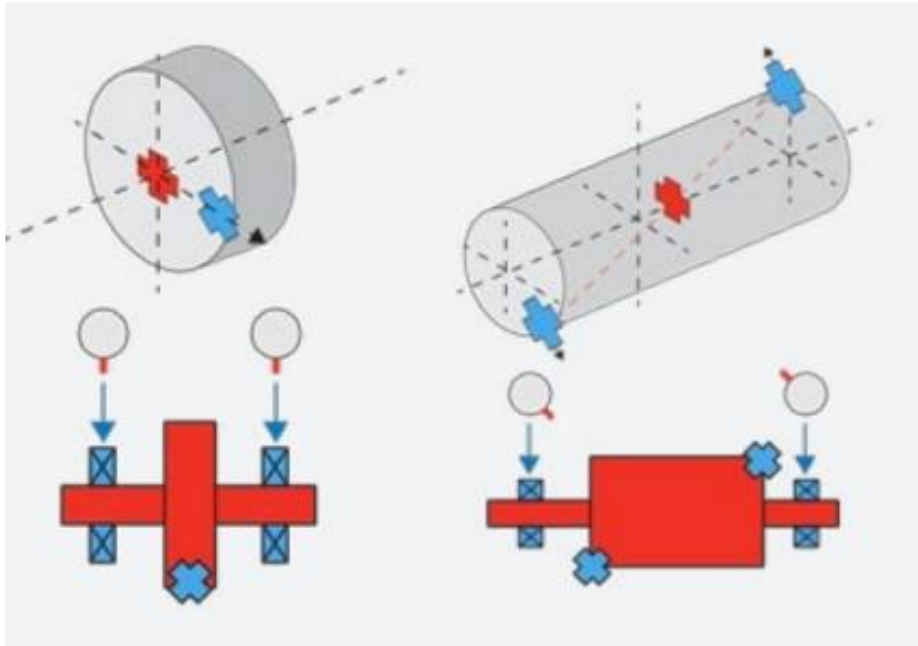


Figure 3-19 Déséquilibre statique et de couple

Cause : Le déséquilibre fait référence à une distribution inégale de la masse au sein d'un système en rotation (par exemple, salissure sur un ventilateur, usure d'une pale, matériau poreux). L'axe de rotation géométrique ne correspond pas à l'axe de masse.

Conséquence : Les forces d'excitation qui tournent à la vitesse de l'arbre sont majoritairement produites dans la direction radiale. Un équilibrage dynamique, consistant à ajouter des masses, est effectué sur l'arbre afin de réduire cet impact.

Détection : L'anomalie est identifiée à une fréquence de 1 tr/min, se manifestant par un décalage de 180° au niveau de l'accouplement. (Note : tr/min correspond au nombre de révolutions par minute de l'arbre).

3.11 Rapport du diagnostic

Ce rapport concerne l'étude vibratoire et le diagnostic réalisés sur un compresseur centrifuge BCL405c, faisant partie de la série GB-226, situé sur le site de Hassi R'mel. Ce diagnostic a été posé suite à un fonctionnement inattendu de la machine après la détection de niveaux de vibrations anormaux, enregistrés au niveau du compresseur, de la turbine de puissance BP et du multiplicateur. L'objectif principal de cette intervention est d'identifier la source de ces vibrations afin d'assurer le bon fonctionnement et la fiabilité de l'ensemble de la chaîne de pression. Les mesures ont été réalisées à l'aide de l'analyseur VIBROTEST 80 E, qui a permis un diagnostic précis grâce à des analyses globales, spectrales et orbitales.

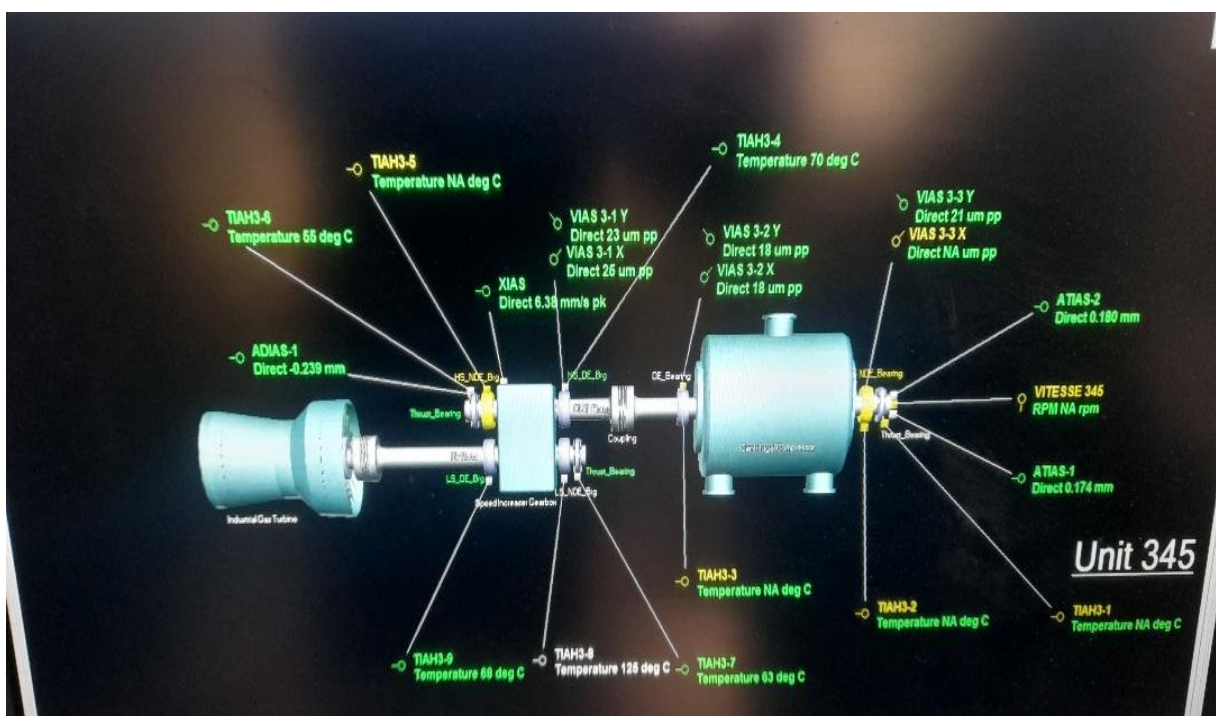


Figure 3-20 Accouplement en etude

Le déclenchement de la machine BCL405c (voir Annexe 1), a été causé par des niveaux élevés de vibration détectés :

- Sur le compresseur GB-226, via les sondes VIAS3 -3Y, VIAS3 -3X et VIAS3 -2X , VIAS3 -2Y (vibrations relatives en [$\mu\text{m pp}$]),
- Et sur la turbine de puissance LP, via une sonde sismique (vibrations absolues en [mm/s rms]).
- Sur Multiplicateur , via les sondes VIAS3 -1X et VIAS3 -1Y

Ces événements ont motivé la réalisation d'un contrôle et d'un diagnostic vibratoire afin de mieux identifier l'origine de ce comportement anormal.

Mesures effectuées

Les mesures ont été réalisées à l'aide de l'analyseur VIBROTEST 80 E :

- Mesure globale de vibration relative sur rack, aux sondes :
VIAS3 -3Y, VIAS3 -3X et VIAS3 -2X , VIAS3 -2Y et VIAS3 -1X et VIAS3 -1Y (Annexe 2)
- Mesure globale de vibration sismique sur site :
 - o Sur les deux paliers du compresseur
 - o Et sur le palier côté butée de la turbine de puissance LP (Annexe 3)
- Orbites du rotor en pleine charge :
 - o Palier de butée : VIAS3 -3Y, VIAS3 -3X (Annexe 4)
 - o Palier d'accouplement : VIAS3 -2X , VIAS3 -2Y (Annexe 5)
- Spectres vibratoires du palier de butée :
 - o Horizontal : Annexe 6
 - o Vertical : Annexe 7
 - o Axial : Annexe 8
- Spectres vibratoires du palier d'accouplement :
 - o Horizontal : Annexe 9
 - o Vertical : Annexe 10
- Spectre vibratoire du palier de la turbine LP : Annexe 11

3.12 Conclusion des analyse et constitutions:

- Les mesures globales (Annexe 2 et 3) révèlent une vibration significative sur l'ensemble de la ligne d'arbre : de la turbine de puissance LP au compresseur centrifuge.
- Les analyses spectrales des sondes VIAS3 -3X , VIAS3 -3Y, VIAS3 -2X , VIAS3 -2Y, ainsi que la sonde sismique du palier côté butée de la turbine, indiquent un désalignement probable entre les éléments de la ligne.

- Les orbites du rotor côté accouplement (Annexe 5) mettent en évidence des déformations typiques de contraintes mécaniques liées à un désalignement.
- Les orbites côté palier de butée (Annexe 4) présentent des signes d'une légère instabilité d'huile, perceptible à différentes vitesses.
- Les spectres des sondes VIAS3 -3X , VIAS3 -3Y montrent des pics sous-harmoniques (entre 0.2X et 0.6X), ce qui corrobore la présence d'une instabilité d'huile modérée.
- Une légère instabilité du film multiplicateur faible vitesse VIAS3 -1X , VIAS3 -1Y

Suite aux analyses réalisées, les recommandations suivantes sont émises :

- Vérifier l'alignement du manchon d'accouplement entre la turbine de puissance LP et le compresseur centrifuge.
- Contrôler les conditions de fonctionnement du système de lubrification : pression, température et qualité de l'huile des paliers.
- Procéder à un suivi vibratoire après intervention afin de confirmer la stabilité mécanique du train.

.

Conclusion Générale

Ce stage a constitué une expérience formatrice qui m'a permis de mettre en pratique mes connaissances théoriques dans un contexte industriel réel, tout en développant des compétences techniques et méthodologiques essentielles.

Au cours de ma mission, j'ai eu l'opportunité d'effectuer un diagnostic approfondi portant sur le comportement mécanique du train tournant, composé de la turbine de puissance LP et du compresseur centrifuge. À travers l'analyse des données de fonctionnement, des mesures vibratoires et des paramètres du système de lubrification, j'ai pu identifier plusieurs points critiques nécessitant une attention particulière.

L'étude a abouti à trois recommandations majeures :

- 1- Vérifier l'alignement du manchon d'accouplement entre la turbine de puissance LP et le compresseur centrifuge
- 2- Contrôler rigoureusement les conditions de fonctionnement du système de lubrification, notamment la pression, la température et la qualité de l'huile des paliers ;
- 3- Mettre en place un suivi vibratoire post-intervention afin d'assurer la stabilité mécanique du train tournant.

Cette démarche m'a permis d'acquérir une méthode d'analyse rigoureuse, d'approfondir mes connaissances en dynamique des machines tournantes, et de me familiariser avec les outils de mesure et de surveillance industrielle. Elle m'a également sensibilisé à l'importance de la maintenance conditionnelle et à la prévention des défaillances mécaniques dans les installations critiques.

En conclusion, ce stage a renforcé mon intérêt pour les métiers de la maintenance dans le domaine des énergies et des énergie renouvelable et du diagnostic technique, tout en enrichissant considérablement mes connaissances professionnel

Références bibliographiques

- [1] SONATRACH – DP HRM. (2016). Présentation de la région HassiR'Mel [Document interne]. Sonatrach, HassiR'Mel, Algérie
- [2] Sonatrach/IAP2017/service compresseur/CHENOUNE Moussa
SH-HRM
- [3] BENSEGHIR, S.H. and N. AMOURA, Analyse dynamique et étude de la stabilité d'un système rotor-paliers Cas de la turbine à gaz de la centrale électrique El Hamma II-Alger, in Master report, Mechanical Department. 2021, Medea University
- [4] Scheffer, C. and P. Girdhar, Practical machinery vibration analysis and predictive maintenance. 2004: Elsevier.
- [5] AMOURA, N., DVMT_C02_Outils de Surveillance et de Diagnostic. 2022.
- [6] Salman, W., PhD, Machinery Vibration Analysis (Training Manual).
- [7] Irvine, T., An Introduction to Shock and Vibration Response Spectra, Partnership with enDAQ.com. 2018.
- [8] Jeong, H., et al. Deep learning based diagnostics of orbit patterns in rotating machinery. in Annual Conference of the PHM Society. 2016.
- [9] Muruganantham, B., Phd, Introduction to vibration based condition monitoring. 2022.
- [10] Brüel & Kjær, B., vibro. Available from:
https://www.bkvibro.com/fileadmin/mediapool/Internet/Application_Notes/detecting_faulty_rolling_element_bearings.pdf.

6 :Annexes

6.1Annexes N° 1

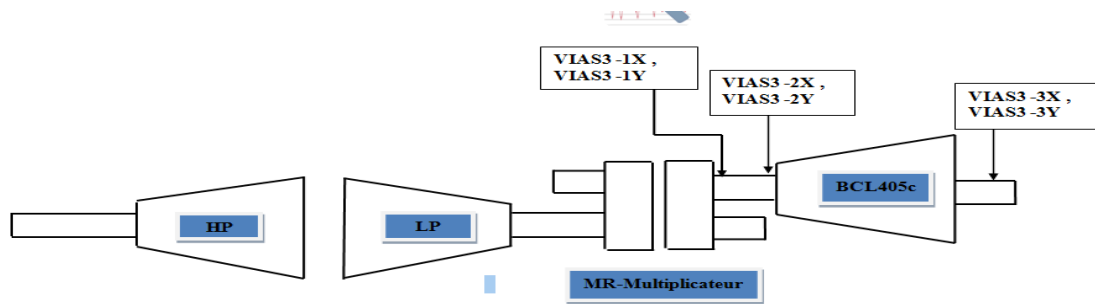


Figure 1 : schéma du train de compression GB 226.
Compresseur BCL405c – Multiplicateur MR-GB BCL405c – Turbine MS5002B

5.1 Annexes N° 2

Globale Palier 1	
	Overall [A]
Ch1	83,3 [µm] pp
Ch2	59,1 [µm] pp
Ch4	26,2 [µm] pp

Globale Palier 2	
	Overall [A]
Ch1	31,1 [µm] pp
Ch2	48,0 [µm] pp

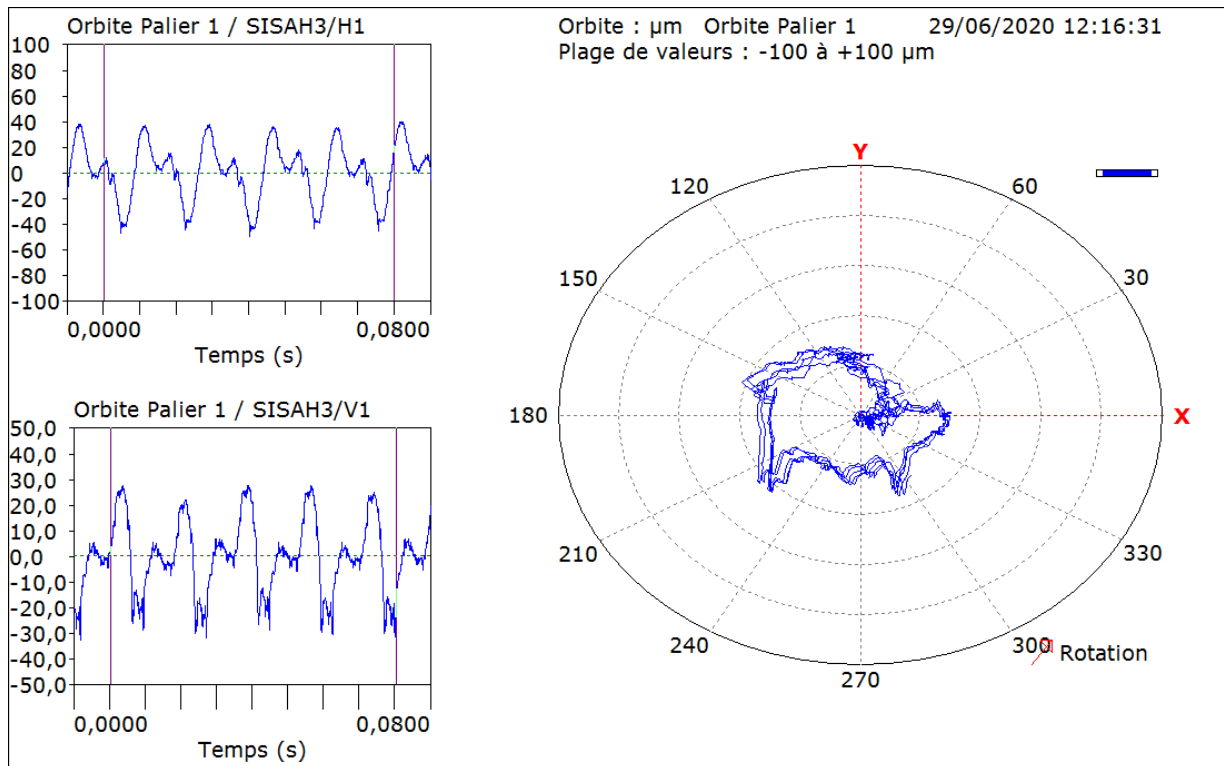
Mesure Globale de la vibration relative

5.2 Annexes N° 3

Globale Palier 3	
	Overall [A]
Ch1	10,93 mm/s rms

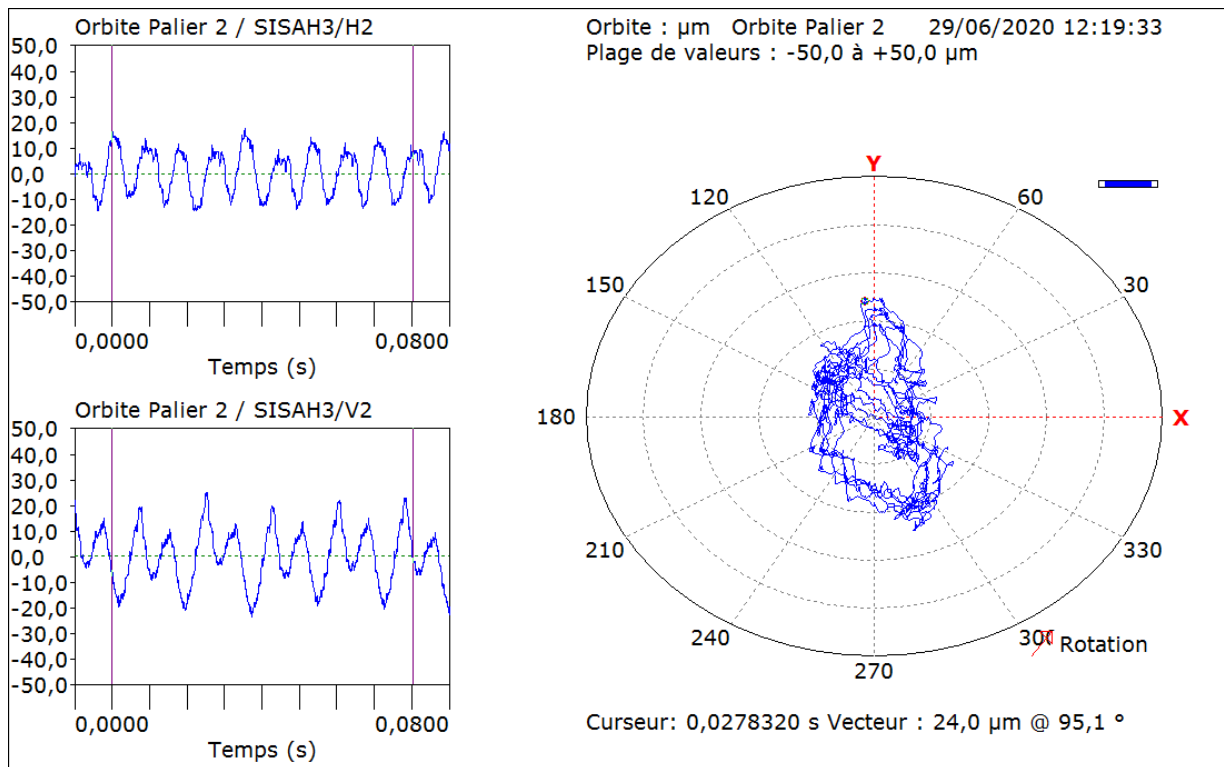
Mesure Globale de la vibration séismique

5.3 Annexes N° 4



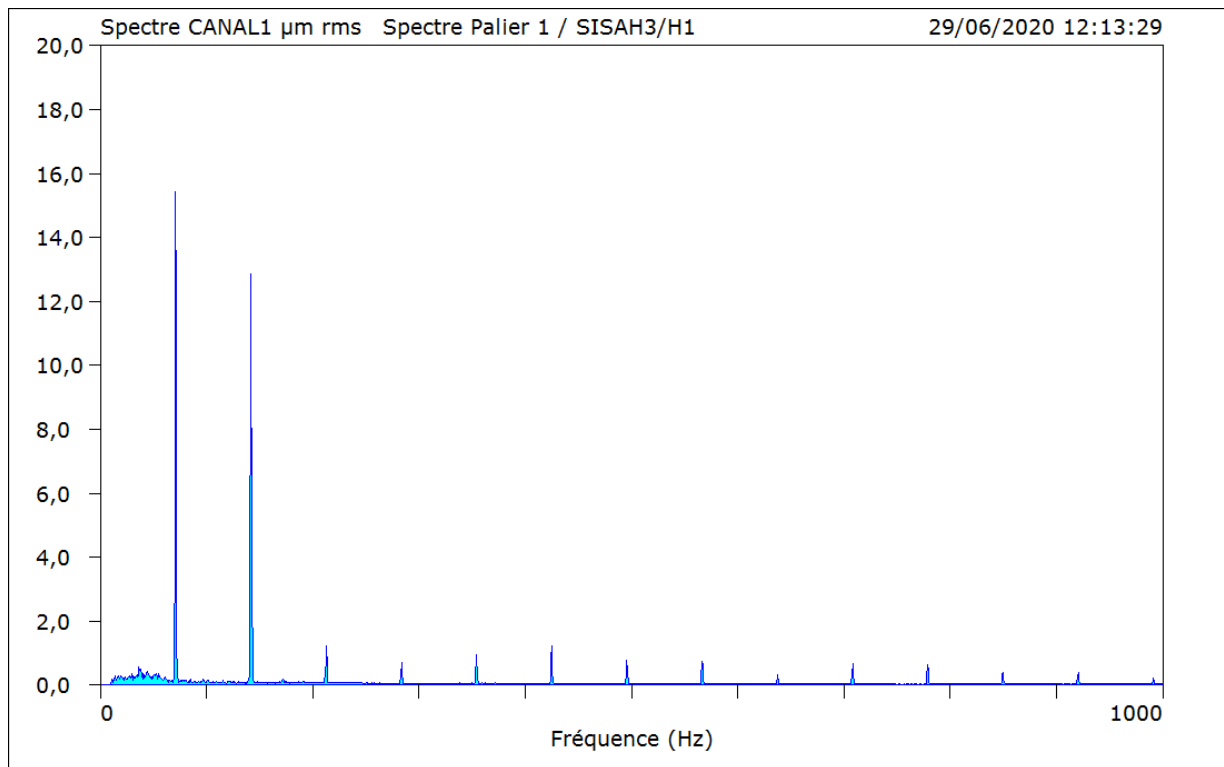
Orbite de rotor relative aux sondes de palier de butée

5.4 Annexes N° 5



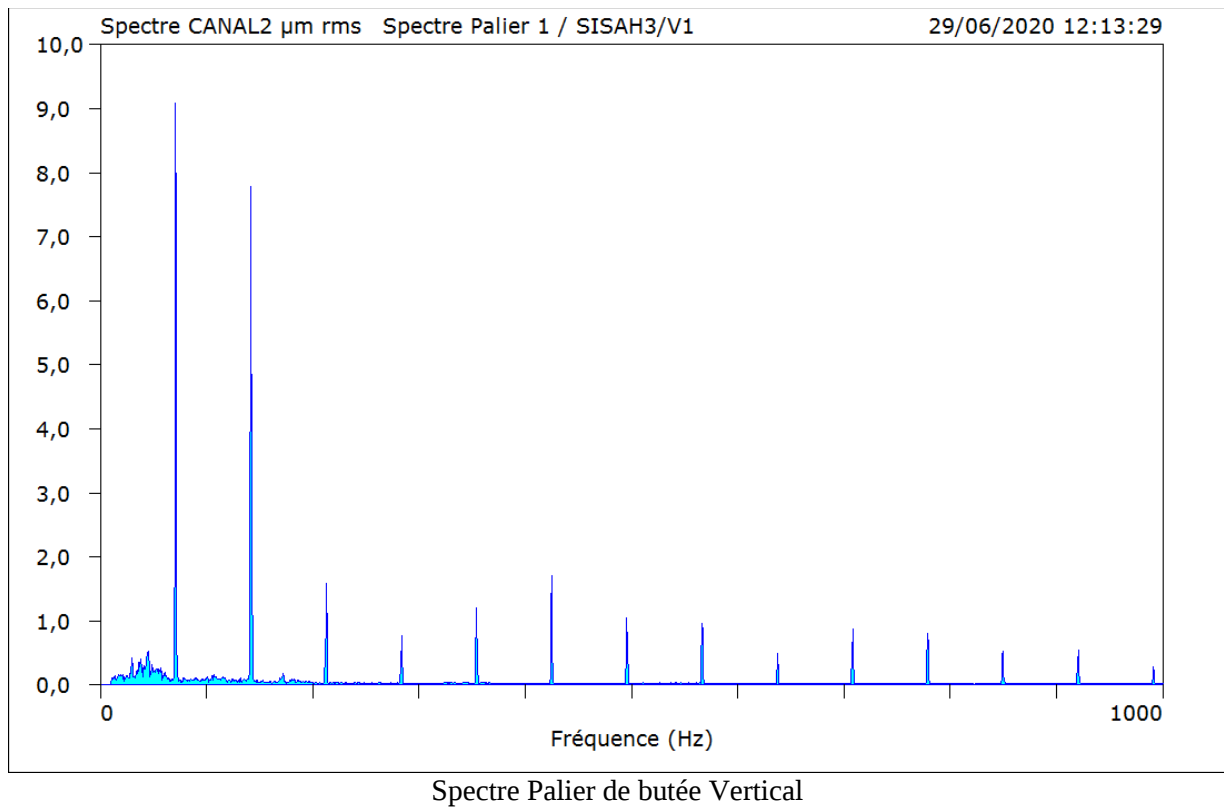
Orbite de rotor relative aux sondes de palier d'accouplement

5.5 Annexes N° 6

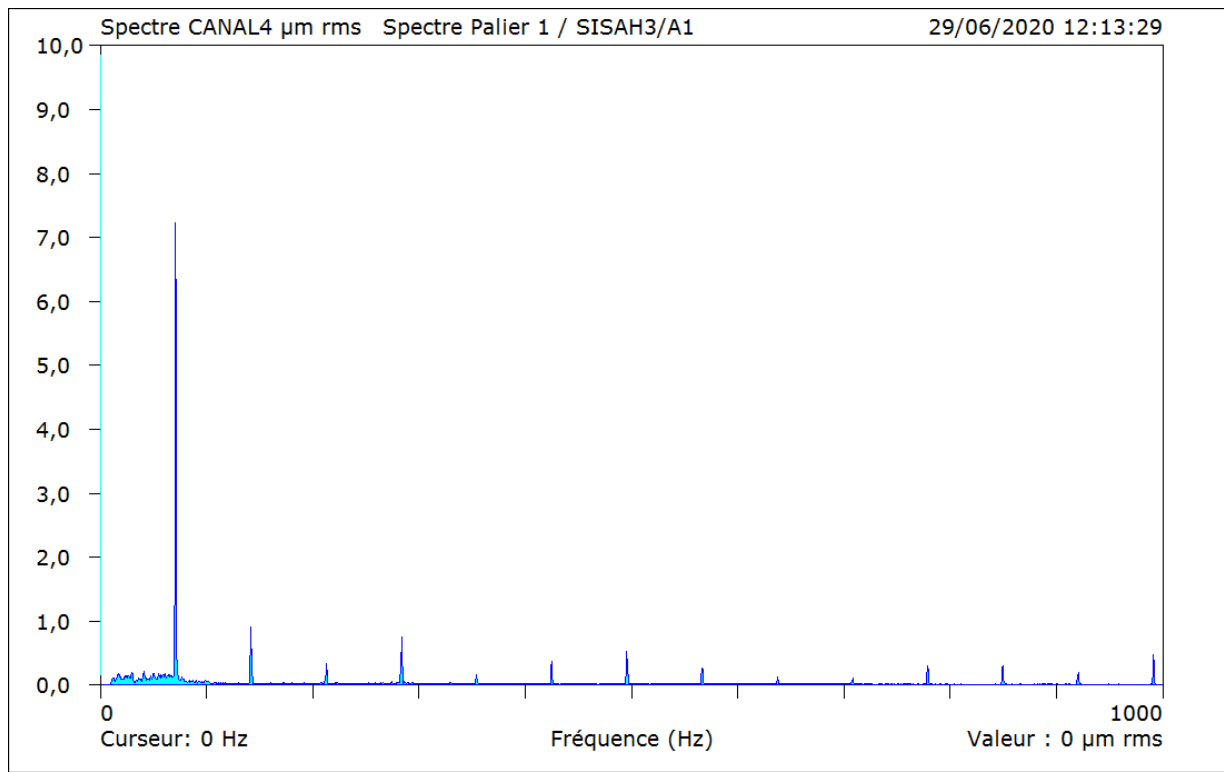


Spectre Palier de butée Horizontal

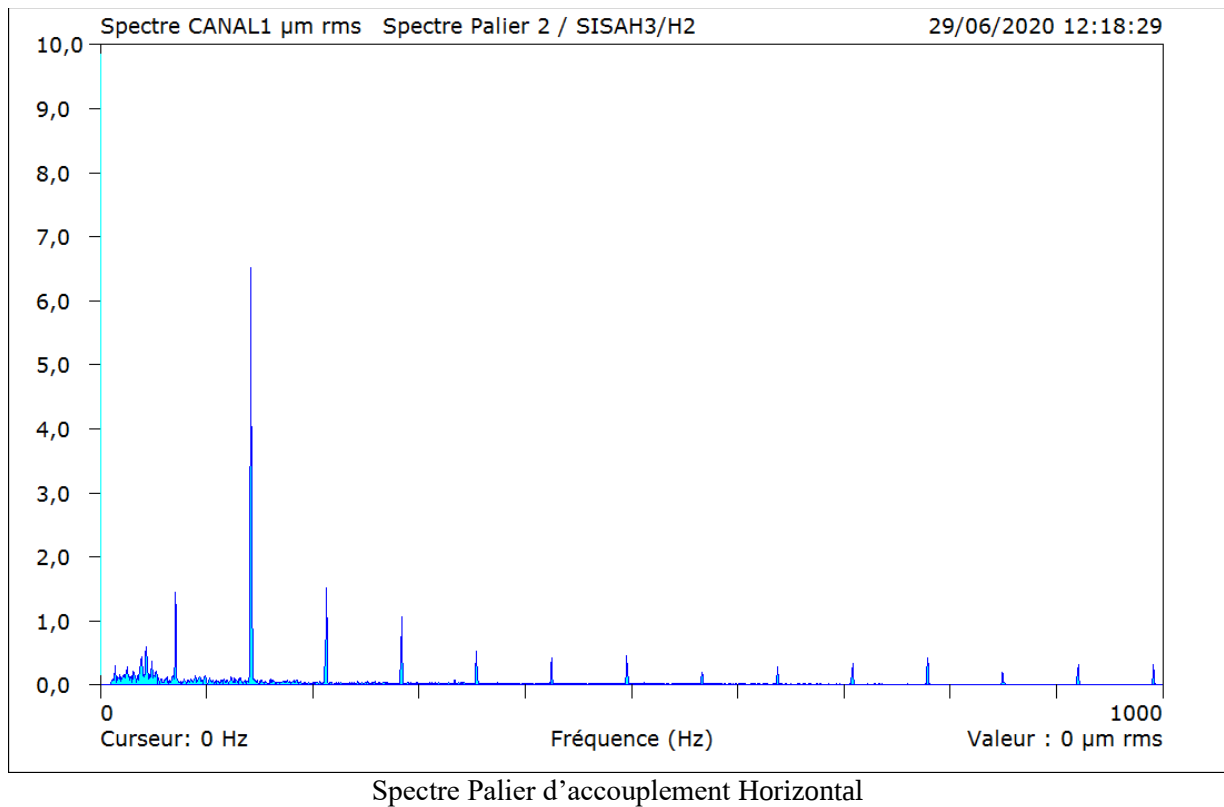
5.6 Annexes N° 7



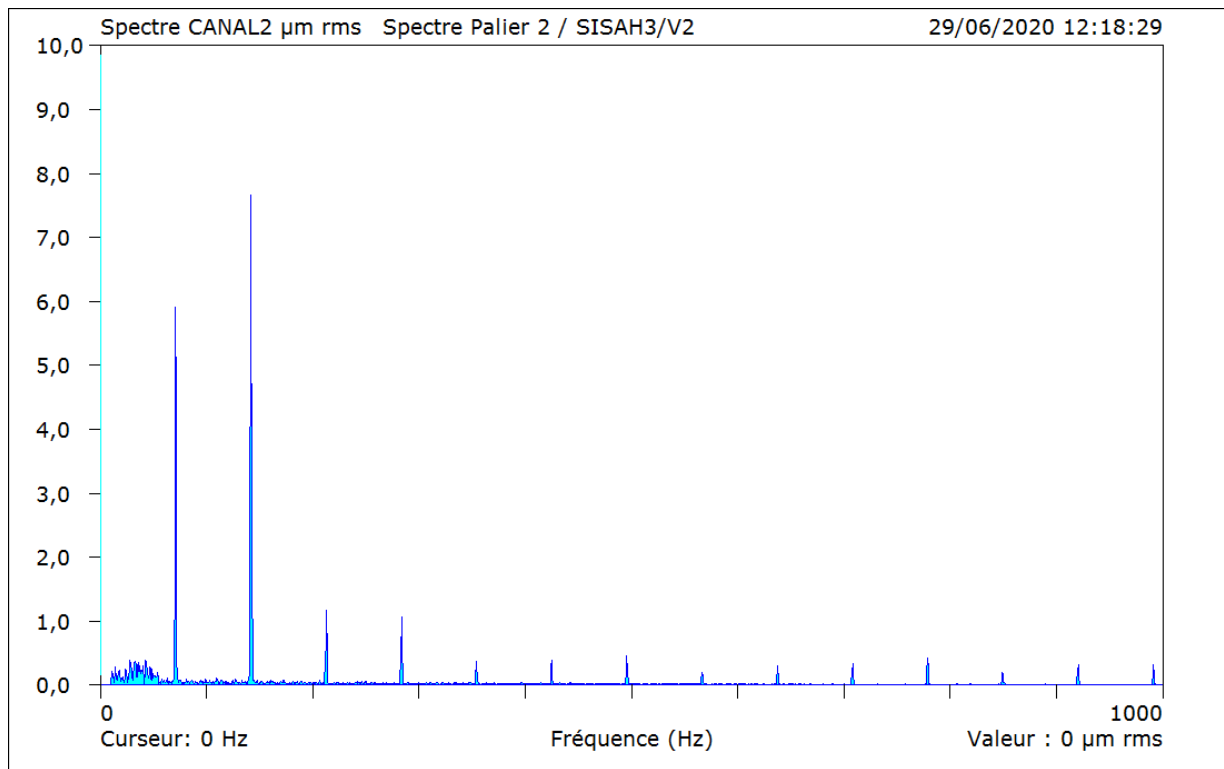
5.7 Annexes N° 8



5.8 Annexes N° 9

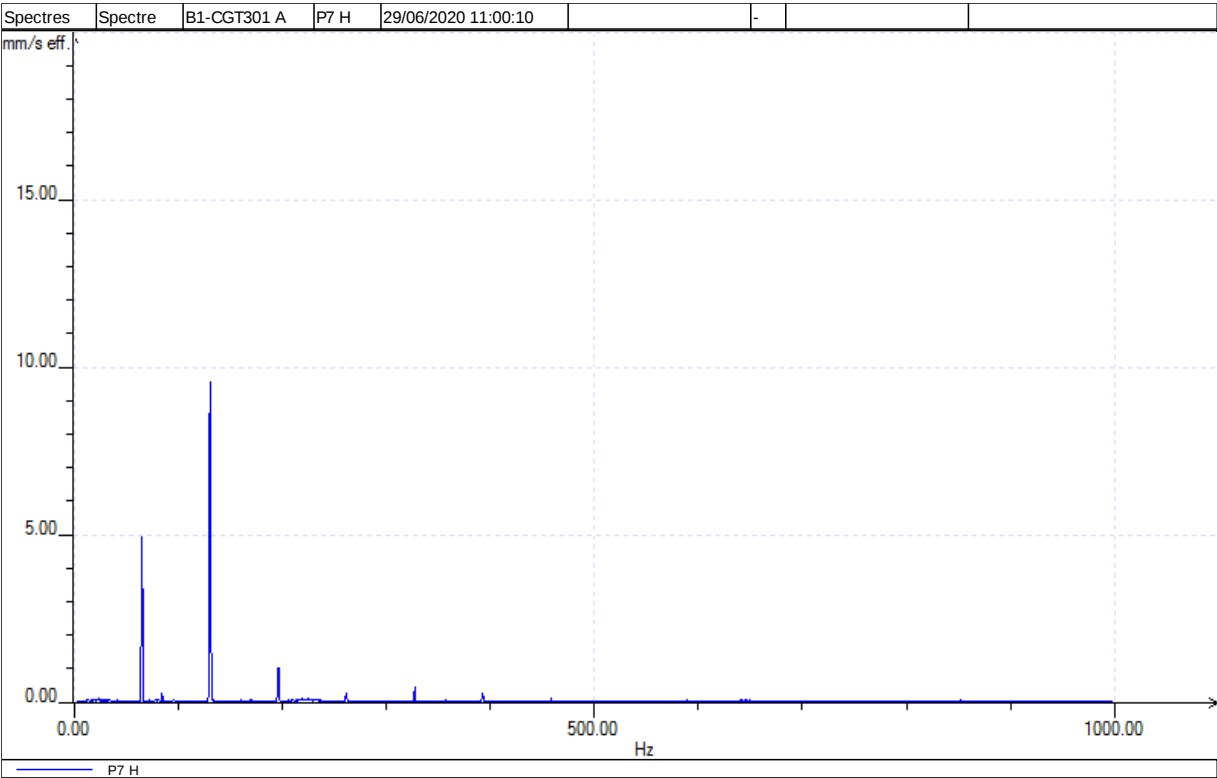


5.9 Annexes N° 10



Spectre Palier d'accouplement Vertical

5.10 Annexes N° 11



Spectre de palier d'accouplement de la turbine de puissance LP

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Université de Ghardaïa
Faculté des Sciences et de la Technologie



جامعة غرداية
كلية العلوم والتكنولوجيا

قسم : الآلية والكهربويات

غرداية في : 31.1.2025

شعبة : طاقات متجددة
تخصص : طاقات متجددة

شهادة ترخيص بالتصحيح والاياداع:

الأستاذ : زكريا ابراهيم

بمقر الشرف المسؤول من تصحيح مذكرة تفريح (المسائل/امتحان/تقارير) المعنونة بـ

Surveillance Vibratoire et intervention pratique

sur le Compresseur Centrifuge

Sonatrach - Hassi d'Inel

من انجاز الطالب (الطالبة):

.....

التي توالتبت الموصفت بتاريخ : 2025 / 05 / 20

اشهد ان الطالب/الطالبة قد قام /قاموا بالتعديلات والتصحيحات المطلوبة من طرف لجنة المناقشة وقد تم التحقق من ذلك من طرفنا
وقد استوفت جميع الشروط المطلوبة .

مصادقة رئيس القسم

امضاء المسؤول عن التصحيح



.....