

III.1. INTRODUCTION

L'objectif de ce chapitre est de faire une analyse vibratoire (surveillance et diagnostique) pour étudier les phénomènes vibratoires apparus dans une machine tournante tel que la TG9001E (groupe N°5 d'ALSTHOM). Il faut savoir que les machines tournantes sont utilisées dans de domaines aussi variés que possible. Et puisque ces domaines sont variés, on distingue ainsi une variété de machines tournantes ayant de différentes fonctions mais liées par des organes communs en rotation, parmi ces machines, on distingue : les machines hydrauliques ou pneumatiques, les machines électriques, et les machines mécaniques.

III.2. DIFFERENTS TYPES DE MACHINES TOURNANTES

III.2.1. Les machines hydrauliques/pneumatiques

- Les pompes
 - pompes volumétriques
 - pompes centrifugés
 - Pompes volumétriques rotatives
 - Pompes volumétriques alternatives

III.2.2. Les machines électriques

- Moteurs asynchrones (**alternateurs**)
- Moteurs synchrone

III.2.3. Les machines mécaniques

- Réducteurs
- Variateur de vitesse
- La Turbine
- Compresseur

III.3. ETUDE DE CAS : ALTERNATEUR

L'alternateur est un générateur à courant alternatif, refroidi à l'air entraîné par turbine à gaz, par l'intermédiaire du réducteur de vitesse. Son sens de rotation est celui des aiguilles d'une montre pour un observateur regardant l'alternateur, le dos tourné à la turbine à gaz. L'extrémité côté réducteur du rotor de l'alternateur est accouplée de façon rigide au réducteur et supportée par celui-ci. L'extrémité du rotor côté excitation est supportée par le palier arrière, séparé de la carcasse de l'alternateur.

❖ Historique du groupe

Le groupe N°5 de la centrale de TIARET (ALSTHOM) d'une puissance nominale de 100MW qui venait de sortir d'une révision d'installation d'un nouveau rotor **Alternateur** durant tout le mois d'Avril 2016

❖ Situation de problème

Suite à un bruit anormale signaler par l'opérateur au niveau de la machine **alternateur**, ont été effectués une inspection pour visiter et réviser le **groupe TG5**. Ce dernier sert à faire une révision sur la machine ont avait détecté un défaut sur la machine lorsque ils étaient confirmés, l'intervention sert à faire à partir du service de maintenance.

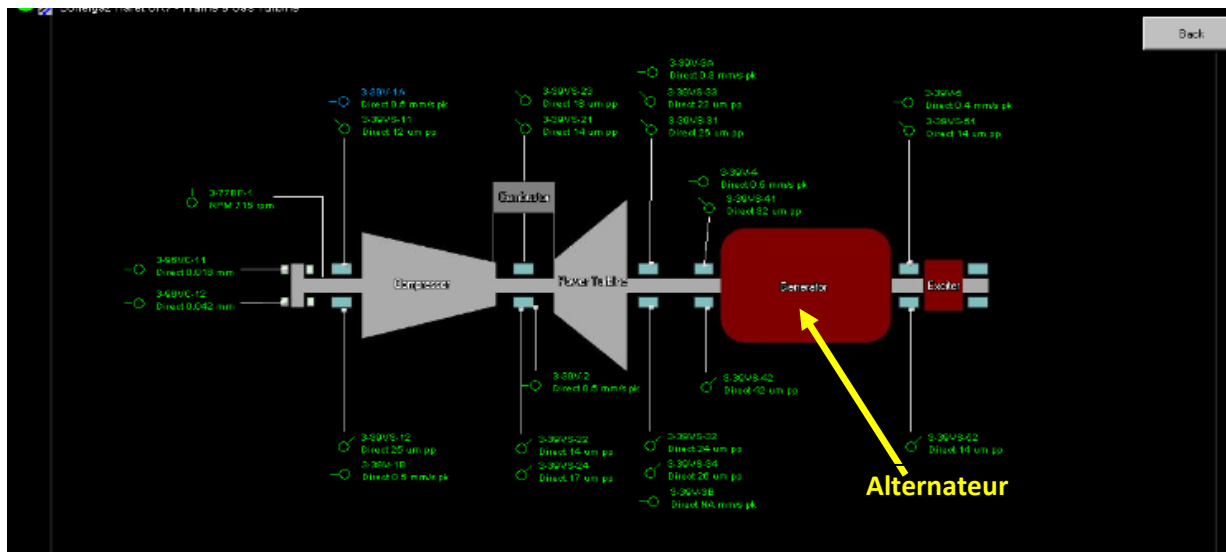


Figure III.1 Groupe turboalternateur(ALSTHOM)

III.3.1. Description et caractéristique

La partie centrale est usinée pour recevoir l'enroulement inducteur.

❖ Stator

- a. **Carcasse** : Destinée à recevoir le circuit magnétique, est réalisée en un seul élément.

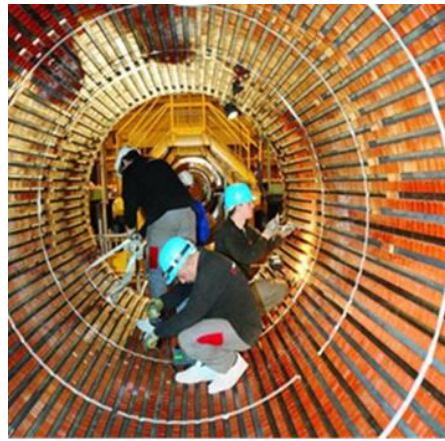


Figure III.2 : Stator d'alternateur

a. circuit magnétique

Est constitué d'un empilage de tôles magnétiques isolées entre elles ; assurant un refroidissement efficace des parties actives de la machine.

b. Bobinage stator

Le bobinage est formé de barres, constituées de fils de course de 4x2 mm, isolées de deux grippages verre fin chaque barre est formée de 60 rubans de cuivre.

c. Ventilation du stator

La ventilation du stator est très efficace et permet refroidissement du circuit magnétique et du bobinage. Le fond des encoches du rotor est pourvu d'un canal longitudinal dans lequel circule l'air de refroidissement.

❖ **Rotor**

Arbre rotor : l'arbre en acier forgé est du type monobloc une extrémité est prévue pour recevoir le manchon d'accouplement au réducteur turbine l'autre extrémité est épanouie et forme le plateau pour accouplement avec l'arbre rotor de l'alternateur d'excitation [ALSTHOM] accouplement avec réducteur des auxiliaire.

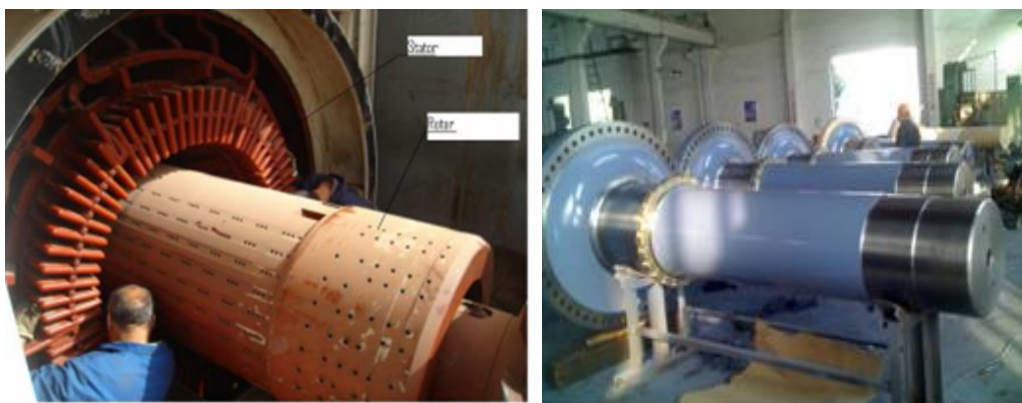


Figure III.3 : Rotor d'Alternateur

1. Bobinage rotor

Le bobinage inducteur du rotor est constitué de conducteurs en cuivre à l'argent méplat à haute conductibilité. La forme des spires est obtenue sur gabarit.

2. Ventilation

La ventilation de l'alternateur se fait en circuit ouvert. Des ouvertures sur la carcasse du stator permettent le raccordement du circuit d'air de ventilation, aux gaines d'amenée et de refoulement prévues.

Type triphasé	T229-320
No et année de fabrication	412103-1987
Classement d'isolement stator	F
Classement d'isolement rotor	F
Type de protection	I.P 53
Norme	I.E.C
Service	continu
Puissance apparente	126.875MVA
Facteur de puissance	0.8
Tension nominale	11500V
Courant nominal	6370A
Fréquence	50HZ
Vitesse	3000tr/mn
Excitation	148V-2123A

III.3.2. Principe de fonctionnement

Le fonctionnement de la machine nées fait pas sous pertes et celles-ci perte par effet joule, perte par hystérésis, pertes par frottement mécanique, échauffent les organes de l'alternateur qu'il faut. Donc refroidir pour obtenir en marche normale continue une température de régime qui ne dit pas compromettre l'isolement des enroulements. L'air chaud est refroidi par un échangeur gaz-eau ou réfrigérant celui-ci est constitué d'un élément placé à l'intérieur d'un compartiment prévu à cet effet, à la partie supérieure de la carcasse exciteur. Ce réfrigérant est constitué principalement par :

- un châssis formé d'un ensemble de profils métalliques.
- Faisceau tubulaire et plaques d'extrémité : la partie active de l'élément réfrigérant est constituée par un ensemble de tubes ailettes, disposés perpendiculairement aux flux de gaz.

III.3.3. Protection alternateur

- La mise à la masse de la carcasse
- Système de détection d'incendie
- Système de détection liquide
- L'isolation du palier côté excitation
- Résistances de réchauffage
- Protection électrique

III.4. STRATÉGIES DE SURVEILLANCE VIBRATOIRE [12]

L'état opérationnel d'une machine ayant des organes et des pièces mobiles, est influencé par des effets dynamiques internes, qui se caractérisent par des niveaux plus ou moins importants.

Parmi les effets dynamiques, il y a les **vibrations mécaniques** qui se manifestent entre les pièces mobiles de la machine et se propagent dans les structure qui sont reliées ou avoisines cette machine.

En termes de stratégies de surveillance vibratoire des machines, on distingue 04 stratégies:

1. Mesure en **niveau global**
2. Bandes de fréquence
3. Tendances (courbe de tendance)
4. Analyse spectrale

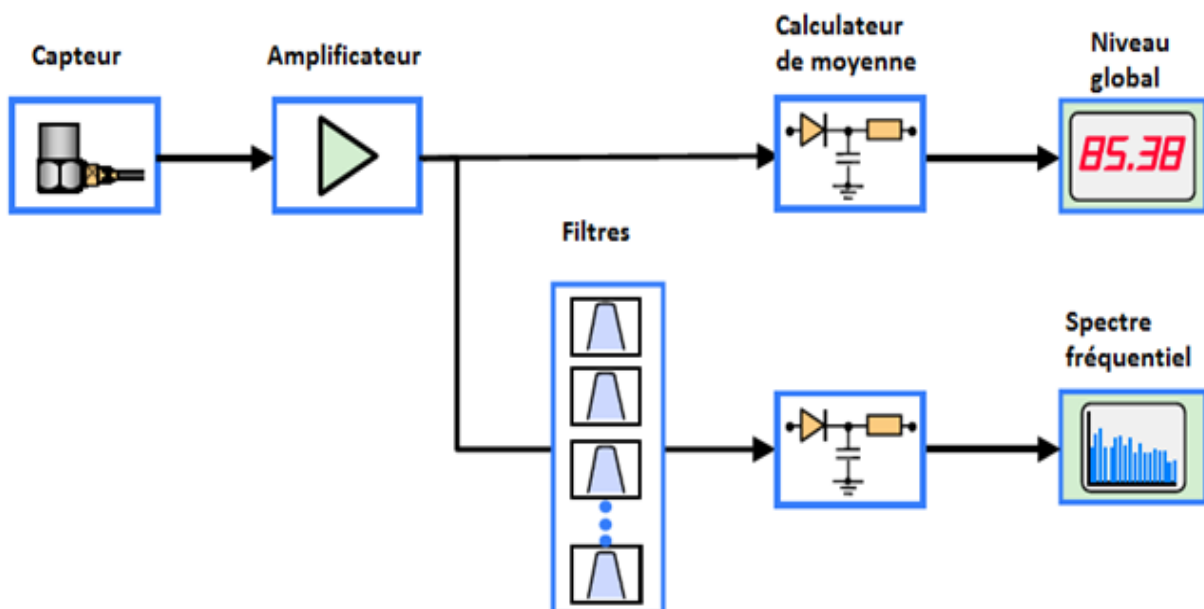


Figure III.4: Voies de surveillance vibratoire des machines

III.4.1. Choix d'une stratégie

- La règle générale

Pour décider sur la stratégie de surveillance, et dire est-ce qu'une mesure vibratoire en niveau global est suffisante ou bien une analyse spectrale est requise, l'ingénieur doit connaître la machine, c'est-à-dire, les défauts qui surviennent le plus souvent, ainsi que les pièces qui font l'objet d'intérêt. Ainsi, l'ingénieur décide:

- pour les **équipements simple et non critique** → Mesure en **niveau globale**
- pour les **machines complexes** et les **équipements critiques** → **Analyse spectrale**

III.4.2. Mesure vibratoire en niveau global

➤ **Techniques**

C'est la voie la plus simple pour exprimer les conditions opérationnelles de n'importe quelle machine et cela en lui assignant simplement un nombre ayant une valeur. Cela est fait en utilisant la sortie détecteur de **VT60**, et donner une valeur qui exprime le niveau énergétique de vibration.

Cette stratégie de surveillance consiste à :

- mesurer, à l'aide de capteurs, le niveau global d'un ou de plusieurs indicateurs (déplacement, vitesse ou accélération);
- suivre son évolution dans le temps et à le comparer à des normes ou des mesures précédentes.

L'évolution des indicateurs (déplacement, vitesse ou accélération) étant due à une dégradation de la machine, la mesure vibratoire en niveau global permet de mettre en évidence l'existence d'une anomalie à un stade précoce et de se faire une première idée des types de défauts qui affectent la machine. Cependant, cette stratégie ne permet pas et n'offre pas beaucoup de possibilité pour effectuer ou d'établir un diagnostic précis.

En mesure vibratoire au niveau global, et pour un Indicateur donné, il faut choisir l'une des mesures suivante pour traiter le signal temporel.

Tableau III.2 : Techniques de mesure du niveau global

ANGLAIS	FRANÇAIS	
Peak	Crête	$V_{Moy} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x dt}$
Peak-Peak	Crête à crête	
Average	Moyenne	
Root Mean Square (RMS)	Valeur efficace	$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt}$
Crest Factor	Facteur de crête	
Periodicity / Répétition Rate	Périodicité/Taux de répétition	
Duration	Durée	

➤ Limite de la mesure en niveau global

En maintenance préventive et afin de signaler tout problème imminent d'une machine, on utilise les mesures des niveaux globaux des vibrations mécaniques, car elles mettent en évidence l'existence d'une anomalie à un stade précoce. Cependant elles ne permettent pas d'accéder au diagnostic, c'est à dire, d'identifier avec précision la nature de l'anomalie et d'en préciser la gravité.

Pour une détection fiable et précoce d'un grand nombre de défauts, des informations plus précises sous forme de signatures fréquentielles sont souvent requises.

➤ Choix des techniques

En fonction de la plage de fréquence et du type d'indicateur, on choisit le niveau de mesure globale.

En maintenance conditionnelle, on a le choix entre trois niveaux:

Tableau III.3 : choix des techniques

Plage de fréquence	Indicateur	Niveau	Valeur
0 → 1000 rpm	déplacements [μm]	crête	1 x l'amplitude du signal
1000 → 3000 rpm	vitesse [mm/s]	crête à crête	2 x l'amplitude du signal
> 3000 rpm	accélérations [mm/s^2]	RMS	$\sqrt{2}/2$ x l'amplitude du signal

III.4.3. Stratégie de surveillance périodique

Compte tenu du matériel de relevé dont on dispose, il est intéressant d'exploiter ses capacités d'enregistrement. En effet, il est possible de fiabiliser cette surveillance en détectant les défauts d'alternateur de façon beaucoup plus précoce grâce à des indicateurs sensibles non seulement à l'augmentation de la puissance du signal, mais également aux évolutions de sa forme ou des amplitudes de différentes composantes. Ces indicateurs, sont configurés sur un ordinateur à partir d'un spectre initial. Au niveau de la centrale SPE (Tiaret), la supervision de cette dernière est assurée par le système **BENTLY-NEVADA™** qui assure la supervision en matière de vibrations des turboalternateurs. En ce qui concerne le système **BENTLY-NEVADA™**, ce dernier est paramétré sur deux seuils d'alarmes : un **seuil d'alerte de 12.7 mm/s** et un **seuil de danger de 25.4 mm/s** à partir des niveaux initiaux.

III.5. SURVEILLANCE D'ALTERNATEUR (GROUPE TG5)

III.5.1. Contrôle de vibration

- Contrôler régulièrement et noter les niveaux des vibrations.

- Des valeurs progressivement croissantes indiquent une usure des parties internes, un début de panne ou d'autres anomalies.
- Utiliser le tableau suivant, sauf indication contraire contenue dans l'ordre d'achat.

Tableau III.4 : Seuils d'alarme et d'arrêt des vibrations

TYPE DE SONDE	ALARME	ARRET
Sonde de proximité (μm crête à crête)	165	195
Sonde de vitesse de vibration (mm/sPK)	12.7	25.4

III.5.2. Contrôle de température

Durant le fonctionnement, contrôler périodiquement les niveaux d'huile, les températures des paliers et les niveaux de vibration.

Les températures des paliers varient en fonction du type et de leur dimension. Des températures qui augmentent constamment ou de brusques augmentations indiquent une usure anormale et une panne imminente.

III.5.3. Matériel de surveillance

1°. Capteur de vibrations

L'accéléromètre **AS-065** est utilisé pour la mesure de l'accélération vibratoire. Il est raccordé au collecteur analyseur **VIBROTEST 60**.

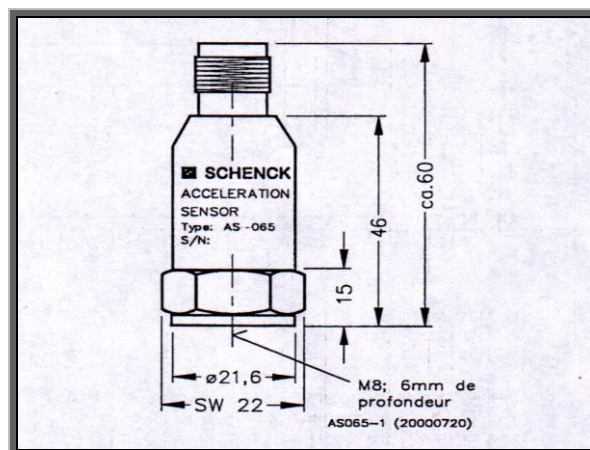


Figure III.5 : Accéléromètre

On utilise le collecteur **SCHENK VIBROTEST 60** (Figure. III.5) permet de mesurer la valeur globale, les spectres en fréquences et les spectres enveloppes (**BCS**). Les données collectées sont stockées dans une carte **PCMCIA**.



Figure III.6 : Collecteur SCHENK VIBROTEST 60

III.5.4 Mode opératoire

III.5.4.1 Mise en œuvre de la surveillance

Le démarrage technique du programme de surveillance par analyse vibratoire, comporte plusieurs phases distinctes à savoir :

1. Choix des points de mesures, que l'on a cité plus haut,
2. Paramétrage des outils et établissement des signatures initiales,
3. Constitution du dossier de « **surveillance vibratoire** »

III.6. ANALYSE ET DIAGNOSTIC DE L'ALTERNATEUR

III.6.1. Analyse spectrale

Représentation graphique et analyse de spectres unitaires ou multiples. il peut réaliser :

- Analyse des spectres ;
- Analyse des spectres enveloppent ;
- Fonction d'aide au diagnostic ;
- Curseurs de bandes latérales, d'ordre et de différence ;
- Spectre d'alarme et référence,
- Listes de pics.

III.6.2. Module pré spectre

C'est un module sous forme d'une banque de données des roulements et qui permet d'effectuer chaque type de roulement à son palier correspondant sur la machine. Si les différentes fonctionnalités du logiciel **VIBROEXPERT CM 400** doivent être étendues d'un module d'exportation de données dans le module analyse. Celui-ci permet de transférer des données sous format **ASCII** vers des applications telles que **LOTUS** ou **EXCEL**.

III.7. DETECTION D'UN NIVEAU GLOBALE

III.7.1. Détection avant l'installation du rotor

Le groupe TG5 était en bon état vibratoire avant l'installation du nouveau rotor d'alternateur

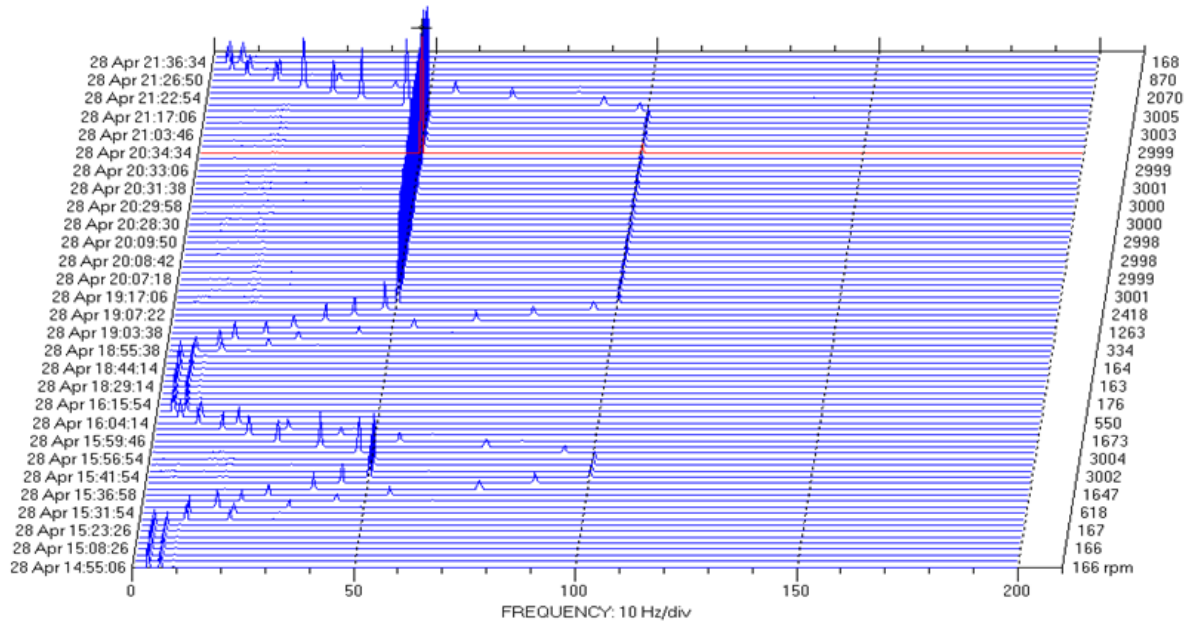


Figure III.7:Palier avant Alternateur (39VS-42)

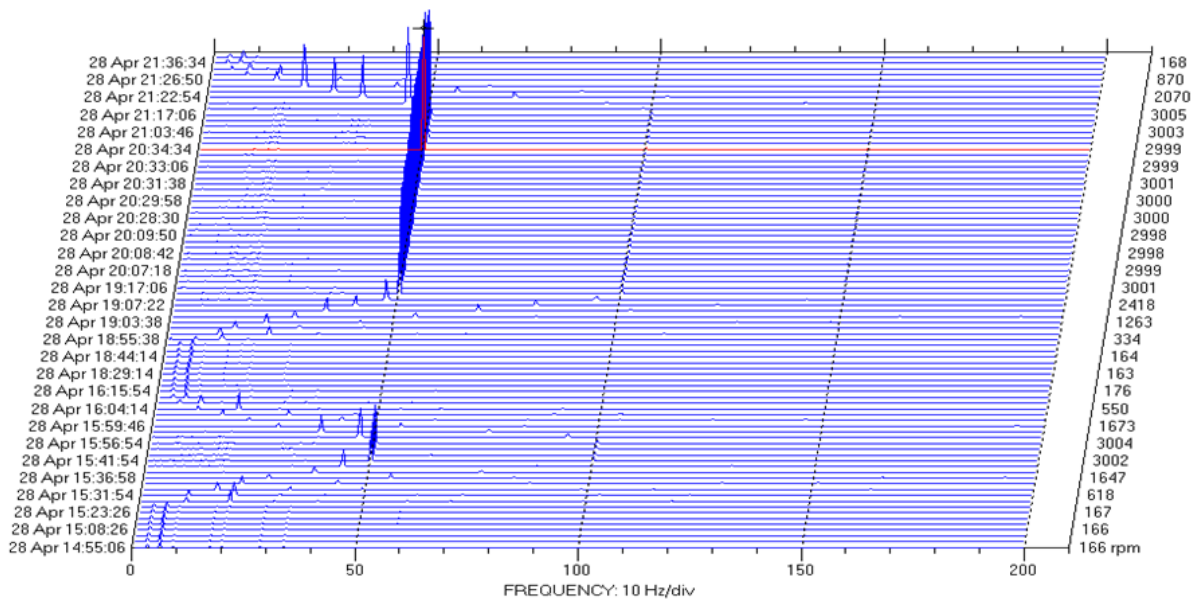


Figure III.8 : Palier après Alternateur (39VS-52)

- Sismique

Palier avant Alternateur (39VS-4)	Palier après Alternateur (39VS-5)
4.4mm/s PK	3.7 mm/s PK

- Relatif d'arbre

Palier avant Alternateur (39VS-42)	Palier après Alternateur (39VS-52)
115 micro-m PK-PK	42 micro-m PK-PK

III.7.2. Détection après l'installation du rotor

Le 1^{er} démarrage du 28/04/2016

Etat initial :Après avoir mis l'Arbre sur les deux paliers 4 et 5 nous avons obtenus les résultats suivants :

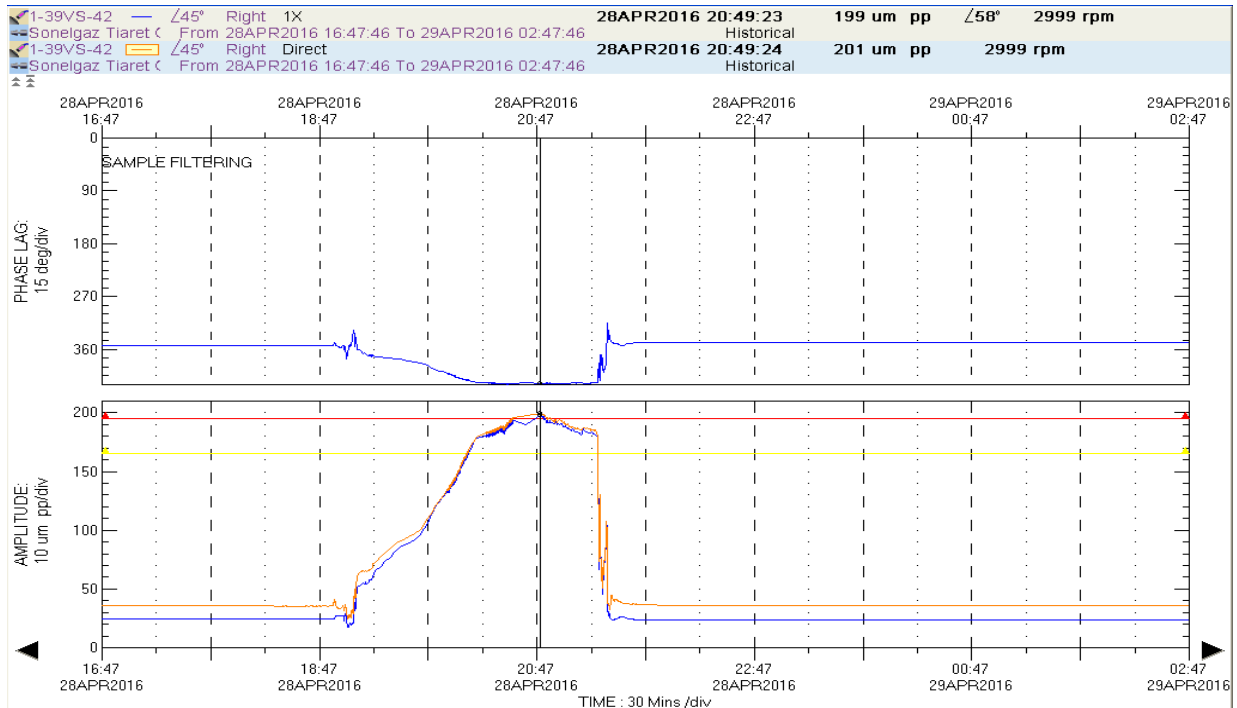


Figure III.9 : Palier avant Alternateur (39VS-42)

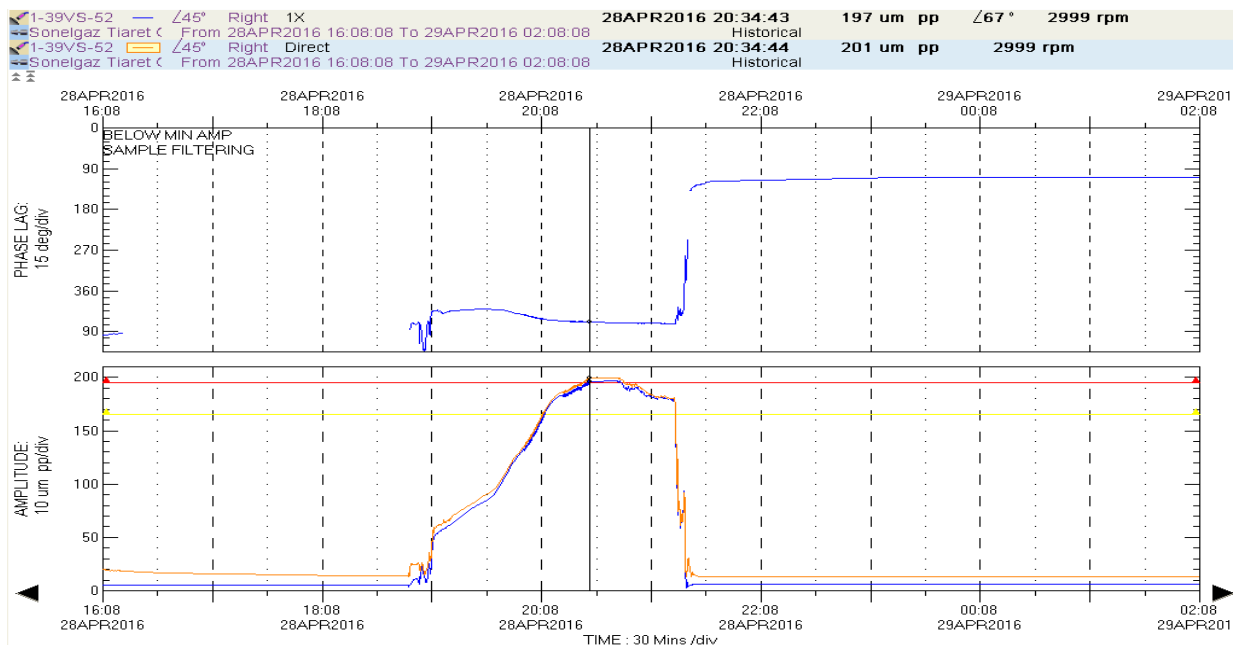


Figure III.10 : Palier après Alternateur (39VS-52)

- Sismique

Palier avant Alternateur (39VS-4)	Palier après Alternateur (39VS-5)
6.4mm/s PK	5.2 mm/s PK

• Relatif d'arbre

Palier avant Alternateur (39VS-42)	Palier après Alternateur (39VS-52)
201 micro-m PK-PK	201 micro-m PK-PK

III.7.3. Protocole d'équilibrage (solution)

III.7.3.1. Résultats d'analyses vibratoires (TG5)

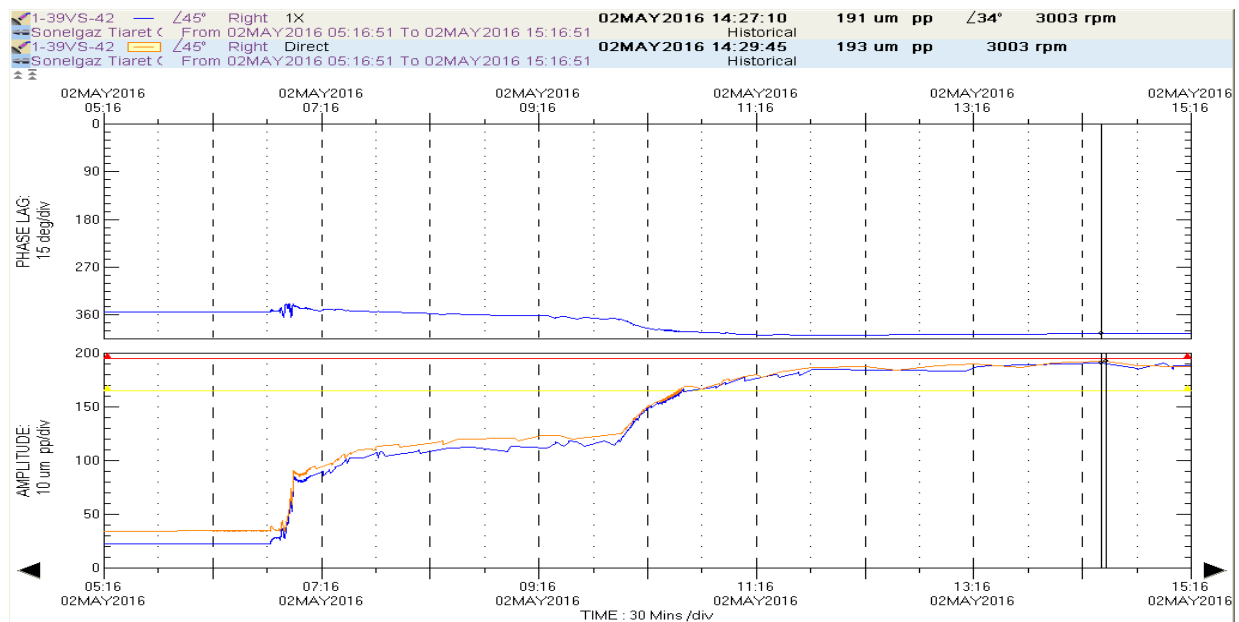


Figure III.11 : Palier avant Alternateur (39VS-42)

Installation d'une masse de test de 300g sur le plan de tunnel de puissance

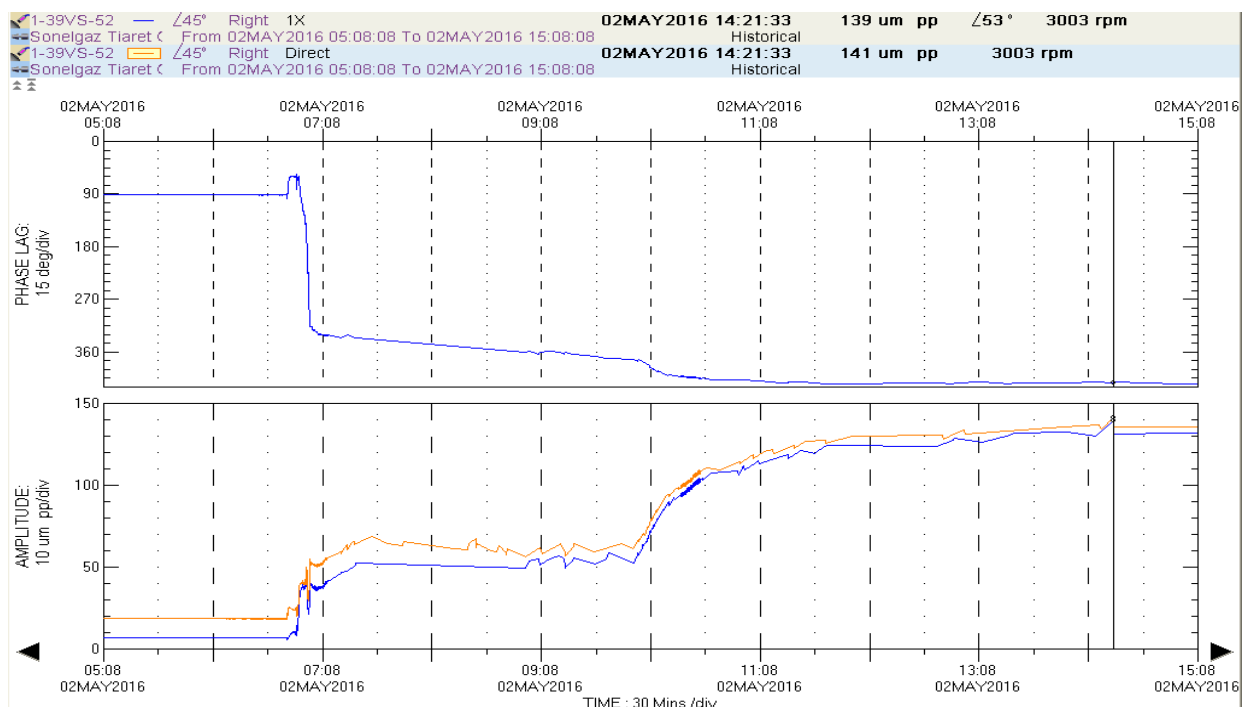


Figure III.12 : Palier après Alternateur (39VS-52)

Palier avant Alternateur (39VS-42)	Palier après Alternateur (39VS-52)
193 micro-m PK-PK	141 micro-m PK-PK

N.B : La masse de correction calculée est de 340g à -34 degrés de la position de la masse de test

III.7.3.2. Mesure après correction

Quand on a fait l'équilibrage du rotor on à obtenu ses résultats :

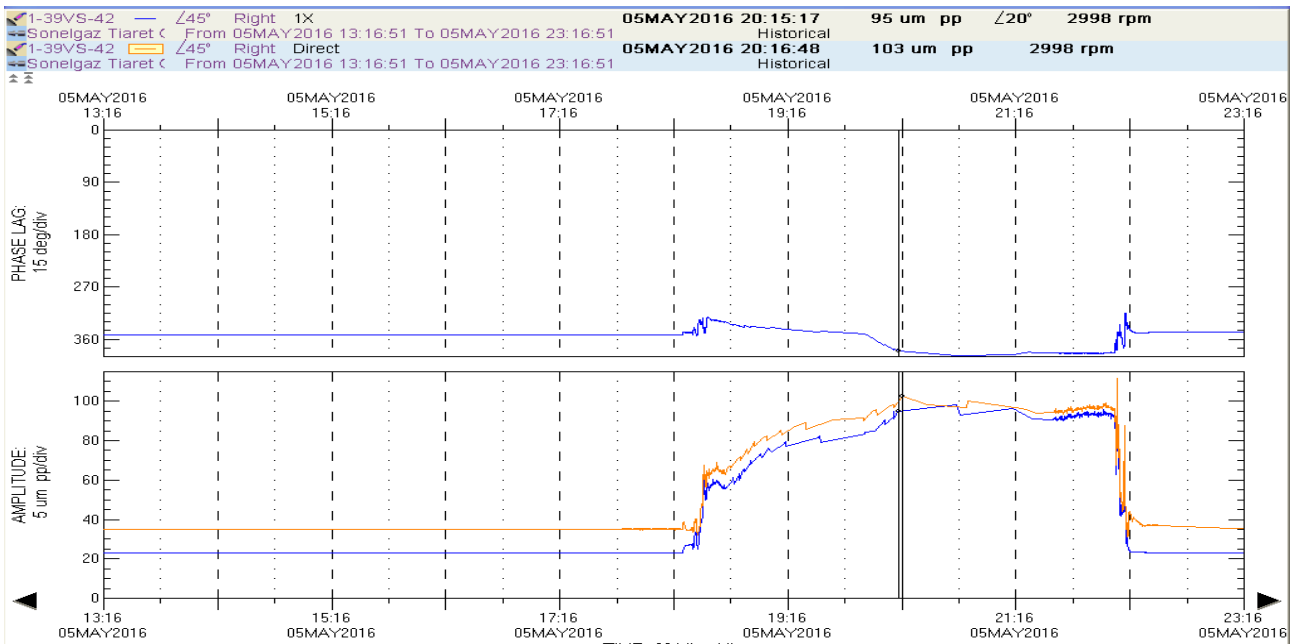


Figure III.13 : Palier avant Alternateur (39VS-42)

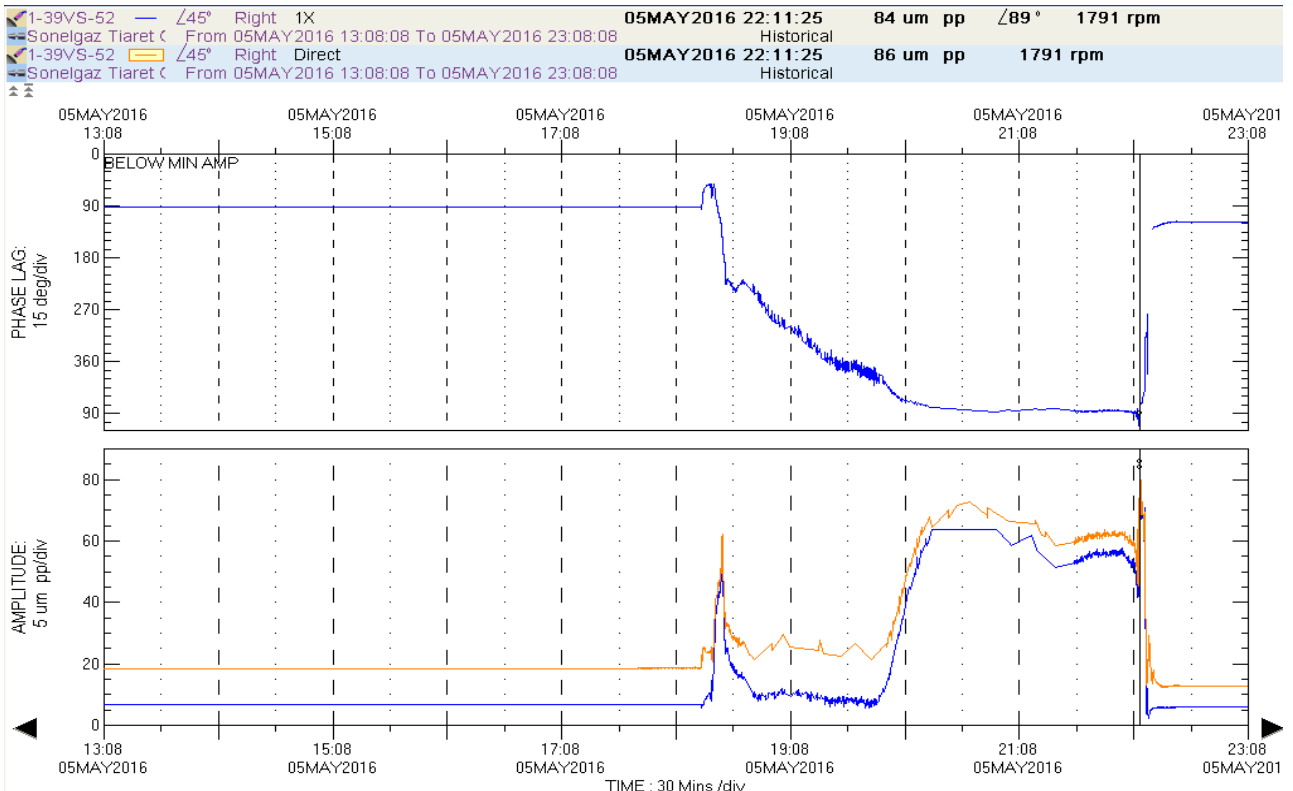


Figure III.14 : Palier après Alternateur (39VS-52)

III.8. CONCLUSIONS

L'analyse fréquentielle montre que c'est un **balourd** ou un phénomène qui se manifeste à la vitesse de rotation par conséquent un équilibrage peut réduire l'intensité vibratoire sur les deux paliers 4 et 5.

Après l'équilibrage la TG5 a retrouvé son bon état vibratoire avec :

- **Seismic**

Palier avant Alternateur (39VS-4)	Palier après Alternateur (39VS-5)
6.5 mm/s PK	5.8 mm/s PK

- **Relatif d'arbre**

Palier avant Alternateur (39VS-42)	Palier après Alternateur (39VS-52)
103 micro-m PK-PK	66 micro-m PK-PK