

CHAPITRE 5- Les chaînes de mesures

5.1. Le système d'acquisition

Le laboratoire dispose d'un groupe électronique et d'un groupe informatique qui ont développé des racks adaptés pour l'acquisition des données nécessaires sur les spectromètres du laboratoire.

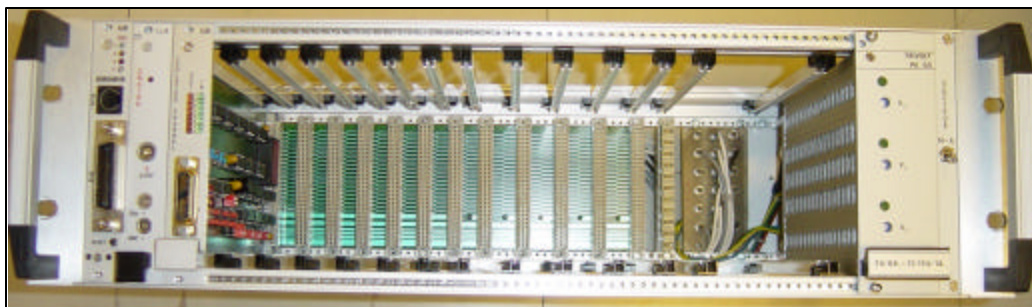


Figure 37 - Le rack du groupe électronique du L.L.B.

Le système complet se présente sous la forme d'un châssis mixte, simple ou double Europe qui intègre les alimentations de puissance, les modules CPU et les cartes esclaves (conversion analogique-numérique et inverse, contrôle de mouvement...). Le rôle du logiciel embarqué sur la carte CPU est d'assurer la gestion du système, d'organiser les données d'acquisition et de communiquer avec le programme de pilotage. L'interconnexion entre les différents modules et un ordinateur servant à séquencer les mesures, est assurée par le bus IEEE 488 (GPIB) et/ou la ligne RS232.

Sur la Figure 38 on peut voir la carte EUROMOVE qui assure la gestion du système ; on distingue la prise permettant le dialogue IEEE. En seconde position se trouve une carte «CNA » de conversion numérique analogique, qui pourra par exemple nous servir pour la commande en 0-10 volts du régulateur de vitesse du moteur du sélecteur. La troisième carte permet de gérer des entrées sorties numériques (pour commander ou lire les états des relais par exemple).



Figure 38 - Les cartes insérées dans le rack

5.2. Mesures de vibrations

Comme nous l'avons vu dans un chapitre précédent (Présentation de la surveillance vibratoire), la surveillance repose sur la mesure et l'analyse permanente ou périodique de données de la machine en fonctionnement. La collecte et le traitement de ces informations nécessitent de disposer des outils adaptés à cet effet.

La surveillance périodique des machines tournantes a pris un essor considérable avec l'arrivée (1984 pour la France[2]) d'une nouvelle génération d'appareils qui sont des capteurs intelligents: les collecteurs de données informatisés (figure ci contre). L'adjonction à un instrument de mesures d'un convertisseur analogique numérique, d'une mémoire de stockage et d'une interface permettant la communication avec un micro-ordinateur a révolutionné la surveillance des machines.



Figure 39 - Collecteur de données Brüel & Kjær

C'est l'outil, tout au moins dans ses principes, dédié à la surveillance périodique des machines tournantes.

5.2.1 Capteur : accéléromètre Piézo-électrique

Le capteur piézo-électrique et le conditionneur de signal sont les deux maillons de base de toute chaîne de mesure dans un système de surveillance ou de diagnostic par analyse vibratoire. Sa dynamique de mesure et sa bande passante très étendue font de **l'accéléromètre piézo-électrique** le capteur le mieux adapté pour l'analyse de vibrations absolues de paliers (voir le détail de ces caractéristiques en annexe).

5.2.2 Choix des points de mesures

L'implantation de l'accéléromètre sur les machines est très importante. Chaque campagne de mesures doit être effectuée en des points précis qui doivent rester toujours les mêmes. En effet, un phénomène mécanique peut donner des images vibratoires sensiblement différentes en fonction du point de mesure. Certains défauts induisent des forces d'excitation *directionnelles* (radiales ou axiales) qui ne seront révélées que si le capteur est correctement positionné.

On essaiera toujours de rapprocher les points de mesure des paliers. Cela permet d'obtenir les images les plus fidèles des défauts mécaniques (bande passante de la chaîne d'acquisition maximale, amortissement minimisé). Pour avoir une image complète des vibrations (en trois dimensions), il faut prendre les mesures selon trois directions perpendiculaires sur chaque palier de la machine surveillée : deux directions radiales (horizontale et verticale) et une direction axiale.

5.2.3 Mode de fixation des capteurs

Plusieurs modes de fixation existent : par goujon vissé ou embase collée, par embase magnétique ou par simple pression avec une pointe de touche. Le mode de fixation d'un capteur a une incidence considérable sur la bande passante de ce dernier et surtout sur la reproductibilité de la mesure qui est le fondement même de la surveillance. Il est nécessaire de réaliser une fixation parfaite de l'accéléromètre sur la structure. Des expériences montrent en effet que les anomalies éventuelles proviennent dans 90% des cas d'un accouplement manquant de raideur [3][7]. Les erreurs introduites affectent surtout la réponse en fréquence de l'accéléromètre et faussent la mesure. L'accélération de l'embase, seule mesurée par le capteur, n'est plus identique à celle de la structure elle-même, véritable objet de la mesure.

Le graphique de la Figure 40 qui résume les caractéristiques données en annexe IV et permet de guider le choix du mode de fixation le mieux adapté.

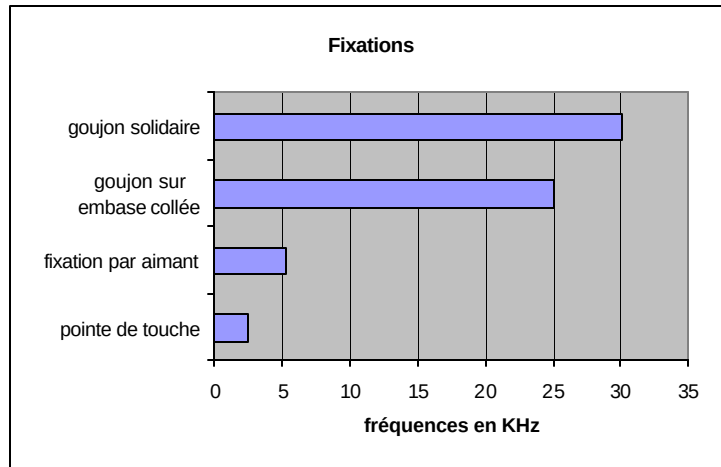


Figure 40- Modes de fixation utilisables selon les plages de fréquences [3] .

Seuls les modes de fixation par goujon solidaire ou par embases collées offrent une réelle garantie sur la répétitivité des prises de mesures et une bande passante maximale (voir annexe III). Dans notre cas nous ne pouvons pas usiner les paliers du sélecteur mécanique pour y insérer un goujon, c'est donc le mode de fixation par embases collées que nous utiliserons. Pour cela nous avons fait réaliser des embases en laiton munies de filetages que nous collerons sur les paliers du sélecteur.



Figure 41 - Embases en laiton à coller sur les paliers

Afin de faciliter la mise en œuvre, on a employé de la colle à prise rapide qui offre de bonnes caractéristiques mécaniques (dureté maximale) et n'altère pas trop la bande passante de la chaîne d'acquisition. Lors des relevés successifs, on vient placer l'accéléromètre sur ces pastilles. L'emplacement des mesures est donc toujours le même, d'où une reproductibilité garantie.

Les chapitres précédents ont mis en évidence les deux types de stratégies de surveillance. La Figure 42 nous permet de mieux comprendre comment vont s'organiser les mesures de vibrations. Un coffret permet la surveillance permanente grâce à la mesure du niveau vibratoire global sur chaque palier. Pour ce qui concerne les relevés périodiques nous utilisons un collecteur de données mobile muni d'un accéléromètre que l'on vient visser sur des pastilles en laiton collées sur les paliers de manière à effectuer les mesures radiales et axiales.

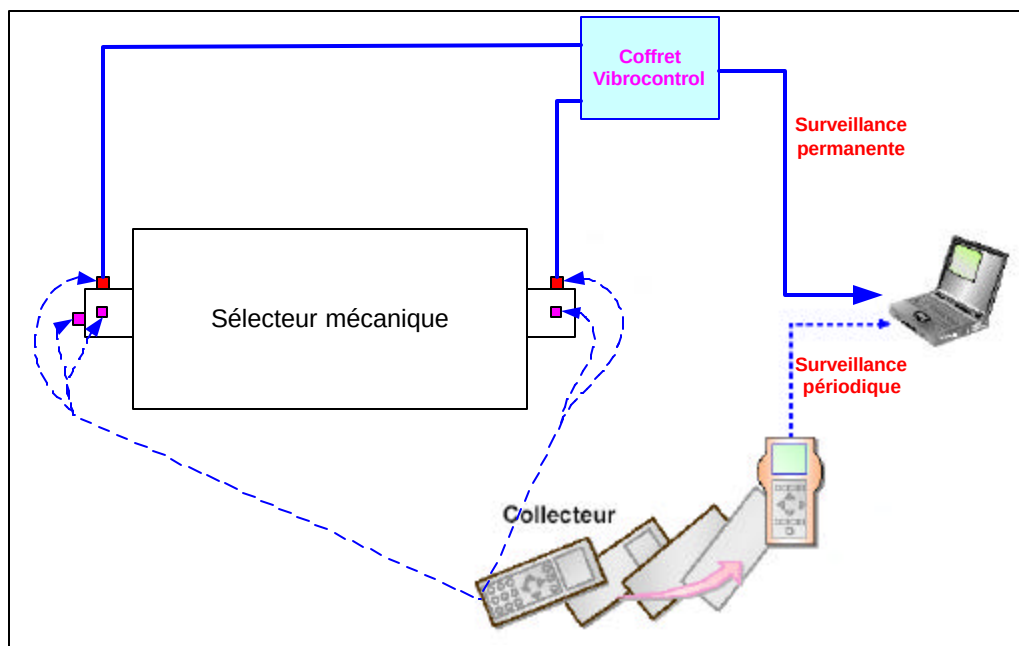


Figure 42 - Vue d'ensemble de l'instrumentation nécessaire à la surveillance vibratoire du sélecteur mécanique.

5.3. Etude du coût

Les tableaux 9 et 10 dressent un bilan économique pour les coûts de la surveillance périodique et de la surveillance permanente. Le matériel choisi pour ce projet correspond à la zone surlignée en jaune.

Tableau 9 - Coût d'un équipement pour une surveillance périodique

Les contrôleurs de roulements	< 1,5 k€
Les mesureurs de vibrations et contrôleurs de roulements	2,3 à 3,8 k€
Les collecteurs simples	3,8 à 5,34 k€
(non compris le coût d'un logiciel optionnel d'exploitation)	(1,52 à 2,29 k€)
Les collecteurs analyseurs	9,15 à 15,24 k€
(intégrant le logiciel de traitement - pratiquement indispensable)	(7,62 à 10,67 k€)

Suivi permanent : Les investissements à prévoir pour une installation de surveillance continue des machines varient en fonction du nombre de points de mesures pris en compte et des performances attendues des moyens mis en œuvre.

Tableau 10 - Coût d'un équipement pour une surveillance permanente

Surveillance acoustique des roulements par point ou voie de mesure	0,3 à 0,43 k€
Moniteurs mono ou multivoies, par voie	0,9 à 2,3 k€
Systèmes de surveillance, par voie	0,46 à 15 k€
A condition d'utiliser un minimum de 30 à 50 voies de mesure (investissement initial) :	
- pour les petits systèmes	12 à 15,2 k€
- pour les gros ensembles	9,3 à 14 k€
- pour les grandes unités industrielles	> 0,3 M€
avec un coût par voie de mesure toujours voisin de 1,5 k€	

Dans notre cas nous utiliserons un système de mesure bi-voies pour assurer la surveillance du niveau vibratoire en continu des deux paliers du sélecteur mécanique. Chaque sélecteur sera équipé d'un moniteur bi-voies.

5.4. Le matériel pour les autres sécurités

Le choix des capteurs pour les autres sécurités concerne les mesures des températures des paliers et celle du vide à l'intérieur du sélecteur mécanique.

5.4.1 Les températures

Pour mesurer les températures des paliers, ceux-ci sont équipés d'inserts en laiton dans lesquels un thermocouple vient s'insérer, comme l'illustre la Figure 43. Cette mesure de température vient donc compléter la surveillance vibratoire des paliers.

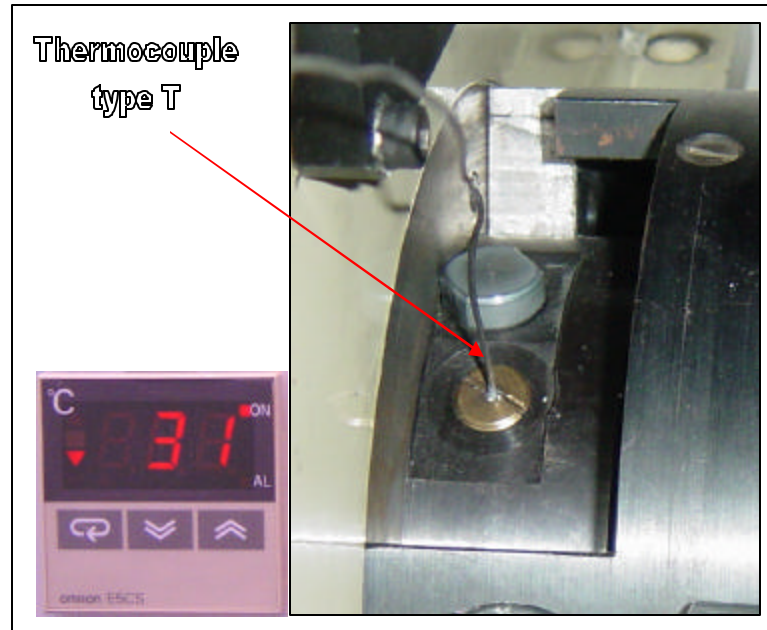


Figure 43 - Capteur et instrument de mesure de la température des paliers

Cette mesure de température nécessite d'atteindre seulement une incertitude de quelques degrés Celsius car c'est en fait son évolution qui est importante. L'étude des différents types de thermocouples nous a conduit à choisir le type T de thermocouple qui possède une plage bien supérieure à nos besoins, allant jusqu'à 370°C, avec une incertitude relative de $\pm 0,8\%$. En fonctionnement normal, les paliers présentent une température inférieure à 40°C. Nous fixerons donc le seuil d'alarme à 50°C, car une augmentation de plus de 10°C signifie la présence d'un défaut. De plus cette mesure de température pourra nous aider à interpréter une variation du niveau vibratoire par rapport à des relevés précédents car c'est une grandeur d'influence sur les mesures d'accéléérations.

Si la surveillance vibratoire venait à ne plus fonctionner le système serait tout de même mis en sécurité lors d'une usure prononcée d'un roulement car il y aurait une forte augmentation

de la température des paliers. Le système de mesure de température est équipé d'un contact (tout ou rien) permettant l'ouverture du circuit en cas de dépassement du seuil d'alerte préréglé.

5.4.2 La mesure du vide

Il est impératif de s'assurer que le vide est toujours présent dans l'enceinte du sélecteur pour deux raisons : les neutrons seraient absorbés s'il n'y avait pas le vide et cela entraînerait une augmentation de charge (frottements) considérable pour le moteur et probablement une détérioration de celui-ci. Des essais ont montré qu'il est impossible de dépasser 2000 tr/min lorsque le sélecteur n'est pas sous vide car le moteur ne possède alors pas suffisamment de couple.



Figure 44 - Mesure du vide à l'aide d'une jauge PIRANI

La mesure du vide doit être faite avec une incertitude de quelques mbar. L'instrument de mesure présenté sur la Figure 44 utilise une jauge de Pirani. Cette jauge permet la mesure de pression d'un gaz et son fonctionnement repose sur la variation de la conductibilité thermique du gaz avec la pression. La jauge de Pirani est constituée d'un filament de petit diamètre, de l'ordre de 10 μm , inséré dans une enveloppe cylindrique. Le conditionneur associé au capteur est un pont de Wheatstone dont le filament de la jauge constitue l'une des branches. Le domaine d'utilisation va de la pression ambiante à 10^{-2} Pa avec une incertitude relative de l'ordre de 10% ce qui convient. Des essais de fonctionnement ont montré que la consommation de courant du moteur était minimum pour une pression inférieure à 2 mbar. On fixe donc une limite inférieure au dessus de laquelle le système doit être arrêté (1,5 mbar).

5.4.3 La régulation de vitesse

La régulation possède son propre système d'alarme. Il permet de signaler tout dysfonctionnement tel qu'une perte de données dans le programme ou les mémoires, des dommages électriques, surcharge de courant, défauts d'un étage de puissance, défaut de température. Quand une erreur apparaît, tous ces défauts sont mémorisés dans le variateur et peuvent être inhibés par programme ou par un contact sec relié à une entrée spécifique. Le variateur possède deux contacts que l'on utilisera pour signaler que le variateur est prêt et qu'il n'y a pas de défauts présents.

5.4.4 Conclusion sur les sécurités

Comme nous l'avons détaillé précédemment chaque appareil de mesure permet de signaler un dépassement de seuil, quel que soit le mesurande : température, vibration, vide... Tous les contacts de sécurités seront ramenés sur un ensemble de relais qui permettront l'identification du défaut grâce à un voyant ou par lecture des entrées sur une carte d'entrées sorties numériques. Il sera possible de désactiver une sécurité provisoirement grâce à un ensemble d'interrupteurs situés en face arrière de la baie. Le schéma de raccordement de tous les instruments, de la régulation, du Vibrocontrol et des contacts de sécurités permet d'avoir une vue d'ensemble du système de sécurité.

CHAPITRE 6- Mise en œuvre de la surveillance

Le démarrage technique du programme de surveillance par analyse de vibrations comporte plusieurs phases distinctes :

- Choix des points de mesures, que l'on a détaillé au chapitre précédent,
- paramétrage des outils et établissement des signatures initiales,
- constitution du dossier de «surveillance vibratoire »

6.1. Stratégie de surveillance permanente (sécurité)

Nous utilisons pour la surveillance vibratoire un coffret de sécurité nommé « VibroControl 1100 » de la société Bruel & Kjaer (Figure 45). Ce coffret permet la mesure et la surveillance bi-voie de vibration absolue de palier.



Figure 45 –photo du module "Vibrocontrol" (Bruel & Kjaer)

Connecté à des accéléromètres que nous avons collés sur les paliers, et comme le montre la Figure 46, ce coffret réalise un traitement numérique par microprocesseur permettant d'indiquer la valeur efficace ou crête et d'effectuer des intégrations et de l'auto surveillance. Il effectue les calculs nécessaires pour élaborer les indicateurs globaux que nous avons définis au chapitre présentation de la surveillance.

Il est possible de paramétrer (par clavier ou par logiciel) la gamme de mesure, les seuils, les temporisations, les 3 sorties relais avec des fonctions logiques et on dispose en sortie analogique ou série (RS232) des résultats de mesures.

6.1.1 Emplacement des capteurs

Le module de surveillance permanente ne dispose que de deux entrées de mesures pour surveiller l'amplitude des vibrations transmises dans les paliers. Or, nous l'avons expliqué au 5.2.2, il est nécessaire d'effectuer les mesures selon 3 directions. En fait pour une stratégie de sécurité, ces deux mesures suffisent car il n'est pas nécessaire ici de détecter les défauts de façon trop précoce.

Nous avons donc placé les accéléromètres environ 30° au dessus de l'horizontale pour des raisons de commodité. Ces accéléromètres resteront fixés en permanence sur les paliers et des embases sont collées à d'autres endroits pour les relevés périodiques.

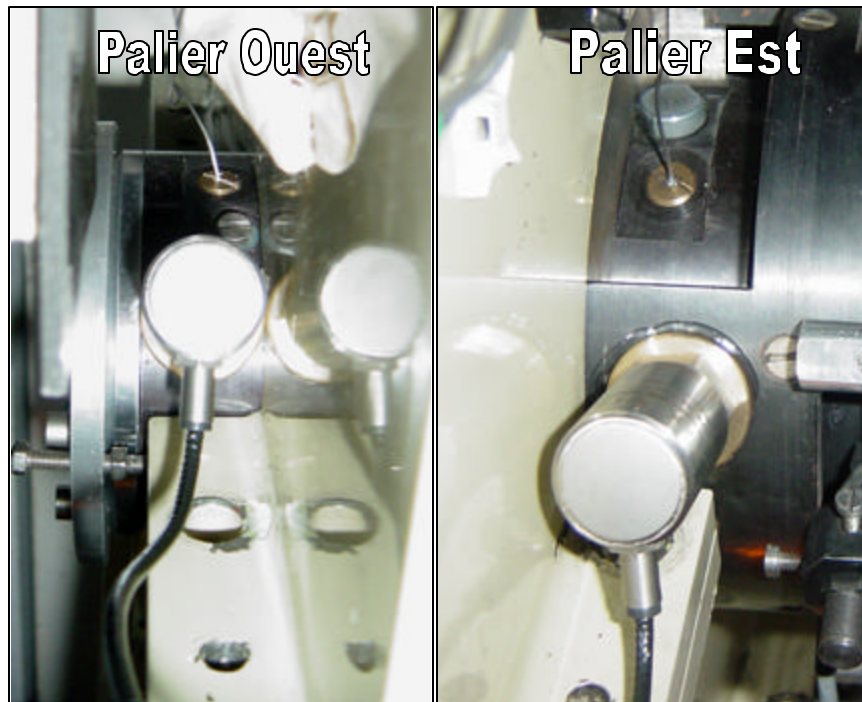


Figure 46 - Position des accéléromètres dédiés à la surveillance permanente sur les paliers du sélecteur

6.1.2 Configuration de la surveillance

Lorsque la grandeur mesurée dépasse les seuils, l'incident est signalé et l'événement est reporté dans le journal de bord de l'appareil. On utilisera donc un premier relais pour signaler le dépassement du premier seuil d'alarme ; cette signalisation sera matérialisée par un

voyant en face avant de la baie. En revanche lorsqu'il y aura dépassement du second seuil, le relais associé à cette alarme devra ouvrir le circuit de sécurité ; la régulation de vitesse devra être coupée pour sécuriser l'installation.

6.2. Stratégie de surveillance périodique (détection précoce)

6.2.1 Introduction

Comme nous l'avons vu au 4.5.2, la première valeur capable de révéler l'apparition d'un défaut est la mesure de l'accélération efficace sur une large bande de fréquence. C'est un indicateur révélateur des phénomènes dits « hautes fréquences », mais il ne permet la détection de dégradations qu'à un niveau avancé. On utilisera donc plutôt une surveillance à l'aide des indicateurs spécifiques aux roulements : le facteur de crête et le facteur de Kurtosis. La finalité de ce type d'indicateurs appelés « détecteurs de défauts de roulements » est de détecter les défauts induisant des forces impulsionnelles ou chocs (dégradation de roulement mais aussi écaillage de denture, jeux de palier, d'accouplement, de clavette, frottement rotor/stator...). La présence de forces impulsionnelles a pour effet d'exciter un grand nombre de résonances dans une plage de fréquences que l'on doit adapter à la nature et la durée du choc. Le signal vibratoire qui en résulte est la somme des réponses des résonances excitées et se compose donc de plusieurs familles de trains d'oscillations périodiques dont les amplitudes décroissent de manière exponentielle. Or la réponse d'une résonance qui concentre la plus grande partie de l'énergie du signal masque totalement la réponse des résonances de fréquences beaucoup plus élevées, comme le montre la Figure 47.

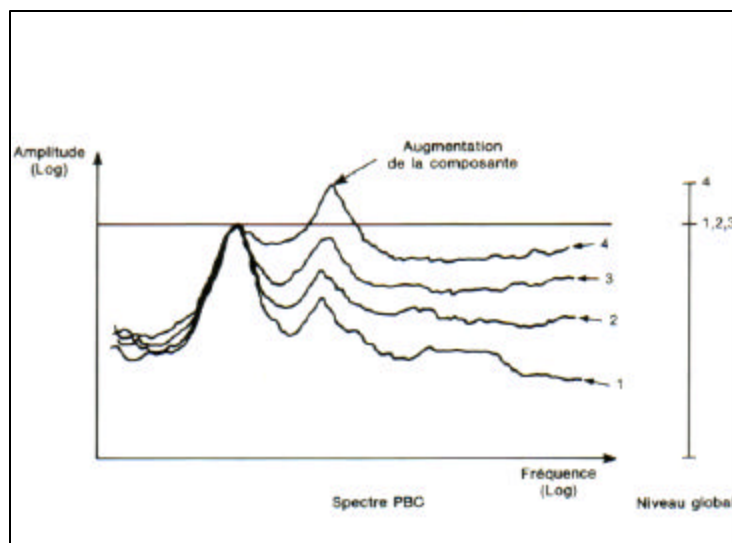


Figure 47 – Mise en évidence de l'effet de masque dû à la grande énergie des résonances basses fréquences

Les courbes 1 à 3 montrent bien une évolution des résonances des fréquences élevées mais le niveau global n'évolue pas car la résonance basse fréquence qui possède la plus grande énergie les masque. C'est uniquement lorsque les niveaux s'élèvent considérablement (courbe 4) que le niveau global évolue. On peut reprendre cet exemple algébriquement. Si A représente la valeur efficace du signal vibratoire du sélecteur mécanique en l'absence de défaut et D la valeur efficace du signal induit par un défaut de roulement par exemple, la puissance du signal après apparition de ce défaut devient égale à :

$$A_d^2 = A^2 + D^2 \quad (50)$$

et sa valeur efficace devient :

$$A_d = (A^2 + D^2)^{1/2} = A \left(1 + \frac{D^2}{A^2} \right)^{1/2} \quad (51)$$

Cette dernière relation montre clairement que la valeur efficace de l'amplitude du signal augmentera de manière significative si : $D^2 / A^2 > 1$, c'est à dire si la puissance du signal vibratoire induit par le défaut est significative devant la puissance du signal induit par le fonctionnement du sélecteur.

Cet effet de masque peut être éliminé en divisant la bande passante en plusieurs bandes et en mesurant dans chacune de ces bandes le facteur de crête ou le Kurtosis du signal et son amplitude efficace. Ainsi le facteur de crête et le Kurtosis « bande étroite » sont plus sensibles que les indicateurs « large bande ». L'exemple suivant montre cette propriété.

Les diagrammes de la Figure 48 représentent l'évolution relative des indicateurs «valeur efficace» et «Kurtosis» de l'accélération en présence d'un écaillage dans la bande B=[0-20 kHz] et dans quatre bandes suivantes :

B_1 =[0-5 kHz]

B_2 =[5-10 kHz]

B_3 =[10-15 kHz]

B_4 =[15-20 kHz]

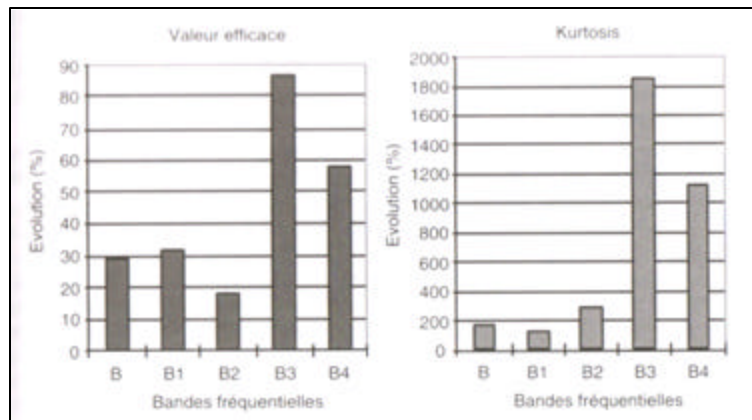


Figure 48 - Evolutions relatives de la valeur efficace et du Kurtosis

L'apparition d'écaillages (fréquence de rotation : 12,3 Hz) se traduit par une augmentation relative de la valeur efficace de l'accélération dans la bande B de 29% alors que celle du Kurtosis est de 165%. Le Kurtosis est un indicateur beaucoup plus sensible que la valeur efficace pour détecter l'apparition de défauts induisant des forces impulsionnelles périodiques. Ces diagrammes montrent que ces augmentations relatives sont respectivement égales à 87% et 1836% dans la bande B3. L'analyse « bande étroite » est beaucoup plus sensible que l'analyse « large bande ».

6.2.2 Paramétrage de l'indicateur scalaire : « kurtosis »

On relèvera donc la valeur du facteur de Kurtosis dans les bandes suivantes :

$B_1=[0-5 \text{ kHz}]$, $B_2=[5-10 \text{ kHz}]$, $B_3=[10-15 \text{ kHz}]$, $B_4=[15-20 \text{ kHz}]$, et sur chaque palier du sélecteur mécanique soit 16 valeurs pour les deux directions radiales et 4 valeurs pour la direction axiale.

L'évolution dans le temps d'un indicateur scalaire se représente par un diagramme appelé « histogramme d'évolution » ou « courbe de tendance ». Le logiciel « Sentinel » nous permet de voir l'évolution de l'indicateur sur une courbe de tendance et stocke ce graphe en mémoire jusqu'au prochain relevé.

6.2.3 Paramétrage d'un indicateur spectral (spectre PBC)

Compte tenu du matériel de relevé dont on dispose (collecteur 2526), il est intéressant d'exploiter ses capacités d'enregistrement. En effet, il est possible de fiabiliser cette surveillance en détectant les défauts de roulements 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, présentés au chapitre précédent, sont configurés sur un ordinateur à partir d'un spectre initial. On relève un spectre PBC de 6% par exemple, et le logiciel « Sentinel » nous permet de paramétrer deux seuils d'alarmes : un seuil d'alerte et un seuil de danger à partir des niveaux initiaux. Pour paramétrer les alarmes, nous fixons le premier seuil, avec un décalage par rapport au spectre de référence de 6 dB et le seuil d'alerte à 20 dB. Ces rapports correspondent respectivement à une augmentation d'amplitude 2 fois supérieure, et 10 fois supérieure à l'amplitude de référence. (voir annexe I).

Lorsque nous détecterons des défauts grâce à cette surveillance par suivi d'évolution de spectres, nous utiliserons les indicateurs spectraux complémentaires (voir paragraphe 4.6) de façon à accroître la fiabilité du diagnostic.

6.3. Diagnostic

Pour effectuer le diagnostic nous disposons du collecteur de données qui nous permet aussi une analyse directe. Le grand avantage de ce genre d'appareil est qu'il est entièrement paramétrable par logiciel sous Windows ; nous allons pouvoir définir les relevés à effectuer sur chaque machine, et donc créer ce que l'on appellera «route de surveillance » ou «itinéraire ». Une fois l'«itinéraire» effectué sur le site, le collecteur possédera tous les signaux temporels des différents points de mesures. Il faudra ensuite transférer ses données via une liaison série sur un ordinateur et l'on pourra effectuer à l'aide du logiciel «SENTINEL », une analyse des données sous différentes formes : mesures globales, spectres (FFT), pourcentage de bande constant (PBC), enveloppe (SE), en fait tous les outils nécessaires à une analyse vibratoire comme nous l'avons détaillée au paragraphe 4.6.

6.4. Mise en œuvre

Nous venons d'énumérer les types de mesures que nous effectuerons pour les différentes stratégies de surveillance. Le logiciel de contrôle de tous ces indicateurs nous permet d'établir un « itinéraire de surveillance ». Nous allons en fait indiquer l'ordre chronologique des mesures à effectuer, ainsi que le type de mesures pour chaque point de mesure ; par exemple sur point de mesure nommé «Est Vertical», on devra effectuer 4 mesures de Kurtosis dans les quatre bandes de fréquence définies précédemment et un spectre PBC, en précisant pour chaque mesure : le type de capteur, le type de filtre à utiliser, la valeur à mesurer...

On télécharge ensuite cet itinéraire dans le collecteur de données. Le collecteur suit rigoureusement cet itinéraire en nous indiquant, par exemple, le point de mesure où nous devons installer l'accéléromètre. Une fois le capteur en place, le collecteur de données effectue toutes les mesures paramétrées pour ce point. Lorsque tout l'itinéraire est effectué

nous transférons les données sur l'ordinateur, et nous pouvons ainsi constater les éventuels dépassements de seuil ou l'évolution dans le temps des indicateurs globaux et spectraux.

La Figure 49 illustre, par exemple, l'itinéraire de relevés périodiques. Celui-ci détaille l'emplacement des points de mesures : sur le guide n°3, plus précisément sur la manip G32 et sur le palier «Est Vertical». On voit que sur ce point nous avons configuré l'acquisition d'un spectre à pourcentage de bande constante de 6% puis 4 mesures de niveaux globaux selon des bandes passantes.

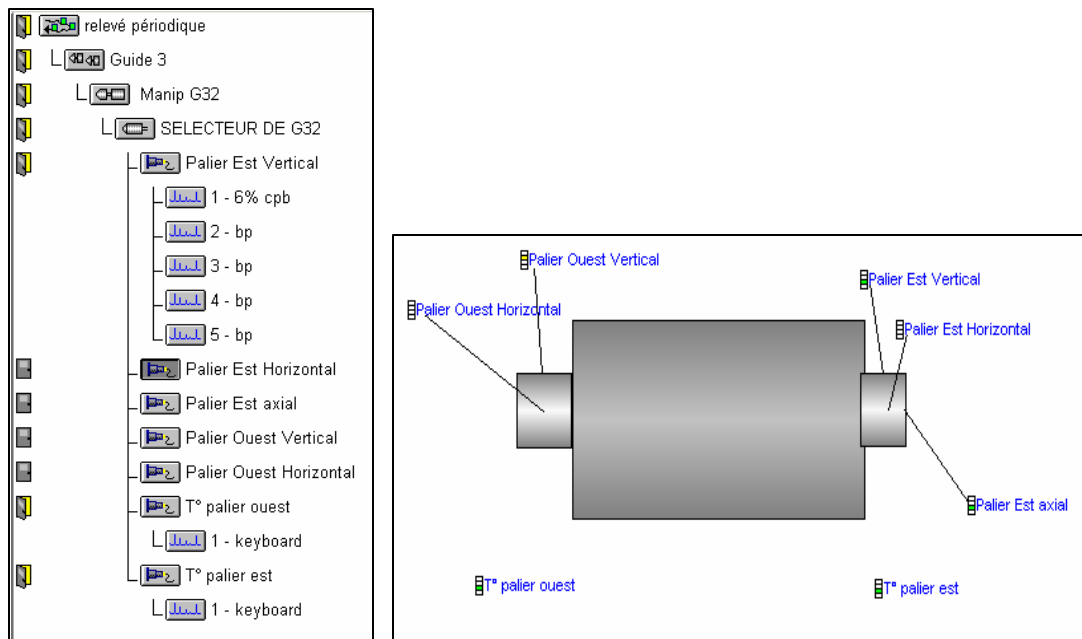


Figure 49 - Exemple d'itinéraire pour les relevés périodiques (sur la gauche) et la représentation schématique de l'emplacement des points de mesure (à droite)

6.5. « Signatures initiales »

L'établissement et l'analyse des signatures initiales constituent la base sur laquelle repose la fiabilité de la surveillance et des diagnostics ultérieurs. Une erreur à ce stade peut se traduire par des pertes d'informations préjudiciables à la formulation d'un diagnostic fiable. Il est donc important de réaliser ces signatures initiales en trois phases distinctes : la prise de mesure, le diagnostic, l'optimisation des indicateurs de surveillance et des seuils ou gabarits d'alarmes.

Ces différentes tâches permettront :

- De formuler un diagnostic sur l'état de chaque machine et de procéder aux interventions complémentaires si nécessaire,
- De valider l'intérêt et la définition de chaque indicateur (plage de fréquence, durée de mesures...) et de définir les gabarits ou seuils d'alarme en fonction de l'état réel de chaque machine
- De comparer les signatures et ainsi gagner du temps au moment du diagnostic en comparant les évolutions des signatures vibratoires.

Nous avons effectué un premier itinéraire de relevés définissant ainsi les mesures de références pour permettre des comparaisons avec les futures mesures. A l'aide de ces signatures initiales, nous définissons les seuils d'alarme à +6 dB et +20 dB pour ce qui concerne les spectres PBC. La Figure 50 représente le spectre PBC 6% relevé sur le palier « Ouest » dans l'axe vertical. Ce premier spectre peut déjà nous apporter quelques renseignements utiles sur l'état de santé du sélecteur.

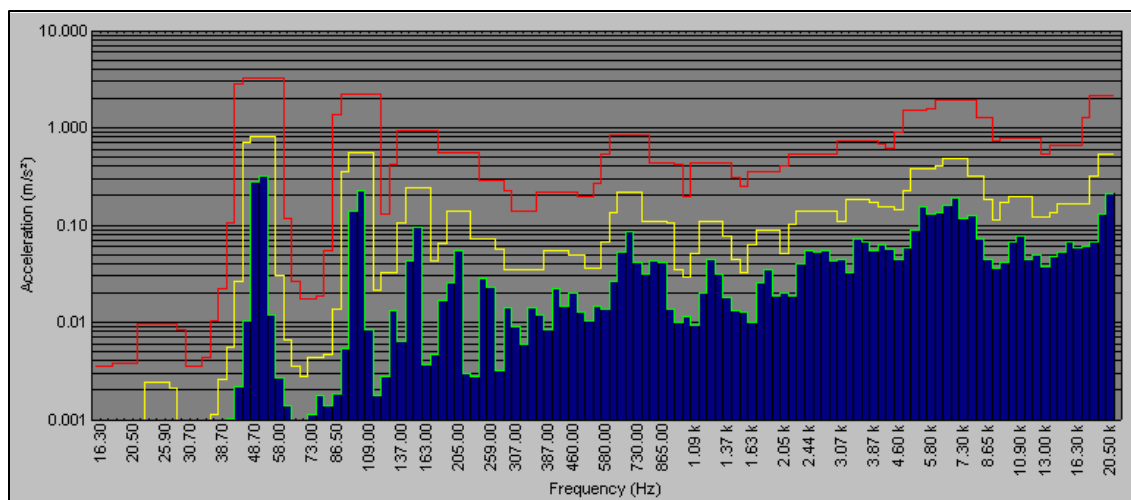


Figure 50 - Signature vibratoire initiale relevée sur le palier "Ouest" dans l'axe vertical avec une vitesse de rotation de 3010 tr/min

Au CHAPITRE 4-, nous avons rappelé dans le Tableau 8, les fréquences caractéristiques conséquentes à un défaut. La première amplitude émergente à environ 50 Hz correspond à la fréquence de rotation $f_r = 3010/60 = 50,16$ Hz et caractérise le défaut de balourd que nous avons mis en évidence au 2.3.3. Les futurs relevés seront comparés à cette référence et permettront de constater une évolution d'un défaut. Compte tenu des défauts les plus probables sur notre sélecteur, des défauts de roulements, nous constaterons une évolution du niveau vibratoire dans une bande de fréquence située dans la partie droite du spectre. On

devine déjà cette croissance centrée autour de 6 kHz. Cette fréquence doit correspondre à une fréquence de résonance consécutive de la somme des petites excitations engendrées par les billes des roulements. En regardant la Figure 51, le spectre relevé sur le palier opposé, nous retrouvons la fréquence caractéristique prépondérante en basse fréquence autour de 50 Hz, et l'on distingue bien l'élévation des amplitude autour de 6 kHz. Les fréquences caractéristiques situées entre 50 Hz et 300 Hz représentent des multiples de la fréquence de rotation et peuvent matérialiser un désalignement, provoqué à chaque rotation par le balourd important.

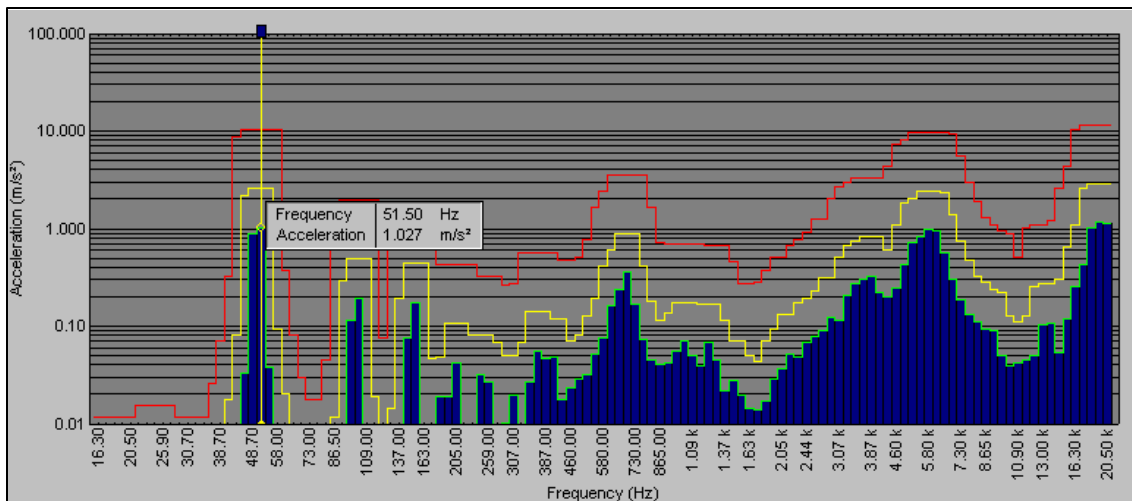


Figure 51 - Spectre PBC 6% sur le palier Est dans l'axe vertical à une vitesse de rotation de 3010 tr/min. La première fréquence caractéristique se situe à la fréquence de rotation soit 50Hz.

Un autre avantage du spectre PBC, dont nous n'avons pas encore parlé, est qu'il est facile avec ce dernier d'effectuer un ajustement en cas de dérive de la vitesse. Si les relevés sont effectués à d'autres vitesses de rotations, il y aura systématiquement des dépassements de seuils. Prenons l'exemple de la Figure 52, le second spectre est relevé à une vitesse de rotation supérieure de 19% par rapport à celle de référence. Chaque largeur relative de bande vaut 6%, et le spectre doit donc être entièrement décalé de 3 points.

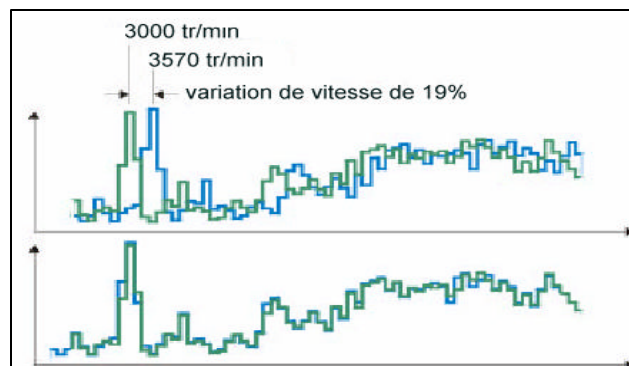


Figure 52 - Décalage du spectre pour le recentrer sur le spectre de référence.

Nous avons aussi relevé les niveaux globaux tels que le facteur de crête, le Kurtosis, la valeur efficace dans 4 bandes de fréquences. L'archivage de ces valeurs avec les futurs relevés permettra d'établir une courbe de tendance pour connaître l'évolution de ces indicateurs.

6.6. Constitution du dossier «Surveillance»

Un classeur de suivi des relevés et des interventions est nécessaire au bon déroulement de la surveillance et du diagnostic. Ce classeur possédera plusieurs onglets permettant ainsi le classement des relevés et analyses des différentes machines. Les paragraphes suivants illustrent leurs contenus :

6.6.1 Définition de la surveillance

Pour chaque machine surveillée, on pourra trouver dans cette partie :

- des fiches « Définition machine » ; s'il s'agit d'un sélecteur mécanique de neutrons, on peut donc trouver une fiche pour le moteur électrique et une pour le sélecteur lui-même ;

Tableau 11 - Fiche "définition machine"

		Surveillance vibratoire	
		DEFINITION MACHINE	
Désignation:			
Localisation :			
N° repère :			
Vitesse de rotation :			
	PALIERS		
	paliers n°1	paliers n°2	
type	SKF 7006 CX	SKF 7006 CX	
Fext			
Fint			
Fbille			

- les listings sur les défauts de roulement ; ces listings sont issus du logiciel «ATLAS » édité par le constructeur de roulements SKF.
- tout renseignement cinématique complémentaire fourni par des plans ou le constructeur ;

- une fiche « Fréquences de défauts » qui synthétise toutes ces données (Tableau 12 - Fiche "fréquences des défauts").

Cela constitue la base sur laquelle on a élaboré sa surveillance.

Le Tableau 12 donnera par exemple les fréquences des défauts en fonction des différentes vitesses de rotation. Comme nous l'avons souligné au 3.3.2 la vitesse de rotation change pour sélectionner les neutrons d'une certaine longueur d'onde ; les fréquences des défauts changeront donc aussi en fonction de ces vitesses.

Tableau 12 - Fiche "fréquences des défauts"

		Surveillance vibratoire	
		FREQUENCES DES DEFAUTS	
Désignation :			
Localisation :			
N° repère :			
	PALIERs		
	paliers n°1	paliers n°2	
type	SKF 7006 CX	SKF 7006 CX	
2800 tr/min			
Fest			
Fint			
Fbille			
3580 tr/min			
Fest			
Fint			
Fbille			
3860 tr/min			
Fest			
Fint			
Fbille			
4500 tr/min			
Fest			
Fint			
Fbille			
MOTEUR			
Défaut électrique	100 Hz		

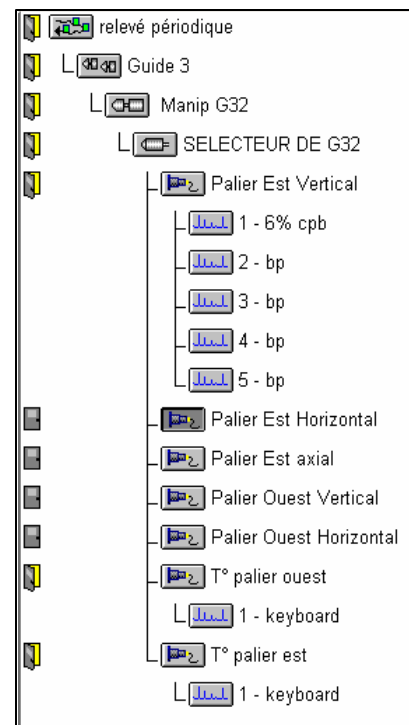


Figure 53 - Exemple d'itinéraire de surveillance

6.6.2 Itinéraire appliqué

L'itinéraire utilisé par le logiciel d'analyse pour effectuer les mesures se trouvera listé dans cette section. On s'attachera à toujours y faire figurer la dernière version. Sur la Figure 53, un exemple d'itinéraire édité sous le logiciel « SENTINEL ».

6.6.3 Mesures sur la machine n° x

- Les rapports techniques du logiciel (Figure 54) des derniers relevés seront classés par type de mesures :

- niveaux globaux ;
- spectres PBC 6, 23 ou 70 % ;
- spectres RC (basses et hautes fréquences)
- zooms;
- spectres « enveloppes ».

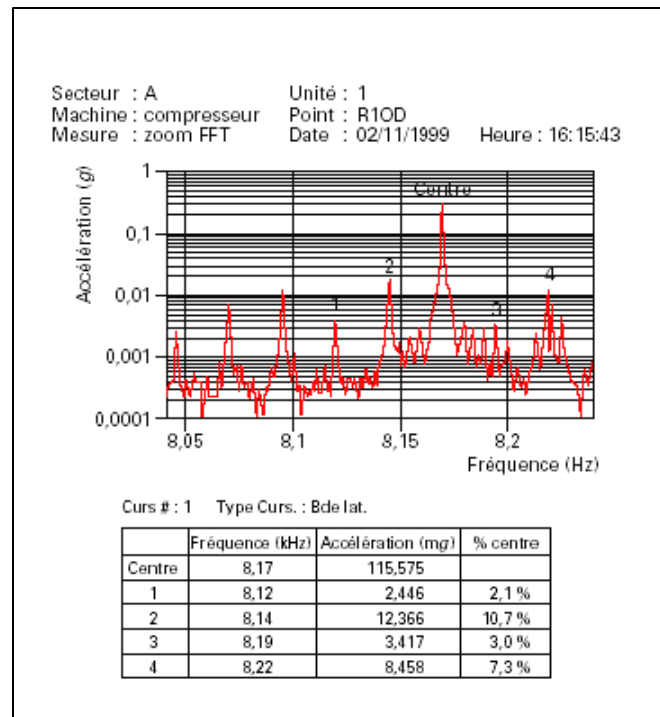


Figure 54 - Exemple de rapport technique du logiciel d'analyse

- Une fiche « Suivi des interventions » qui récapitule les dates et les particularités de tous les relevés effectués sur la machine n° x.

Tableau 13 - Fiche "suivi des interventions"

LB cea Observatoire de l'Industrie Surveillance vibratoire	
SUIVI DES INTERVENTIONS	
Désignation:	
Localisation :	
N° repère :	
Date	Observation
20/12/2002	Mesures juste avant révision.
15/02/2003	Mesures après révision et changement moteur.
10/03/2003	Augmentation générale de tous les niveaux: rodage fini ...
15/06/2003	peut être un début de dégradation du palier moteur coté accouplement.

6.6.4 Interventions réalisées suite aux diagnostics

Le but de cette partie est de conserver la mémoire de toutes les interventions réalisées sur les machines à la suite d'un diagnostic vibratoire ayant révélé un défaut.

Cela constitue une base de données précieuse pour :

- faire évoluer l'analyse sur l'installation surveillée ;
- accroître la connaissance de la machine surveillée en particulier ;
- développer son expérience en analyse vibratoire en général.

Tout cela peut avantageusement être complété par un dossier informatique.

6.6.5 Vues des onglets

Le classeur comportera donc en résumé les onglets tels que sur la Figure 56 :

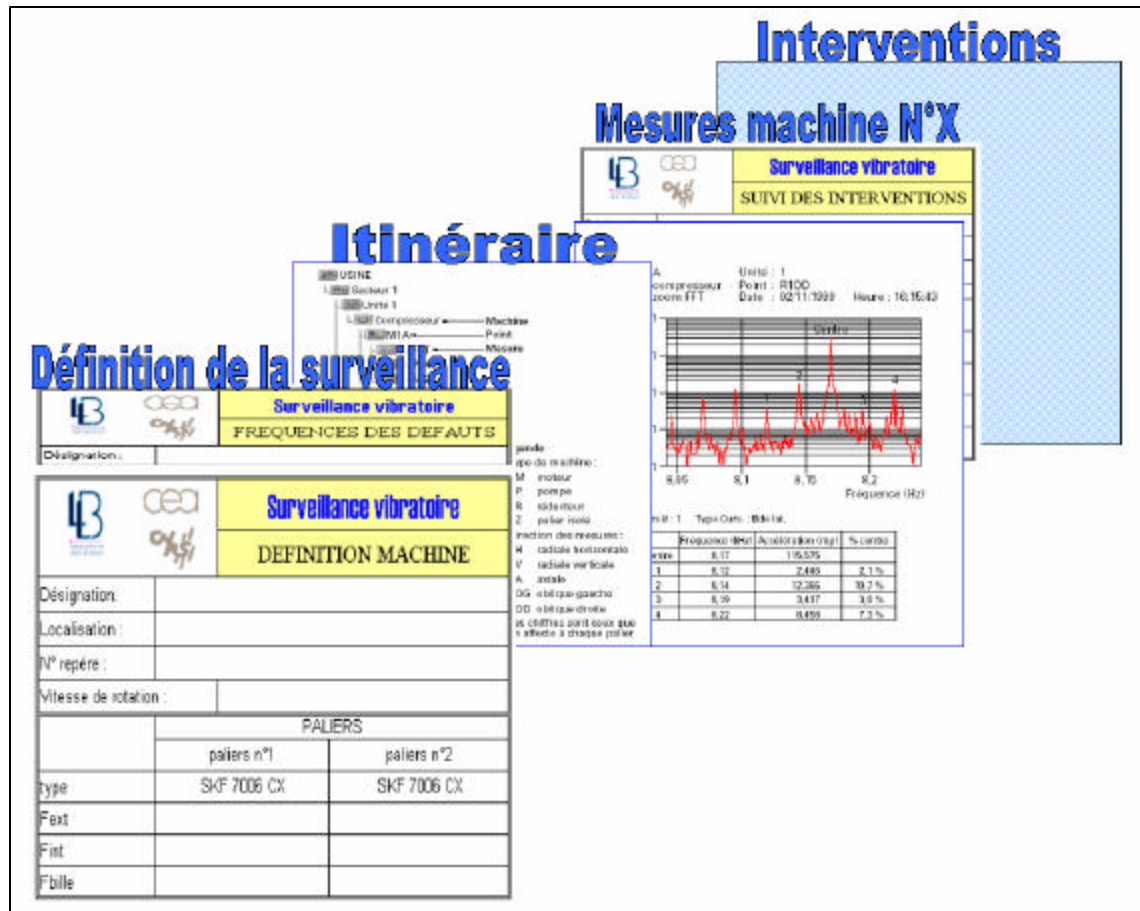


Figure 56 - Représentation des onglets contenus dans le classeur de suivi.

6.7. Le contrôle informatique

6.7.1 Introduction

Le pilotage du sélecteur mécanique doit pouvoir être effectué par informatique de façon à pouvoir automatiser les changements de longueur d'onde en fonction des expériences. Il suffit pour cela de modifier la valeur de la consigne de la vitesse de régulation en utilisant les équations de courbes trouvées au 3.3.2 . Une interface graphique permettra une visualisation de la vitesse actuelle (donc la longueur d'onde actuellement sélectionnée) et la modification de celle ci ; il est aussi utile d'y faire figurer l'état de toutes les sécurités pour informer l'utilisateur de l'état de fonctionnement du sélecteur et grâce au module « Vibrocontrol » nous pouvons connaître une valeur représentative du niveau vibratoire et ainsi afficher une courbe de tendance représentant l'évolution de cette valeur dans le temps.

6.7.2 La communication IEEE

Le rack comporte une carte microprocesseur permettant la communication avec un ordinateur via une liaison IEEE. Il est possible avec un jeu d'instructions de communiquer avec toutes les cartes présentes dans le rack. Par exemple la Figure 57 représente la face avant ainsi que le diagramme correspondant à une demande de lecture de tension. Ainsi la carte de conversion analogique-numérique retourne une valeur proportionnelle à la tension présente en entrée de celle ci. L'instruction « A1 » (Figure 57) engendre cette lecture.

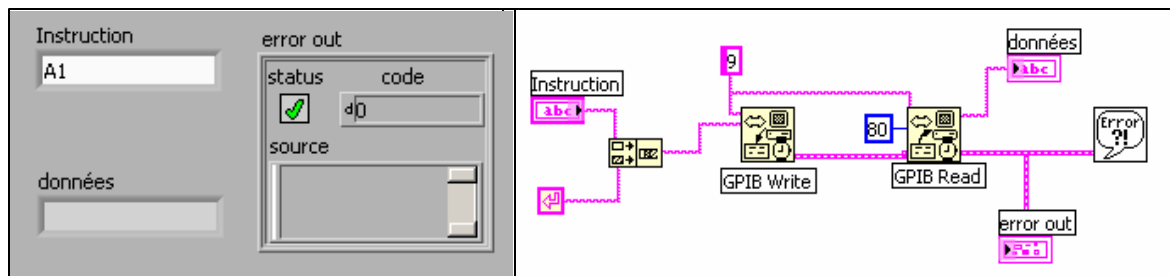


Figure 57 - Face avant et diagramme du module de communication IEEE avec le rack

Ce module représente l'élément clef du programme d'acquisition car il permet de retourner toutes les données acquises par le rack. C'est ensuite des traitements de l'information retournée qui permettent l'affichage des données ; par exemple la lecture des entrées sorties numériques donnera un chiffre hexadécimal qu'il faudra traiter pour obtenir l'affichage des différents états sur les voyants de la face avant.

6.7.3 La face avant

La face avant représentée sur la Figure 58, constitue un exemple de programme de pilotage et de supervision. L'opérateur pourra indiquer la longueur d'onde qu'il désire (bouton rotatif), ou mettre à l'arrêt le système (boutons «Stop»), ou désactiver la surveillance («surveillance automatique »).

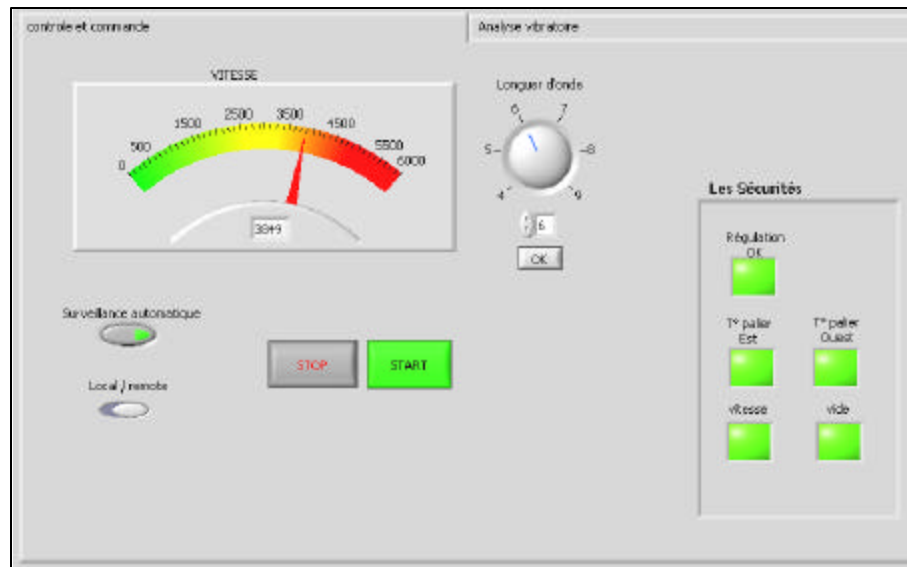


Figure 58 - Face avant du programme de pilotage

Toutes les communications avec le rack sont assurées grâce au sous programme présenté au paragraphe précédent.

6.7.4 Projet informatique

A ce stade du projet, des tests de communication avec le rack ont été effectués avec succès : lecture et écriture de tensions 0-10 volts, lecture et écriture d'entrées et sorties «tout ou rien», couvrant ainsi toutes les bases de programmation et de dialogue entre le rack et l'interface LABVIEW. Plusieurs modifications et améliorations seront apportées au cours des prochaines semaines. En particulier, le module permettant l'affichage d'une courbe de tendance représentant l'évolution du niveau vibratoire.

Les utilisateurs pourront effectuer leurs propres programmes qu'ils inséreront dans leur programme d'acquisition actuellement en place ou utiliser le programme cité ci-dessus.