

S.TEYAR* ET R. CHAIB**
 **Université 20 Août 1955, Skikda
 *Université Mentouri Constantine

Résumé : Les pannes et les incidents des systèmes de production sont l'un des fléaux majeurs de l'industrie. L'indisponibilité des machines vient amputer lourdement la capacité de production et donc accroître le prix de revient. Notre objectif est de garantir la disponibilité des machines en diminuant au maximum les dépenses liées aux achats et opérations d'entretien, tout en mettant en place un système efficace de gestion de maintenance. L'utilisation des méthodes de traitement de signal émis par les machines de production ou certains organes de ces machines, nous permettent d'extraire des informations et ainsi de prévoir l'apparition des dysfonctionnements et une intervention à bon escient, en suivant l'évolution dans le temps des symptômes de dérive d'état de l'équipement.

Mots clés : Sévérité, analyse spectrale, niveau globale, maintenance conditionnelle, MBF.

1. Introduction

Les coûts de maintenance des cimenteries représentent une part particulièrement importante du life cycle cost. Aussi l'optimisation de ces coûts est un enjeu majeur dans ce secteur concurrentiel et stratégique dans les secteurs de l'habitat et la construction. L'extraction du ciment représente la partie en amont de cette industrie et à l'opposé, la partie en aval qui est la panne. Actuellement, des méthodes et des moyens de maintenance sont donc développés, pour permettre d'évaluer et de diminuer ces coûts [Tey, 03]. Jusqu'à une date récente, l'entretien des machines et le remplacement des pièces soumises à usure pouvait être envisagés de deux manières : l'attente de la casse (maintenance curative) ou le remplacement à intervalles réguliers (maintenance systématique) [Elf et al, 03]. L'attente de la casse n'est plus économique et les interventions systématiques sont souvent inutiles, coûteuses en pièces de rechanges, en main d'oeuvre et en perte de production. En effet, bon nombre d'entreprises consacrent 15 à 20% de leur budget d'entretien, aux pièces de rechange [Cha, 06]. Lors des arrêts et des remises en services et compte tenu des erreurs humaines inévitables, ces interventions peuvent nuire à la fiabilité [Bou et Pac, 88]. De ce fait, la surveillance et le diagnostic des systèmes mécaniques sont devenus l'une des préoccupations majeurs des industriels.

Comme le signal vibratoire est l'identité de la machine [Gla et al, 03]. Cet article a pour objectif, en utilisant l'analyse vibratoire, la détection et le diagnostic des dysfonctionnements des machines vitales complexes, telles que les réducteurs planétaires dans la chaîne de production d'une cimenterie. Ce qui permet une intervention à bon escient, en suivant l'évolution dans le temps des symptômes de dérive d'état de l'équipement, est alors possible.

2. Description du système de surveillance

Afin d'optimiser les actions de maintenance programmées, tout en tenant compte de la sûreté de fonctionnement, nous avons fait appel à la MBF [Ver et al, 99, Sou, 99]. Parmi les maillons constituant la chaîne de fabrication du ciment, depuis l'extraction du calcaire de la carrière à l'expédition du ciment, tout en passant par les différents processus et procédé de fabrication, et étant donné l'évolution des relations de cause à effet liant les variables du système, une attention particulière est donnée au réducteur planétaire, équipement stratégique dans le processus de fabrication. Afin de connaître l'état de 'santé' du réducteur planétaire, un système de surveillance a été adopté, utilisant le logiciel Diva-Line. Ce logiciel est conçu pour traiter les données de vibrations, recueillies sur les machines tournantes et permet la comparaison des spectres ainsi qu'une meilleure visualisation des signaux dynamiques.

La fonction 'santé' d'une machine tournante est basée sur la mise en place d'un ou de plusieurs indicateurs avec des seuils prédéfinis à ne pas dépasser, indicateurs calculés à partir des signaux vibratoires des pièces surveillées. Chaque dépassement génère une alarme dont l'analyse déclenchera des opérations de maintenance (figure1). Plus précisément, les indicateurs calculés sont définis pour être sensibles à la détection précoce des défauts sur les pièces tournantes. Les vibrations émises par ces machines ou certains organes de ces machines dans leurs formes spectrales ou temporelles, permettent d'extraire des informations permettant de prévoir la détection précoce d'anomalies de fonctionnement, voire l'intervention nécessaire

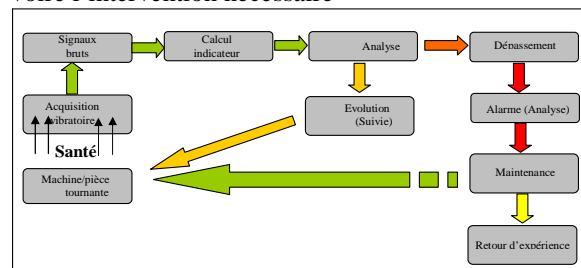


Figure 1 : Principe de l'analyse vibratoire

4. Cinématique du réducteur planétaire

L'analyse spectrale du signal vibratoire permet d'identifier les fréquences aux vitesses angulaires des mécanismes et l'étude cinématique préalable de ces derniers aide au processus d'identification. Les fréquences montrant une variation d'amplitude du signal vibratoire correspondent aux vitesses angulaires des mécanismes en défauts [For, 99, Tho et Laf, 03]. Les trains épicycloïdaux ou planétaires permettent, pour des dimensions réduites, d'assurer des rapports de vitesse et des couples importants. L'axe de rotation des pignons menés, tourne autour de l'axe de rotation de la roue menante, appelée planétaire et les pignons

tournants - satellites. Dans les tableaux 1 et 2 nous donnons les caractéristiques cinématiques du réducteur et les fréquences caractéristiques.

Tableau 1 : Caractéristique du réducteur

Désignation	1 ^e train	2 ^{ème} train
Vitesse d'entrée, N_1 (tr/min)	980	93.92
Vitesse d'une porte satellite, N_4 (tr/min)	93. 92	15.23 37.03
Vitesse de rotation d'un satellite, N_2 (tr/min)	210 .10	24 51
Nombre de dents du pignon, Z_1	23	124
Nombre de dents d'un satellite, Z_2	97	3
Nombre de dents de la couronne, Z_3	217	
Nombre de satellites, n	3	

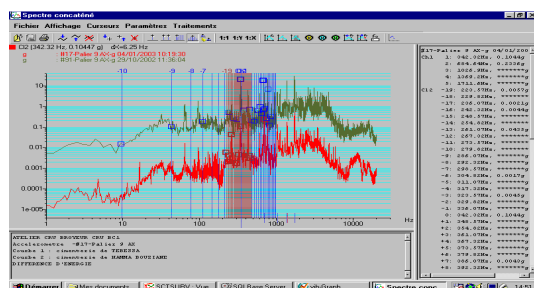
4.1. Les courbes de tendance

Le tracé des courbes d'évolution ou des tendances des amplitudes vibratoires doit être complétées par une comparaison des mesures à des seuils d'alarme et de danger, voire la sévérité de la machine. La définition de ces seuils d'intervention est certainement l'une des opérations la plus délicate et la plus importante pour un bon dépistage. Ces seuils prédéfinis, peuvent être fixés en s'appuyant sur des normes, des études statistiques ou des historiques de machines ou par fois encore, en fonction de l'expérience du constructeur. Le dépassement d'un seuil conduit à pratiquer une analyse plus complexe et à utiliser les outils de diagnostic. Le choix du seuil est fondamental, car avec :

- une valeur trop basse du seuil, des alarmes fréquentes et injustifiées se manifestent ;
- une valeur trop élevée, une panne peut se produire sans alarme préalable.

Le suivi dans le temps de l'évolution du niveau vibratoire des machines donne une information beaucoup plus significative d'autant plus que ce niveau dépend beaucoup des conditions d'implantation et d'exploitation de la machine. Pour avoir beaucoup plus d'informations sur le réducteur, nous considérons les deux réducteurs semblables des cimenteries de Hamma Bouziane et celle de Tébesa qui travaillent dans les mêmes conditions. On voit que le niveau vibratoire du réducteur de la cimenterie de Tébesa est très bas malgré que les mesures ont été relevé trois mois plus tard (04/01/2003) par rapport à celui de la cimenterie Hamma Bouziane de Constantine (29/10/2002). Ce qui nous laissons dire qu'une dégradation du réducteur se trouvant à la cimenterie Hamma Bouziane est probable, malgré que son niveau vibratoire reste inférieur aux normes (figure2).

Tableau 2 : Fréquences possibles



Désignation	1 ^e train	2 ^{ème} train
Vitesse d'entrée F_1 (Hz)	16.33	1.56
Vitesse de sortie F_4 (Hz)	1.565	0.253
Vitesse de rotation d'un satellite F_2 (Hz)	3.301	0.617
Défaut d'engrènement, $Z_3 F_4$	339.60	31.372
Défaut sur le pignon, $F_2 Z_3/Z_1$	5	3.921
Défaut sur un satellite, $2 F_4$	44.296	1.230
Z_3/Z_2	7.002	0.759
Défaut sur la couronne, $n F_4$	4.695	

Figure 2 : Comparaison des niveaux de tendance

4-2-Position des capteurs

Concernant les mesures portées d'indicateurs d'endommagement, une attention particulière doit être portée sur le choix des points de mesure. En effet, on cherche à évaluer un comportement interne à la machine. De ce fait, le capteur devra être le plus possible en relation directe avec 'l'intérieur'. Or, les points de contact accessibles avec ce milieu sont essentiellement les paliers. Ils constituent le chemin de passage privilégié pour les vibrations. Ils représentent le point clé, car ils sont le seul lien matériel permettant la transmission des vibrations, images des efforts dynamiques, de la machine tournante. Donc les mesures doivent être faites en ces endroits de la machine.

Nous avons configuré sept points de mesures pour évaluer le comportement du réducteur. Les points ont été choisis de telle sorte à cerner tous le réducteur (figure 3). La mesure dans chaque point est prélevée dans les trois directions (verticale, horizontale et axiale). Les capteurs utilisés sont des accéléromètres types ASH201.

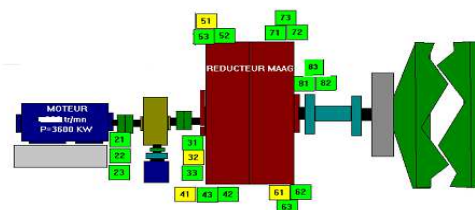


Figure 3 : schéma synoptique et point de mesure

On constate que les mesures faites respectivement sur les points 5.3, 5.6, 2.2, 4.3 et 6.3 (figure 4) ne montrent aucune variation grave du niveau globale, l'état vibratoire est considéré bon. Par contre le point 3.1 l'évolution de la vitesse de l'arbre GV du point 3 dans la direction axiale (point 3.1), relève une brutale augmentation du niveau global vitesse sur la période septembre- octobre 2001, qui atteint respectivement les deux composantes 11,371 mm/s et 11,486 mm/s, donnant une première idée que l'équipement est en état de défaillance, donc sujet à être défaillant. Une modification des fréquences est signe de détérioration. Mais pour caractériser le défaut, il faut passer à l'analyse fréquentielle.

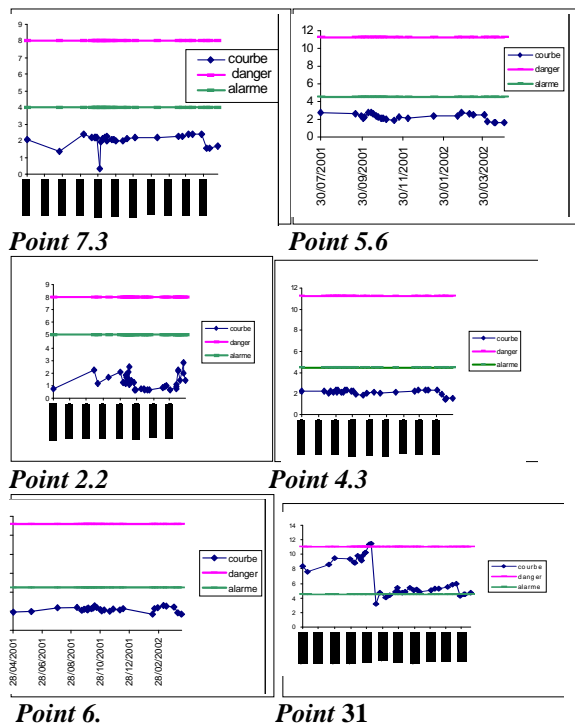


Figure 4 : Les tendances des différents points de mesures

Les figures 5.1 et 5.2 représentent clairement l'image vibratoire du point 3 dans la direction axiale dans la gamme fréquentielle [0, 20000] Hz avec le niveau global d'accélération g.

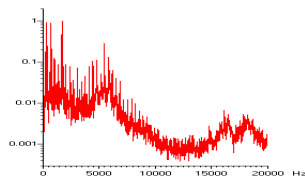


Figure 5.1 : Spectre du point 31 (échelle logarithmique)

La fréquence de la couronne du premier train obtenue, est égale à 342.579 Hz avec un pic de 0.91201g. Le pic de la deuxième harmonique de cette fréquence est de 0.881049g (figure 5.2).

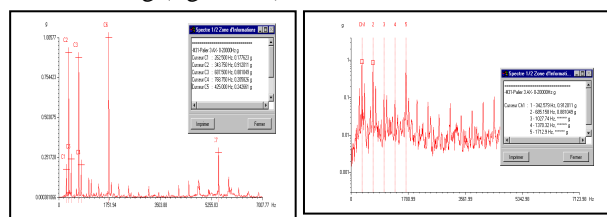


Figure 5.2 : La représentation des harmoniques du point 31

Pour une analyse spectrale, les pics les plus importants sont visibles à l'échelle linéaire, dont les valeurs sont données sur la figure 5.2. Dans ce spectre (échelle linéaire), la même augmentation de l'amplitude de la troisième fréquence C_3 est à noter avec une valeur de 0.881049g qui correspond la fréquence du 2^{ème} harmonique du spectre précédent (Echelle logarithmique). Cette analyse permet de confirmer un défaut dans le pignon solaire. Après le changement de cet élément, on observe une nette diminution du niveau global vitesse à la valeur 3.24 mm/s.

5. Conclusion

Le changement du pignon dans le réducteur, après le défaut signalé durant la période septembre- octobre 2001, a stabilisé l'allure de la courbe de tendance du point 31 (figure 4). A partir de cette période, les mesures expérimentales et la comparaison des pics des spectres avec les seuils d'alarme niveau global vitesse (points 7.3, 5.6, 2.2, 4.3, 6.3 et 3.1), n'ont exprimé aucune valeur d'amplitude dépassant les valeurs de seuils. L'examen de toutes ces figures montre le rôle essentiel que joue le traitement du signal dans l'identification d'un défaut. Ce travail valide bien la performance de l'analyse vibratoire dans les travaux de gestion de la maintenance. Cependant, son efficacité dépend en grande partie de l'analyse et de l'interprétation des fréquences ainsi que de l'évolution des amplitudes et surtout de l'utilisation et de la maîtrise des outils spécifiques.

Ce type de suivi est simple, rapide et peu onéreux et en utilisant la maintenance conditionnelle, l'entreprise se prépare pour l'application de la maintenance prévisionnelle et pour la gestion prévisionnelle des données de l'analyse vibratoire, pour ses machines clés de la production.

Bibliographies

- Teyar.S, Diagnostic de l'état des machines tournantes par l'analyse vibratoire. Thèse de Magister, Université Mentouri Constantine, 2003.
- Elfezazi.S et al. Vers un outil, basé sur l'analyse fonctionnelle, pour la mise en œuvre des indicateurs de mesure de performance de la fonction maintenance. Revue française de gestion industrielle. Vol.22, N°3/2003.
- A.Boulonger. A, Pachaud. C, Diagnostic vibratoire en maintenance préventive, Dunod, Paris 1988.
- Des Forges. X, Méthodologie de surveillance en fabrication mécanique : Application de capteur intelligent à la surveillance d'une machine outil. Thèse de Doctorat, Université Bordeaux I, janvier 99.
- I.Versea, M.Cabriel, D.Richet, MBF globale, une étape stratégique vers la TPM. Revue française de gestion industrielle, vol 18, N°2, Paris 1999.
- Souris. JP, Les méthodes et outils de la maintenance, fiabiliser au moindre coût, maintenance N°519, avril 1999.
- M.Glade. M, Longère. Yves.I, Lyonnet. P, Impact de l'utilisation d'un système de surveillance des défaillances sur les coûts d'exploitation et de maintenance des mécaniques d'hélicoptère. Revue Française de gestion industrielle. N° Spécial Maintenance, Mars2003.
- Thomas. M et Lafleur. F, Maintenance conditionnelle par surveillance des vibrations. Département de génie mécanique, ETS, été 2003.
- Chaib. R, Contribution à l'optimisation de la maintenance conditionnelle par l'analyse vibratoire, Thèse de doctorat de science, université Mentouri de Constantine, Mai 2006.