

**Revue Congolaise des Sciences & Technologies**

ISSN : 2959-202X (Online); 2960-2629 (Print)

<https://www.csnrdc.net/>**OPEN ACCESS****REVUE
CONGOLAISE
DES SCIENCES
ET TECHNOLOGIES****Importance de l'analyse vibratoire sur la maintenance préventive des réducteurs planétaires dans une cimenterie: « cas de la cimenterie de Lukala dans la province du Kongo Central en R.D. Congo »****[Importance of vibration analysis on the preventive maintenance of planetary gearboxes in a cement plant: "case of the Lukala cement plant in the Kongo Central province in the D.R. Congo »]****Nlandu Mavungu Georges^{1*}, Ololo Tshiamala Willy-Boniface¹, Kabongo Kanimba Junior¹ & Mputu Kanyida Jean-Noel²**¹*Centre de Recherche en Sciences Appliquées et Technologiques (CRSAT), Kinshasa, République Démocratique du Congo*²*Université de Kinshasa, Faculté des Sciences et Technologies, Kinshasa, République Démocratique du Congo***Résumé**

Les réducteurs planétaires sont essentiels pour réduire la vitesse de rotation des moteurs électriques à un niveau approprié pour les équipements de production de ciment, comme les broyeurs et les fours. En intégrant une stratégie de maintenance préventive pour ces réducteurs, la cimenterie peut minimiser les temps d'arrêt non planifiés, optimiser les performances et prolonger la durée de vie utile de l'équipement. Cela implique des inspections régulières, le remplacement des pièces usées avant leur défaillance et la lubrification adéquate des composants pour garantir un fonctionnement optimal. En investissant dans une maintenance préventive efficace, les cimenteries peuvent réaliser des économies à long terme en évitant les coûts élevés liés aux réparations d'urgence et aux interruptions de production. L'impact d'un réducteur planétaire dans une cimenterie devient donc significatif.

Mots clés : Réducteur planétaire, cimenterie, analyse vibratoire, maintenance préventive.**Abstract**

Planetary gearboxes are essential for reducing the rotational speed of electric motors to a suitable level for cement production equipment, such as grinders and kilns. By integrating a preventative maintenance strategy for these reducers, the cement plant can minimize unplanned downtime, optimize performance and extend the useful life of the equipment. This involves regular inspections, replacing worn parts before they fail, and properly lubricating components to ensure optimal operation. By investing in effective preventative maintenance, cement plants can save money in the long term by avoiding high costs associated with emergency repairs and production interruptions. The impact of a planetary gearbox in a cement plant therefore becomes significant.

Key words: Planetary gearbox, cement plant, vibration analysis, preventive maintenance.

*Auteur correspondant: Nlandu Mavungu Georges, (mavungugeorge@gmail.com). Tél. : (+243) 999 967 746

Reçu le 11/07/2024; Révisé le 07/08/2024 ; Accepté le 23/08/2024

DOI: <https://doi.org/10.59228/rcst.024.v3.i3.92>

Copyright: ©2024 Nlandu et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License (CC-BY-NC-SA 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

1. Introduction

La cimenterie de Lukala (CILU), située dans la province du Kongo Central en République Démocratique du Congo (RDC), est une des plus anciennes et importantes cimenteries du pays. Fondée en 1921, CILU a célébré son centenaire en 2021. Elle joue un rôle crucial dans le développement infrastructurel du pays, ayant contribué à des projets majeurs tels que le barrage d'Inga, le stade des Martyrs, et le palais du Peuple à Kinshasa. Située dans le territoire de Mbanza-Ngungu, et bénéficie d'une position stratégique près de la route nationale 1 et de la ligne ferroviaire Matadi-Kinshasa, facilitant la distribution de son ciment à travers la RDC (Collin et al., 2010).

Les réducteurs planétaires jouent un rôle crucial dans le fonctionnement efficace des cimenteries, assurant la transmission de puissance pour les opérations de broyage, de mélange et d'autres processus essentiels à la production de ciment. En raison de leur importance, tout dysfonctionnement ou défaillance de ces équipements peut entraîner des temps d'arrêt coûteux et perturber le rythme de production.

Ainsi, la maintenance préventive est devenue une stratégie essentielle pour garantir la fiabilité et la durabilité des réducteurs planétaires.

Dans ce contexte, l'analyse vibratoire émerge comme un outil précieux pour évaluer l'état de santé des réducteurs planétaires (Sawahi & Endo, 2007).

En surveillant les vibrations émises par ces équipements, il est possible de détecter les signes précurseurs de dysfonctionnement, permettant ainsi de prendre des mesures correctives avant qu'une panne majeure ne se produise. Cette approche proactive réduit les temps d'arrêt imprévus, améliore la sécurité des équipements et optimise les performances globales de la cimenterie.

Dans cette étude, nous explorerons l'impact de l'analyse vibratoire sur la maintenance préventive des réducteurs planétaires dans une cimenterie. Nous examinerons comment cette méthode peut être mise en œuvre de manière efficace pour détecter les problèmes potentiels, élaborer des stratégies de maintenance prédictive et de prolonger la durée de vie utile des équipements. En analysant un cas concret, nous illustrerons les avantages tangibles de l'utilisation de l'analyse vibratoire dans la gestion

proactive de la maintenance des réducteurs planétaires dans le secteur cimentier (Lloyo & Lipov, 2012).

2. Matériel et méthodes

Pour la réalisation de cette étude, nous avons recouru à l'analyse vibratoire. L'analyse vibratoire est une technique essentielle en maintenance conditionnelle et en surveillance des machines industrielles. Elle permet de détecter et de diagnostiquer les problèmes mécaniques avant qu'ils ne provoquent des pannes. Voici une présentation des principales méthodes d'analyse vibratoire qui est utilisée dans notre étude. L'Analyse vibratoire des réducteurs planétaires pour la maintenance préventive dans la cimenterie de Lukala a été effectuée selon les étapes suivantes :

- Détermination des caractéristiques des réducteurs planétaires par le référencement et par la collecte des spécifications techniques, notamment la puissance nominale, le couple maximal, les vitesses de rotation et les autres (la transformation de Fourier, les signaux temporels et la densité spectrale de puissance pour l'identification des tendances vibratoires) ;
- Instrumentation pour l'analyse vibratoire à l'aide d'un vibromètre, couplé à un système de surveillance en ligne ;
- Collecte des données vibratoires au moyen des capteurs vibratoires installés sur les réducteurs planétaires suivant un programme des mesures à des intervalles prédéfinis (journaliers, hebdomadaires, mensuels). Les vibrations ont été enregistrées dans les conditions normales de fonctionnement ;
- Traitement des données vibratoires à l'aide des logiciels spécialisés (SKF @ptitude Analyst, Emerson AMS Suite, GE Bently Nevada System 1, ...). Ce traitement a permis l'identification des tendances, les variations anormales ou les signatures associées à des problèmes potentiels ;
- Evaluation de l'état de santé du réducteur planétaire par l'interprétation des données vibratoires collectées, ce qui a permis de faire la classification des niveaux de gravité de vibrations en fonction des normes et des seuils prédéfinis ;
- Planification de la maintenance préventive. Des plans de maintenance préventive ont été développés à partir des résultats de l'analyse vibratoire et des actions correctives qui ont été développées, telles

que le remplacement des pièces usées, la lubrification, le rééquilibrage, etc. ;

- Suivi et itération. Les plans de maintenance préventive ci-haut sont mis en œuvre sur terrain et suivis régulièrement pour vérifier l'efficacité des actions correctives et pour ajuster les stratégies au besoin ;
- Étude de cas. L'analyse des résultats obtenus, les avantages observés et les leçons apprises sont utilisés pour orienter les pratiques futures de maintenance préventive (Dwer et al., 2000).

3. Résultats

3.1. Détection précoce des anomalies

L'analyse vibratoire a permis de détecter des anomalies naissantes dans les réducteurs planétaires avant qu'elles ne deviennent des problèmes majeurs.

Des variations inhabituelles dans les signatures vibratoires ont été identifiées, indiquant des déséquilibres, des défauts de roulements ou d'autres défaillances potentielles (Myers et al., 2014).

3.2. Planification efficace de la maintenance

Les données de l'analyse vibratoire ont été utilisées pour établir des programmes de maintenance préventive précis et personnalisés pour chaque réducteur planétaire. Les interventions de maintenance ont été planifiées de manière proactive, réduisant ainsi les temps d'arrêt non planifiés et améliorant la disponibilité des équipements (Marcovic & Ligeron, 2016).

3.3. Optimisation des ressources

La maintenance préventive basée sur l'analyse vibratoire a permis une utilisation plus efficace des ressources en concentrant les efforts de maintenance là où ils étaient nécessaires. Les interventions de maintenance ont été ciblées sur les composants présentant les plus grands risques de défaillance, prolongeant ainsi la durée de vie utile des réducteurs planétaires (Braun, 2013).

3.4. Amélioration de la fiabilité et de la sécurité

La mise en œuvre des stratégies de maintenance préventive a contribué à améliorer la fiabilité opérationnelle des réducteurs planétaires. La réduction des risques de défaillance soudaine a également amélioré la sécurité des travailleurs et des équipements dans l'usine de ciment (Dethoor & Groboillot, 2008).

3.5. Économies financières

La réduction des temps d'arrêt imprévus et des réparations d'urgence a permis de réaliser des économies significatives en termes de coûts de maintenance et de production. Les avantages financiers de la maintenance préventive basée sur l'analyse vibratoire ont largement dépassé les coûts associés à sa mise en œuvre (Rong et al., 2015).

3.6. Étude de cas illustrative

Les données récoltées à la Cimenterie de Lukala à la période de mai 2019 à mai 2020 montrent que :

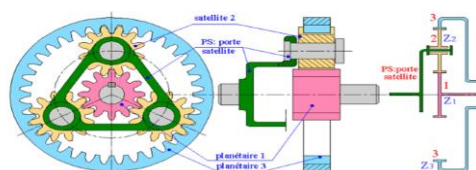


Figure 1. Schéma cinématique rendu libre d'un réducteur planétaire
Source : Eurodrive (2002)



Figure 2. Schéma bloc avec le broyeur et le moteur électrique
Source : Yudewitz (2019)

Les capteurs sont placés suivant les trois directions : La direction axiale : A ; la direction verticale : V et la direction horizontale : H.

Tableau I. Les caractéristiques cinématiques du réducteur

Désignation	1 ^{er} train	2 ^{ème} train
Vitesse d'entrée, N1 (tr/min)	980	93,92
Vitesse d'une porte satellite, N4 (tr/min)	93,92	15,23
Vitesse de rotation d'un satellite, N2 (tr/min)	210,10	37,03
Nombre de dents du pignon, Z1	23	24
Nombre de dents d'un satellite, Z2	97	51
Nombre de dents de la couronne, Z3	217	126
Nombre de satellites, n	3	3

Tableau II. Les fréquences caractéristiques du réducteur

Désignation	1 ^{er} train	2 ^{ème} train
Fréquence d'entrée F1 (Hz)	16,33	1,56
Fréquence de sortie F4 (Hz)	1,565	0,253
Fréquence de rotation d'un satellite F2 (Hz)	3,301	0,617
Défaut d'engrènement, Z3 F4	339,605	31,878
Défaut sur le pignon, F2 Z3/Z1	44,296	3,239
Défaut sur un satellite, 2 F4 Z3/Z2	7,002	1,250
Défaut sur la couronne, n F4	4,695	0,759

Partant des tableaux ci-dessus, nous pouvons établir les courbes ci-après :

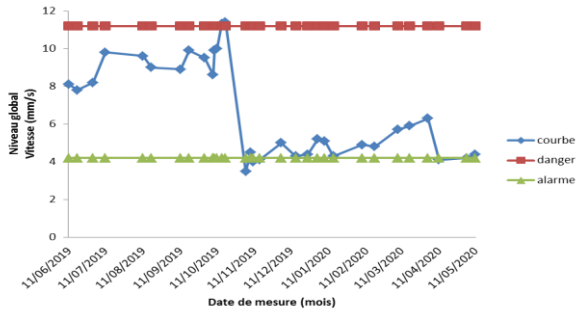


Figure 3. Tendance du capteur 3 (A l'Entrée du réducteur)

L'analyse en fréquence permet d'identifier la provenance du défaut.

La présence d'une telle avarie entraîne l'augmentation de l'amplitude du signal à la fréquence d'engrènement et ses harmoniques, même en présence d'autres défauts. Les figures 4, 5 et 6 représentent clairement l'image vibratoire du capteur 3 dans la direction axiale dans la gamme fréquentielle [0, 20000] Hz avec le niveau global d'accélération g (Saha & Saha, 2008)

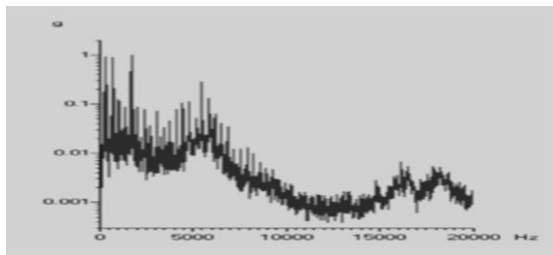


Figure 4: Spectre du point 3A (échelle logarithmique)

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).

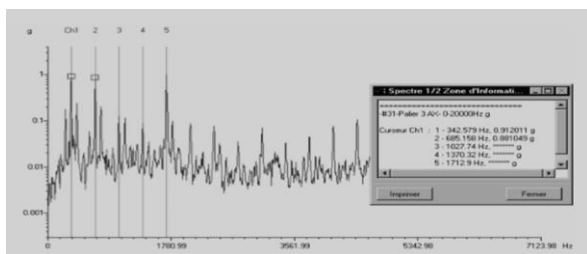


Figure 5. La représentation des harmoniques, suivant A (échelle linéaire)

Pour une analyse spectrale, les pics les plus importants sont visibles à l'échelle linéaire, dont les valeurs sont données sur la figure 6.

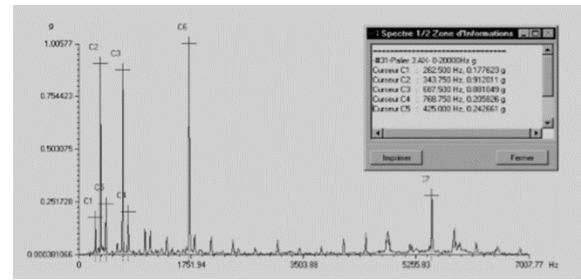


Figure 6. La représentation des harmoniques, suivant A (échelle linéaire)

Dans le spectre (figure 6), la même augmentation de l'amplitude de la troisième fréquence C3 est à noter avec une valeur de 0.881049g qui correspond à la fréquence du 2ème harmonique du spectre précédant (figure 5).

Cette analyse permet de confirmer un défaut dans le pignon solaire.

Après le changement de cet élément, on observe une nette diminution du niveau de la vitesse globale à la valeur 3,24 mm/s.

L'application des méthodes décrites à un cas spécifique de réducteur planétaire dans la cimenterie a démontré leur efficacité et leur applicabilité pratique.

Les résultats de l'étude de cas ont confirmé les avantages tangibles de l'utilisation de l'analyse vibratoire pour la maintenance préventive des réducteurs planétaires dans le secteur cimentier.

Par contre, les figures 7, 8, 9, 10, et 11, représentent respectivement les points (7, 5, 2, 4 et 6).

On constate en outre que l'indicateur du niveau global de vitesse reste stable et donc l'état vibratoire est supposé bon (Nandi & Orr, 2001 ; Kumar & Dhande, 2018).

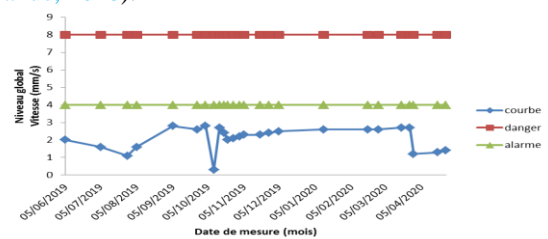


Figure 7. Tendance du capteur 7 (suivant H)

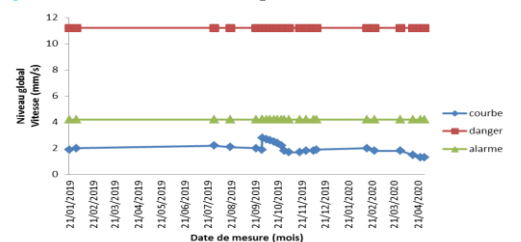


Figure 8. Tendance du capteur 5 (suivant H)

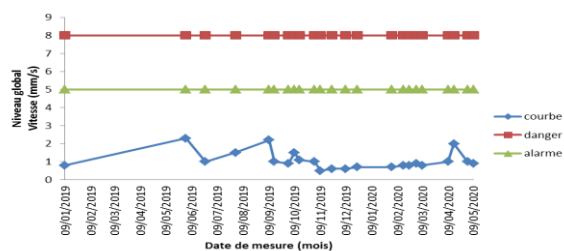


Figure 9. Tendence du capteur 2 (suivant V)

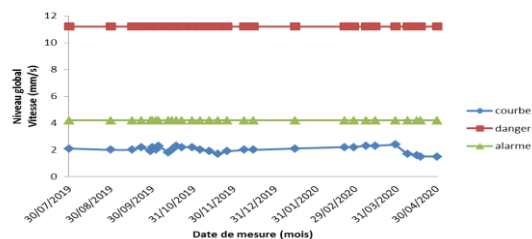


Figure 10. Tendence du capteur 4 (suivant H)

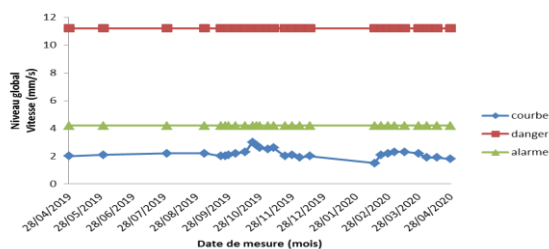


Figure 11. Tendence du capteur 6 (suivant H)

4. Discussion

L'analyse vibratoire s'avère être un outil précieux dans la gestion de la maintenance préventive des réducteurs planétaires dans les cimenteries. Les résultats de cette étude soulignent plusieurs points importants :

4.1. L'efficacité de la maintenance préventive basée sur l'analyse vibratoire

Les données recueillies par l'analyse vibratoire ont permis une détection précoce des anomalies, permettant ainsi une planification proactive des activités de maintenance.

Cette approche a contribué à réduire les temps d'arrêt non planifiés, à améliorer la disponibilité des équipements et à prolonger leur durée de vie utile.

4.2. L'optimisation des ressources et la réduction des coûts

Cela a été possible en concentrant les efforts de maintenance là où ils étaient nécessaires. La stratégie de maintenance préventive basée sur l'analyse vibratoire a permis une utilisation plus efficace des ressources.

Bien que des investissements initiaux puissent être nécessaires pour mettre en place un programme

d'analyse vibratoire, les économies réalisées grâce à la réduction des temps d'arrêt et des réparations d'urgence compensent largement ces coûts.

4.3. L'amélioration de la sécurité et de la fiabilité des équipements

La réduction des risques de défaillance soudaine des réducteurs planétaires a contribué à améliorer la sécurité des travailleurs et des équipements dans l'usine de ciment.

En garantissant un fonctionnement fiable des équipements, la maintenance préventive basée sur l'analyse vibratoire a également permis de maintenir une production stable et cohérente.

4.4. Les limites et défis potentiels

Bien que l'analyse vibratoire soit un outil puissant, elle présente certaines limites, notamment la nécessité d'une expertise spécialisée pour interpréter les données et prendre des décisions appropriées.

De plus, l'efficacité de l'analyse vibratoire peut être affectée par divers facteurs, tels que les conditions environnementales, les vibrations de fond et les caractéristiques spécifiques de chaque équipement (Jardine & Banjevic, 2006).

5. Conclusion

L'analyse vibratoire s'avère être un outil essentiel pour la maintenance préventive (maintenance conditionnelle) des réducteurs planétaires, en particulier dans un environnement industriel exigeant comme celui de la cimenterie de Lukala, située dans la province du Kongo Central en République Démocratique du Congo. Cette technique permet de détecter précocement les anomalies mécaniques, réduisant ainsi les risques de pannes imprévues et les coûts associés à des arrêts de production non planifiés.

L'étude de cas de la cimenterie de Lukala a démontré que l'application régulière de l'analyse vibratoire améliore considérablement la fiabilité et la durée de vie des réducteurs planétaires. En identifiant les problèmes potentiels tels que les déséquilibres, les désalignements, et l'usure des roulements à un stade précoce, la cimenterie peut planifier efficacement les interventions de maintenance, optimisant ainsi les ressources et augmentant la productivité.

De plus, l'intégration de l'analyse vibratoire dans le programme de maintenance préventive favorise une culture de la maintenance proactive au sein de l'usine, où la surveillance continue des

équipements critique devient une norme. Cette approche permet non seulement de prolonger la durée de vie des machines, mais également de garantir une production de ciment plus stable et de meilleure qualité.

En conclusion, l'expérience de la cimenterie de Lukala illustre clairement les avantages tangibles de l'analyse vibratoire pour la maintenance préventive des réducteurs planétaires. L'adoption de cette pratique constitue un investissement stratégique qui assure non seulement la pérennité des équipements, mais également la compétitivité de l'entreprise dans l'industrie cimentière (Collin et al., 2010 ; Myers et al., 2014).

Références bibliographiques

- Dwer-Joyce, R. S., Drinkwater, B. W., & Quinn, A. D. (2000). *An analysis of the vibration response of a spur gearbox using a finite element model of the casing*. *Journal of Sound and Vibration*, 237(1), 17-39.
- Nandi, A., Mba, D., & Orr, T. (2001). *Gearbox condition monitoring: a literature review*. *Journal of vibration and acoustics*, 123(1), 9-18.
- Eurodrive, S.E.W. (2002). *Notice d'exploitation des Réducteurs planétaires, types P. RF., P. KF*. Consulté le 15 mars 2024, sur <http://joho.mosite.orange.fr>
- Jardine, A. K., Lin, D., & Banjevic, D. (2006). A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 20(7), 1483-1510.
- Sawahi, N., Randall, R. B., & Endo, H. (2007). *The enhancement of fault detection and diagnosis in rolling element bearings using minimum entropy deconvolution combined with spectral kurtosis*. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 21(6), 2616-2633.
- Dethoor, J.M., & Groboillot, J.L., (2008). *La vie des équipements: Investissements, Renouvellement, Maintenance*. Paris, Dunod.
- Saha, J. N., & Saha, P. (2008). *Gearbox fault diagnostics using vibration analysis: A review*. *In Proceedings of the World Congress on Engineering* (Vol. 1).
- Collin, E., Hubart, R., Slama, M. & Kapiamba, F. (2010). *Etude sur les opportunités de valorisation industrielle du ciment en République Démocratique du Congo*. Inédit.
- Lloyo, D.K., & Lipow, M., (2012). *Reliability : management, methods and mathematics*. Prentice Hall.
- Braun, S., (2013). *Mechanical Systems and Signal Processing*, 38(2), 680-705.
- Myers.H.R., K.N., Wong, K.N. & Gordy, H.M., (2014). *Reliability engineering for electronic systems*. John Wiley.
- Rong, W., Yan, W., Wen, J., & Ming, Z., (2015). *A review of condition monitoring and fault diagnosis for wind turbines*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 817- 826.
- Marcovic, C. & Ligeron, J.C. (2016). *Utilisation des techniques de Fiabilité en mécanique, Technique et Documentation*.
- Kumar, A., & Dhande, S. G. (2018). *Vibration Analysis Techniques for Gearbox Diagnostic: A Review*. *International Research Journal of Engineering and Technology*. (IRJET), 5(2), 1734-1740.
- Yudewitz, N. (2019). Predict relay life reliably with simple ampical equations. *Electronic Design*, 67(4), 70-80.