



HAL
open science

Projet LAMPE² : Maintenance prédictive d'un mélangeur interne - apport de l'analyse vibratoire

Roger Serra, Guillaume Gautier, Jean-Mathieu Mencik, Sébastien Popineau

► To cite this version:

Roger Serra, Guillaume Gautier, Jean-Mathieu Mencik, Sébastien Popineau. Projet LAMPE² : Maintenance prédictive d'un mélangeur interne - apport de l'analyse vibratoire. CFM 2015 - 22ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2015, Lyon, France. hal-03446114

HAL Id: hal-03446114

<https://hal.science/hal-03446114>

Submitted on 24 Nov 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Projet LAMPE² : Maintenance prédictive d'un mélangeur interne - apport de l'analyse vibratoire

SERRA Roger^{1, a}, GAUTIER Guillaume¹, MENCIAK Jean-Mathieu¹ and POPINEAU Sebastien²

¹INSA Centre Val de Loire, LMR, 3 rue de la chocolaterie, 41000 Blois, France
roger.serra@insa-cvl.fr

²HUTCHINSON, Centre de Recherche, BP31 45120 Chalette/Loing, France

Résumé :

L'objet de ce papier est de présenter un système de surveillance pour la détection précoce des anomalies et l'aide au diagnostic des machines tournantes appliquées à un système industriel complexe : un mélangeur interne. Dans ce but, un projet de surveillance en temps réel du procédé de mélangeage a été défini: le projet LAMPE², en vue d'une caractérisation en temps réel ou en quasi-temps réel des états vibratoires de l'équipement, d'un état acoustique, de l'état thermique et des états de viscosité des matériaux à l'intérieur de l'équipement ainsi que dans les organes d'alimentation en matière première. L'originalité de ce projet est de combiner des informations issues de sources hétérogènes avec des fréquences différentes et d'en extraire de l'information utile sur la surveillance globale de l'équipement.

Abstract :

The purpose of this paper is to present a monitoring system for the fault detection and diagnostic tool of rotating machines applied to a complex industrial system: an internal mixer. For this purpose, a real-time monitoring of mixing process was defined: the LAMPE² project. Monitoring involves a characterization in real time or near real-time vibrational, acoustic, and thermal states of the equipment and viscosity of materials inside the mixer and in supply organs. The originality of this project is to combine information from disparate sources with different frequencies and extract useful information for a global process monitoring.

Mots clefs : Analyse de donnée, Diagnostic vibratoire, Engrenages, Maintenance prédictive, Roulements, Thermographie.

1 Introduction

La plupart des moyens de production industriels et notamment les machines tournantes sont surveillés par des systèmes spécifiques dans le but de garantir la sûreté des installations, d'améliorer leur disponibilité en évitant des arrêts fortuits et de réduire les coûts de maintenance en supprimant des visites ou en réduisant les programmes de visites réalisés pendant les arrêts. En effet, le

fonctionnement d'une installation même dans des conditions normales entraîne un certain vieillissement des matériels et parfois même des incidents ou accidents. Il est donc nécessaire pour en assurer une exploitation correcte de la maintenir en état [1].

La surveillance des matériels s'intègre dans une politique de maintenance [2]. Elle doit assurer la prévention des risques majeurs, la détection précoce des anomalies et l'analyse après incident, pour remédier aux défauts constatés. Cela est particulièrement le cas pour l'industrie du caoutchouc et des polymères qui a toujours cherché à améliorer la disponibilité et la sûreté de ses installations. En effet, le mélangeur est le premier maillon de la chaîne d'approvisionnement de pièces, il est généralement unique sur un site de production et peut être même pour plusieurs usines. Ainsi, le projet LAMPE² (L'Analyse Multiparamétrique des Procédés de Mélangeage et d'Extrusion des Elastomères) a été labélisé par le pôle de compétitivité ELASTOPOLE ainsi que par le pôle de compétitivité S2E2 en 2010 pour développer un système de surveillance pour la détection précoce des anomalies et l'aide au diagnostic des défauts des mélangeurs internes.

La surveillance des machines tournantes est basée principalement sur l'analyse vibratoire. L'objet de ce papier est de présenter un état de l'art des techniques et matériels de surveillance vibratoire des machines tournantes appliquées à un système industriel complexe : un mélangeur interne.

2 Stratégie de maintenance prédictive

La maintenance prédictive pour des machines tournantes à faible vitesse est un domaine qui n'a pas encore été exploré de façon approfondie et pour lequel les technologies et méthodologies existantes ne sont pas parfaitement adaptées. Concernant les machines tournantes ayant des vitesses élevées, le domaine de la maintenance prédictive est aujourd'hui relativement bien connu et bien défini. Les méthodes d'analyse sont même normalisées et parfaitement décrites dans la littérature [3]. Il existe dans le commerce des dispositifs pour contrôler et surveiller ces machines mais des limitations importantes interdisent leur utilisation pour certains types de machines. En effet, ces techniques sont valables pour des vitesses de rotation de quelques centaines à quelques milliers de tours par minutes mais les équipements tels que les mélangeurs ont des vitesses de rotation plus faibles.

3 Origine du projet LAMPE²

Une pré-étude [4] des besoins en maintenance prédictive sur plusieurs sites de production en France concernant les mélangeurs internes a permis de montrer qu'il n'existait pas de systèmes instrumentés sur ces équipements ni d'outils d'analyse permettant d'effectuer une surveillance permanente de ces équipements. La surveillance de ces équipements y est effectuée de manière périodique et n'est pas optimale en ce sens qu'elle ne permet pas de détecter des problèmes soudains et aux conséquences potentiellement graves qui se déclencheraient entre deux inspections. A partir de ce constat, un projet de surveillance en temps réel du procédé de mélangeage a été défini: le projet LAMPE². La surveillance passe par une caractérisation en temps réel ou en quasi-temps réel des états vibratoires de l'équipement, d'un état acoustique, de l'état thermique et des états de viscosité des matériaux à l'intérieur de l'équipement ainsi que dans les organes d'alimentation en matière première. L'originalité de ce projet est de combiner des informations issues de sources hétérogènes avec des fréquences différentes et d'en extraire de l'information utile sur la surveillance globale de l'équipement. L'architecture retenue est la suivante :

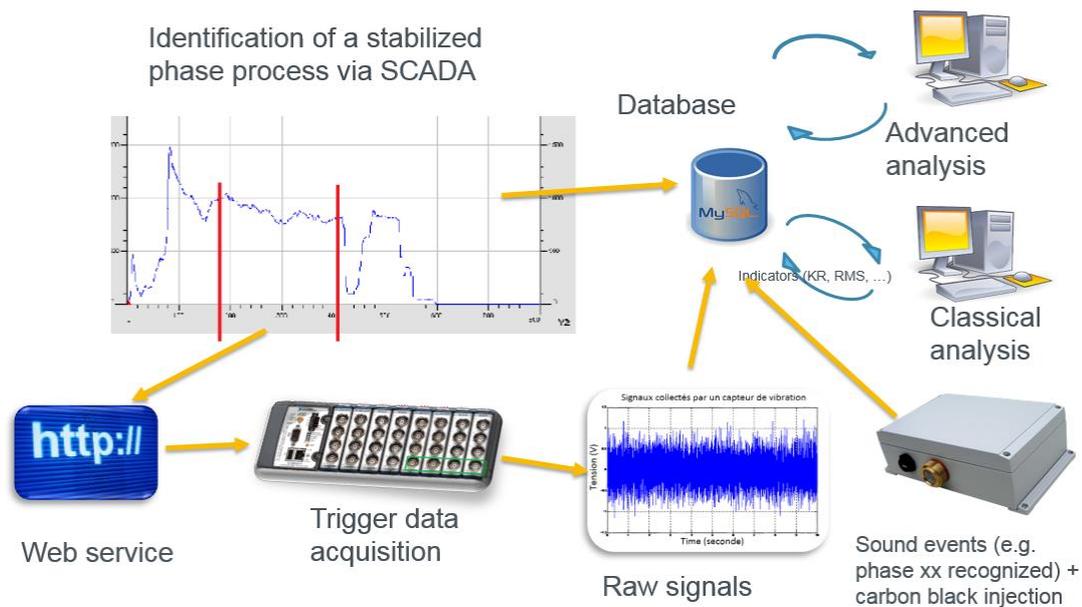


Figure 1 : Architecture du collecteur de données

4 Description du mélangeur interne

Cette section présente un exemple de mélangeur interne étudié. L'idée principale est de considérer le mélangeur interne en tant que système qui combine trois sous-ensembles : les matières premières transformées, une cinématique résultant d'un moteur et d'un réducteur ainsi que des paramètres internes. Certains de ces paramètres sont directement mesurables comme les vitesses de rotation ou les températures, mais d'autres ne sont pas accessibles en raison d'un environnement sévère, comme par exemple la viscosité de la matière à l'intérieur du mélangeur interne. Nous ne pouvons donc estimer ces paramètres que par la mesure des manifestations externes de ces grandeurs comme les vibrations induites par le mélangeage ou les caractéristiques sonores du bruit produit pendant le process.

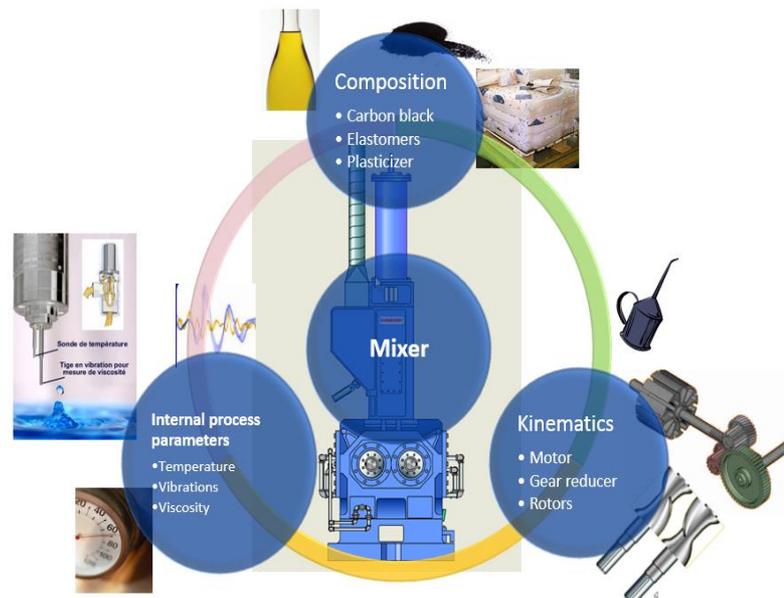


Figure 2 : Description du mélangeur interne

5 Stratégie développée

Le programme de maintenance comporte trois étapes cruciales :

- Acquisition des données
- Extraction des indicateurs
- Analyse et décision

Cette dernière étape est très importante dans le cadre d'une stratégie de maintenance prédictive.

Acquisition des données:

La difficulté dans ce projet provient de l'hétérogénéité des sources de données. Une partie des données provient d'automates de production, une partie de bases de données de matières premières, d'autres d'accéléromètres ou de systèmes d'enregistrement sonores. Il a donc été nécessaire de développer une plate-forme informatique assurant une communication bi-directionnelle avec l'ensemble des sources de données ainsi qu'une synchronisation de l'ensemble des signaux. Etant donné le nombre de capteurs installés, le système d'acquisition doit traiter environ 100MB de données toutes les 10 minutes ce qui est très important.

Extraction des indicateurs:

Le système installé doit permettre une surveillance du process et des machines à deux échelles de temps différentes. Premièrement, le système doit nous renseigner en quasi temps-réel sur une éventuelle avarie imminente de façon à stopper le fonctionnement du mélangeur. Deuxièmement, le système doit agréger l'ensemble des informations pour construire un modèle multivarié d'évolution temporelle de l'ensemble des paramètres pertinents pour la surveillance du mélangeur et du réducteur.

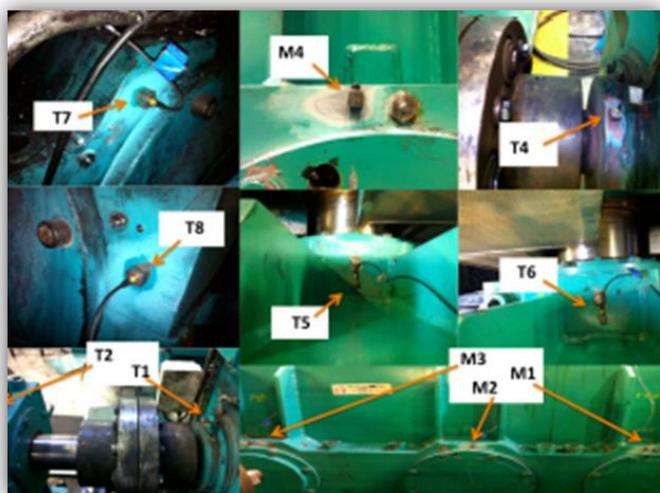


Figure 3 : Position des accéléromètres sur le réducteur



Figure 4 : Système de mesure acoustique

Pour répondre au premier objectif, les données vibratoires sont traitées par un programme de surveillance vibratoire « classique » qui va calculer pour chaque cycle de mélangeage des indicateurs

tels que le RMS, le Kurtosis ou le facteur crête et un système d'alarme est mis en place pour alerter les exploitants de la machine en cas de dépassement important (figure 5).

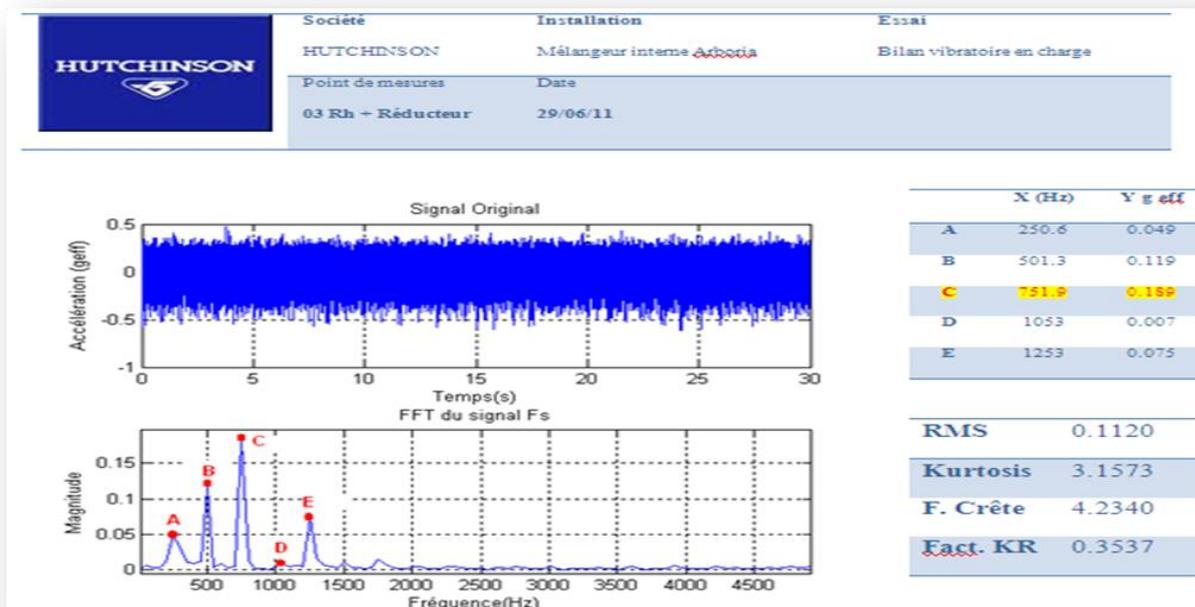


Figure 5 : Interface développée

Pour le second objectif, il s'agit de surveiller l'évolution conjointe de plusieurs indicateurs sur le long terme [5]. Il convient donc de transformer l'ensemble des informations issues des capteurs en vecteurs d'indicateurs qui pourront ensuite être concaténés en un seul « grand vecteur » caractéristique de l'ensemble du système pour un cycle de mélangeage donné. Plusieurs procédures traitent donc les données brutes (vibratoires, ou acoustiques) a posteriori et en temps masqué pour construire un vecteur d'état de fonctionnement de l'équipement. Ces informations sont archivées dans une base de données qui fournit ce vecteur à un système de diagnostic et de surveillance à chaque fin de cycle de mélangeage.

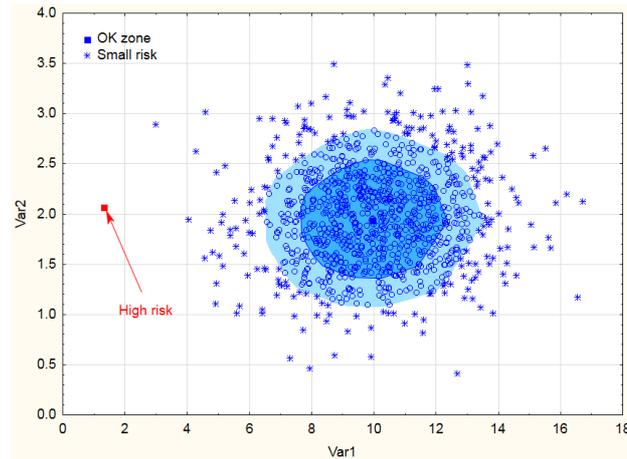
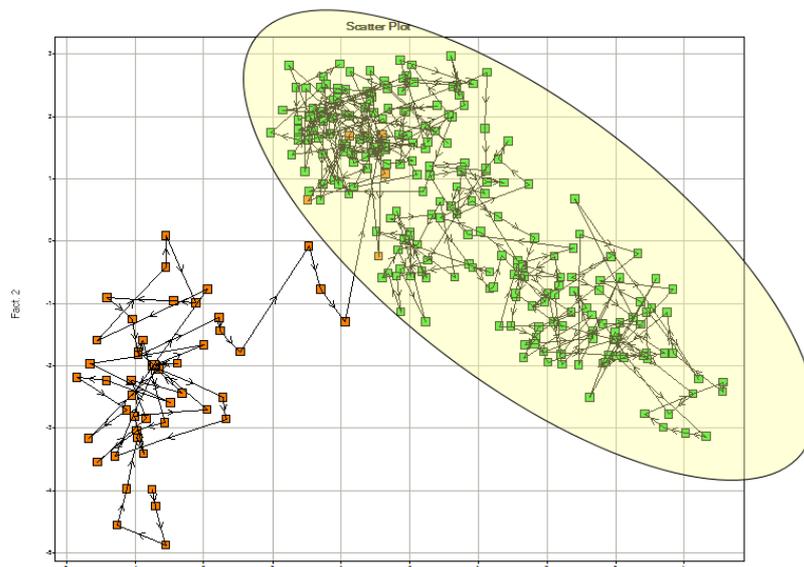
Analyse et décision :

Le système décisionnel en bout de chaîne a deux fonctions principales :

1) La première est de détecter des outliers [6] qui sont caractéristiques d'une évolution rapide et potentiellement anormale de l'état de fonctionnement de l'équipement (figure 6). Ceci est obtenu par des méthodes d'analyse multivariée (figure 7) ainsi que par des systèmes à base de règles [7].

Ces règles sont du type : Si valeur de l'indicateur 1 est comprise entre a et b et que la valeur de l'indicateur 3 est comprise entre c et d , et que la valeur de l'indicateur (figure 7) est supérieure, à e , alors on déclenche une alarme.

2) La seconde fonction du système décisionnel est d'identifier une tendance dans l'évolution multivariée de paramètres surveillés pour estimer le temps restant avant qu'une défaillance ne se produise ou simplement de réaliser une analyse fine de l'évolution du comportement du mélangeur. Pour cela, nous utilisons des méthodes d'analyse multivariée telle que l'analyse en composante principale (ACP) ou encore les supports vecteurs-machine (SVMs) [8].

**Figure 6 : Détection des outliers****Figure 7 : Définition des tendances**

6 Résultats et discussion

Le système a été mis en place fin 2014 et nous sommes actuellement en phase de construction des enveloppes multivariées caractérisant un fonctionnement « normal » du mélangeur. Cette phase est indispensable pour pouvoir ajuster les seuils de détection qui vont déclencher des alarmes.

La difficulté de ce type de projet est en effet de ne pas produire de fausses alarmes qui feraient intervenir les services de maintenance de façon inappropriée et qui auraient pour effet leur délaissement vis-à-vis d'un tel outil.

L'approche envisagée, et notamment l'identification de trajectoires permet de discriminer les dérives provenant d'une évolution des matières premières par exemple, des dérives liées à un vieillissement naturel de l'équipement. Il est important de noter que les ellipsoïdes caractéristiques de l'équipement évoluent dans le temps (du fait de l'usure mécanique du mélangeur) suivant une tendance identifiable et que le système décisionnel doit donc faire l'objet d'une adaptation régulière des seuils et des enveloppes.

L'utilisation d'un tel système de surveillance pour l'exploitation d'un mélangeur interne est facilitée par un système de visualisation ergonomique qui permet de cibler rapidement les causes potentielles de dérive. Pour cela, un outil d'aide à l'interprétation a été développé via une interface web et propose des visualisations court-terme ou long-terme des indicateurs ainsi que des comparaisons de périodes.

Remerciements

Les auteurs remercient l'Union Européenne (FEDER centre) et le conseil Régional du Centre pour leur soutien financier.

Références

- [1] Robert Nichol (2009) *Justifying Predictive Maintenance*, Technical paper, Azima DLI.
- [2] Yang Liu (2008) *Predictive modeling for intelligent maintenance in complex semiconductor manufacturing processes*, PhD Thesis, University of Michigan.
- [3] Andrew Jardin, Daming Lin et Dragan Banjevic (2006) *A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance*, Mechanical Systems and Signal Processing, 20(7), 1483-1510
- [4] Hutchinson (2008) Rapport interne : « Besoin de maintenance prédictive sur les mélangeurs ».
- [5] Rikard Laxhammar (2014) *Conformal Anomaly Detection - Detecting abnormal trajectories in surveillance applications*, PhD Thesis, University of Skövde, Sweden
- [6] Victoria J. Hodge et Jim Austin (2004) *A Survey of Outlier Detection Methodologies*, Artificial Intelligence review , 22(2), 85-126
- [7] Frank L. Greitzer et Thomas A. Ferryman (2001) *Predicting Remaining Life of Mechanical Systems*, Intelligent Ship Symposium IV, Philadelphia
- [8] Shaojiang Dong, Dihua Sun, Baoping Tang, Zhenyuan Gao, Wentao Yu, and Ming Xi (2014) *A Fault Diagnosis Method for Rotating Machinery Based on PCA and Morlet Kernel SVM*, Mathematical Problems in Engineering