



FR9603527

Biologie,
sciences de la terre
et protection
de l'environnement

METHODES DE SURVEILLANCE ACOUSTIQUE DES
DIESELS EN MILIEU REVERBERANT

*ACOUSTICAL MONITORING OF DIESEL ENGINES IN
REVERBERANT ENVIRONMENT*

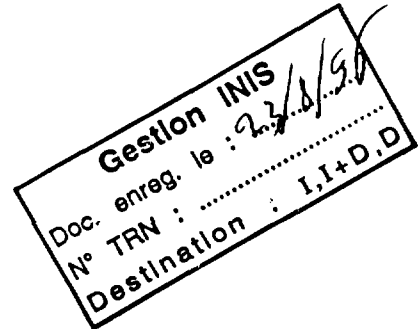
96NV00028

EDF

Direction des Etudes et Recherches

**Electricité
de France**

SERVICE ENSEMBLES DE PRODUCTION
Département Acoustique et Mécanique Vibratoire



Octobre 1995

MEIN M.

**METHODES DE SURVEILLANCE ACOUSTIQUE
DES DIESELS EN MILIEU REVERBERANT**

***ACOUSTICAL MONITORING OF DIESEL
ENGINES IN REVERBERANT ENVIRONMENT***

Pages : 12

96NV00028

Diffusion : J.-M. Lecœuvre
EDF-DER
Service IPN, Département SID
1, avenue du Général-de-Gaule
92141 Clamart Cedex

© Copyright EDF 1996

ISSN 1161-0573

SYNTHÈSE :

Le retour d'expérience des moteurs diesel équipant les groupes électrogènes de centrales nucléaires fait apparaître qu'un certain nombre de défaillances, affectant notamment les systèmes de distribution et d'injection, sont détectables de façon auditive par un personnel entraîné. L'objectif de l'étude est de déterminer la faisabilité d'une surveillance par microphones de ces diesels de secours, en s'attachant à prendre en compte l'environnement acoustique confiné de la machine.

Le cycle de fonctionnement d'un moteur diesel est ponctué d'événements transitoires à l'origine de fortes non-stationnarités dans le signal sonore. La détection d'un mode de défaillance affectant de tels transitoires nécessite donc la mise en œuvre de techniques de traitement de signal adaptées à ce type de signaux.

Dans un premier temps, l'analyse visuelle des phénomènes est donc envisagée à l'aide de représentations temps-fréquence et temps-échelle. L'extraction de paramètres caractéristiques destinée à la classification automatique des signatures acoustiques est ensuite envisagée à l'aide de méthodes paramétriques de modélisation. La dernière étape concernera la prise en compte de l'environnement acoustique du moteur en vue de l'évaluation de la robustesse des méthodes de détection à la réverbération du local.

EXECUTIVE SUMMARY :

The feed-back knowledge of emergency diesel generators in nuclear power plants shows that some malfunctions, mainly affecting fuel-injection or distribution system of the engine can be heard and detected by experienced maintenance agents. This study consists in the feasibility of acoustical monitoring of those diesel engines, taking into account the reverberant environment of the machine.

The operating cycle of the diesel is composed of transient events (injection, combustion, valve closure...) which generate highly non stationary acoustical signals. The detection of a malfunction appearing on such transients requires the use of adapted signal processing techniques.

Visual analysis of the phenomena is first proceeded using time-frequency and time-scale representations. The second step will be parametric modeling of acoustical signatures for the extraction of characteristic parameters, in order to characterize the fault and to use an automatic classification system. The last part of the study will concern the evaluation of the robustness of the detection methods in regard to acoustical reverberation.

SOMMAIRE:

1 - Introduction.....	4
2 - Contexte.....	4
2.1 - Système concernés.....	4
2.2 - Spécificité des signatures vibratoires et acoustiques.....	4
2.3 - Modes de défaillance considérés.....	5
3 - Signature des défauts.....	6
3.1 - Méthodes de surveillance vibratoires et acoustiques des diesels.....	6
3.2 - Méthodes pour l'identification et la caractérisation des défaillances.....	6
3.3 - Enregistrements et résultats préliminaires.....	8
4 - Comportement des méthodes de détection en milieu réverbérant.....	10
5 - Conclusion.....	11
Bibliographie.....	11

METHODES DE SURVEILLANCE ACOUSTIQUE DES DIESELS EN MILIEU REVERBERANT

M. MEIN^(*)

^(*)EDF Direction des Etudes et Recherches
1, avenue du général de Gaulle, 92141 Clamart Cedex

1. INTRODUCTION:

Les groupes électrogènes diesel équipant les centrales nucléaires françaises ont pour mission d'assurer l'alimentation en secours des auxiliaires de l'îlot nucléaire nécessaires pour amener une tranche à l'arrêt à froid, et ce en cas de perte totale des sources électriques et dans les conditions accidentelles les plus difficiles.

Les moteurs diesel équipant ces groupes sont des organes de sûreté qui, bien que fonctionnant très rarement, sont soumis à des contraintes mécaniques importantes dues aux critères draconiens imposés notamment en matière de temps de démarrage et de montée en puissance.

Le retour d'expérience des essais périodiques de ces groupes révèle qu'un certain nombre de défaillances de ces diesels peut être détecté de façon précoce par le bruit anormal rayonné.

L'objectif de l'étude est de déterminer la faisabilité d'une surveillance et d'un diagnostic précoce de ces défauts à partir de signaux microphoniques, cette surveillance étant destinée à compléter celle effectuée sur les signaux issus des capteurs classiques instrumentant la machine (pression, débit, niveau, température ..).

2. CONTEXTE

2.1 - Systèmes concernés:

L'étude concerne les moteurs diesel équipant les groupes électrogènes de centrales nucléaires.

Ces moteurs sont des diesels 4 temps de type 16 à 20 cylindres en V à injection directe, et sont suralimentés par turbocompresseur. Ils développent une puissance à l'accouplement de 3.2 à 8.1MW.

Ces moteurs ne sont sollicités que pour des essais périodiques de courte durée, mais leur disponibilité pour un fonctionnement en mode secours est assurée de façon permanente: suite à un constat de manque de tension sur les auxiliaires à secourir, le groupe doit démarrer et atteindre ses caractéristiques nominales en 10 secondes environ.

2.2 - Spécificité des signatures vibratoires et acoustiques

Le moteur diesel est une machine alternative; elle met en oeuvre des pièces en rotation (tels que le vilebrequin, les arbres à cames..) et des organes alternatifs animés de mouvements rectilignes (tels que les pistons, les soupapes...).

Les signaux vibratoires émis par de telles machines sont de ce fait complexes, et présentent une double structure:

- une structure de type périodique correspondant aux réponses du moteur à des excitations périodiques provenant des parties tournantes de la machine; les signaux vibratoires générés par cette composante due aux éléments en rotation sont du même type que les signaux stationnaires déterministes issus des machines tournantes
- une structure de type transitoire traduisant la réponse du moteur à des excitations de type impulsionnelles générées par les éléments alternatifs; la succession d'événements transitoires répétitifs dont ils sont à l'origine (injection, combustion, fermeture et ouverture de soupapes...) soumet la structure du moteur à des efforts intenses et brefs et engendre des vibrations fortement non-stationnaires.

Le signal vibratoire $x(t)$ peut donc être séparé en 3 composantes:

- une composante synchrone à la vitesse de rotation $x_S(t)$ composée des vibrations périodiques liés aux parties tournantes du moteur $x_P(t)$, et de la contribution déterministe générée par les organes alternatifs du moteur $x_{ALT1}(t)$.
- une composante asynchrone $x_A(t)$ constituée de la contribution aléatoire des organes alternatifs $x_{ALT2}(t)$
- une composante bruit blanc $b(t)$

$$x(t) = x_S(t) + x_A(t) + b(t) \quad (1)$$

$$\text{soit } x(t) = x_P(t) + x_{alt1}(t) + x_{alt2}(t) + b(t) \quad (2)$$

La spécificité du spectre vibratoire est donc dans la superposition de deux contributions: un spectre de raies constitué de composantes harmoniques de la vitesse de rotation et du cycle thermodynamique du moteur (1/2 de la vitesse de

rotation), et une émission large bande créée par les jeux et les chocs, avec émergence de fréquences discrètes correspondant aux modes de vibration du bloc moteur.

L'ambiance sonore dans le local abritant le groupe électrogène résulte d'un ensemble de sources élémentaires: outre le moteur lui-même, différents composants tels que l'alternateur, les systèmes auxiliaires - pompe de graissage, turbocompresseur de suralimentation...- participent à l'émission sonore globale.

Les contributions relatives de ces 'générateurs de bruit' et les conditions de propagation du bruit dans le local sont autant d'éléments à prendre en compte pour extraire du bruit ambiant la signature acoustique du moteur ou d'un mode de défaillance l'affectant.

En ce qui concerne le moteur, la multiplicité des sources de bruit, des modes de transfert de l'énergie vibratoire et de rayonnement acoustique font du diesel une source complexe de bruit.

Deux sources dominantes sont à considérer: le bruit dit 'de combustion' résultant des fortes variations de pression dans le cylindre (combinaison du mouvement alternatif du piston et de la combustion), et le bruit dit 'mécanique' dû au mouvement des parties mobiles et aux jeux existant entre elles (inversion des forces de frottement du piston sur le cylindre et chocs de basculement du piston au passage du point mort haut).

Des sources secondaires telles que le système de distribution, et les organes participant à la transmission de l'énergie dans la structure (distribution, paliers, attelage mobile, chemise, carter cylindre, culasse...) et à l'émission sonore par voie aérienne (culasse, cache-culbuteur, collecteurs, carter cylindre..) ou solidienne vont compléter ce mécanisme complexe de génération de bruit.

Le spectre sonore résultant a l'allure proposée figure 1:

- en basses fréquences, il est similaire au spectre vibratoire: on observe un spectre de raies espacées de la fréquence du cycle thermodynamique ayant pour excitation les premiers harmoniques des forces et couples d'inertie et d'explosion
- en moyenne fréquence, majorité de l'émission sonore avec un spectre large bande riche ayant pour origine les jeux et chocs entre pièces (attelage mobile, distribution) et émergence de pics correspondant aux harmoniques élevés de la fréquence de rotation et certains modes de structure

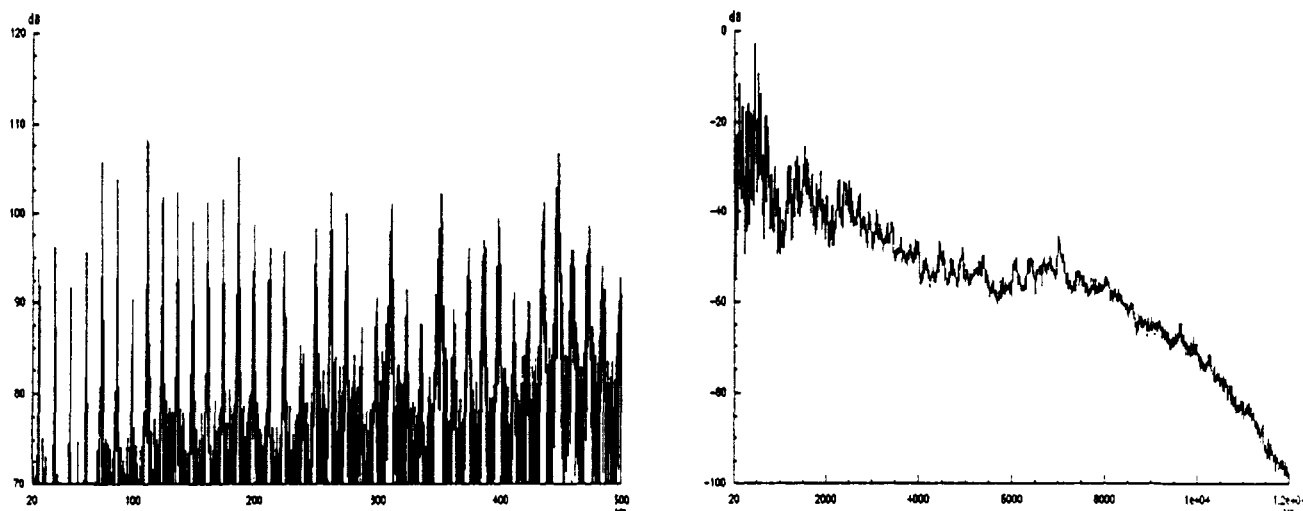


figure 1 : allure du spectre sonore moteur - niveau global: 113dB

2.3 - Modes de défaillance considérés

Le retour d'expérience des centrales nucléaires fournit une liste de modes de défaillances identifiables de façon auditive par les 'rondiers', et susceptibles d'être détectés par capteurs microphoniques.

Outre les défauts affectant des systèmes annexes, en particulier les dysfonctionnements de la pompe de graissage et des turbocompresseurs de suralimentation, ou les fuites aux collecteurs d'échappement, deux systèmes faisant partie intégrante du moteur sont ciblés par la surveillance acoustique:

- la distribution, avec la culbuterie et les soupapes: perte d'étanchéité aux soupapes ou dérèglement des jeux aux culbuteurs peuvent par exemple entraîner une détérioration du dispositif de distribution.
- l'injection, avec les injecteurs et les pompes individuelles d'injection: leur dérèglement, usure ou obstruction peut entraîner une insuffisance de la quantité de fuel injectée.

Les modes de défaillance affectant ces systèmes d'injection ou de distribution modifient les transitoires répétitifs ponctuant le cycle moteur, et en particulier ceux liés aux événements tels que combustion, injection, ouvertures et fermetures de soupapes.

3. SIGNATURE DES DEFAUTS

3.1 - Méthodes de surveillances vibratoires et acoustiques des diesels

La surveillance vibratoire se place en première ligne parmi les techniques couramment utilisées dans les programmes de maintenance d'équipements industriels. La démarche suivie consiste, dans un premier temps à isoler et extraire des paramètres mesurés l'information relative à l'état mécanique de la machine. Le choix pertinent de méthodes d'analyse des signaux vibratoires pour cette extraction conditionne donc la précocité et la finesse de la détection.

Une grande expérience a été acquise notamment en ce qui concerne la surveillance de machines tournantes, avec l'utilisation de l'analyse de Fourier, particulièrement adaptée à l'étude des signaux à caractère fondamentalement harmonique [1]. Ce type d'analyse est utilisée actuellement de façon courante pour la détection de défauts présentant une signature spectrale nette (de type balourd massique, délignage d'arbre...), et peut mener, dans le cas du moteur diesel, à la détection des dysfonctionnements de la ligne d'arbre (vilebrequin). Elle se révèle cependant inadaptée pour le suivi des composantes transitoires ponctuant le cycle du moteur diesel.

Pour la surveillance vibratoire des organes alternatifs et le suivi des événements transitoires qu'ils génèrent, des techniques complémentaires de surveillance vibratoire existent: analyse cyclique pour le suivi dans le temps de l'énergie dans des bandes de fréquences critiques [2], analyse de la variance pour la détection d'impacts répétitifs [3], représentations temps-fréquence ou temps-échelle pour l'identification de défauts modifiant des transitoires [4,5].

Plus récemment, une étude combinant des méthodes de traitement de signal permettant l'extraction de paramètres (à partir d'images temps-fréquence ou de modélisation paramétrique du signal vibratoire) et de classification par reconnaissance des formes a conduit à l'élaboration d'un outil de surveillance et de diagnostic automatique pour la détection de fuites aux soupapes de moteurs diesels, et ce indépendamment des conditions de charge et de vitesse [6].

En ce qui concerne la surveillance acoustique, les références sont peu nombreuses du fait de l'accroissement de la complexité de la détection dû à l'environnement sonore du moteur, souvent riche en milieu industriel.

Outre la détection de fuite aux collecteurs d'échappement par suivi de l'énergie haute fréquence du signal sonore [7], le dérèglement des culbuteurs a également donné lieu à des investigations: une étude utilisant également la reconnaissance des formes (algorithme de discrimination floue) assure le suivi automatique de l'état du moteur - jeu nominal / jeu défaillant [8].

L'analyse des signaux acoustiques et l'extraction de paramètres représentatifs de la défaillance est envisagée avec des méthodes de traitement de signal similaires à celles utilisées en surveillance vibratoire.

3.2 - Méthodes pour l'identification et la caractérisation des défaillances [9]:

L'objet de ce paragraphe est dans un premier temps de présenter les méthodes de traitement de signal adaptées à la description des signaux acoustique émis par les diesels; ces techniques seront destinées à l'étude de l'effet des défaillances sur la signature acoustique du moteur, et permettront d'envisager un diagnostic visuel de ces défaillances.

Certaines méthodes classiques telles que le moyennage synchrone, effectuant la séparation des composantes synchrones et asynchrones du signal, et l'analyse de la variance, adaptée à la détection d'événements impulsifs répétitifs peuvent s'avérer adaptées dans des cas précis (par exemple pour la détection de chocs de soupape dus à un dérèglement de jeu au culbuteur).

Le calcul de variance s'effectue comme suit:

$$\sigma^2(t) = \sum_{\text{par cycle}} (x(t) - x_s(t))^2 \text{ avec } x_s(t) \text{ signal moyenné synchrone: } x_s(t) = \sum_{\text{par cycle}} x(t) \quad (3)$$

Les représentations temps-fréquence et temps-échelle proposent une analyse évolutive des composantes spectrales du signal. Elles sont donc adaptées à l'étude de signaux présentant des non-stationnarités, et fourniront des outils privilégiés pour une identification des défauts.

Ce type d'analyse évolutive peut être abordée de deux manières différentes.

La première s'appuie sur la notion de décomposition atomique du signal (décomposition de Gabor).

L'idée est de considérer le signal comme une superposition linéaire de signaux élémentaires. On construit pour cela une base de projection d'atomes bien localisés en temps et en fréquence, et se déduisant d'une 'brique de base' élémentaire par un groupe de transformations. Chaque coefficient résultant de cette projection mesure l'énergie d'interaction entre le signal et la base de projection.

Le choix de ces transformations, simple translation ou translation et dilatation dans le plan temps-fréquence, mène à deux types de décompositions: décomposition temps-fréquence et temps-échelle.

La représentation temps-fréquence revient à effectuer un échantillonnage conjoint en temps et fréquence, associé à un pavage rectangulaire du plan. Le principal représentant de cette famille est la transformée de Fourier court terme

(TFCT), qui effectue à intervalle de temps réguliers une analyse locale du signal $x(t)$ en prenant la transformée de Fourier du signal pondéré par une fenêtre d'observation $h(t)$.

$$TFCT(t, \nu) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(u) x(t+u) e^{-j2\pi\nu u} du \quad (4)$$

Il s'agit d'une analyse de Fourier glissante, faisant implicitement l'hypothèse de stationnarité par morceaux du signal. Ses inconvénients sont d'une part l'existence d'un biais dans la localisation temps-fréquence, et d'autre part l'antagonisme de ses résolutions temporelles et fréquentielles, qui impose d'effectuer un compromis contrôlé par le choix de la taille de la fenêtre d'observation. La représentation 3D associée (spectrogramme) est donc plutôt adaptée à l'étude de signaux à non-stationnarités lentes et ne présentant pas de motifs apparaissant de façon simultanée à basses et hautes fréquences. Elle reste cependant un outil privilégié pour une première approche de notre problème du fait de la simplicité de sa mise en oeuvre et de son interprétation.

Dans la même optique, si l'on construit la base de décomposition par translation et dilatation dans le temps d'une brique de base du plan, on obtient une famille de représentations temps-échelle. La décomposition en ondelettes fournit une analyse multirésolution à surtension constante ($\Delta\nu/\nu$ constante) correspondant à un pavage dyadique du plan temps-fréquence.

On décompose le signal $x(t)$ sur une base de fonctions $\Phi_{a,b}(t)$ construites par translation et dilatation dans le temps (respectivement facteurs b et a) d'une ondelette mère appelée 'ondelette analysante' $\Psi(t)$:

$$\Phi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \cdot \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (5)$$

Les coefficients de la décomposition s'obtiennent par calcul de la corrélation entre le signal $x(t)$ et les ondelettes $\Phi_{a,b}(t)$:

$$T_x(a, b) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot \Phi_{a,b}(t) dt \quad (6)$$

Le choix de l'ondelette analysante est flexible, et peut mener à une décomposition orthogonale (ondelettes de Daubechies) ou non (ondelettes de Morlet). La construction d'une base d'ondelettes orthogonales permet d'obtenir une décomposition inversible et de limiter la redondance d'information, gênante pour l'extraction de paramètres en vue d'une classification.

La deuxième approche s'appuie sur la notion de décomposition temps-fréquence de l'énergie du signal (décomposition de J.Ville); il s'agit dans ce cas de rechercher une grandeur mixte déployant l'énergie du signal sur les deux variables temps et fréquence. Le choix de cette distribution s'effectue en fonction de contraintes imposées a priori concernant des propriétés telles que la positivité, la conservation des supports temporels et fréquentiels, la compatibilité avec les opérateurs de traitement du signal, la distribution correcte de l'énergie dans le plan (propriétés marginales)...

Parmi les distributions proposées, la transformation de Wigner-Ville est celle qui apparaît comme satisfaisant le plus de contraintes de traitement de signal, et assure entre autre la localisation précise des événements en temps et en fréquence. Elle ne fait aucune hypothèse sur la stationnarité du signal, et associe au signal temporel $x(t)$ la fonction suivante:

$$TWV(t, \nu) = \int_{-\infty}^{+\infty} x\left(t + \frac{\tau}{2}\right) x^*\left(t - \frac{\tau}{2}\right) e^{-j2\pi\nu\tau} d\tau \quad (7)$$

Outre la non positivité interdisant l'interprétation locale de la distribution en terme d'énergie, la structure bilinéaire de cette transformation crée des termes d'interaction entre les différentes composantes fréquentielles du signal; elle est donc plus particulièrement adaptée à l'étude de transitoires à faible nombre de composantes.

On préférera pour l'étude de signaux complexes, la version lissée de Wigner-Ville (TWVL) ou Pseudo Wigner-Ville lissée, qui atténue ces interférences par lissage en temps (fenêtre $g(t)$) et en fréquence (fenêtre d'analyse $h(t)$).

La TWVL a pour expression:

$$TWVL(t, \nu) = \int_{-\infty}^{+\infty} |h(\tau)|^2 \left[\int_{-\infty}^{+\infty} g\left(t - u\right) x\left(u + \frac{\tau}{2}\right) x^*\left(u - \frac{\tau}{2}\right) du \right] e^{-j2\pi\nu\tau} d\tau \quad (8)$$

Le contrôle indépendant des résolutions en temps et en fréquence par la largeur des fenêtres $g(t)$ et $h(t)$ permet de gérer le compromis auquel est confronté cette transformation: compromis entre la finesse de la description des composantes individuelles et l'importance des structures interférentielles.

Ces représentations temps-fréquence ou temps-échelle fournissent une cartographie de l'évolution dans le temps des composantes spectrales, et constitueront un bon outil d'analyse visuel des phénomènes transitoires ponctuant le cycle moteur. Il faut rappeler que toutes sont soumises à une limite des résolutions conjointes en temps et en fréquence, limite fournie par l'inégalité de Gabor:

$$\Delta t \cdot \Delta \nu \geq \frac{1}{4\pi} \quad (9)$$

Autorisant la redondance d'information, les représentations décrites ci-dessus, mis à part les ondelettes orthogonales, sont cependant mal adaptées à l'extraction de paramètres caractéristiques.

Des méthodes paramétriques, s'attachant à limiter cette redondance, viendront en complément pour fournir une description plus adaptée à un diagnostic.

Les méthodes discrètes de modélisation paramétriques basées sur un nombre réduit de coefficients significatifs sont davantage destinés à des tâches de décision: la modélisation auto-régressive (AR) est la plus utilisée du fait de la simplicité de sa mise en oeuvre et de la bonne caractérisation qu'elle effectue des systèmes caractérisés par des pics dans le spectre de pression.

Le signal discret $x(n)$ est formalisé comme étant la sortie d'un filtre numérique d'ordre p excité par un bruit blanc $b(n)$:

$$x(n) = b(n) + \sum_{k=1}^p a_k \cdot x(n-k) \quad (10)$$

Différents algorithmes performants (Levinson, Morf..) permettent l'estimation des coefficients auto-régressifs a_k .

Dans le cas de l'étude de signaux non-stationnaires, trois approches sont possibles:

- approche glissante: une modélisation AR classique (à coefficients constants) est appliquée sur une fenêtre glissante de longueur fixe, sur laquelle on effectue l'hypothèse de stationnarité locale du signal.
- approche adaptative: prise en compte de la variable temps par ajustement à chaque instant des coefficients d'un modèle stationnaire (algorithmes récursifs)
- approche évolutive: le signal est considéré dans sa totalité, et les non-stationnarités sont incorporées dans les paramètres a_k ; ceux-ci sont rendus explicitement dépendants du temps par décomposition sur une base de fonctions du temps

Les paramètres fournis par ces modélisations permettent d'extraire les informations relatives à un changement d'état et effectuer une compression d'information intéressante en vue d'une classification.

3.3 - Enregistrements et résultats préliminaires:

La première phase de cette étude a pour but la compréhension des phénomènes physiques ponctuant le cycle moteur et la mise en évidence de l'effet de certains modes de défaillances sur la signature acoustique proche de la source défaillante.

A l'occasion d'essais ayant pour objet l'amélioration de l'efficacité de la surveillance des diesels équipant les tranches 900MW, des défaillances ont été introduites sur un moteur et ses auxiliaires.

Des enregistrements ont été effectués à cette occasion, notamment lorsqu'ont été introduites des défaillances concernant les systèmes d'injection et de distribution:

- détarage d'un injecteur, dérèglement de l'avance à l'injection, isolement d'une pompe à injection
- dérèglement des jeux aux culbuteurs de soupapes d'admission et d'échappement

Un tachymètre placé sur le vilebrequin détermine de façon précise le début de chaque cycle moteur, un cycle correspondant à 2 tours de rotation du moteur.

La figure 2 montre l'allure des signaux de pression acoustique mesurés à 30 cm au dessus d'un cache-culbuteur. Les signaux sont présentés sur 3 cycles moteur, le moteur fonctionnant à 1500trs/min (soit 80ms par cycle).

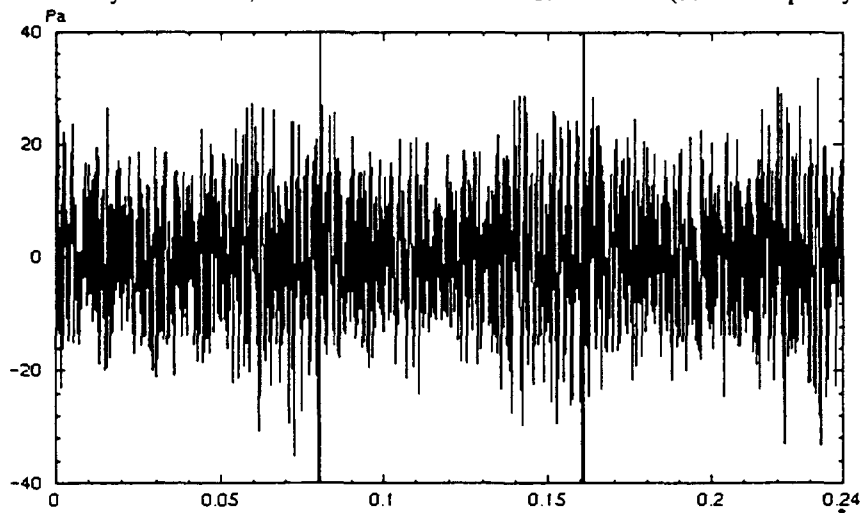


Figure 2: allure de la pression acoustique sur 3 cycles moteur

Différentes techniques de traitement de signal sont mises en oeuvre pour caractériser l'effet de ces défaillances et envisager l'extraction de paramètres caractéristiques des dégradations.

Dans un premier temps sont testées des méthodes destinées à la visualisation des défaillances, et en particulier les représentation temps-fréquence des signaux (Transformée de court terme et de Wigner Ville lissée) et temps-échelle (Transformée en ondelettes) décrites précédemment: il s'agit d'identifier les dégradations des motifs traduisant les événements transitoires tels que combustions, ouverture et fermeture de soupapes.

Ces représentations, combinées ou non avec le moyennage synchrone des signaux sur plusieurs cycles, permettront de visualiser les différentes contributions sur le signal de l'effet de la défaillance.

Des résultats préliminaires présentent figure 3 à 5 l'influence du dérèglement du jeu à un culbuteur d'admission (jeu excessif) sur le signal acoustique enregistré à 30cm au dessus du cache-culbuteur concerné.

A gauche est présenté le signal enregistré en régime nominal, à droite en régime défaillant.

Les figures 3, 4 et 5 présentent respectivement le signal temporel moyenné sur 100 cycles, puis le signal de variance sur un cycle et la Transformée de Wigner-Ville Lissée calculée sur le signal moyenné.

Ces deux dernières figures fournissent une visualisation de l'effet de la défaillance respectivement sur le signal asynchrone et synchrone

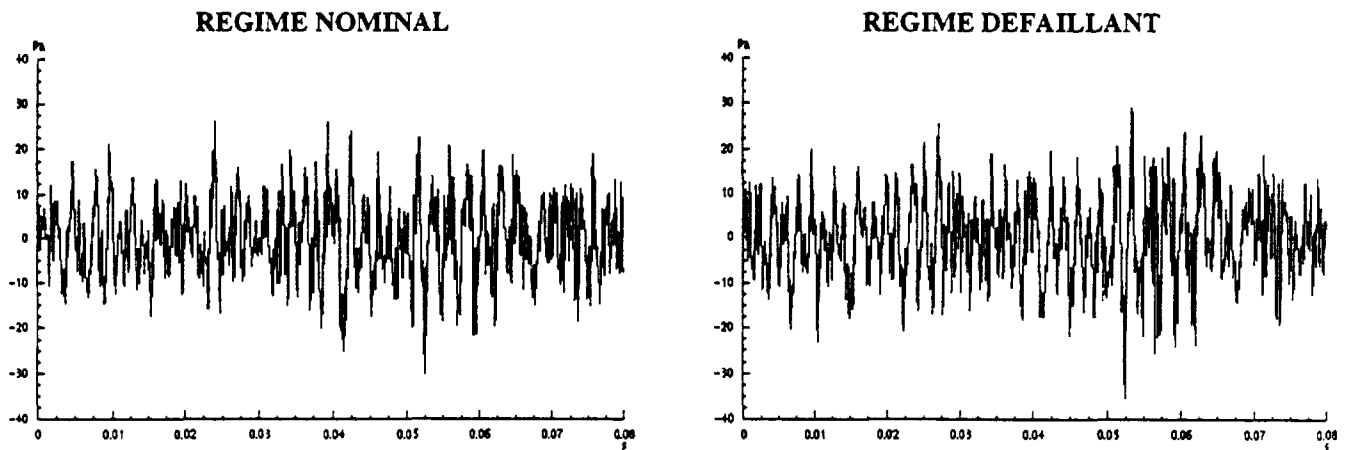


figure 3: 1 cycle signal temporel moyenné sur 100 cycles

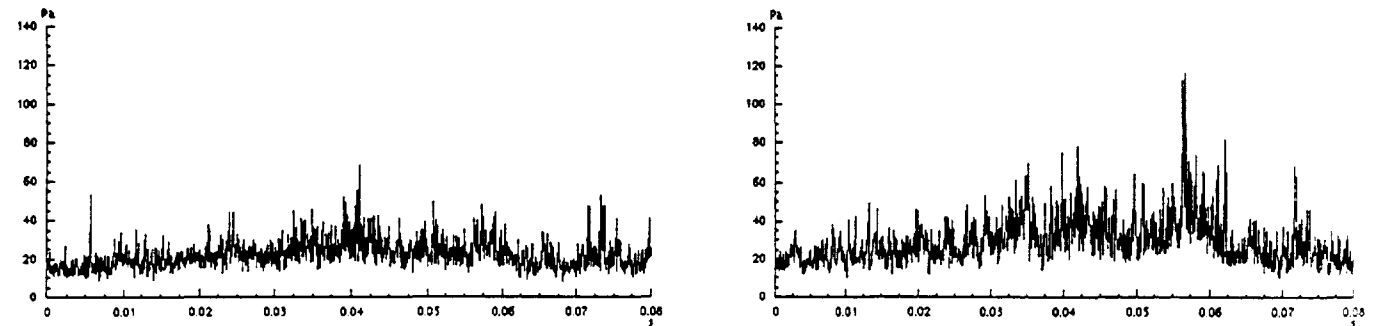


figure 4: 1 cycle variance

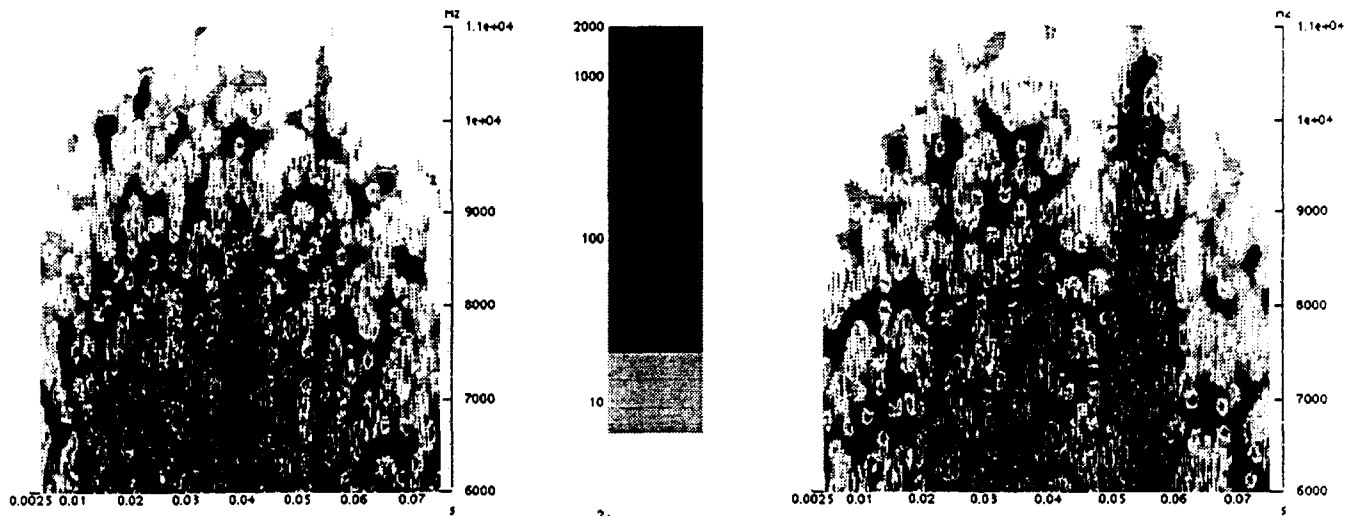


figure 5: 1 cycle Transformée de Pseudo Wigner-Ville Lissée du signal moyenné

4. COMPORTEMENT DES METHODES DE DETECTION EN MILIEU REVERBERANT

Afin d'évaluer la robustesse des méthodes de détection à l'environnement confiné du local, il est donc nécessaire d'inclure dans l'étude la modélisation de la salle.

Le signal sonore capté au niveau du micro M correspond à la superposition des contributions des différentes sources sonores situées dans le local. Ces contributions sont générées par le moteur ainsi que par d'autres sources de bruit telles que l'alternateur, les auxiliaires tels que pompe à huile, les turbocompresseurs de suralimentation...

Chacune de ces sources génère de l'énergie dont la propagation se fait selon trois chemins:

- rayonnement direct de l'énergie acoustique depuis la source
- rayonnement indirect par transmission de l'énergie vibro-acoustique dans la structure puis rayonnement par cette structure
- rayonnement indirect par réflexions sur les parois du local

La pression totale au niveau du récepteur (noté M) peut donc se décomposer de la façon suivante:

$$p(M) = \sum_{Sources} contribution(source_i) = \sum_{sources} (p_{1, source} + p_{2, source} + p_{3, source}) \quad (11)$$

Les chemins de propagations, notés respectivement P1, P2 et P3, sont représentés sur la figure 6, en prenant le cylindre B3 comme exemple de source sonore.

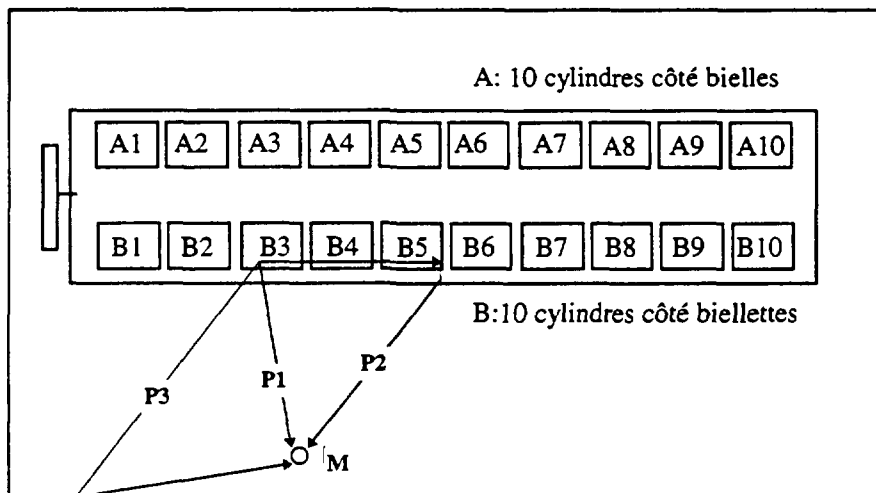


figure 6: propagation de l'énergie acoustique entre une source et le récepteur M

Les défauts concernés modifient la nature d'excitations dues aux systèmes d'injection et de distribution, excitations générant de l'énergie vibro-acoustique rayonnée principalement par la culasse.

En ce qui concerne la source défaillante, on prendra donc pour $p_{1,source}$ la contribution apportée par le rayonnement de la culasse, pour $p_{2,source}$ la contribution apportée par l'ensemble des autres surfaces rayonnantes du moteur, et pour $p_{3,source}$ celle des surfaces du local.

Dans une première phase, on cherche à modéliser l'influence du défaut sur le signal acoustique proche de la source défaillante; on dispose pour cela des enregistrements et des méthodes de traitement de signal décrits dans le paragraphe précédent.

Considérant que toutes les autres sources de bruit restent invariantes (bruit des autres cylindres, des auxiliaires, bruit généré par la composante P2...), on déterminera la contribution des différentes composantes du signal global (en M) affectées par ce mode de défaillance. On effectuera pour cela des mesures de réponses impulsionnelles entre la source et le récepteur, et l'évaluation de fonctions de transfert entre différents points de la structure, qui permettra de confirmer que la structure du moteur filtre de façon importante ce type d'excitations.

L'influence de la défaillance sera alors introduite dans le signal $p(M)$ modélisé.

L'influence de la salle sera enfin introduite par convolution de réponses impulsionnelles entre les sources et le récepteur.

La simulation de telles réponses permettra de tester la robustesse des méthodes de détection au positionnement du capteur dans la salle et l'optimisation de celui-ci.

5. CONCLUSION:

Cette étude concerne la faisabilité d'une surveillance acoustique de moteurs diesel.

Les événements transitoires ponctuant le cycle du moteur sont à l'origine de la forte non-stationnarités des signaux vibratoires et acoustiques générés; leur analyse et la détection d'un défaut affectant de tels signaux nécessite donc l'utilisation de méthodes de traitement de signal adaptées. L'analyse de la signature acoustique en champ proche de différents défauts (injection, distribution) est donc effectuée à l'aide de représentations temps-fréquences du type Transformée de Fourier Court Terme ou transformée de Wigner-Ville Lissée; leur caractérisation en vue d'extraire des paramètres caractéristiques est envisagée à l'aide de méthodes de modélisation paramétrique de type Auto-Régressive adaptée au cas non-stationnaire.

De plus, les locaux abritant les groupes électrogènes sont fortement réverbérants; la prise en compte de l'environnement acoustique par modélisation de réponses impulsionnelles permettra de tester la robustesse en environnement confiné des méthodes de détection mises au point.

BIBLIOGRAPHIE:

- [1] MOREL J., "Vibration des machines et diagnostic de leur état mécanique", Eyrolles, 1992
- [2] COURRECH J., "Surveillance vibratoire de machines à mouvements alternatifs", Progrès récents des méthodes de surveillance acoustiques et vibratoires, Senlis 1992
- [3] BRAUN S., SETH B., " Analysis of repetitiv mechanism signatures ", Journal of sound and Vibration, 1980, n°70(4), p513-526
- [4] CHIOLLAZ M., FAVRE B., "Caractérisation fine de bruits moteur par l'analyse temps-fréquence de Wigner-Ville", Traitement du signal, 1991, vol 8, n°5
- [5] ARCHAMBAULT R., "Application of the use of time-frequency analysis for the detection of faults on diesel engines", Progrès récents des méthodes de surveillance acoustiques et vibratoires, Senlis 1992
- [6] BARDOU O., "Sur les méthodes de surveillance et de diagnostic vibratoire de machines alternatives", Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, 1994
- [7] GARCIN G., "Diagnostic d'organes mécaniques d'automobiles par l'analyse acoustique et vibratoire". Le traitement du signal en mécanique, Recueil de conférences Senlis, 7-8 mars 1990
- [8] BEREAU M., "Contribution de la théorie des sous-ensembles flous à la règle de discrimination des kPPV en mode supervisé ", Thèse de doctorat Université Technologique de Compiègne, 1986
- [9] FLANDRIN P., " Méthodes temps-fréquence", Traitement du signal, 1992, vol 9, suppl. au n°1
- [10] GRENIER Y., ABOUTAJDINE D., " Comparaison des représentations temps-fréquence de signaux présentant des discontinuités spectrales", annales des Télécommunications, 1983, tome 38, n°11-12