



DIRO
IFT 3205

TRAVAIL PRATIQUE

Analyse Spectrale

Max Mignotte

DIRO, Département d'Informatique et de Recherche Opérationnelle.

[http : // www.iro.umontreal.ca/~mignotte/ift3205](http://www.iro.umontreal.ca/~mignotte/ift3205)

e-mail : mignotte@iro.umontreal.ca

1 Introduction

Ce TP va nous permettre de nous familiariser avec les outils d'analyse spectrale vus en cours (i.e., périodogramme moyenné et technique de fenêtrage) et appliquer ces techniques à des problèmes d'études de mécaniques vibratoires, notamment celles liées à un moteur de voiture.

Les moteurs sont des sources de signaux acoustiques périodiques qui peuvent se prêter à une analyse harmonique comme ceux produits par les instruments de musique. La périodicité de ses bruits de moteurs est bien sur directement liée à la vitesse de rotation du moteur en question. Pour un cylindre il y a une explosion pour deux tours (deux tours correspondant à un cycle : aspiration, compression, explosion, détente et refoulement). En moyenne on a donc une demi-explosion par tour pour un cylindre, le moteur comportant quatre cylindres on a deux explosions par tour du moteur. Le premier grand pic spectral est donc celui de la fréquence des explosions dans le moteur, qui est le double de la fréquence de rotation du moteur (généralement exprimé en tours/min). Les autres pics sont des bruits dans le moteur dont certains (les plus grands) sont associés à d'éventuels problèmes mécaniques à examiner. Le sondage acoustique est donc devenu une technique moderne de détection/localisation de défauts (fissures par exemple) dans les pièces mécaniques.

Une application de l'analyse spectrale du bruit d'un moteur est donc utile comme outil de diagnostic de son usure et de détection des problèmes (jeux mécaniques, défauts dans les roulements à billes, engrenages usés ou endommagés, désalignement) avant que ne survienne une défaillance. En règle générale, l'augmentation du niveau vibratoire d'une machine tournante (pas seulement un moteur) est un signe de détérioration de la machine. Une machine fonctionnant bien a un spectre de vibration (signature) stable. Lorsque sa condition change, le spectre change, signalant par le fait même les composantes fréquentielles caractérisant le ou les défauts coupables. En effet, chaque composante du spectre de fréquences peut être reliée à une source de vibration spécifique dans la machine.

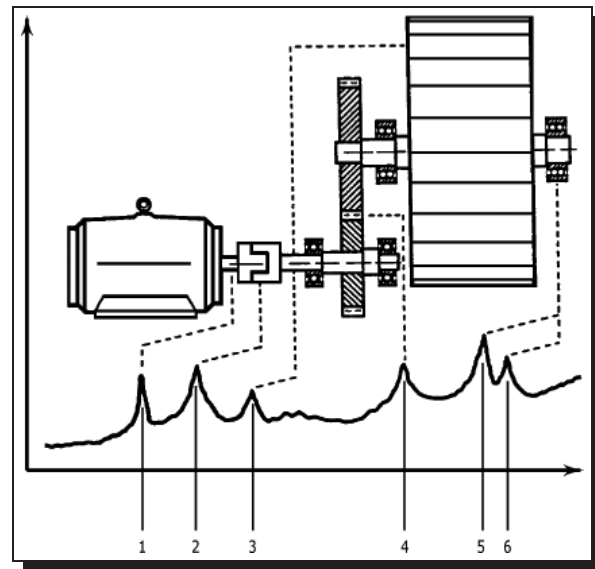


FIG. 1 – *Analyse harmonique (spectrale) : outil de diagnostic moderne pour les machines tournantes*

Comme deuxième application, il y a la réduction des bruits parasites dans les voitures qui est devenue un enjeu industriel très important. Les grandes firmes automobiles ont aussi développé des laboratoires d'études pour l'analyse des différents bruits produits dans une voiture afin ensuite de les réduire et ainsi respecter les normes de pollutions acoustiques liées aux grandes villes.

L'analyse harmonique des vibrations est même utilisée comme outils d'espionnage industriel. Par exemple, les écuries de formule 1 peuvent par ce moyen obtenir des renseignements sur les moteurs des différents concurrents comme leur nombre de tours/min, couple, le nombre et le type d'engrenages utilisés ou la présence de précieux réglages.

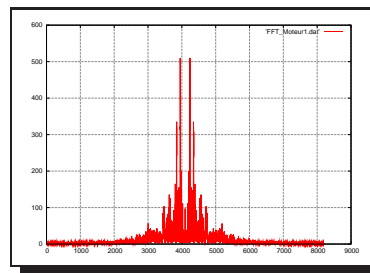


FIG. 2 – TF du bruit de moteur enregistré dans MOTEUR1.DAT

2 Analyse de Pics Spectraux

1. Estimation du Nombre de Tours/Minute

- Lire le fichier MOTEUR1.DAT et calculer une Transformée de Fourier (TF) de ce signal.
- En considérant ce qui a été dit plus haut, et en utilisant le taux d'échantillonnage donné lorsqu'on lit le fichier MOTEUR1.DAT, et en faisant une procédure algorithmique permettant de détecter le maximum de ce spectre, en déduire le nombre de tours par minute de ce moteur.

2. Estimation de Défauts

Déterminer la fréquence associée à un “clic” qui provient peut-être d'un problème mécanique à examiner.

3 Périodogramme Moyenné & Fenêtrage

On va supposer maintenant que vous vouliez estimer le spectre du moteur dont le son a été enregistré dans le fichier MOTEUR2.DAT et dans lequel il y a beaucoup de bruit.

- Lire le fichier MOTEUR2.DAT et calculer une TF de ce signal.
- Diviser le signal en sections de 512 échantillons se chevauchant de 50% et calculer périodogramme moyenné (i.e., calculer le spectre sur chacune de ces sections et moyenner le résultat obtenu).
- Calculer le périodogramme moyenné en pondérant (dans le domaine spatial) chacune des sections de 512 échantillons par une fenêtre de Hamming.

$$h(t) = \begin{cases} 0.54 - 0.46 \cos(2\pi \frac{t}{T}) & \text{si } t \in [0, T], \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases}$$

- Lire le fichier SPECTRE.DAT qui est un signal temporel bruité et répéter pour ce signal les opérations 1-3 précédentes. Conclure.

Remise & Rapport

Vous devez rendre électroniquement le rapport et le(s) programme(s) fait en C avant la date de remise spécifiée dans le fichier *barème* situé sur la page web du cours. Pour la remise électronique, utilisez le programme *remise* (*man remise* pour plus de détails) pour remettre votre code dans le répertoire TP<Numéro du Tp>. N'oubliez pas d'inscrire vos noms, courrier électronique en commentaire en haut du fichier .c remis. Les noms des programmes à remettre devront avoir le format suivant *Tp<Numéro du Tp>-IFT3205-<Numéro de la question>.c*. Les programmes devront se compiler et s'exécuter sur Linux tel qu'indiqué dans le barème.

Le rapport (si celui-ci est demandé dans le fichier barème) doit être concis, clair et devra contenir (en plus des éléments et des discussions que vous jugerez importants), la description brève du problème et de la technique utilisée (lorsque cela est nécessaire ou demandé), les réponses aux questions posées, les images/signaux résultats et les commentaires que l'on vous demande et que vous jugerez utiles.

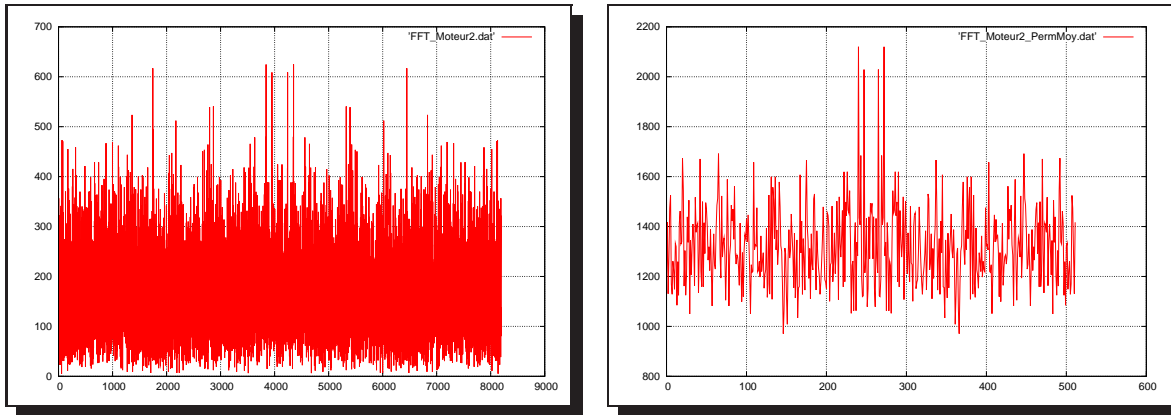


FIG. 3 – Spectre de MOTEUR2.DAT et spectre moyenné (périodogramme moyenné) obtenu

Logiciels Utilisés

Pour la conversion des signaux de parole ou de son (fichiers au format WAVE avec l'extension .wav) nous disposons sous Linux d'un logiciel libre qui permet d'enregistrer, de convertir ou d'éditer du son. Ce logiciel est le programme SOX.

- Pour convertir un fichier Wave dans un format texte plus simple (qui sera plus facile à enregistrer puis à traiter par votre programme C) contenant une colonne pour la variable temporelle (échantillonnée régulièrement) et une colonne pour l'amplitude du signal, il faut taper sur la console la commande suivante

```
sox fichier.wav fichier.dat
```

Le fichier au format WAVE convertit en un fichier TEXTE aura alors la forme montrée à la Fig. 4.

- Pour obtenir un fichier exploitable par nos programmes (visualisable par notre script VIEWSIG.SH et enregistrable dans un vecteur dans votre programme par la fonction LOADSIGNALDAT("FICHIER",&LENGTH), on enlève l'entête de ce fichier, i.e., les deux premières lignes dont la première indique le taux d'échantillonnage que l'on retiendra. Une fois enregistrée dans un vecteur dans votre programme par la fonction LOADSIGNALDAT("FICHIER",&LENGTH), et une fois traitée, puis enregistrée dans un fichier TEXTE par la fonction SAVEDSIGNALDAT("FICHIERTRAITÉ",VECTEURSIGNAL,LENGTH), on peut faire l'opération inverse, i.e., convertir ce fichier en un fichier au format WAVE en ajoutant une première ligne (à ce fichier) indiquant le taux d'échantillonnage (; SAMPLE RATE 8000 par exemple pour une période d'échantillonnage de $T = 1/8000$ seconde) et ensuite taper sur la console la commande suivante

```
sox fichier.dat fichier.wav
```

Si votre ordinateur a une carte son, il pourra ainsi lire facilement ce fichier son au format WAVE ainsi créé.

```
; Sample Rate 8000
; Channels 1
0 0.00012207031
0.000125 9.1552734e-05
0.00025 3.0517578e-05
0.000375 0.00024414063
0.0005 0.00048828125
0.000625 0.00048828125
0.00075 0.00033569336
0.000875 0.00030517578
0.001 0.00033569336
0.001125 0.00021362305
0.00125 3.0517578e-05
0.001375 -6.1035156e-05
0.0015 -0.00018310547
0.001625 -0.00030517578
0.00175 -0.0002746582
0.001875 -0.0002746582
0.002 -0.00018310547
0.002125 -3.0517578e-05
```

FIG. 4 – Fichier .WAV convertit par sox