



centrale**lille**



Analyse vibratoire des mécanismes de roulement au profit de la maintenance prédictive

Github : <https://github.com/k0raty/DPT>

Antony Davi, Charles Gavini,
Maria Nascimento et Marien Rossi





- 1. Introduction
- 2. Théorie
 - 1. Gestion du projet
 - 2. Le projet en action
- 3. Conclusion



I. Introduction



L'arrêt d'une machine = perte de capital

Maintenance prédictive

Surveillance constante

extraction de données

machines rotatives

Diagnostic et l'analyse de tendance aux défaillances



Marché chaud

- ResearchAndMarkets.com propose une étude du marché de la maintenance prédictive portant sur la période allant de 2021 à 2030, à un taux de croissance annuel moyen de 31 % pour atteindre 64,25 milliards de dollars d'ici 2030.

5 forces de Porter

Rivalité entre concurrents	Rivalité chauffée par les nouveaux entrants technologiques, mais pas de monopole.
Entrée de nouveaux concurrents	Risque élevé par le secteur technologique introduisant naturellement de nouveaux concurrents dans les branches d'innovation. Amélioration continue requise (ce qui implique un investissement constant).
Substitution de produits	La substitution de produits serait le raffinement de l'utilisation de l'intelligence artificielle pour des résultats de plus en plus concis.
Pouvoir de négociation des clients	Avec le nombre croissant de prestataires de services, le pouvoir de négociation du client augmente, et il est nécessaire de consolider le marché pour pouvoir ensuite faire de meilleures offres.
Pouvoir de négociation des fournisseurs	Les fournisseurs sont limités aux développeurs du code produit, et une main-d'œuvre spécialisée est nécessaire pour faire fonctionner le système (bons salaires).



- L'objectif principal était de :
 1. Proposer un système de détection automatique
 2. Comparer les différentes méthodes
 3. Rendre ergonomique le système
 4. Avoir une approche documenté

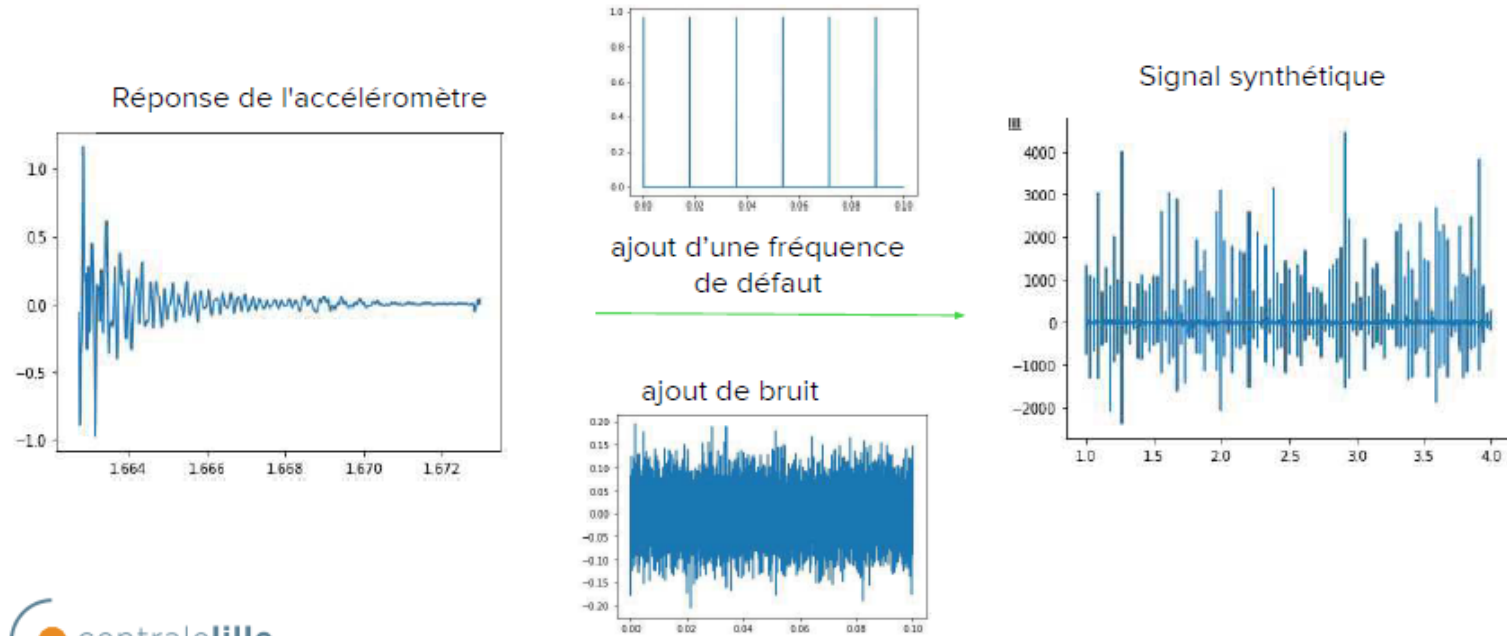
- Les objectifs secondaires :
 1. Relier la carte à distance
 2. Avoir un serveur pour stocker les données
 3. Etablir une approche prédictive



II. Théorie



Un signal parasité : L'objectif est avant tout de se débarrasser du bruit.



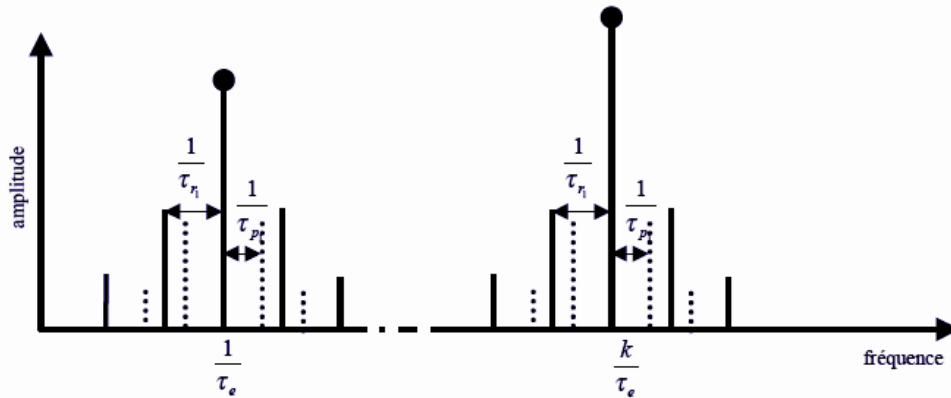
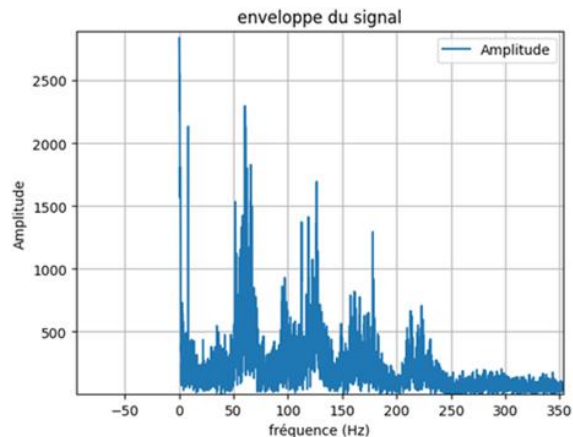


Figure 17: Spectre du signal vibratoire d'un engrenage

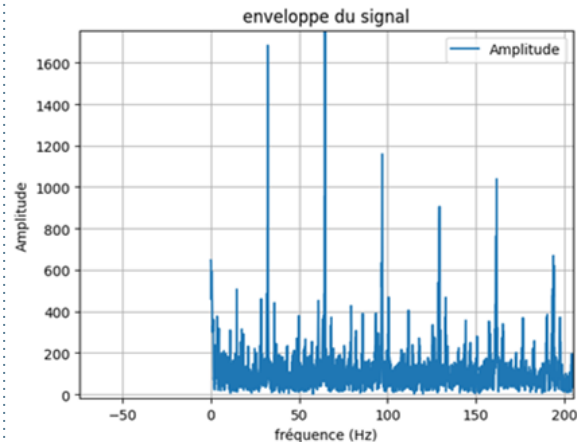
- Signal modulé en amplitude et en fréquence;
- Le spectre sera composé par une famille de raies de fréquence;
- Le signal d'engrènement est de type large bande.



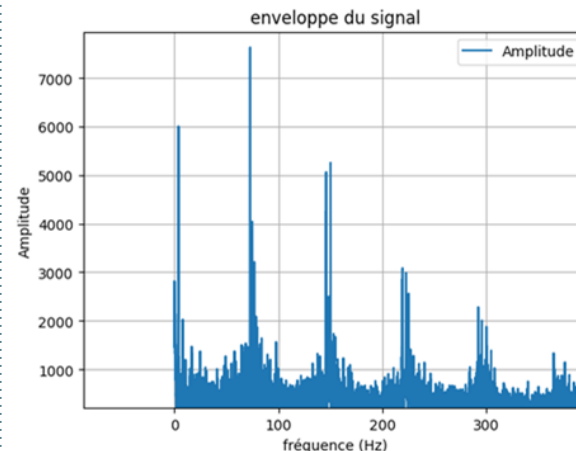
Sans défauts



Défaut de roulement



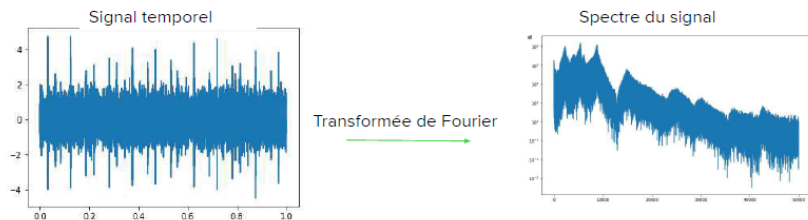
Bague extérieure endommagée



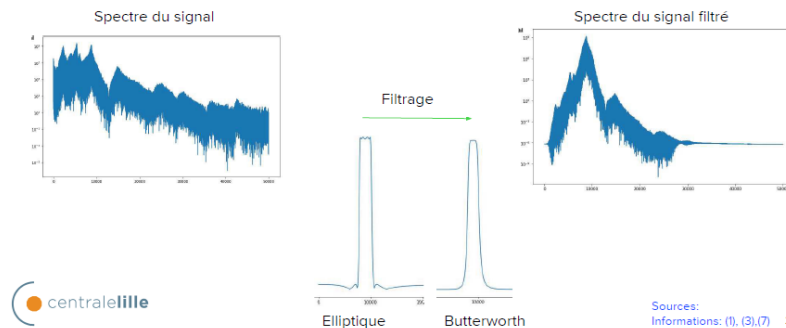


Le signal est parasité, on souhaite retrouver les fréquences non stationnaires. Elle s'organise en plusieurs étapes :

➤ Transformée de Fourier



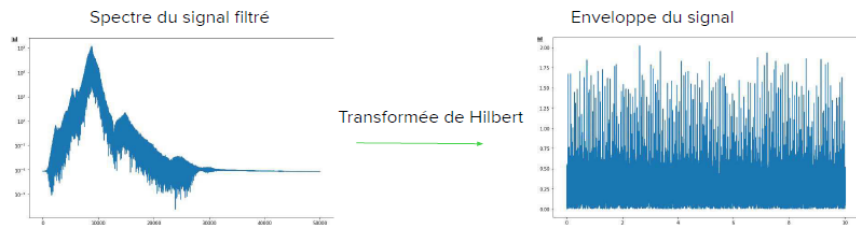
➤ Filtrage du signal



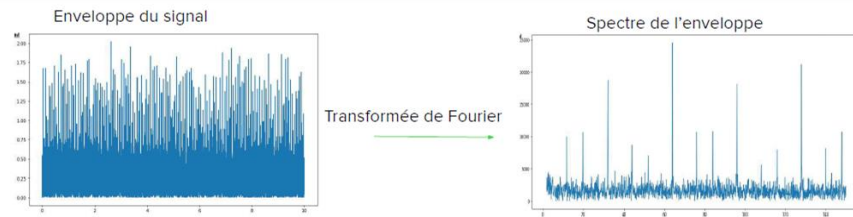


- Sans prétraitement du signal temporel , le spectre de l'enveloppe permet de repérer les défauts les **plus criants**.
- C'est une approche sûre pour la détection de défaut périodique[5].

➤ Transformée de Hilbert



➤ Filtrage de Fourier de l'enveloppe

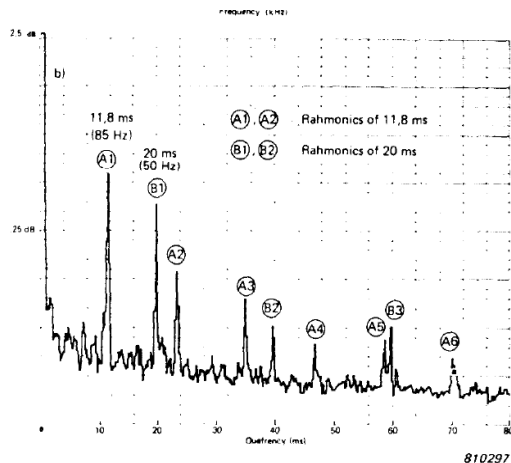
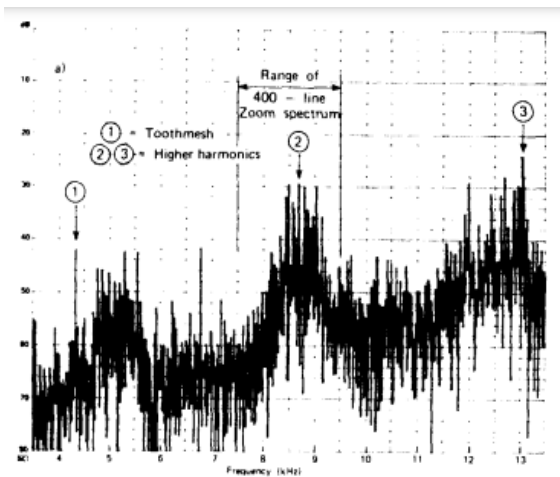


[5].K Belaid, A Miloudi, M Silmani. Utilisation du Kurtosis dans le diagnostic des défauts combinés d'engrenages par la transformée continue en ondelettes



Le cepstre a été introduit comme moyen de détecter les échos.

Unité : quéfrence



Robert B. Randall

- ❖ Amplitude pic du pignon : augmentation
- ❖ Amplitude pic de la roue : diminution
- ❖ Energie du signal du pignon : augmentation

➤ Observations :
fréquences d'amplitude élevée et périodiques

- Nous avons décidé d'effectuer la transformée en ondelette continue sur les plages de fréquences caractéristiques des défauts détectés .

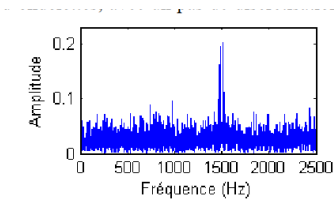


Figure 3. Le spectre du signal simulé

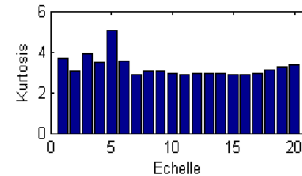


Figure 4. Le Kurtosis des coefficients (pas=1)

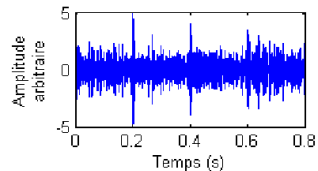


Figure 5. Les coefficients d'ondelettes à l'échelle 5

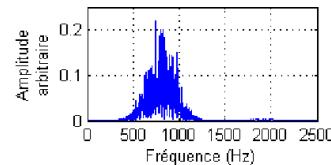
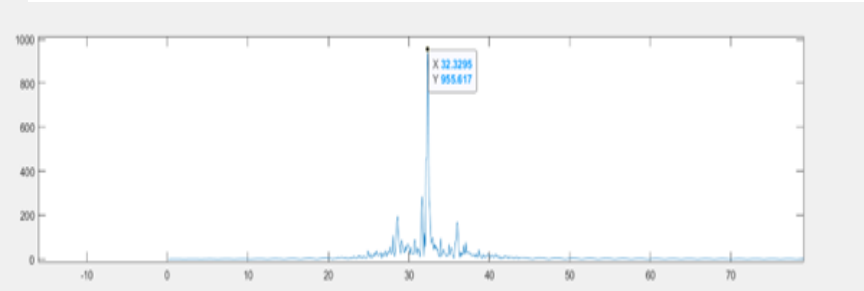
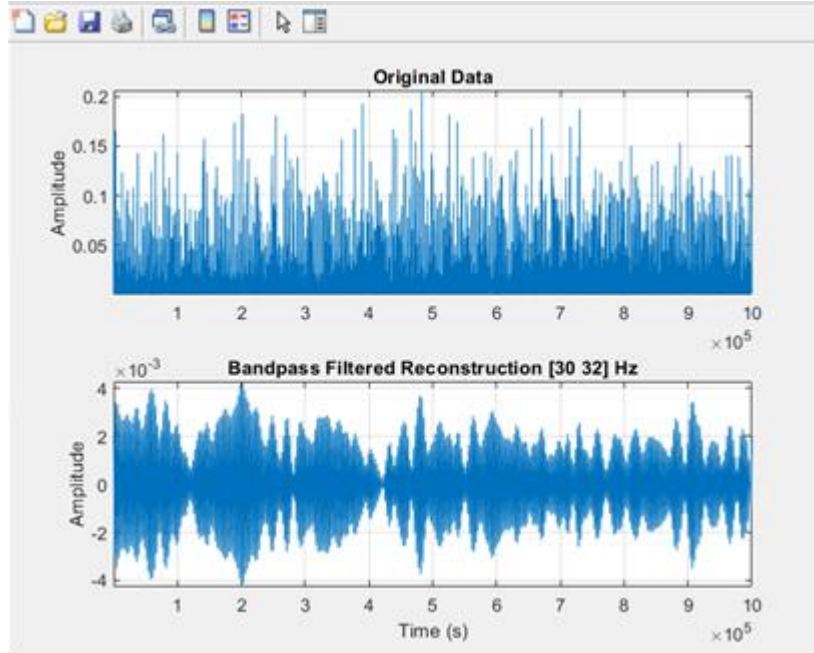


Figure 6. Le spectre des coefficients d'ondelettes à l'échelle 5

- Utilisation du kurtosis temporel et spectral pour la maintenance prédictive
- Détections de défaut inconnus

II.D Analyse temporelle des signaux par la méthode de l'ondelette 16

- La méthode à été développée de transformée en ondelette via matlab [7].
- Le principe étant d'effectuer la transformée en ondelette du signal temporel centrée sur une plage de fréquence définie puis d'effectuer la transformée inverse afin de reconstruire le signal.



Spectre focalisé sur un défaut

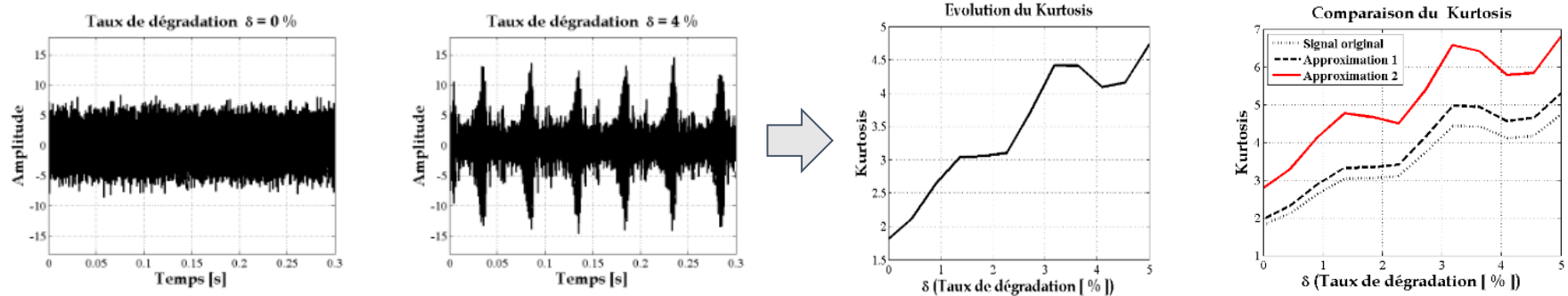


Figure 2: Signaux simulés bruités avec et sans défaut

Les défauts ont un caractère impulsif mis en évidence par la méthode de l'ondelette

Evolution du kurtosis dans le choix de l'ondelette [5]

[5] K Belaid, A Miloudi, M Silmani. Utilisation du Kurtosis dans le diagnostic des défauts combinés d'engrenages par la transformée continue en ondelettes

[6] : M. Merzoug, A. Miloudi. Amélioration de la sensibilité du Kurtosis en utilisant le débruitage par ondelettes

L'approche est à partir d'ici personnelle mais a montré ses preuve :

Il existe deux types de défauts [5]:

- Ceux à courbures laplaciennes.
- Ceux à courbure gaussienne.

Courbure d'une loi
normale

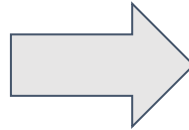
$$D/(\sqrt{2\pi} * \sigma^2)$$

Courbure d'une loi de laplace

$$\frac{D}{2 \times b^3 \times \frac{1+D^2}{4 \times b^4 \frac{3}{2}}}$$

Si un pic de fréquence est modélisable par une de ses courbes , on évalue la courbure par la formule suivante [11] :

$$\kappa = \frac{|f''(x)|}{\left(1 + [f'(x)]^2\right)^{\frac{3}{2}}}$$



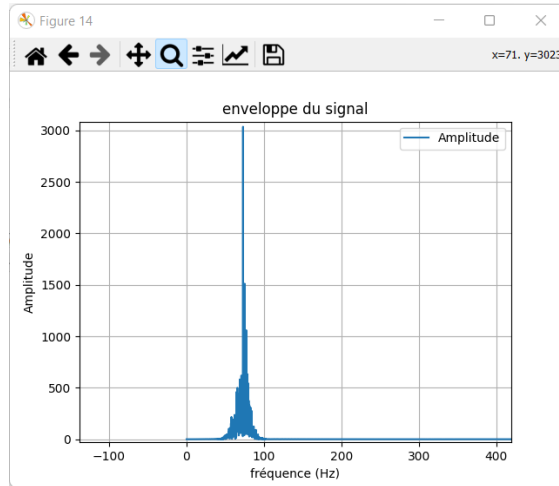
L'approche est empirique

- Si k dépasse(ou<) à un seuil limite imposé , le pic de fréquence analysé n'en est pas un.
- Ce seuil dépend de l'engrenage

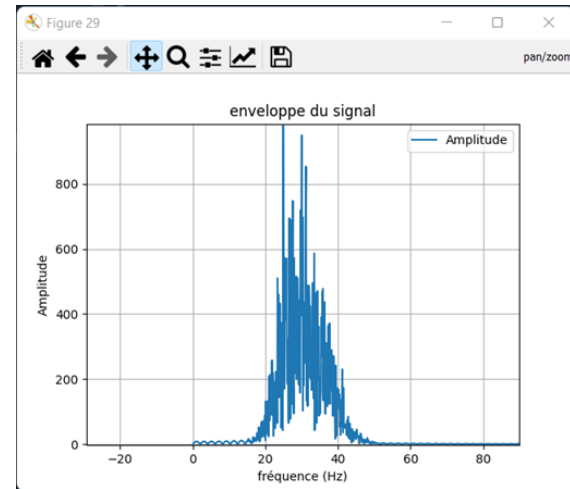
Deux différences majeurs :

- L'amplitude d'un défaut a tendance à être particulièrement élevée.
- La répartition des fréquences sur une petite plage autour de la fréquence caractéristique est très resserrée : c'est le kurtosis.

Défaut à 78H Hz

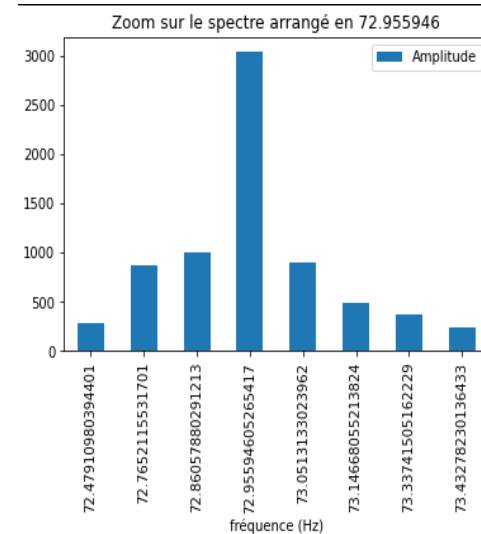
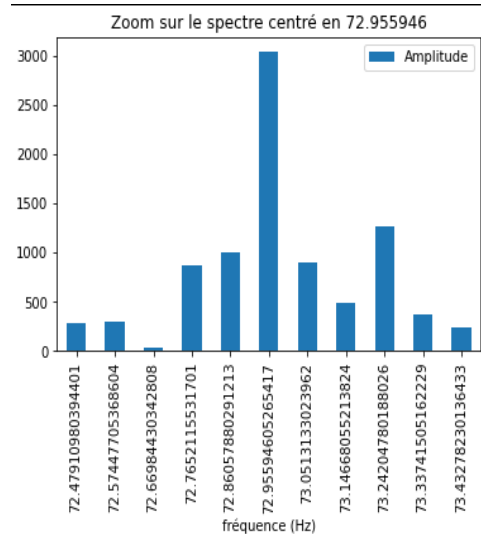


Pas de défauts

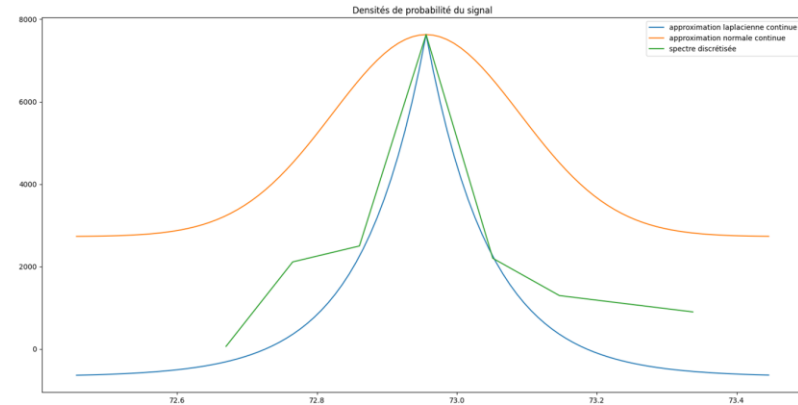
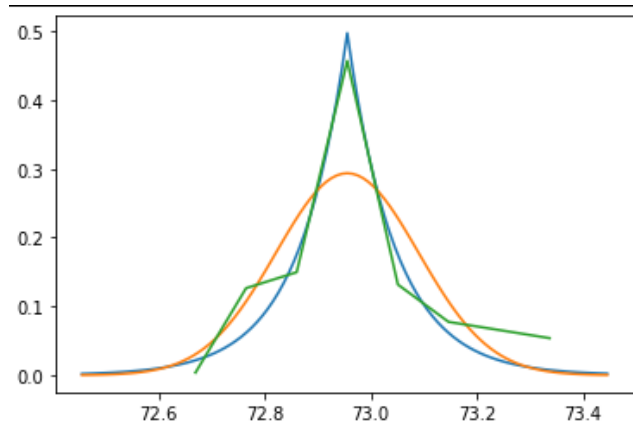


Il est possible alors d'approximer par une loi de Laplace , la répartition des points sur une plage d'un Hz autour de la fréquence évaluée.

- Zoom sur la fréquence de défaut sur une plage d'un Hz et élimination des fréquences de modulation pour approcher au mieux le signal.

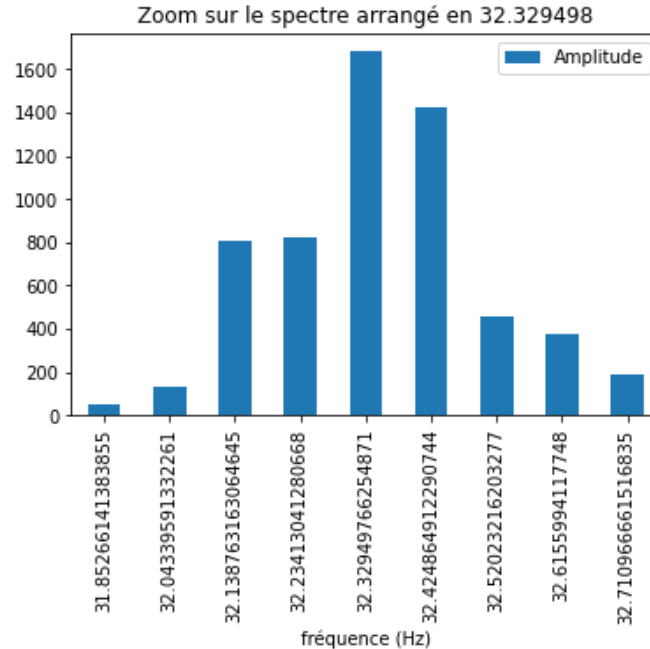


- Puis approximation par une loi de Laplace ou gaussienne: [13]

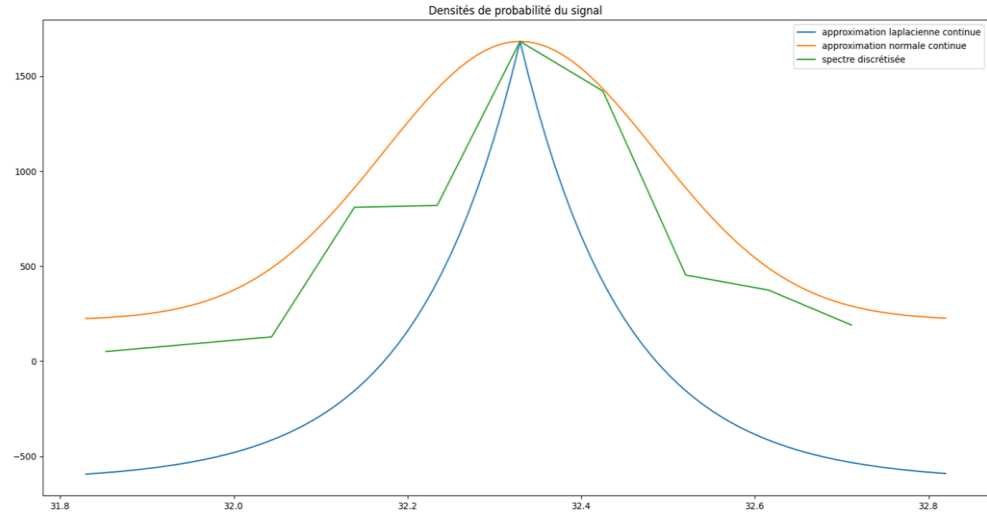
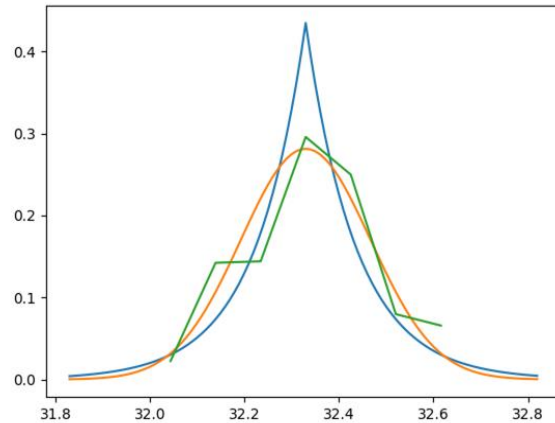


- Si les deux courbes sont trop éloignées, l'approximation est rejetée et l'algorithme essaie en prenant moins de fréquences alentour, si c'est toujours le cas l'hypothèse de défaut est rejetée.
- Lorsque l'approximation est possible, on évalue la courbure de la distribution, si la valeur seuil est dépassée : C'est un défaut.
- Sinon ça ne l'est pas.

- Pour un pic gaussien (défaut à 32 Hz):



- Pour un pic gaussien (défaut à 32 Hz):



- Le kappa retourné est de 18296.
- Les approximations identifient alors les fondamentales et harmoniques des défauts correctement.
- Comme indiqué, on conserve également la courbure de chaque défaut pour détecter leur aggravation.



Les difficultés générales ont principalement tourné autour des thèmes :

- Bibliothèques spécifiques à python (Pandas, nidaqmx, tkinter,...).
- Utilisation et manipulation des classes sur python.
- Matlab.
- Des outils comme GitHub, Trello, LaTeX.
- Connaissance acquise lien entre python et base SQL.

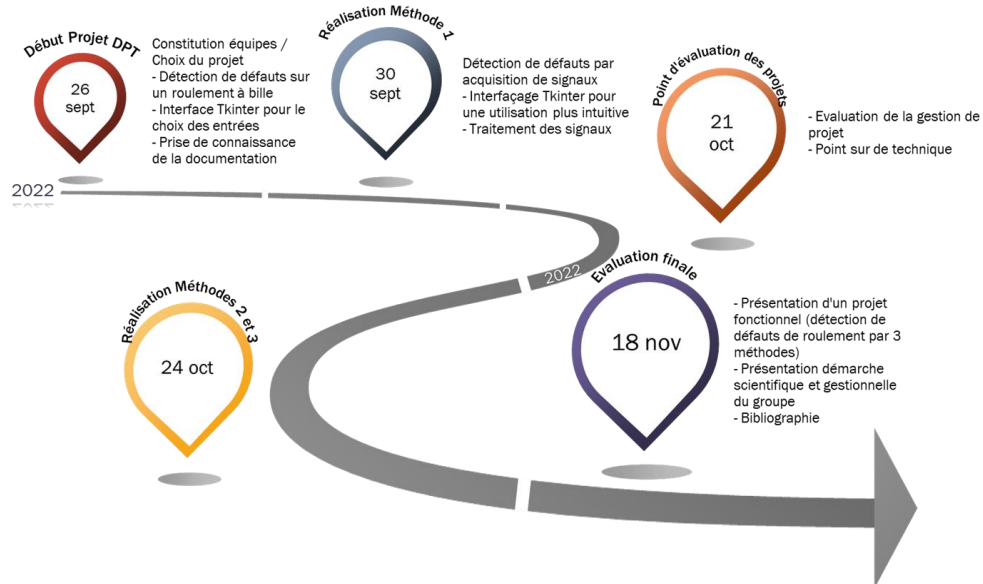


Les cheminement intellectuels relatifs au traitement du signal répondent à :

- Pourquoi passer par le cepstre pour lire les pics ? [10]
- Pourquoi effectuer l'ondelette et ne pas se baser uniquement sur le cepstre ? [5] et [6] (Annexe)
- Quand effectuer l'ondelette ? Le cepstre ?
- Pourquoi ne pas calculer directement sur l'enveloppe originale l'indice de courbure plutôt que de passer par l'ondelette ?
- Ondelette discrète ou continue ? [5] et [6] (Annexe)
- Pourquoi choisir un tel kurtosis plutôt qu'un autre ? (spectral / temporel) (Annexe)
- Pourquoi calculer le kappa plutôt que le kurtosis ?



III. Gestion de Projet



Date	Titre du jalon	Description ou activité
26/09/2022	Début Projet DPT	Constitution équipes / Choix du projet <ul style="list-style-type: none">- Détection de défauts sur un roulement à bille- Interface Tkinter pour le choix des entrées- Prise de connaissance de la documentation
30/09/2022	Réalisation Méthode 1	Détection de défauts par acquisition de signaux <ul style="list-style-type: none">- Interfaçage Tkinter pour une utilisation plus intuitive- Traitement des signaux
21/10/2022	Point d'évaluation des projets	<ul style="list-style-type: none">- Evaluation de la gestion de projet- Point sur de technique
24/10/2022	Réalisation Méthodes 2 et 3	
18/11/2022	Evaluation finale	<ul style="list-style-type: none">- Présentation d'un projet fonctionnel (détection de défauts de roulement par 3 méthodes)- Présentation démarche scientifique et gestionnelle du groupe- Bibliographie

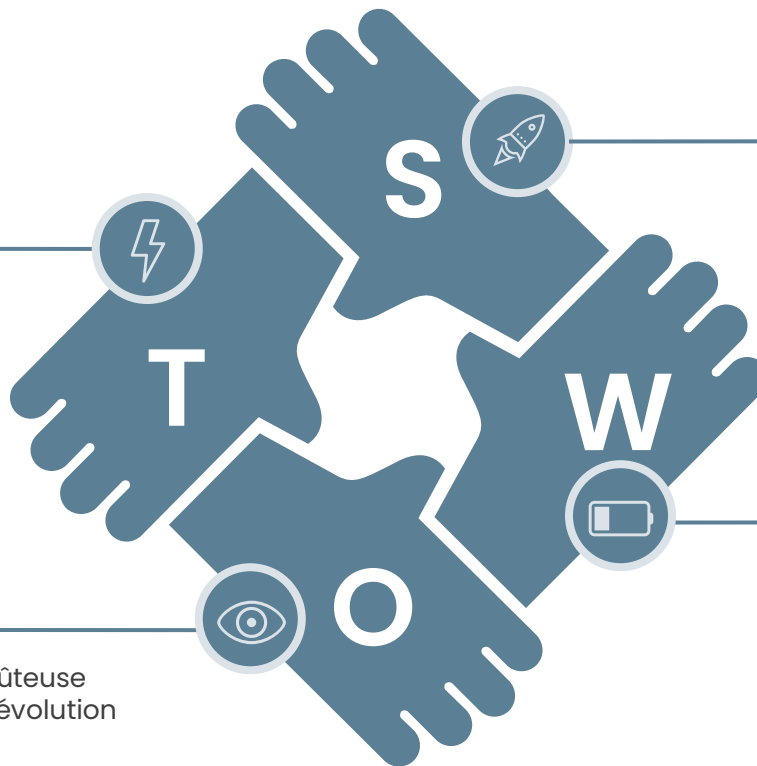


MENACES

- Concurrence directe et élargie
- Activité économique faible
- Apparition de nouveaux concurrents

OPPORTUNITES

- Proposition d'une solution peu coûteuse
- Contexte favorable (révolution industrielle)
- Marché à fort potentiel
- Proposer un produit intuitif

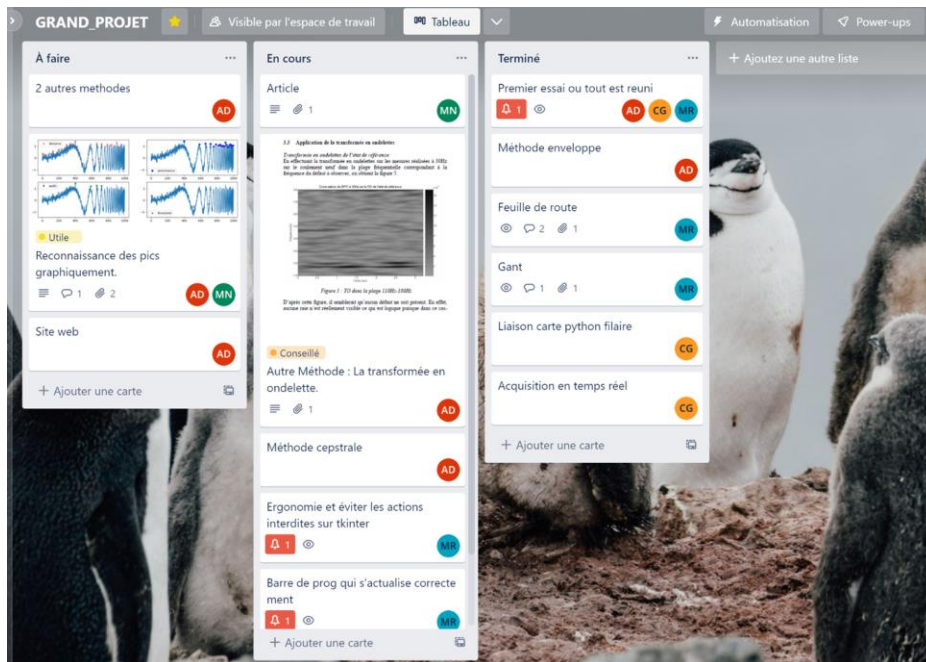


FORCES

- Compétences variées au sein du groupe
- Cohésion interne des membres
- Temps à disposition
- En lien avec des personnes qualifiées
- Accès à du matériel de qualité

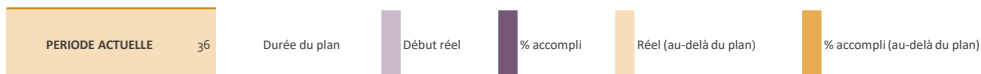
FAIBLESSES

- Faible capacité financière
- Séparation à venir des membres
- Nécessité de formation sur certains points



Trello - kanban framework:

- La répartition des tâches par étapes et par membres .
- La **transparence** dans l'avancement des livraisons .
- Dépôt de documentation .
- Environnement de **collaboration** .





- L'objectif est de mettre à profit les **compétences** de chacun.
 - Mais le défi est également de les **partager**.
-
- ☐ Formation sur GitHub pour optimiser notre productivité.
 - ☐ Formation en programmation orientée objet
 - ☐ Réflexes et méthodes essentielles(généralisation, simplification, débogage).

Pour un détail plus personnel cf :

https://docs.google.com/document/d/1_3x66Urs5USt0Ty6VP9X8drYvBBED41rv86uWtV3_Eo/edit?fbclid=IwAR0B-apCEq8bLP7Sti5TdKmLMgz9-d3yNR1EY9qNH56D25EJW9P45debf8c



IV. Le Projet en action



Acquisition du signal :

- La carte
- Le code



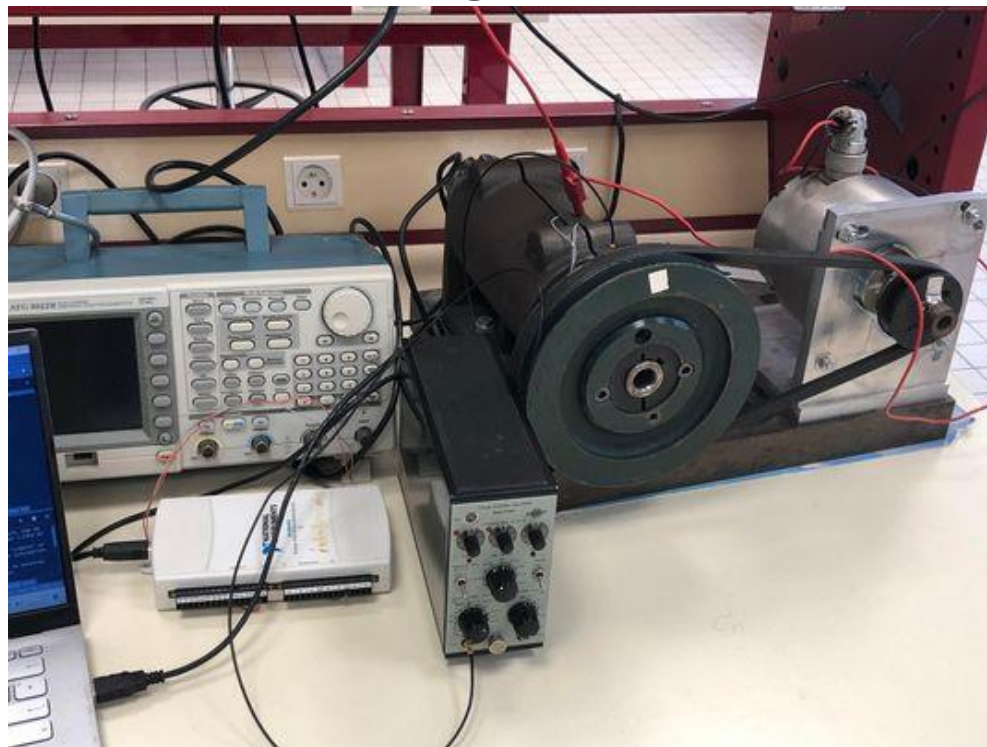
Utilisation de la carte :

- Amplificateur
- Driver NI
- Documentation





Montage réalisé :





Le Principe du code et ses objectifs :

➤ Acquérir les données

Création d'une grande liste contenant autant de sous-listes que d'acquisitions chacune avec des couples (durée, valeur)

➤ Produire un code clair

Utilisation des classes avec des méthodes distinctes pour chaque opération



```
1,1e-05,0.0069878446385087944
2,2e-05,0.010935818720070573
3,3e-05,0.009455328438744526
4,4e-05,0.0022173759648367597
5,5e-05,0.0025463738041204415
6,6e-05,0.005836352199228234
7,7e-05,0.007810339238316172
8,8e-05,0.006823345718579565
9,9e-05,0.0038398705631225764
10,0.0001,0.005178356519872709
11,0.00011,0.007974838158310016
12,0.00012,0.005178356519872709
13,0.00013,0.005671853279373529
14,0.00014,0.00658846798661022
15,0.00015,0.006494347878753179
16,0.00016,0.009126330598571417
17,0.00017,0.008961831678501314
18,0.00018,0.005342855439695787
19,0.00019,0.0061653500389694665
20,0.0002,0.007316842478399449
21,0.00021,0.005671853279373529
22,0.00022,0.007316842478399449
23,0.00023,0.006823345718579565
24,0.00024,0.0035333673222171097
25,0.00025,0.0028753716434449517
26,0.00026,0.001723879205987447
```

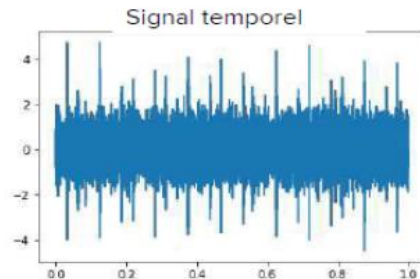


➤ Stocker les données

Utilisation du data frame, exportation au format csv

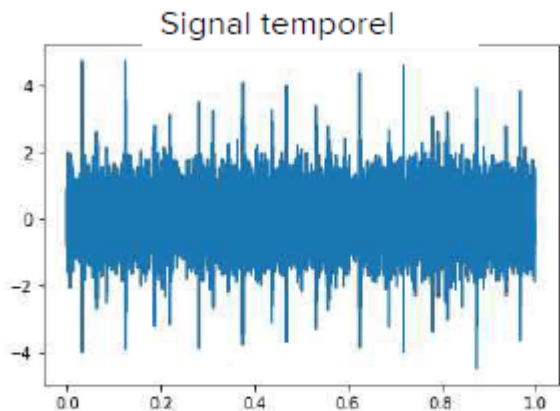
➤ Affichage des signaux

Avec les fonctions basiques d'affichage sur python

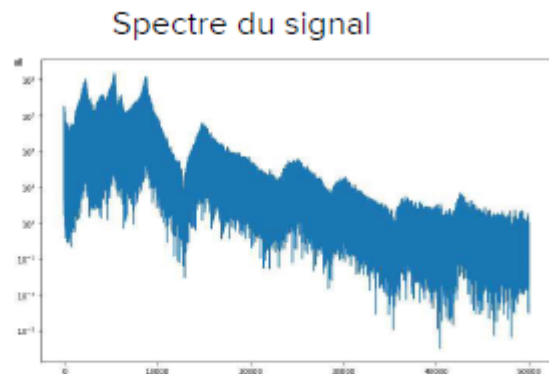




Travail préliminaire récurrent : Identification des plages de fréquences de travail pertinentes.



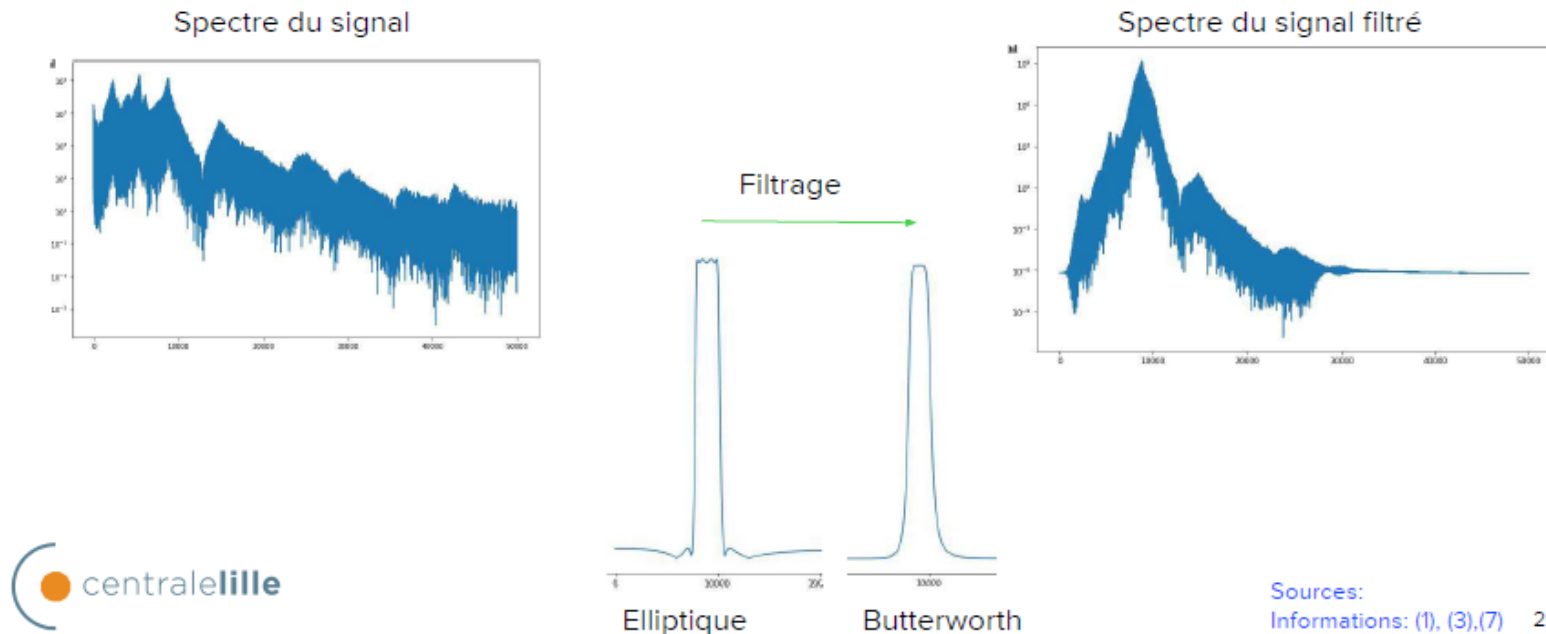
Transformée de Fourier



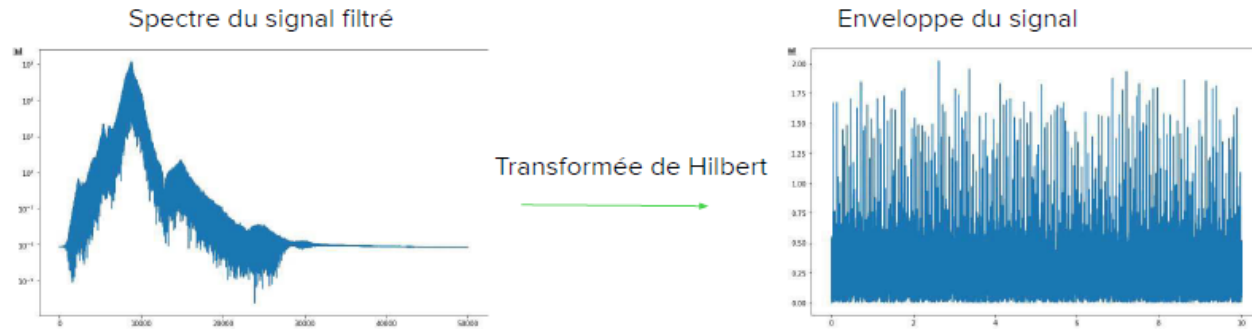
Passage dans le **domaine de Fourier** afin d'obtenir son **profil fréquentiel**.



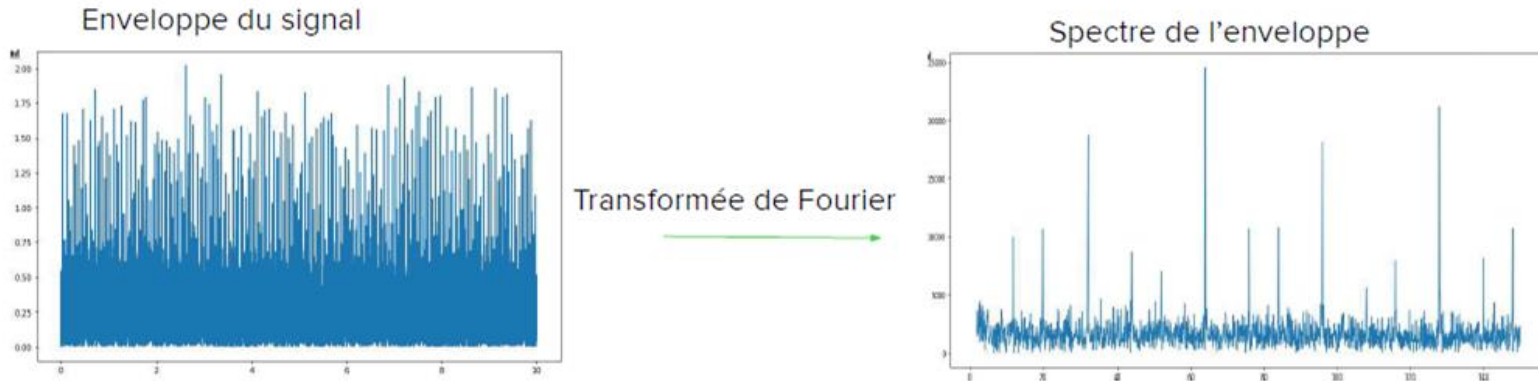
Travail préliminaire récurrent : Identification des plages de fréquences de travail pertinentes.



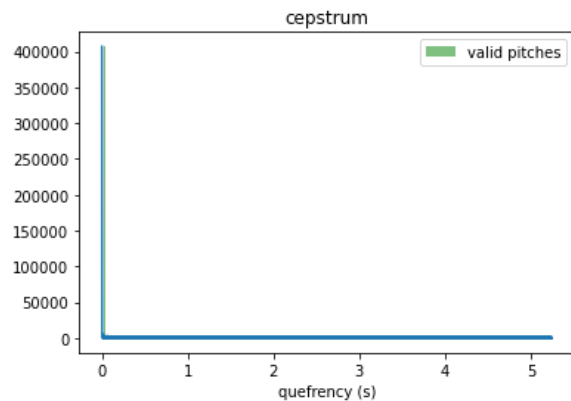
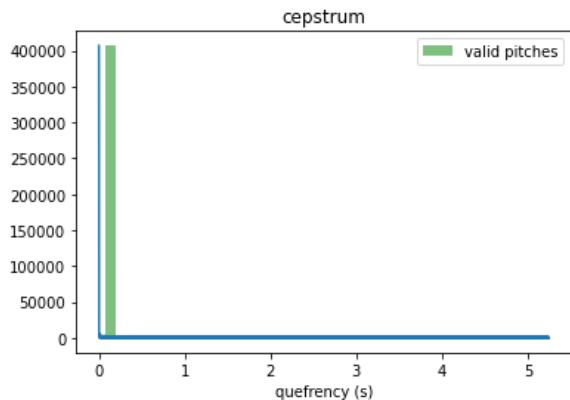
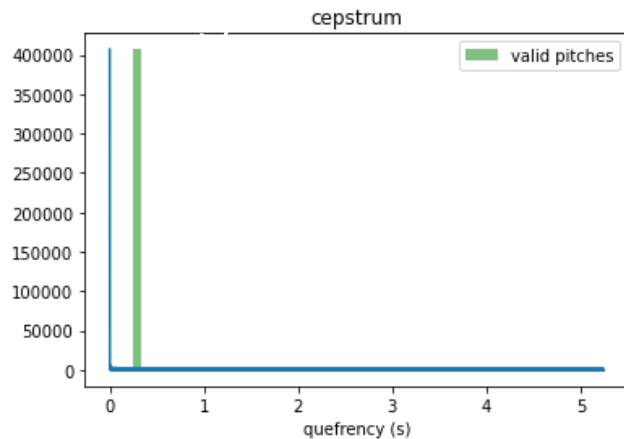
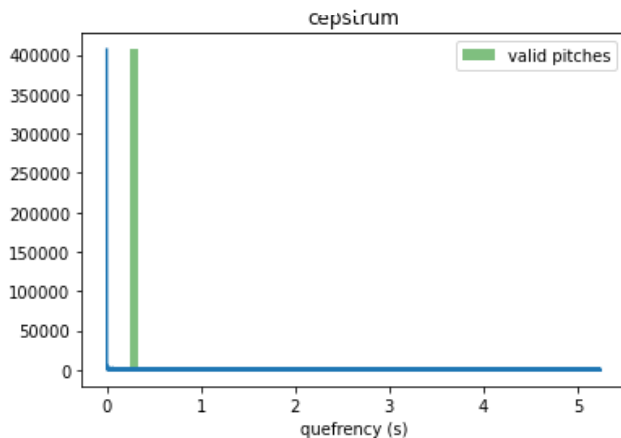
Filtrage au niveau des fréquences les plus importantes : **Les défauts sont plus visibles que le bruit car périodique !**



- L'amplitude du signal analytique obtenu, appelée enveloppe complexe, est représentative des modulations d'amplitude du signal réel.
- Il s'agit donc là d'une **technique de démodulation**.



Une **analyse spectrale** de l'enveloppe complexe fournit des informations sur les **modulations d'amplitude** des signaux et permet alors de repérer les fréquences caractéristiques.





- Finalement , les défauts considérés ont les quéfrences tel que :

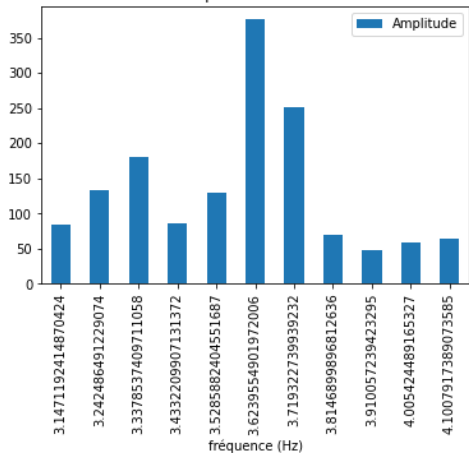
Dimensions des billes ou des rouleaux _Intérieur	3.650	3.598.158
Fréquence de rotation des billes ou es rouleaux	31.865	32.216.495
Irrégularité de la bille ou du rouleau	63.731	63.775.510
Irrégularité de la bague extérieure	72.964	73.099.415

- **4 détections , 2 sont correctes.** Ce sont pour chaque défaut , les quéfrences associées.
- Épuration statistique en identifiant les outliers afin d'éliminer les quéfrences trop faibles par rapport aux autres.

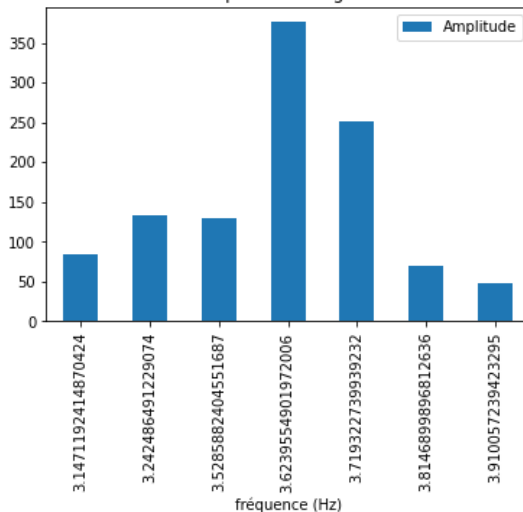


Des non défauts :

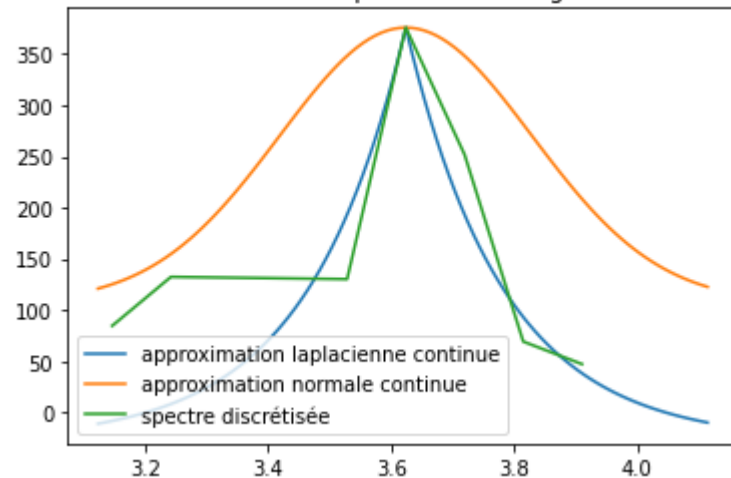
Zoom sur le spectre centré en 3.623955



Zoom sur le spectre arrangé en 3.623955



Densités de probabilité du signal



Signal non impulsif laplacien:

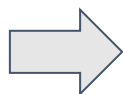
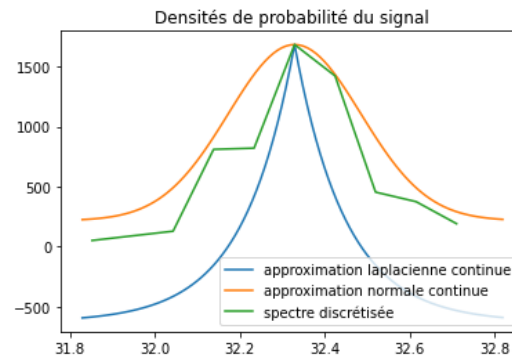
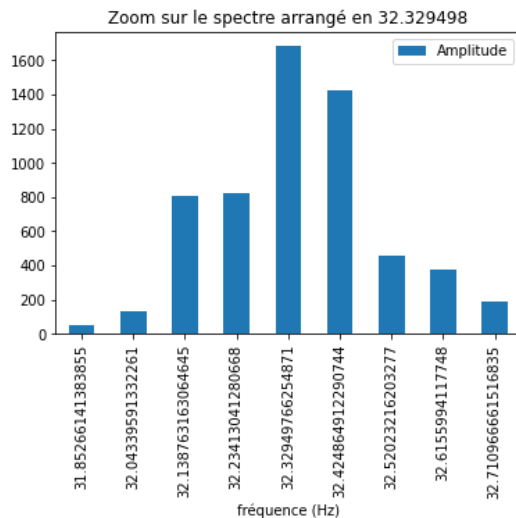
ce n'est pas un défaut

Kappa : 9.717681104205636e-07

Ce défaut est **annulé** : Dimensions des billes ou des rouleaux _Intérieur



Défauts :

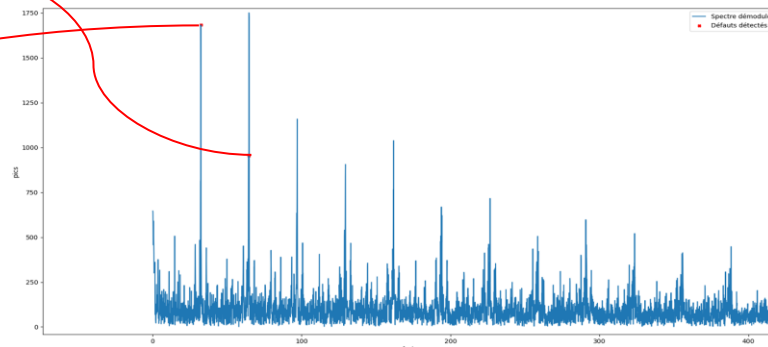


Signal impulsif normale: c'est un défaut

Kappa : 60084.00317824636



Défauts	Hz
Excentricité ou excentricité du membre rotatif	8,333
Irrégularité de la bille ou du rouleau	63,731
Fréquence de rotation des billes ou des rouleaux	31,865
Irrégularité de la bague intérieure	93,663
Irrégularité de la bague extérieure	72,964
Dimensions des billes ou des rouleaux _ Intérieur	3,650
Dimensions des billes ou des rouleaux _ Extérieur	4,683



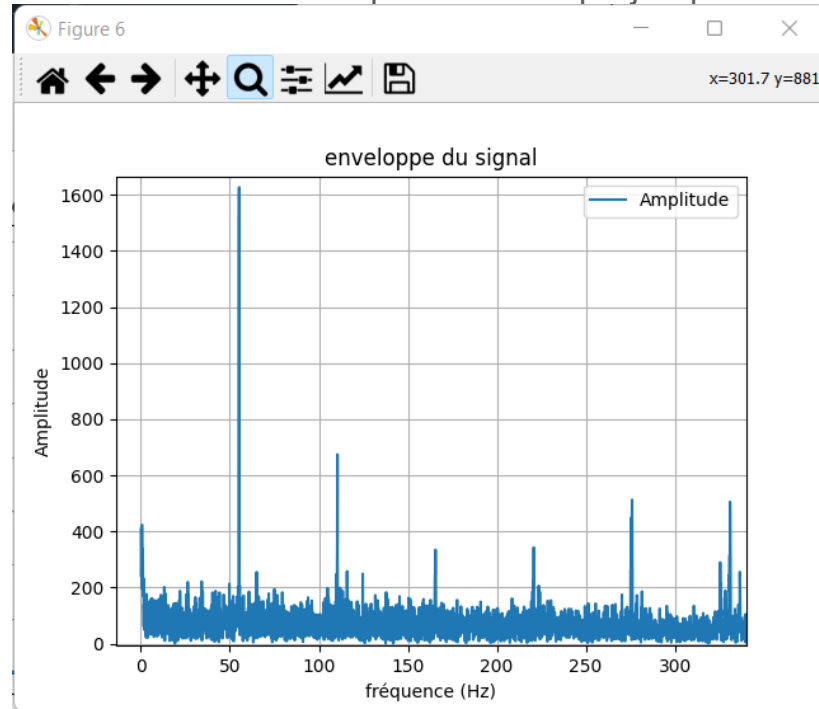
Exemple d'un pic de fréquence à **32 Hz**
et **63.7 Hz**

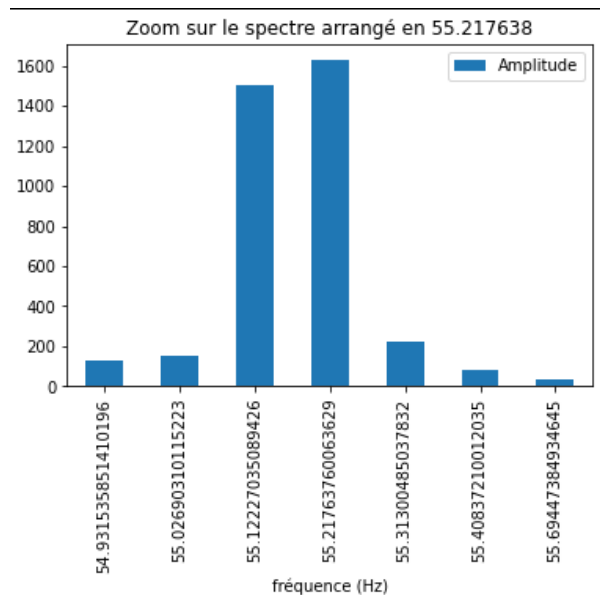
Détection des défauts en fonction des **pics de fréquences**

Fréquence de rotation des billes ou es rouleaux	31.865	32.216.495
Irrégularité de la bille ou du rouleau	63.731	63.775.510

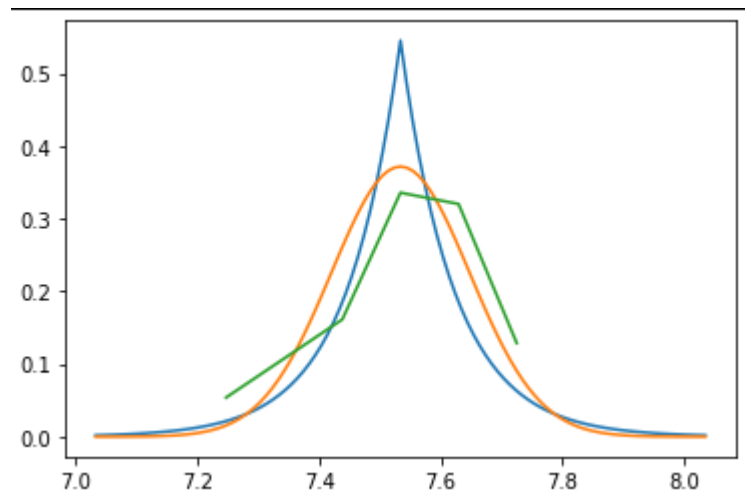


- Nous avons placé des masses sur l'engrenage et évalué l'indice de courbure de chaque défaut.
- L'objectif étant de donner une seconde possibilité au projet: prévenir la casse.

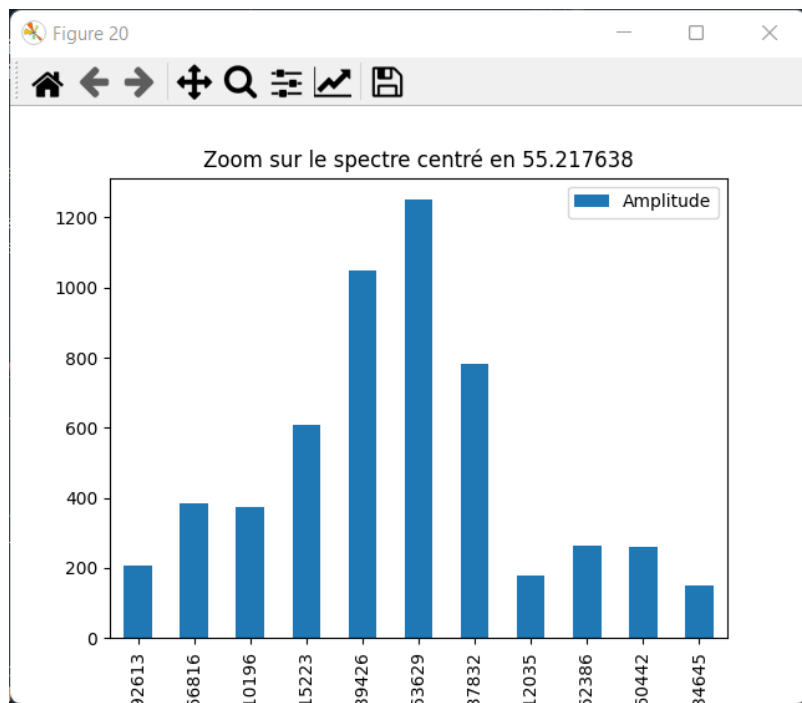
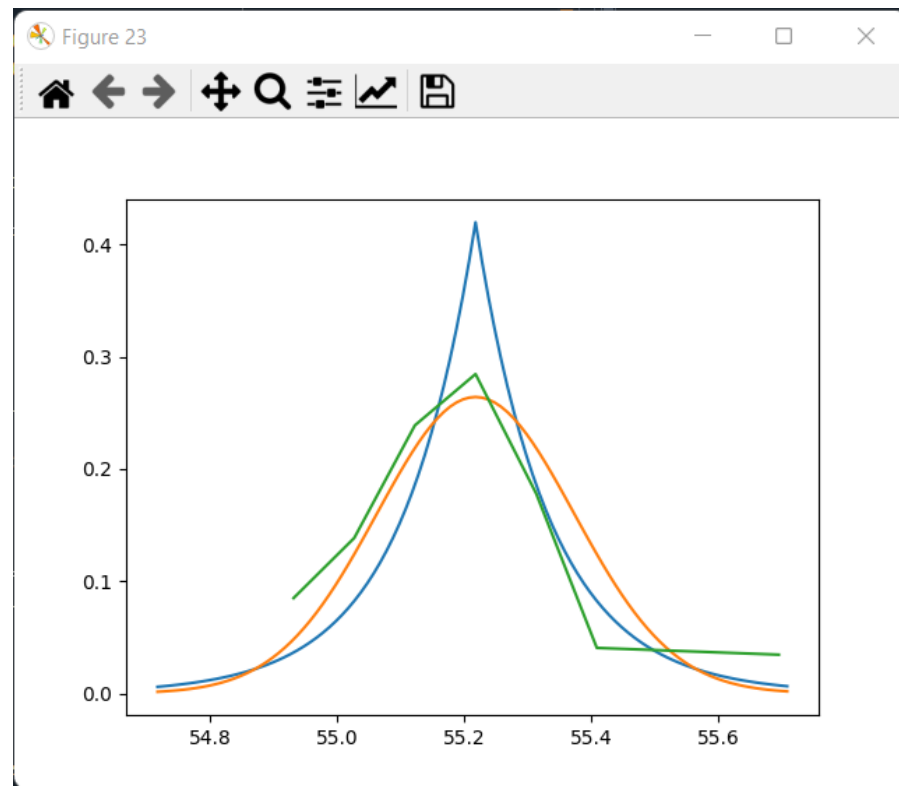


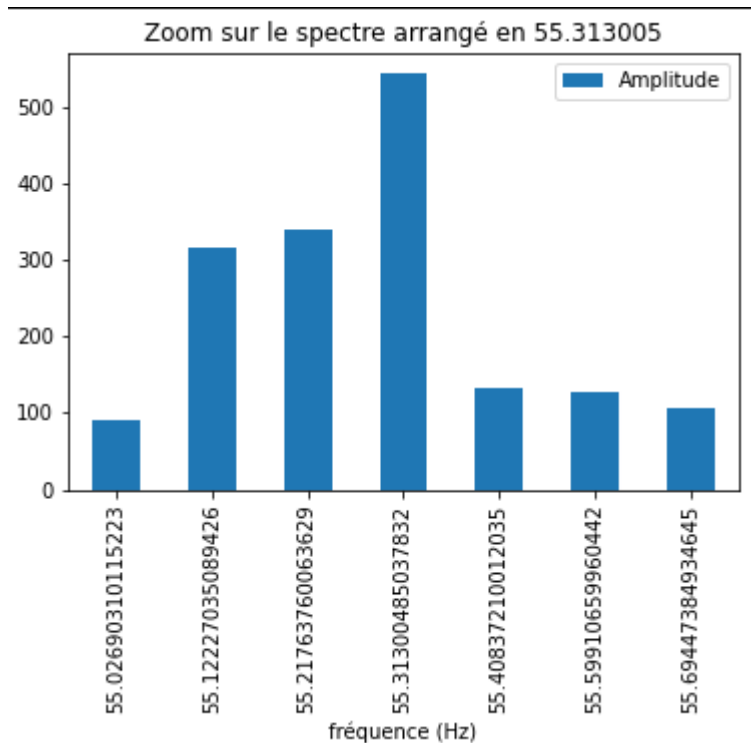
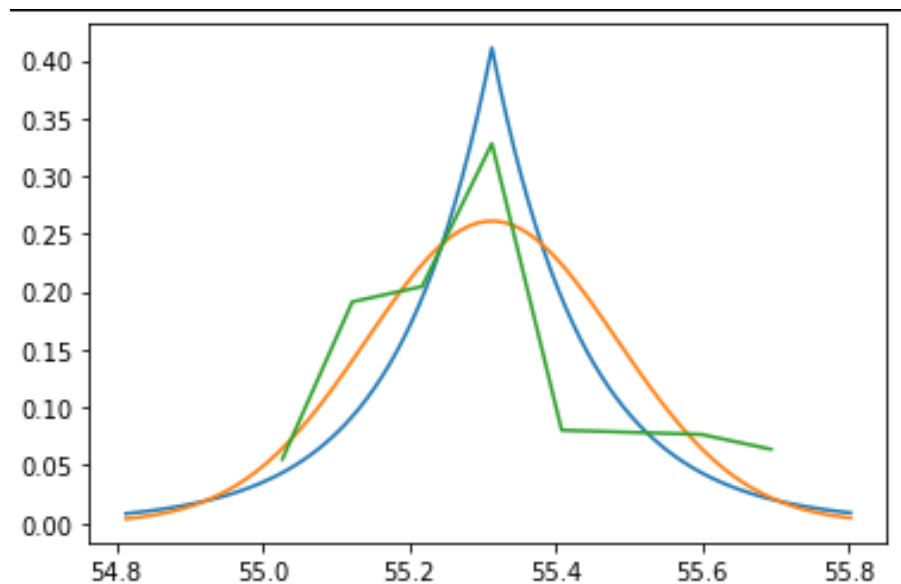


Spectre localisé



Approximation des courbes

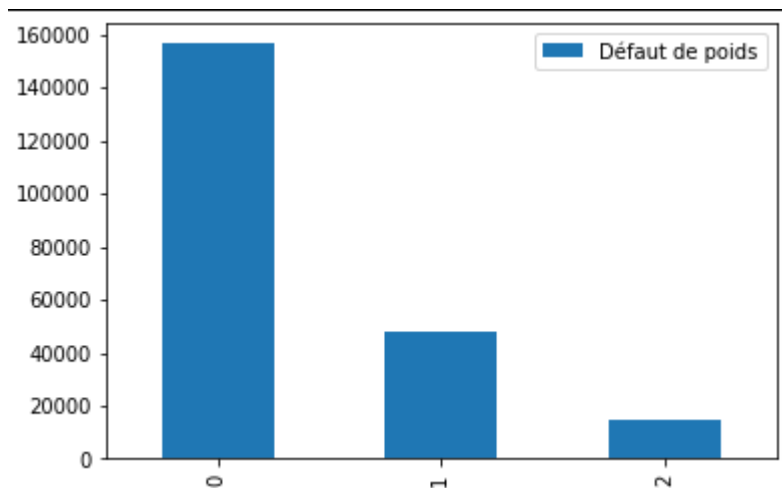
*Spectre localisé**Approximation des courbes*

*Spectre localisé**Approximation des courbes*



Ainsi , plus le défaut est accentué , plus sa courbure est à tendance décroissante.
Cela corrèle avec les propos tenu dans la thèse de Monsieur Elbaoui

- Les défaut ont tendance à se propager sur les autres bandes de fréquence



Evolution du kappa lors des trois mesures



- i) Interface graphique intuitive pour l'utilisateur
- ii) Permet le **choix** du **nombre d'acquisitions** ainsi que du **temps de chaque acquisition**
- iii) Génération des transformées successives visualisables par l'utilisateur
- iv) Choix successifs des fréquences (détection d'enveloppes, ondelette, kurtosis)
- v) **Visualisation** des défauts de roulement
- vi) Intégration d'une **base de donnée** sqLite



Choix du temps d'acquisition



Sélection du nombre d'acquisition



Choix des valeurs seuils



Maintenance prédictive

Système d'exploitation

☒ MacOS

☐ Windows

☐ Linux

Temps d'acquisition (s)

0 50 100

Nombre d'acquisitions

0

Analyse

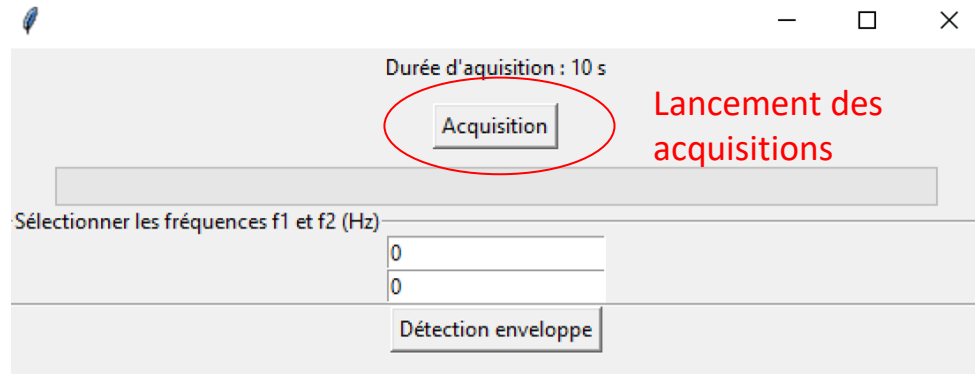
Entrez la valeur des seuils Norme et Laplace

0

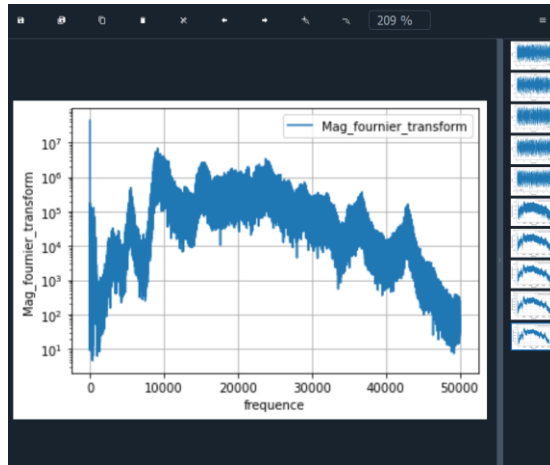
0

Quit

Renvoie vers la page d'acquisition



Choix des fréquences pour utiliser la méthode de détection d'enveloppe



Visualisation des transformées successives



III.C Interface graphique

53

Durée d'acquisition : 10 s

Acquisition Terminé !

Sélectionner les fréquences f1 et f2 (Hz)

7000
10000

Détection enveloppe

Détection défauts

Sélectionner les fréquences f1 et f2 (Hz) --> Ondelette

0
0

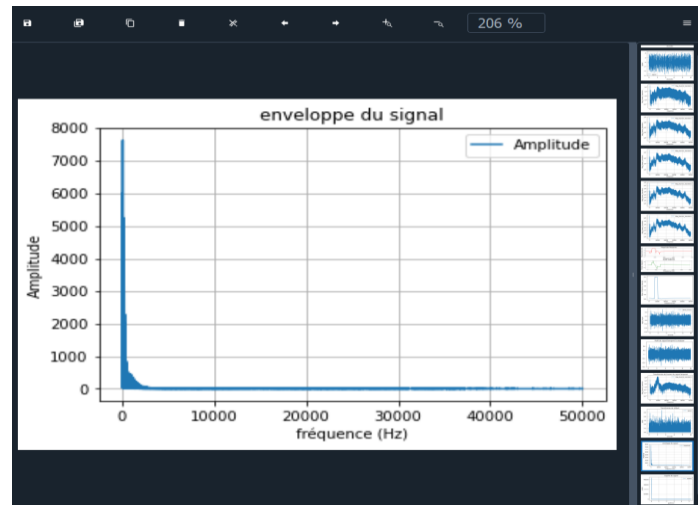
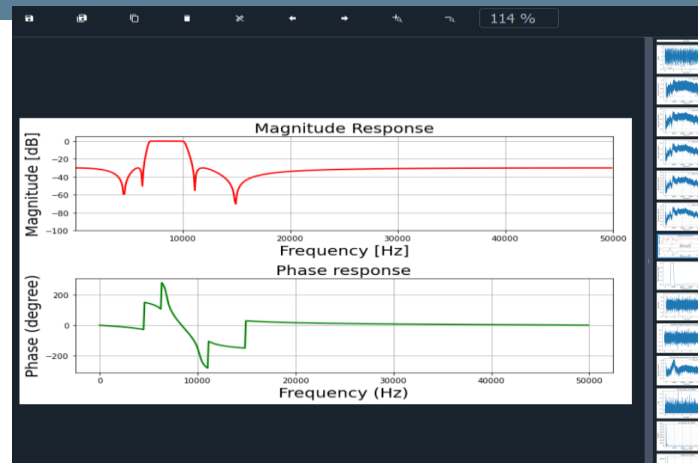
Ondelette

Sélectionner les fréquences f1 et f2 (Hz) --> Kurtosis

0
0

Kurtosis

Lancement de la détection
d'enveloppe





Durée d'acquisition : 10 s

Acquisition Terminé!

Sélectionner les fréquences f1 et f2 (Hz)

7000
10000

Détection enveloppe
Détection défauts

Sélectionner les fréquences f1 et f2 (Hz) --> Ondelette

0
0

Ondelette

Sélectionner les fréquences f1 et f2 (Hz) --> Kurtosis

0
0

Kurtosis

Défauts

Dimensions des billes ou des rouleaux _Intérieur 3.650
3.825555

Dimensions des billes ou des rouleaux _Exterieur 4.683
4.057124

Irrégularité de la bague extérieure 72.964
72.463768

0% | 0/3 [00:00<?, ?it/s]Approximation erronée à
7.000000 %

33% | 1/3 [00:00<00:01, 1.19it/s]Approximation
erronée à 7.000000 %

Ce n'est pas un pic

Ce défaut est annulé : Dimensions des billes ou des rouleaux
_Intérieur

C:\Users\Marien\anaconda3\lib\site-packages\pandas\plotting
\matplotlib\core.py:386: RuntimeWarning: More than 20 figures
have been opened. Figures created through the pyplot interface
(`matplotlib.pyplot.figure`) are retained until explicitly
closed and may consume too much memory. (To control this
warning, see the rcParam `figure.max_open_warning`).

fig = self.plt.figure(figsize=self.figsize)

67% | 2/3 [00:01<00:00, 1.75it/s]Signal impulsif
laplacien : c'est un défaut

Kappa : 2.3063558392000104e-09

100% | 3/3 [00:01<00:00, 1.97it/s]100% | 3/3 [00:01<00:00,
2.23it/s]Signal impulsif laplacien : c'est
un défaut

Kappa : 1.326143170640595e-09

Lancement de la détection des
défauts

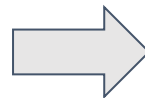


- Implémentation d'une base de donnée à partir d'un serveur et non en local (possible avec python)
- Proposer une interface plus intuitive que celle proposée (la nôtre est une interface prototype pour s'assurer que tout fonctionne) → aspect esthétique en dernier lieu
- Proposer un système de détection automatique de valeurs seuils pour l'indice de courbure et relier indice laplacien à gaussien.
- Approfondir la méthode du kurtosis spectral.
- Approfondir la méthode du kurtosis temporel.
- Approfondir la validité de la méthode via des signaux synthétiques générés.
- Relier la carte à distance via python.



- L'objectif principal était de :

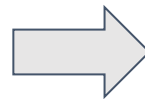
1. Proposer un système de détection automatique
2. Comparer les différentes méthodes
3. Rendre ergonomique le système
4. Avoir une approche documenté



Tout cela a été accompli

- Les objectifs secondaires :

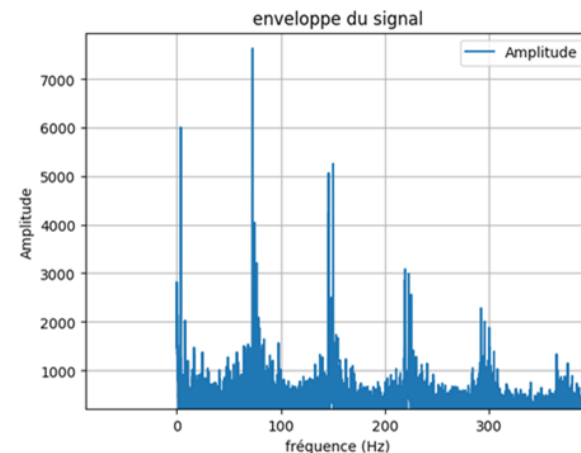
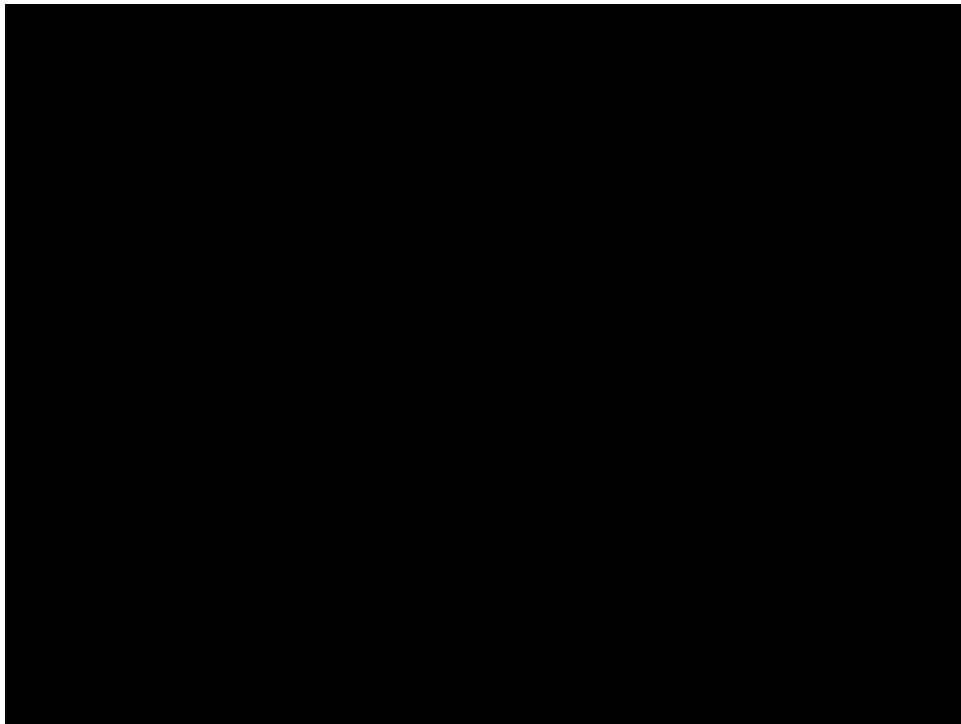
1. Relier la carte à distance
2. Avoir un serveur pour stocker les données
3. Etablir une approche prédictive



Partiellement accompli - écart
du fait de l'automatisation

Nous avons :

1. Suivi les requêtes de nos instituteurs
2. Établit une approche documenté et donc progressé
3. Rusé par des approches plus personnelle



Défauts	Hz	f0
Dimensions des billes ou des rouleaux _Intérieur	3,65	3,825555
Dimensions des billes ou des rouleaux _Exterieur	4,683	4,057124
Irrégularité de la bague extérieure	72,964	72,46377

➤ Kurtosis temporel[4]

$$K_{urt} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (s(i) - \bar{s})^4}{\left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (s(i) - \bar{s})^2 \right]^2} \quad (\bar{s} \text{ la moyenne})$$

Cet indicateur est extrêmement utile, il intervient dans l'analyse du signal débruité centrée sur une fréquence de résonance en particulier.. [4]

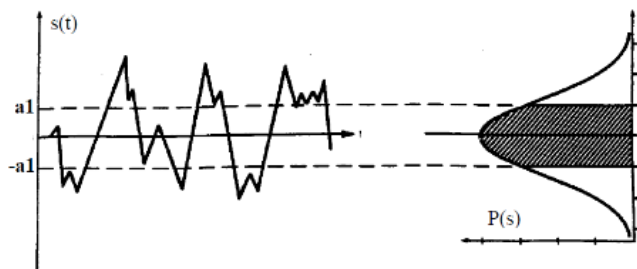
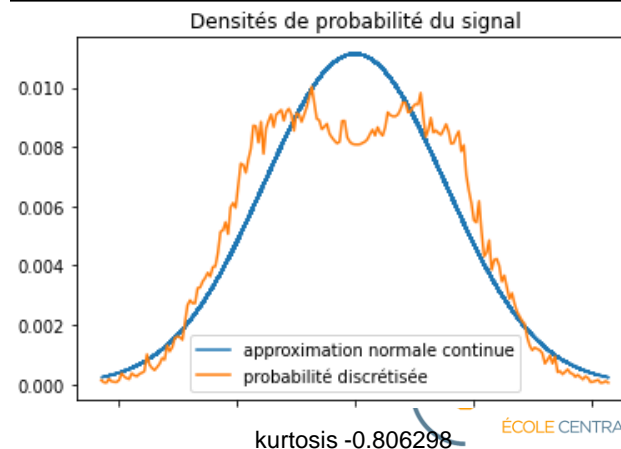
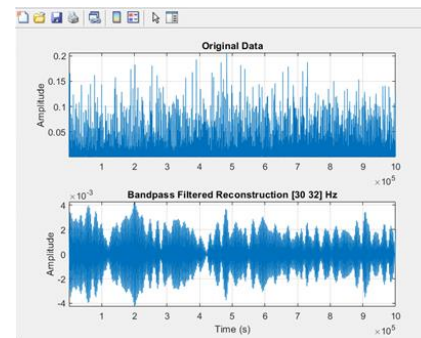


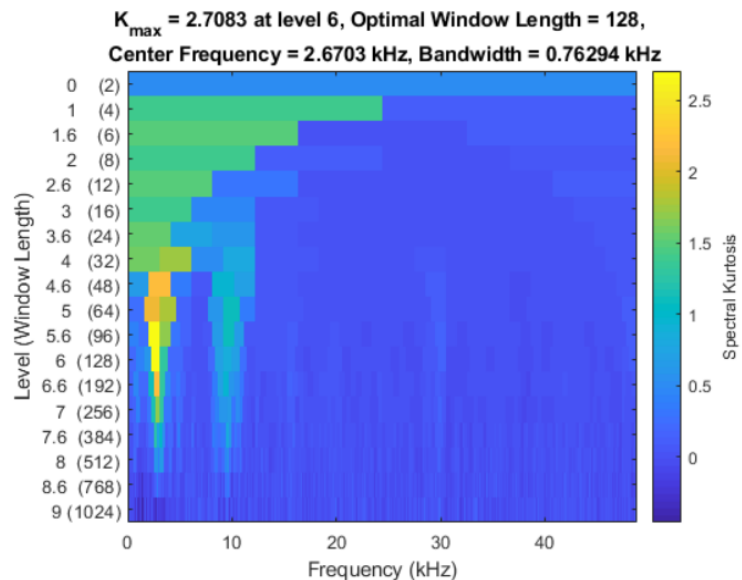
Figure 25 : Établissement d'une courbe de densité de probabilité. a1 valeur efficace du signal





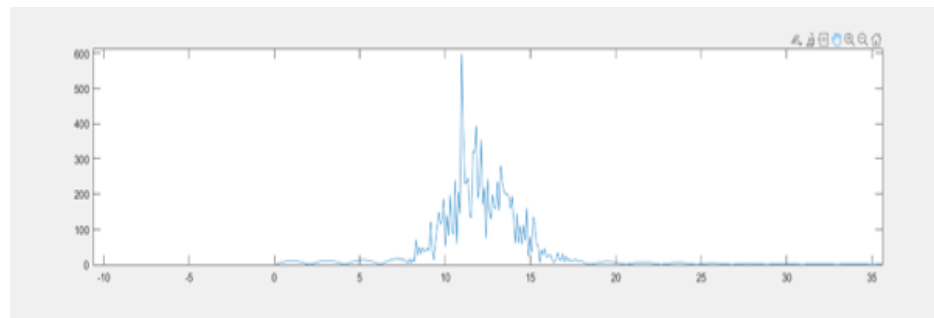
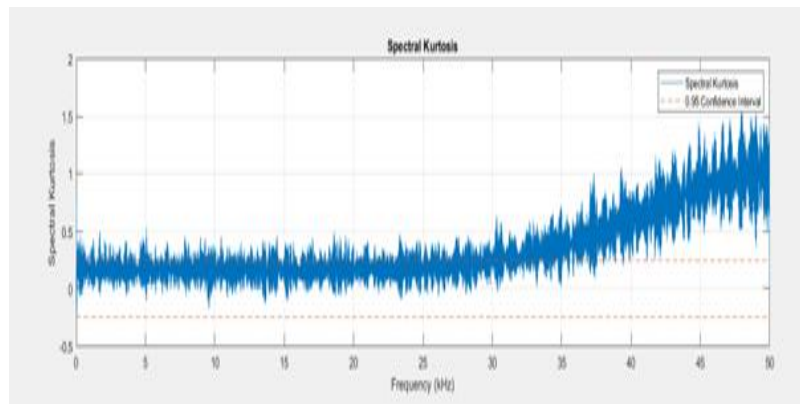
“Dans plusieurs travaux le kurtosis s’est montré plus sensible que les autres indicateurs scalaires, ce qui le place en tant qu’indicateur privilégié lorsqu’il s’agit de défauts de type chocs, notamment ceux des roulements et des engrenages” [6]

- Le kurtosis spectral à la particularité de pouvoir détecter des défauts sans connaître pour autant les fréquences caractéristiques associées [8].
- Il permet d’identifier des défauts qui ne seraient pas répertoriés.

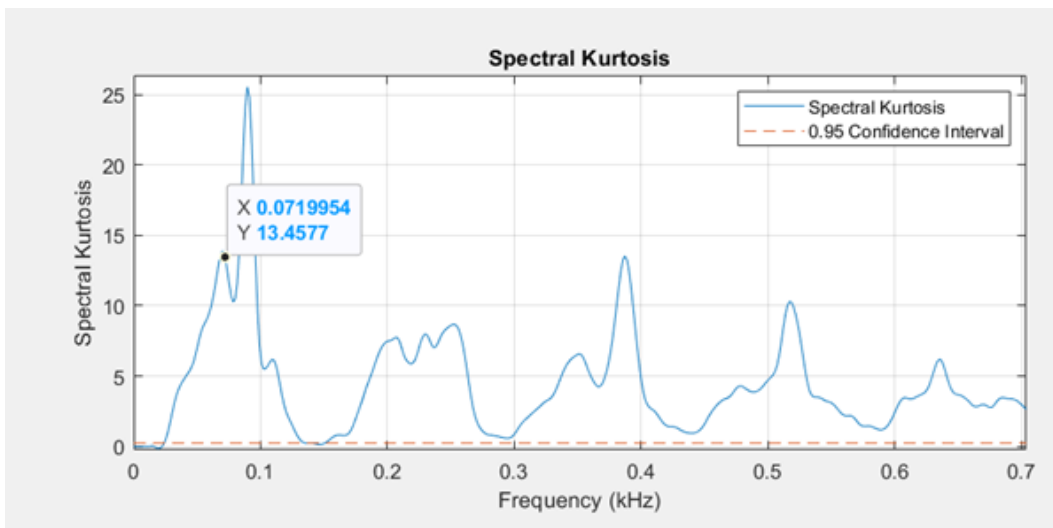
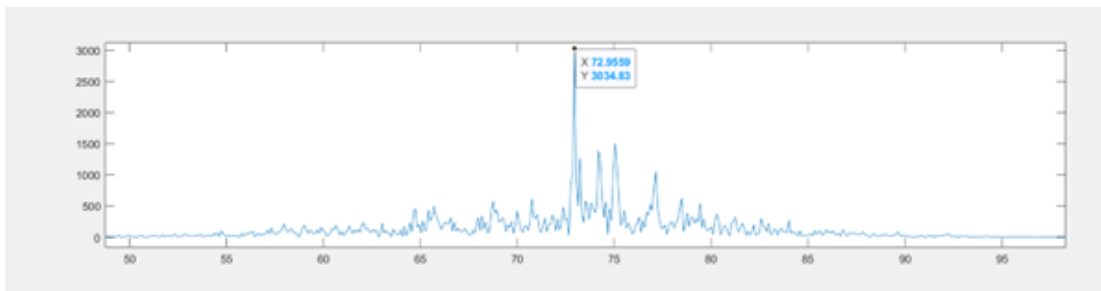




- On identifie les zones du spectre au kurtosis le plus élevé.
- On effectue l'ondelette sur une plage de fréquence en particulier
- On calcul le kurtosis spectral



Le kurtosis spectral ne ressemble pas à grand chose lorsque ça n'est pas un défaut.



Périodicité à approfondir



Ondelette discrète par le seuillage dur [6]

- En effet ,à partir du signal à débruiter, on décompose le signal sur une base orthogonale d'ondelettes.
- On effectue ensuite une opération de seuillage qui consiste à éliminer les coefficients qu'on considère comme du bruit ou à les réduire en fonction du seuil calculé.

Outil : Theoreme de Donoho e Johnstone

Avantage : Facile à implémenter en python

Inconvénient : Se focaliser sur une bande de fréquence en particulier et non une fréquence connue.

Ondelette continue de morlet [5]

- Le choix de l'ondelette de morlet à été dirigée par [5].
- Ils utilisent la transformée en ondelette pour identifier les impulsions et calculer le kurtosis des impulsions identifiées afin d'établir un verdict sur la gravité du défaut.

Avantage : Se focalise sur une fréquence en particulier (+ précis)

Inconvénient : Passe par matlab

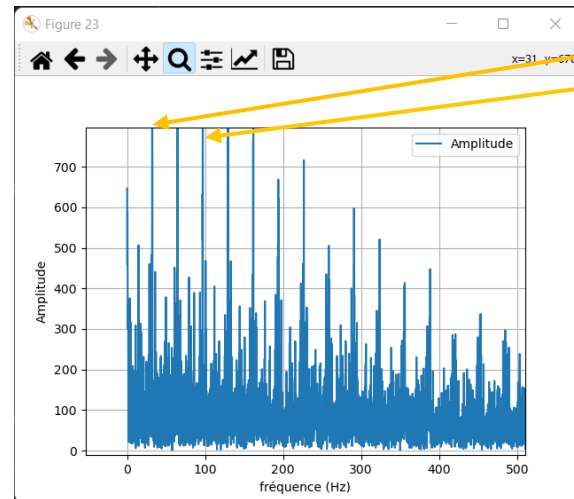


- ❑ L'objectif est de venir rajouter une seconde étude qui apporterait des précisions sur les différentes anomalies.
- ❑ Le spectre à l'échelle logarithmique permet de mettre en évidence la prépondérance des fondamentales du signal précédent.
- ❑ On évalue le cepstre relatif au spectre de puissance.

On définit également le cepstre comme la transformée de Fourier inverse du logarithme décimal du carré du module de sa transformée de Fourier :

$$C[s(t)] = C(\tau) = TF^{-1} \log |TF[s(t)]|^2 \quad (2)$$

Formule du cepstre pour un spectre en puissance



Profil des fréquences du signal après traitement via la méthode enveloppe : f1 et f2 constituent des anomalies.



Annexe : Extraction des fréquences importantes via le cepstre

Complément cepstrale:

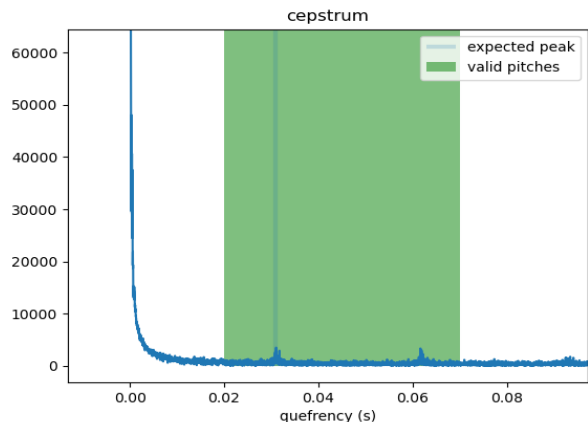
- Utilisation des différents pitches afin de déterminer les quéfrences les plus élevées dans des intervalles particuliers associés au fréquence de résonances de la machine.

Défauts	Hz	f_under	f_over	fmax	fmin	f0	is_default
Dimensions des billes ou des rouleaux _Intérieur	3.65	3	4	4	3	3.598.158	TRUE
Dimensions des billes ou des rouleaux _Exterieur	4.683	4	8	8	4	4.039.751	FALSE
Excentricité ou excentricité du membre rotatif	8.333	5	31	13	5	5.393.743	FALSE
Fréquence de rotation des billes ou es rouleaux	31.865	8	63	37	27	3.221.649	TRUE
Irrégularité de la bille ou du rouleau	63.731	32	72	69	59	6.377.551	TRUE
Irrégularité de la bague extérieure	72.964	64	93	78	68	7.309.942	TRUE
Irrégularité de la bague intérieure	93.663	73	94	94	89	929.368	FALSE

Annexe : Extraction des fréquences importantes via le cepstre

Complément cepstrale:

- Les fréquences à identifier sont considérées comme basses (aux alentours de 60 Hz).
- Les nombreuses bases fréquences alentour viennent atténuer nos quéfrenes caractéristiques.
- Il faut alors connaître la plage de valeur à étudier pour identifier une fréquence en particulier.
- Nous avons donc codé un extracteur permettant de zoomer sur une plage de quéfrence
- Celui - ci identifie alors la fondamentale caractéristique, ce qui est un second avantage : détection automatique.



Plage des quéfrenes à identifier

```
def cepstrum_f0_detection(self, fmin=10, fmax=80):
    """Returns f0 based on cepstral processing."""
    # extract peak in cepstrum in valid region
    cepstrum = self.cepstrale['Cepstre'].to_numpy()
    valid = (quefreny_vector > 1/fmax) & (quefreny_vector <= 1/fmin)
    max_quefreny_index = np.argmax(np.abs(cepstrum)[valid])
    f0 = 1/quefreny_vector[valid][max_quefreny_index]
    return f0
```

Détermination du pic en fréquence associé

Retourne $f_0 = 32.21649484536082$ ce qui correspond.



Annexe : Répartition des tâches

Antony :

- Formation approfondie en traitement du signal
- Implémentation des 2 autres méthodes
- Détection grâce au machine learning des anomalies
- Aide dans la création de la base SQL

Marien :

- Implémenter un serveur
- Perfectionner la méthode 1 avec affichage des défauts en fonction des fréquences détectées
- Intégration des deux méthodes restantes à tkinter

Charles:

- Travail sur une carte sans contact (transmission Wi-Fi, Bluetooth)
- Tenir à jour la biblio

Maria:

- Code d'identification de la valeur atypique ("Outlier Identification Code")
- Rédiger l'article
- Suivre la création des codes suivants



Annexe : Cahier des charges

L'idée du document est de faire ressortir les points clés de la **gestion d'un projet** de manière **efficace**.

Les points abordés dans la documentation sont les suivants :

- ☐ Contexte
- ☐ Problème
- ☐ Objectif
- ☐ Périmètre
- ☐ Description des besoins
- ☐ Enveloppe budgétaire
- ☐ Délais

Le modèle avec les réponses appropriées est accessible à l'adresse suivante :

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1_C6VYSaggZ6rVq9FMpmZHAoy5gj59L8_4j6wNpU0s_E/edit?fbclid=IwAR2wAjwlnsEbFPGYvJnV-AT0Mu3MoxANHaMEsSFSn2ilnaW7K8XLrx8sgrc#gid=0

Article link: <https://www.overleaf.com/read/ypjgckqhripv>



BIBLIOGRAPHIE

- [1] **Chapelot M. (EMS) et Richard A.**, consultants au CETIM «surveillance des machines tournantes», guide d'achat Mesures N° 757, septembre 2003.
- [2] **Baptiste Trajin**. Analyse et traitement de grandeurs électriques pour la détection et le diagnostic de défauts mécaniques dans les entraînements asynchrones. Application à la surveillance des roulements à billes. Automatique / Robotique. Institut National Polytechnique de Toulouse - INPT, 2009. Français.
- [3] **Marie-Line Zani**. Tendances « Les roulements, des composants à surveiller de près », guide d'achat Mesures N° 754 - avril 2003.
- [4] : **Mohamed El Badaoui**, Contribution au Diagnostic Vibratoire des Réducteurs Complexes à Engrenages par l'Analyse Cepstrale. 2008.
- [5] : **K Belaid, A Miloudi, M Silmani**. Utilisation du Kurtosis dans le diagnostic des défauts combinés d'engrenages par la transformée continue en ondelettes
- [6] : **M. Merzoug , A. Miloudi**. Amélioration de la sensibilité du Kurtosis en utilisant le débruitage par ondelettes
- [7]: Frequency- and Time-Localized Reconstruction from the Continuous Wavelet Transform. <https://fr.mathworks.com/>
- [8]:Rolling Element Bearing Fault Diagnosis. <https://fr.mathworks.com/>
- [9]: scipy.stats.laplace. <https://docs.scipy.org/>
- [10] : A Short Tutorial on Cepstral Analysis for Pitch-tracking. <http://flothesof.github.io/>
- [11] : Curvature. tutorial.math.lamar.ed.
- [12] : **Jason Champagne**, chaîne yt formation vidéos
- [13]: Approximations probabilistes <https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.stats.norm.html>

