

Cas d'étude

Data Science pour l'industrie digitale



Paul Ikonomou



Loïc Gautier



Louis Labesse



Matthieu Meurin



Sommaire

01

Compréhension du besoin

Analyse · Contraintes · Cahier des charges

02

Élaboration du concept

État de l'art · Références · Choix retenu

03

Étude de faisabilité technique

FFT · Clustering · Classification

04

Pertinence & Conclusion

Résultats · Limites · Perspectives

05

Organisation & Répartition

Rôles · Planning · Outils de collaboration

01

Présentation de l'équipe Compréhension du besoin

Analyse · Contraintes · Cahier des charges

Références : Nobsolete · Camille Jean



*Objectif : augmenter la durée de vie des rasoirs du quotidien
pour limiter le gaspillage.*

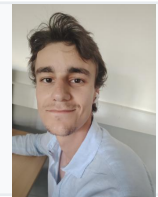
Partenariat
Startup : Nobsolete



Notre équipe

LG

Loïc Gautier



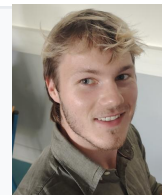
PI

Paul Ikonomou



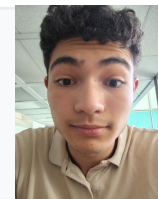
MM

Matthieu Meurin



LL

Louis Labesse



PLAN DE LA PRÉSENTATION

01

Contexte & Enjeux

Pourquoi un rasoir augmenté ?

02

Analyse du besoin exprimé

Identification des problèmes & attentes utilisateurs

03

Identification des contraintes

Techniques, normatives, économiques & temporelles

04

Reformulation du CDC

Du besoin brut au cahier des charges structuré

05

Synthèse

Résumé de l'étape 1

01 — CONTEXTE & ENJEUX



Problème initial

- Les rasoirs actuels tombent en panne sans prévenir
- Lames usées non détectées → coupures ou irritations
- Moteur défaillant signalé trop tardivement
- Objet à jeter plutôt qu'à réparer (impact écologique)



Vision du projet

- ✓ Capteur(s) intégré(s) pour mesurer l'état du rasoir
- ✓ Détection autonome des défaillances en temps réel
- ✓ Alertes utilisateur proactives avant la panne
- ✓ Maintenance prédictive et coût maîtrisé

02 — ANALYSE DU BESOIN EXPRIMÉ (1/2)

Qui sont les parties prenantes ?



Utilisateur final

Veut un rasoir fiable, sans coupure imprévue.
Souhaite être averti avant la panne.



Fabricant

Cherche à différencier le produit (conscient écologiquement, plus haut de gamme).
Réduire les retours SAV et fidéliser.



Techniciens SAV

Veulent des diagnostics clairs.
Faciliter la réparation ciblée.



Régulateur

Normes CE, sécurité électrique.
Compatibilité IP et étanchéité.

02 — ANALYSE DU BESOIN EXPRIMÉ (2/2)

Quelles défaillances détecter ?

Capteur envisagé

Usure des lames

Perte de tranchant, augmentation de la force nécessaire

→ Capteur de force / couple

Défaut moteur

Vibration anormale, chute de régime, surchauffe

→ Accéléromètre / capteur thermique

Encrassement

Accumulation de poils, pâte à raser, calcaire

→ Capteur optique / courant moteur / accéléromètre

Batterie dégradée

Chute d'autonomie, temps de charge anormal

→ Surveillance tension/courant (BMS)

Usure de l'assemblage

Défaut du maintien en position des pièces entre elles

→ Accéléromètre

03 — IDENTIFICATION DES CONTRAINTES (1/2)

Contraintes Techniques

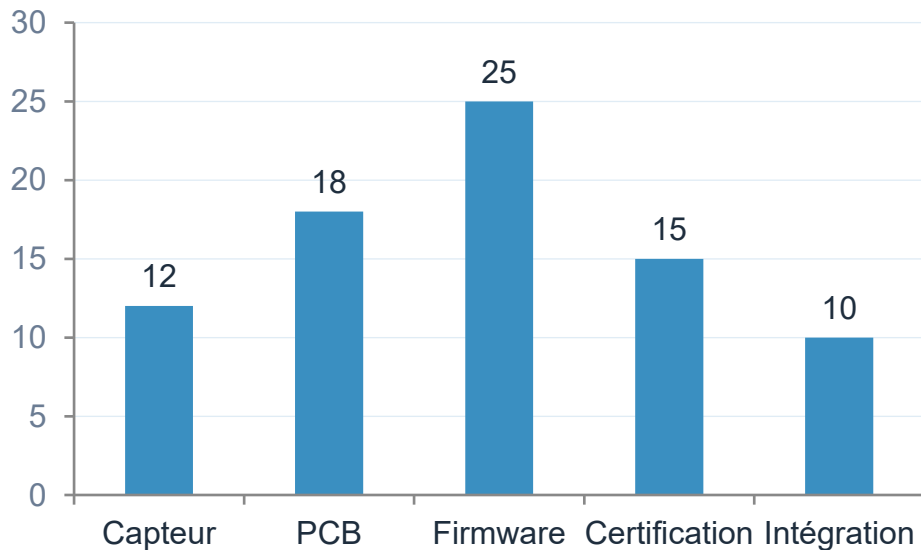
- **Intégration capteur**
Volume maximal $< 5 \text{ cm}^3$ dans le manche
- **Étanchéité IP67**
Utilisation sous l'eau (rinçage courant)
- **Alimentation**
Batterie Li-ion existante, pas de surcharge système
- **Communication**
BLE 5.0 ou indicateur LED (sans appli obligatoire)
- **Température**
Fonctionnement -10°C à $+60^\circ\text{C}$
- **Robustesse**
Résistance aux chocs (chutes $< 1\text{m}$)

Contraintes Normatives

- **Marquage CE**
Directive basse tension 2014/35/UE
- **CEM — EN 55032**
Compatibilité électromagnétique
- **IEC 60335-2-8**
Sécurité rasoirs électriques
- **RGPD**
Si collecte de données d'usage (opt-in)
- **RoHS**
Absence de substances dangereuses
- **DEEE**
Recyclabilité des composants électroniques

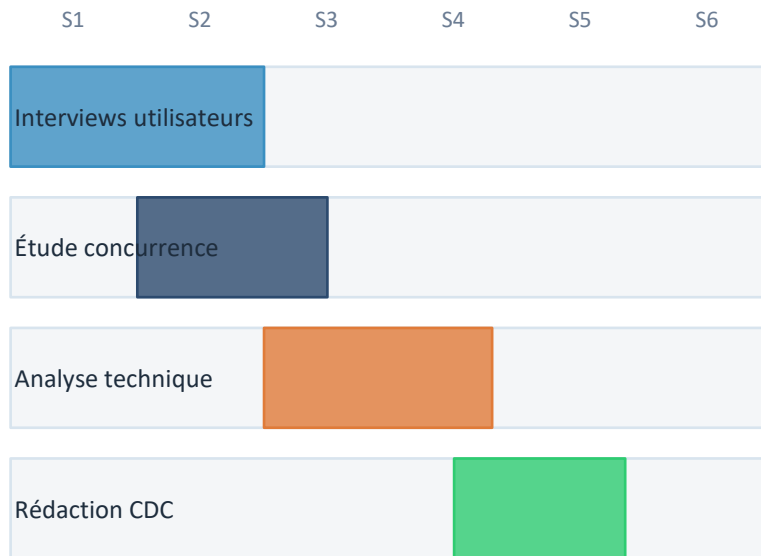
03 — IDENTIFICATION DES CONTRAINTES (2/2)

Budget & Coût cible



Coût additionnel cible : < 25 € TTC/unité

Planning Étape 1



Durée estimée : 6 semaines

04 — REFORMULATION DU CAHIER DES CHARGES

Du besoin brut au CDC fonctionnel structuré

Fonction Principale

- ▶ Le rasoir doit détecter ses propres défaillances
- ▶ Alerter l'utilisateur avant la panne effective
- ▶ Sans intervention technique de l'utilisateur

Contrainte Technique

- ▶ Intégrer les capteurs sans modifier le volume externe
- ▶ Maintenir IP67, autonomie ≥ 45 min/charge
- ▶ Compatibilité avec la chaîne de production existante

Contrainte Utilisateur

- ▶ Interface simple : LED ou notification app
- ▶ Pas de calibration requise par l'utilisateur
- ▶ Fiabilité ≥ 95 % sur détection (faux-pos. < 2 %)

Contrainte Économique

- ▶ Surcoût < 25 € par unité en série
- ▶ Amortissement sur 3 ans d'utilisation
- ▶ Réduction SAV estimée à 30 % (objectif)

Diagramme Bête à Cornes



MÉTHODE — Diagramme Bête à Cornes

FP — Détecter les défaillances

FT1 — Mesurer l'état des composants

FT1.1 — Acquérir signal capteur

FT1.2 — Traiter & comparer seuils

FT2 — Communiquer l'alerte

FT2.1 — Signal LED / vibration

FT2.2 — Notification BLE (opt.)

05 — SYNTHÈSE DE L'ÉTAPE 1

Ce que nous avons établi

- ✓ Besoin principal identifié et validé
- ✓ 5 types de défaillances à surveiller
- ✓ Parties prenantes cartographiées (4 acteurs)
- ✓ Contraintes techniques, normes & coût définis
- ✓ CDC fonctionnel rédigé (FP1, FC1, FC2, FC3)

Prochaines étapes

Étape 2

Analyse fonctionnelle (SYSML, diagramme de cas d'usage)

Étape 3

Choix technologique des capteurs (benchmark)

Étape 4

Architecture système et prototypage

Étape 5

Tests & validation du concept

02

Élaboration du concept

De l'état de l'art au choix retenu

Références : Nobsolete · Camille Jean

2.1

État de l'art

2.2

Exploration des pistes

2.3

Justification du choix

2.4

Description du concept

2.1 État de l'art

✓ Existant — industrie lourde

- Maintenance prédictive sur turbines, machines-outils
- Capteurs vibratoires industriels matures
- Modèles ML de détection d'anomalies éprouvés

✗ Manquant — grand public

- Quasi absence de maintenance prédictive dans le petit électroménager
- Obsolescence non détectée → pannes brutales
- Seulement 18 % des appareils réparés (ADEME)
- Acteur de référence : Nobsolete

→ Gap identifié : opportunité du projet

2.2 Exploration des pistes

Piste	Principe	Coût	Intégration	Précocité	Problème
Capteur de courant	Mesure conso électrique du moteur	Moyen	Invasive	Moyen	Intervient sur le circuit → risque de panne ajoutée
Capteur thermique	Détecte une surchauffe du moteur	Faible	Simple	Tardive	Réagit trop tard — symptôme déjà avancé
Comptage d'usage	Compte le nombre d'utilisations	Très faible	Très simple	Nulle	Ne détecte aucune dérive réelle
Analyse vibratoire ✓	Accéléromètre + gyroscope : signature mécanique	Faible	Non-invasive	Précoce	Modélisation initiale requise — maîtrisable

2.3 Justification du concept retenu

Pourquoi l'analyse vibratoire par accéléromètre + gyroscope ?

01 Physique du problème



Un rasoir est une machine tournante avec lames oscillantes. Toute dégradation (usure, encrassement, déséquilibre) se manifeste d'abord dans la signature vibratoire — avant toute panne visible. C'est le signal le plus précoce disponible.

02 Viabilité économique



Un accéléromètre 3 axes + gyroscope coûte moins de 1–2 € en série industrielle. Compatible avec un produit grand public à prix compétitif — contrainte centrale du brief.

03 Graceful degradation



Le capteur est passif en lecture — il ne modifie pas le circuit électrique du rasoir. Si le capteur tombe en panne, le rasoir continue de fonctionner normalement. Réponse directe à la contrainte du brief.

2.4 Description du concept retenu

Prototype actuel

- M5 Stick C Plus2 fixé extérieurement sur le rasoir
- Acquisition : accX, accY, accZ + gyrX, gyrY, gyrZ
- Enregistrement CSV → analyse Python
- Affichage OK / ANOMALIE sur écran M5 Stick
- Démonstration en conditions contrôlées



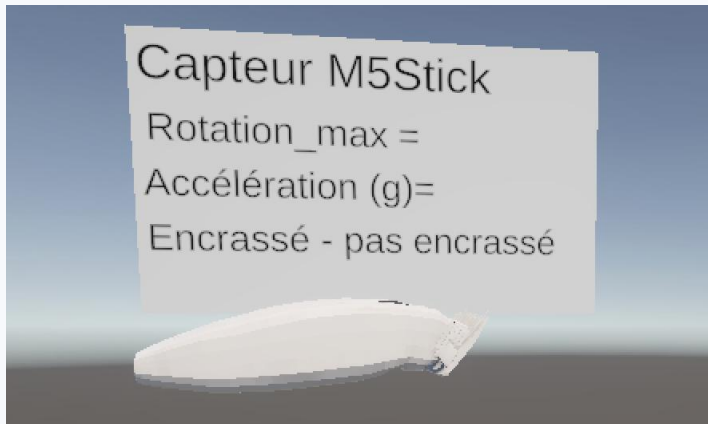
*Vision
industrielle*

Produit final (vision)

- Capteur intégré à l'intérieur du boîtier du rasoir
- Microcontrôleur embarqué (successeur M5 Stick)
- Signature de référence apprise en usine (rasoir sain)
- Alerte utilisateur : LED / application mobile

Valeur ajoutée : l'utilisateur connaît l'état de son rasoir avant la panne → entretien ciblé, durée de vie prolongée

2.4 Simulation Sur Unity et generation de CAO par IA



Valeur ajoutée : l'utilisateur connaît l'état de son rasoir avant la panne → entretien ciblé, durée de vie prolongée



03

Etude de faisabilité technique

Modélisations sous python, et différentes approches

Références : Nicolas Hascoët et Vincent Meyrueis

3.1

Protocole expérimentale et acquisition

3.2

Analyse fréquentielle par FFT

3.3

Analyse géométrique: clustering et TDA

3.4

Classification et validation: Matrice de confusion et arbre de décision

3.1 Protocole expérimental

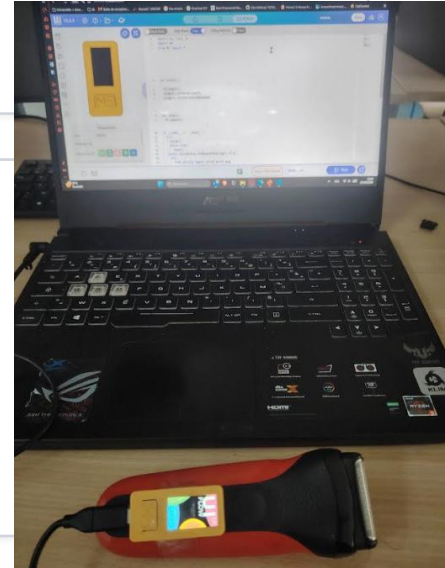
✓ 5 Essais : fonctionnels

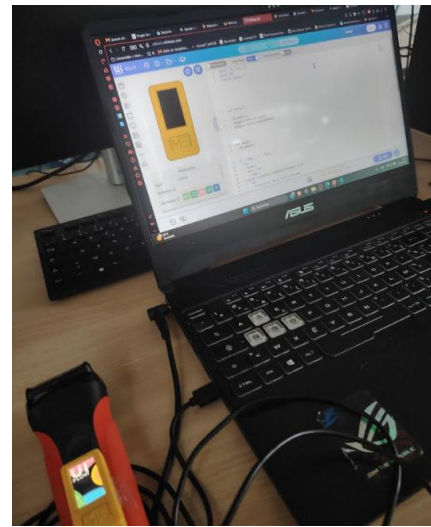
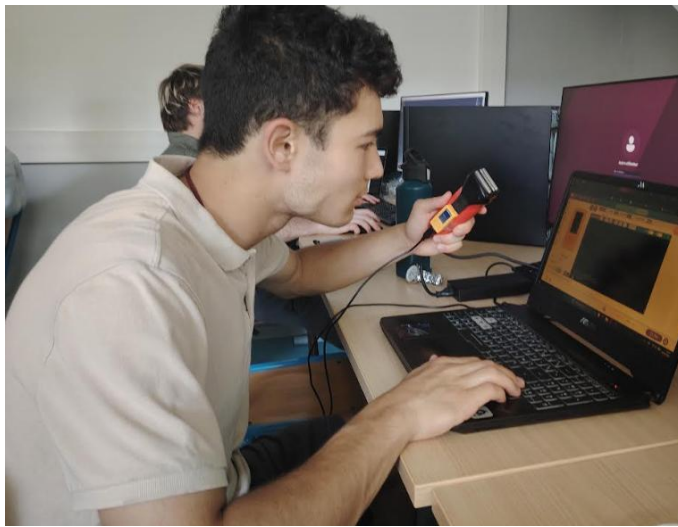
Diagrammes tracés,
Périodicité hypothétique
Données ordonnées

Même rasoir
Même position du capteur
Même durée d'acquisition
Rasoir tenu statiquement en main
Mêmes colonnes mesurées : accX, accY, accZ, gyrX, gyrY, gyrZ

✗ 5 Essais : Encrassé

Diagrammes tracés
Données à ordonner





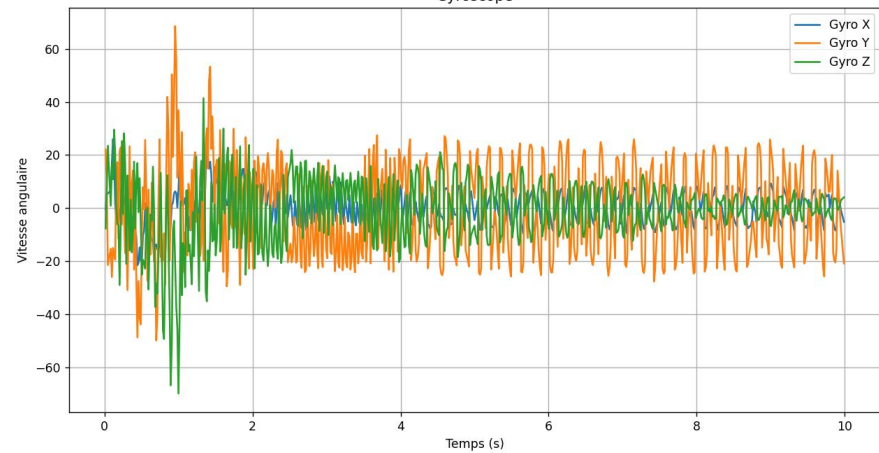
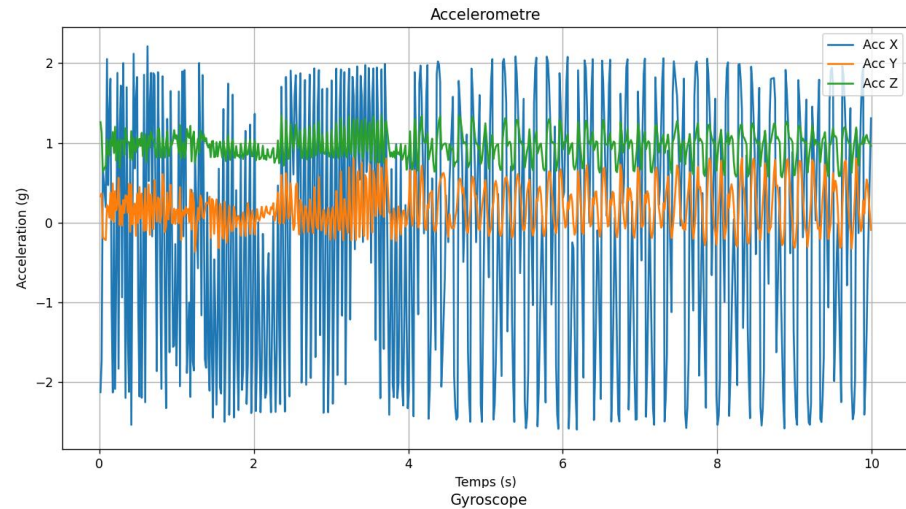
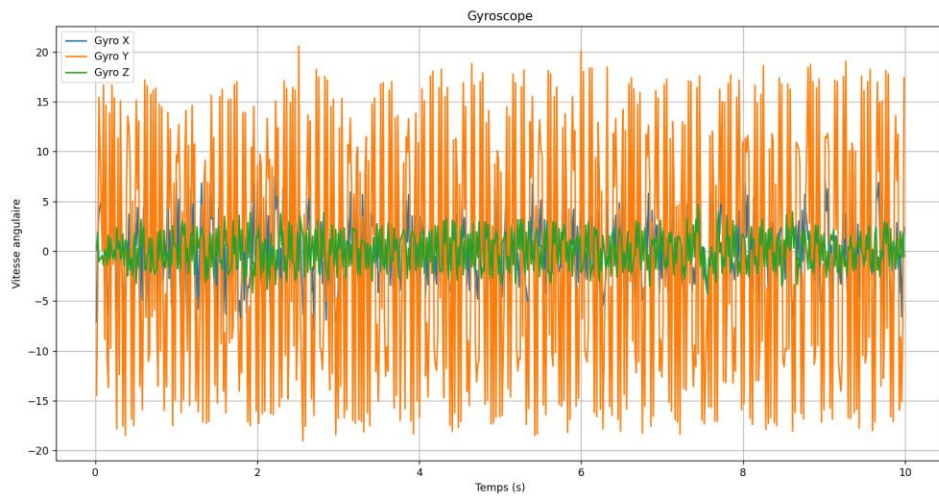
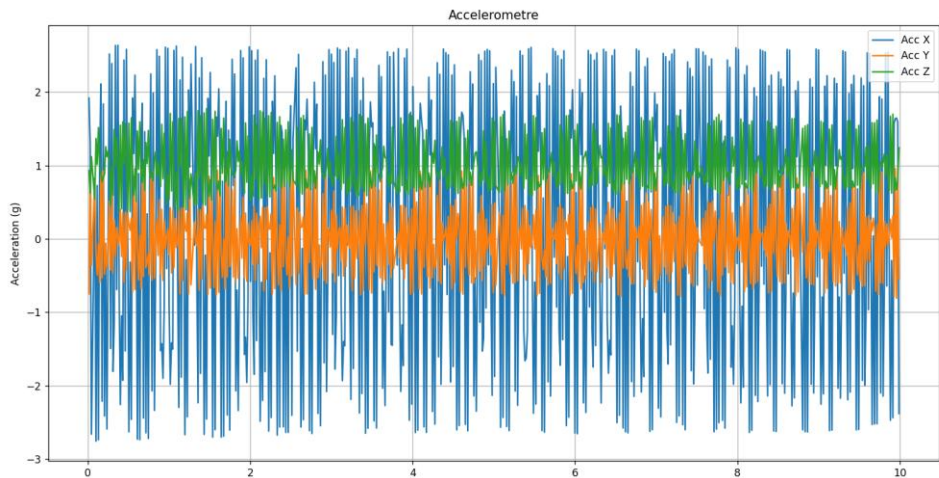
Même rasoir

Même position du capteur

Même durée d'acquisition

Rasoir tenu statiquement en main

Mêmes colonnes mesurées : $accX$, $accY$, $accZ$, $gyrX$, $gyrY$, $gyrZ$



3.1 Analyse fréquentielle par fft

4 / 5

→ Voir si l'encrassement modifie les fréquences vibratoires.

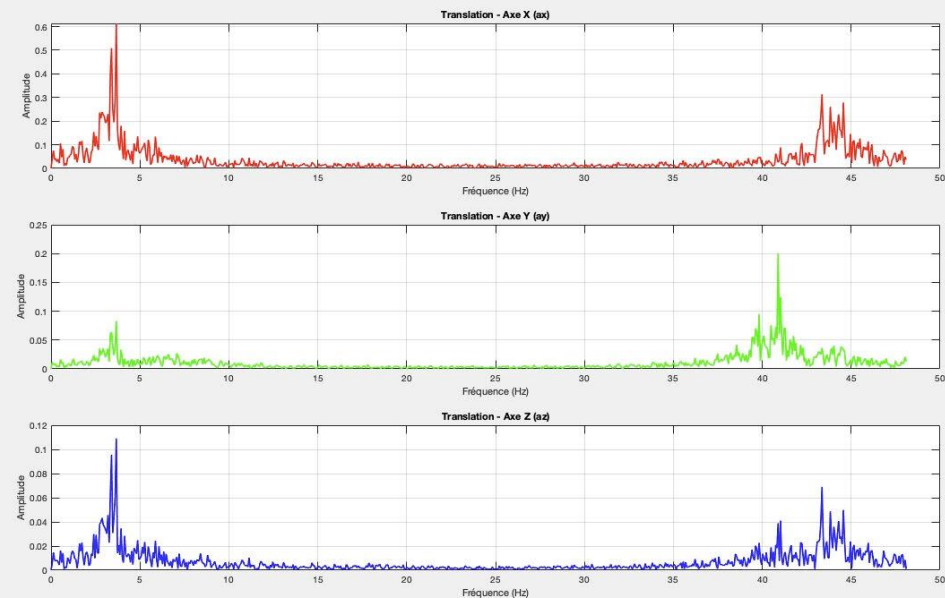
Appliquer la FFT à chaque essai.

Relever : les fréquences dominantes, leur amplitude

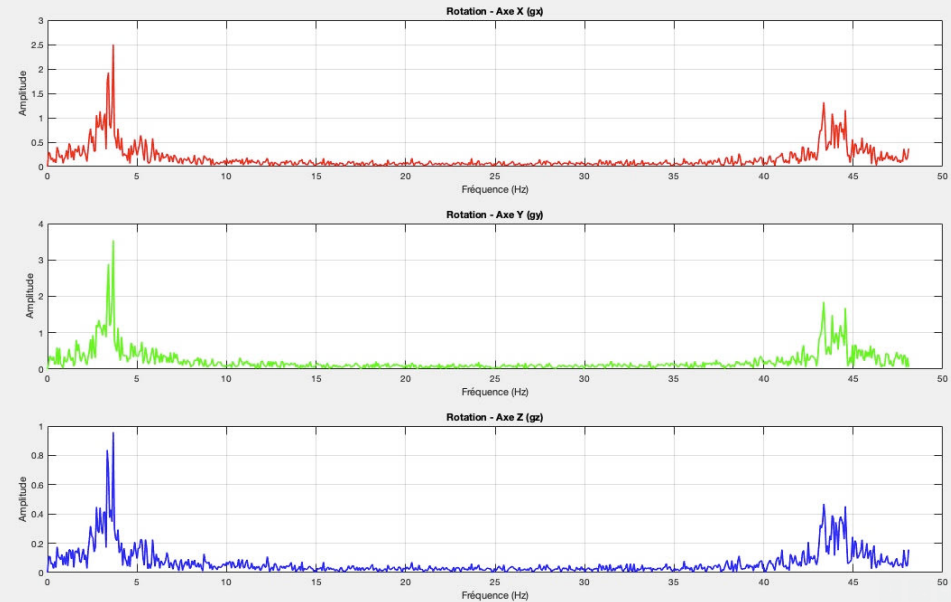
Comparer avec le dataset encrassé

Spectres de Fourier pour un rasoir fonctionnel

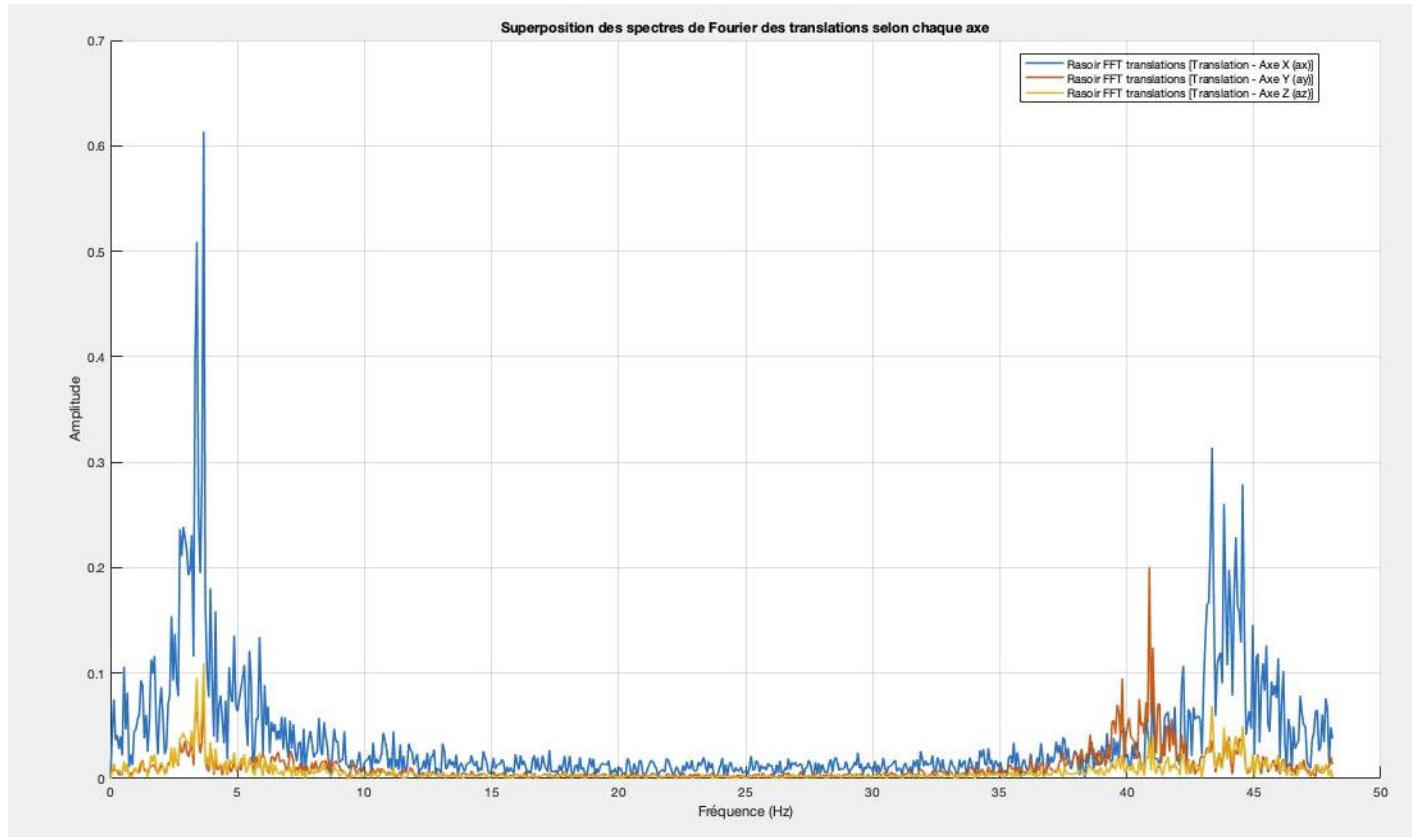
Translations



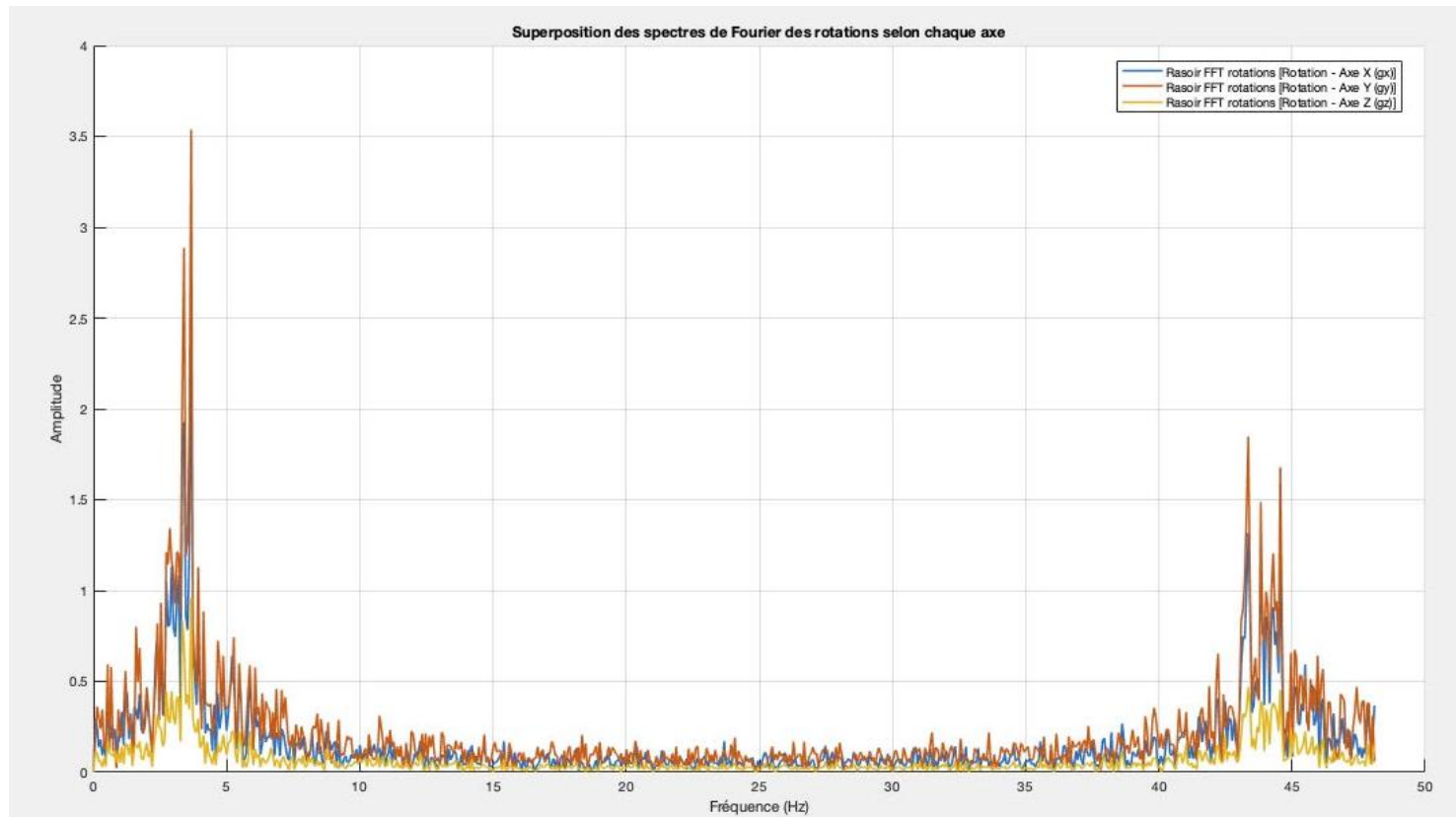
Rotations



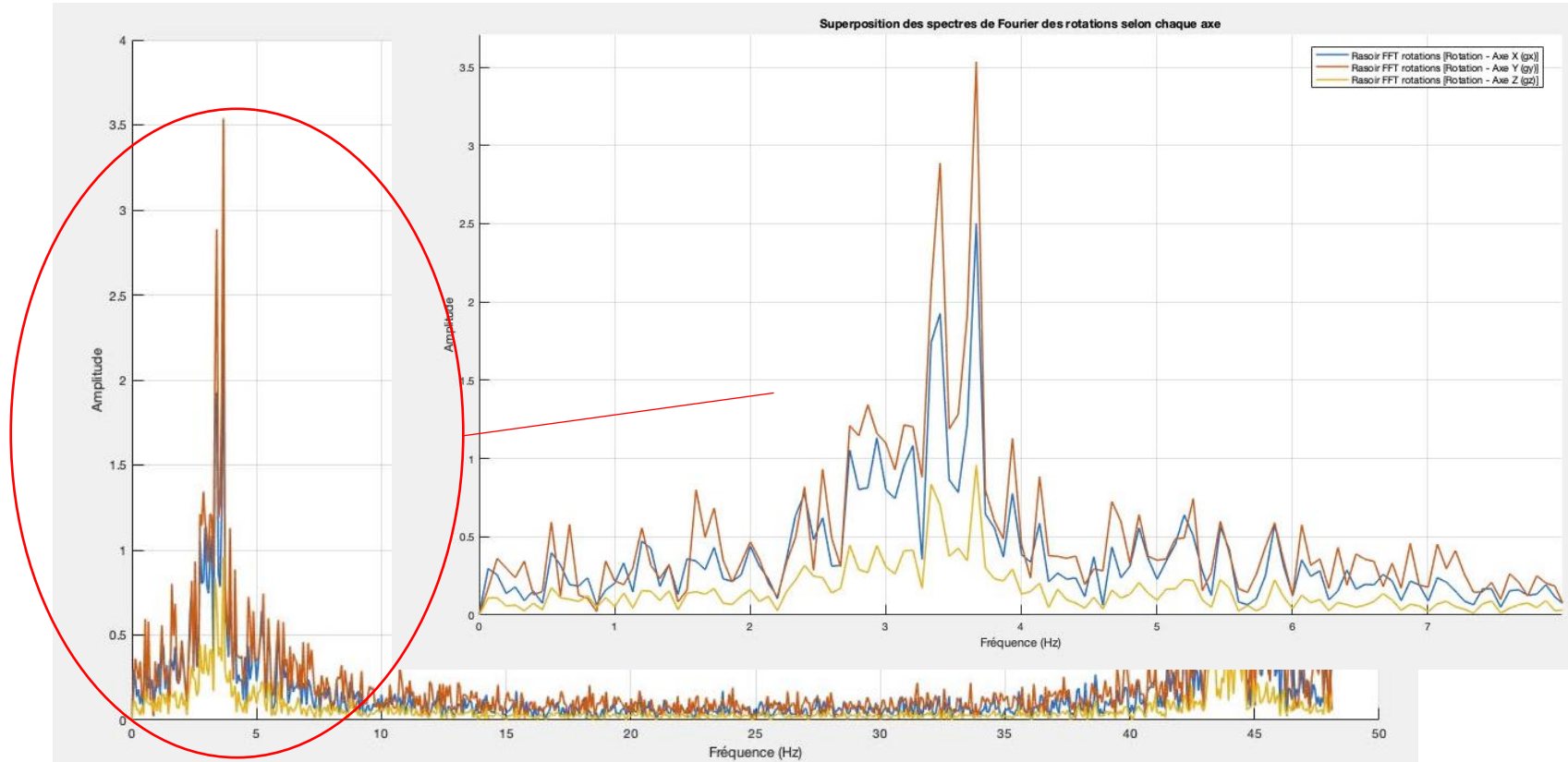
Superposition des translations



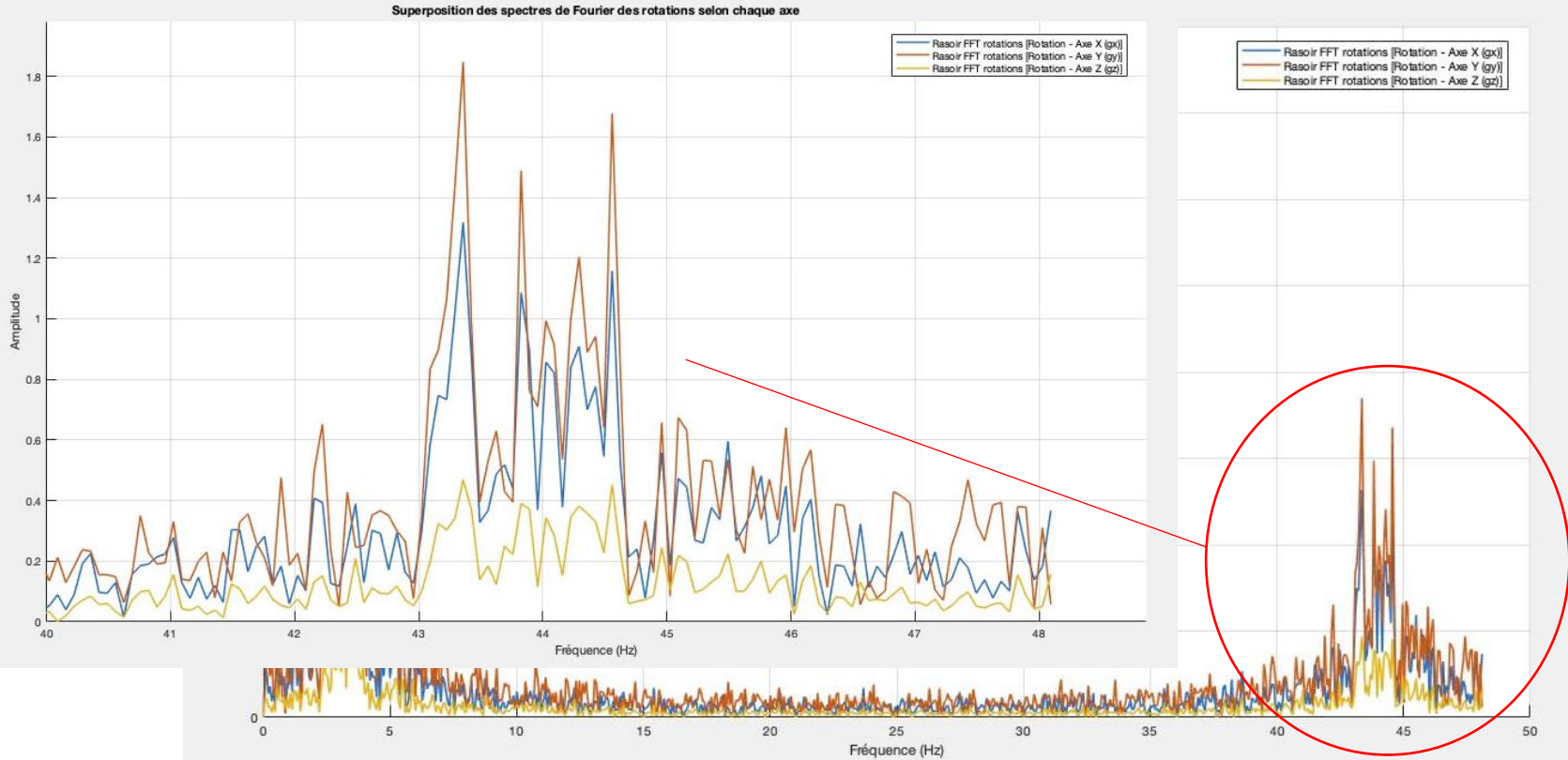
Superposition des rotations



Superposition des rotations

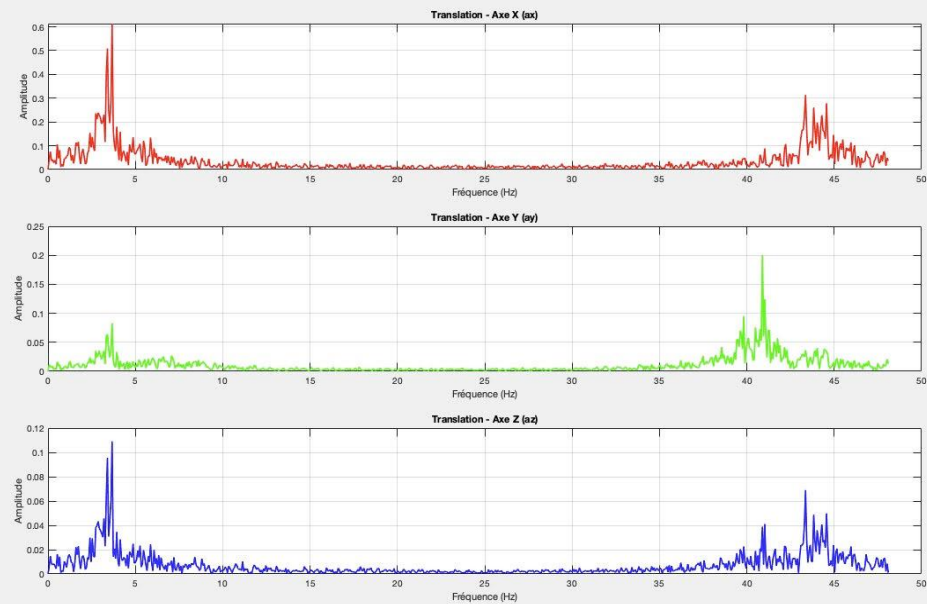
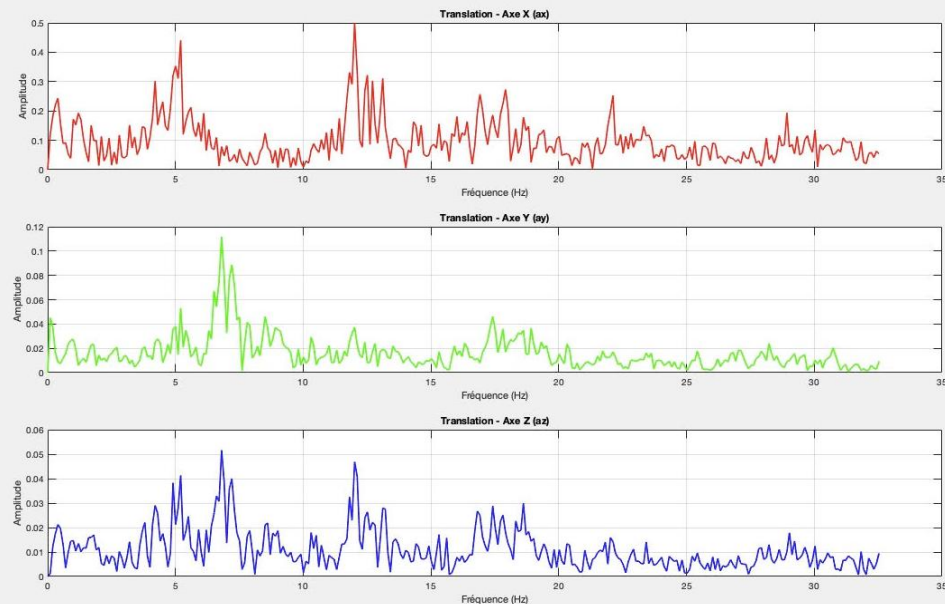


Superposition des rotations



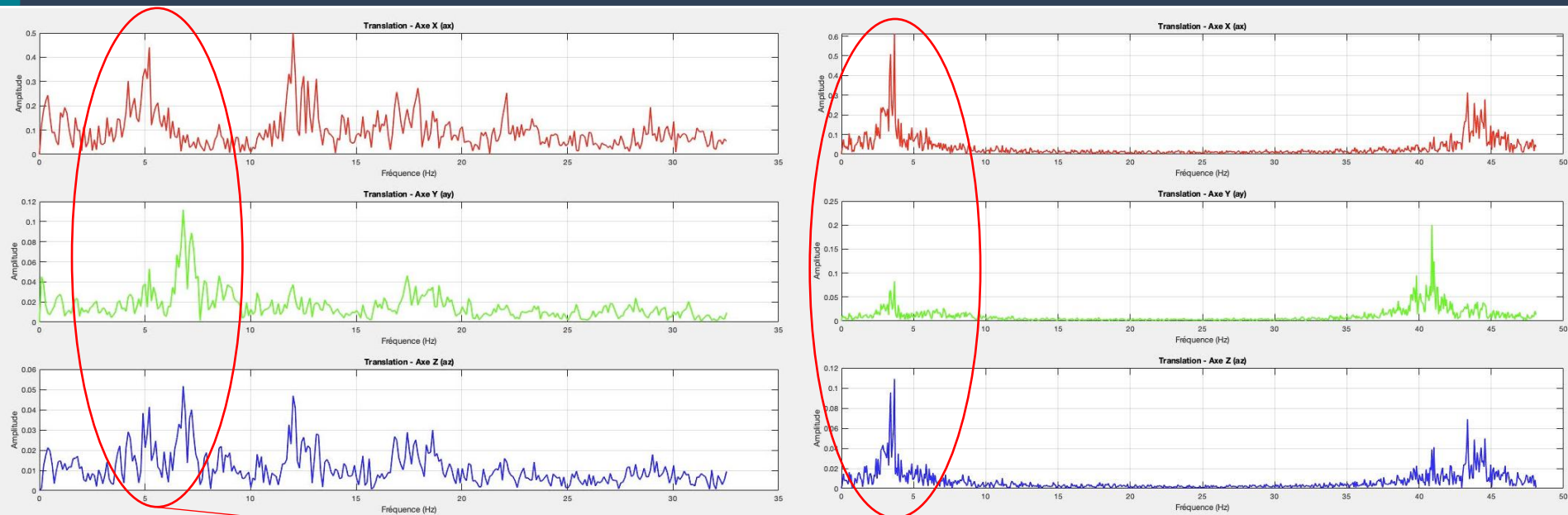
Quelques cas de rasoirs dysfonctionnels

Comparaison des spectres de Fourier en translation avec un rasoir fonctionnel



Quelques cas de rasoirs dysfonctionnels

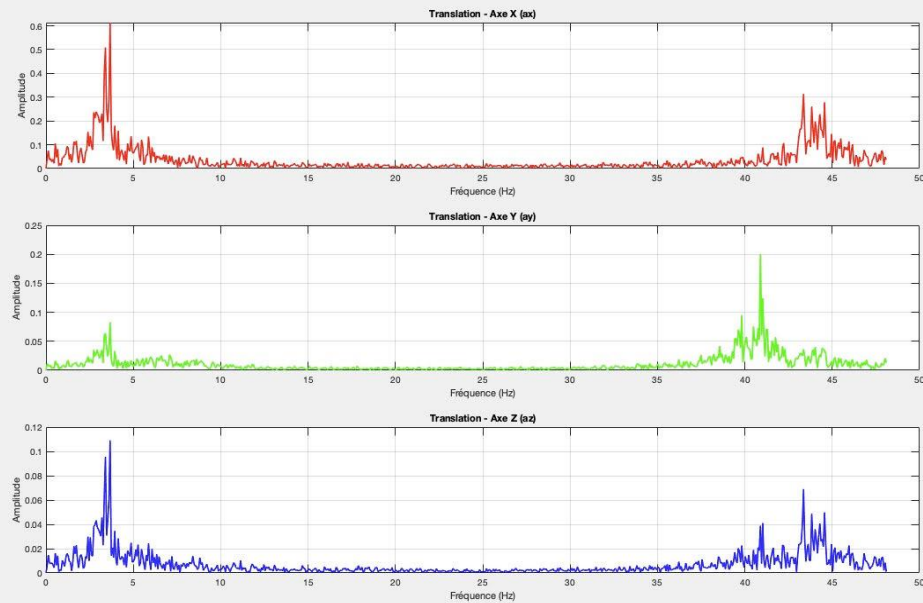
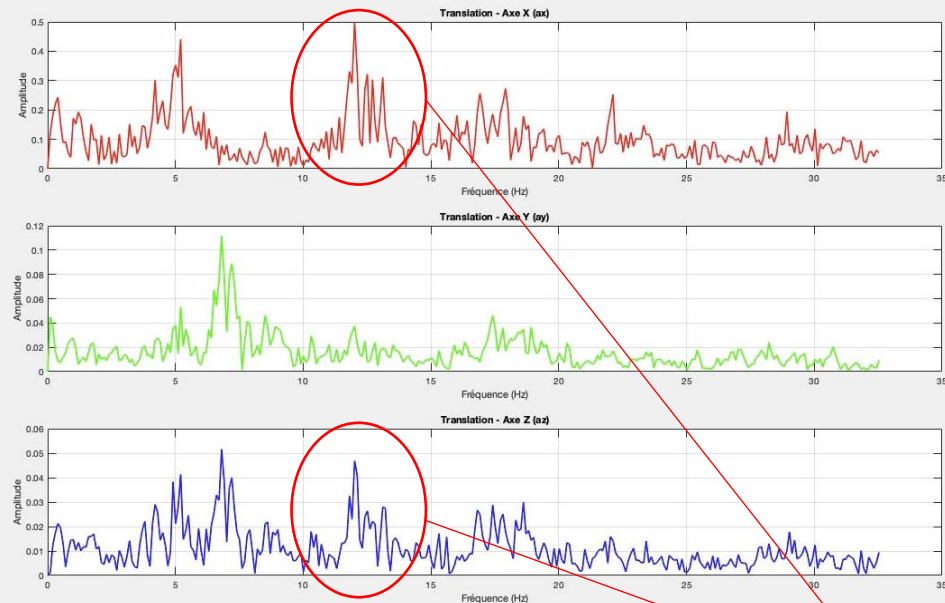
Comparaison des spectres de Fourier en translation avec un rasoir fonctionnel



Pics attendus mais décalés + désynchronisation des fréquences des pics entre les axes

Quelques cas de rasoirs dysfonctionnels

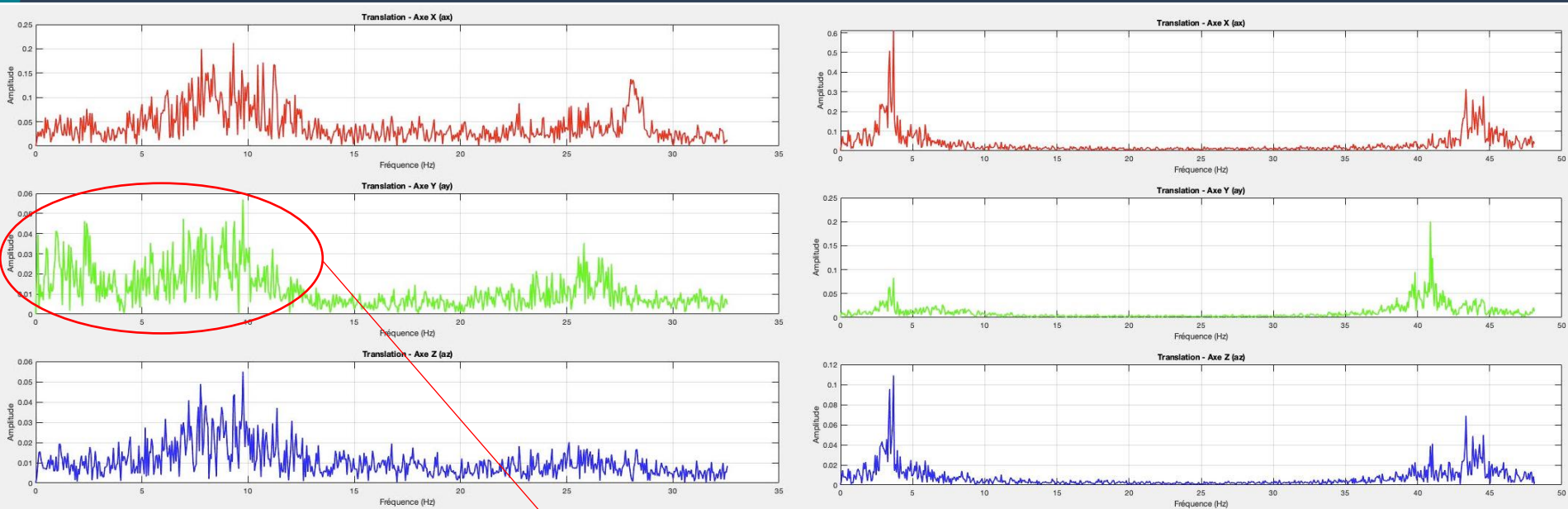
Comparaison des spectres de Fourier en translation avec un rasoir fonctionnel



Apparition de nouveaux pics

Quelques cas de rasoirs dysfonctionnels

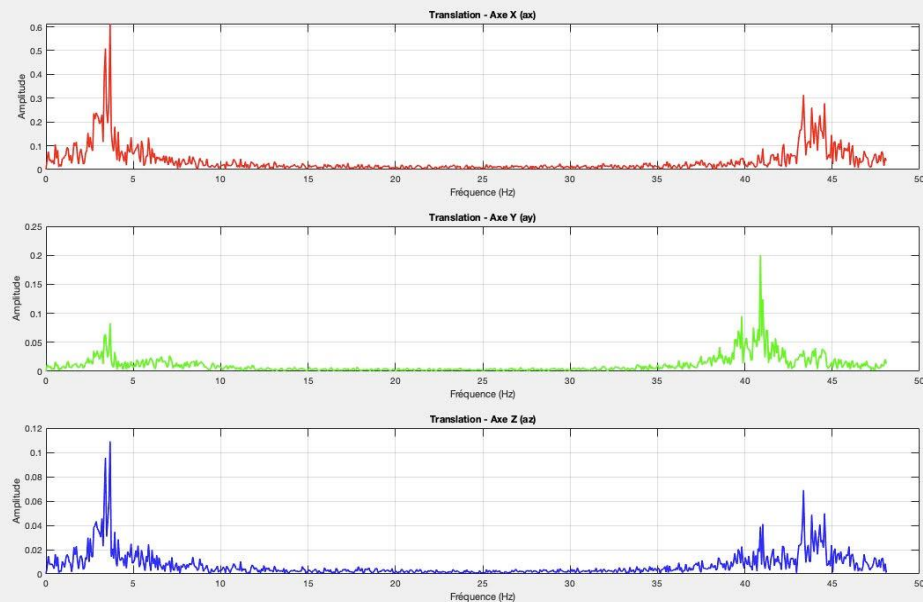
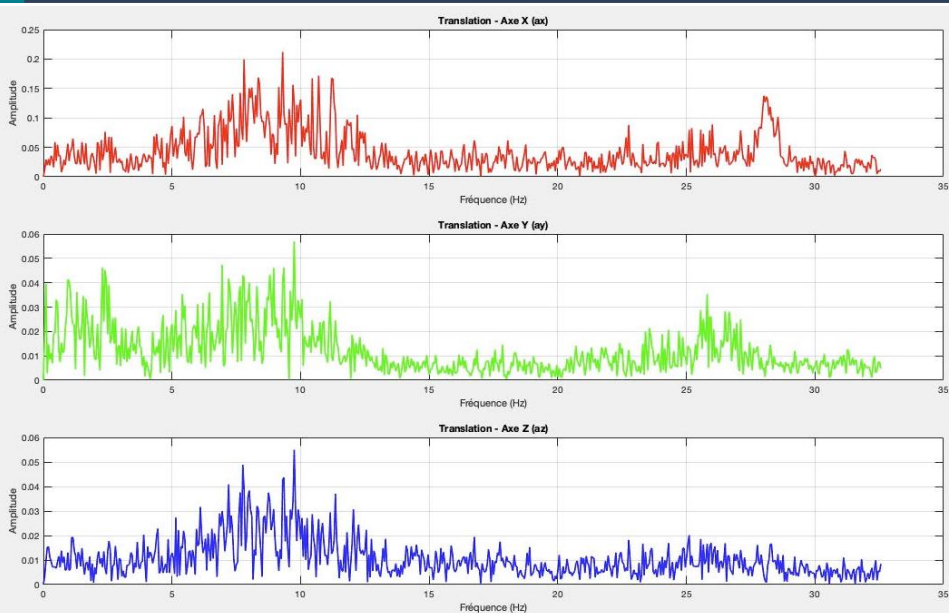
Comparaison des spectres de Fourier en translation avec un rasoir fonctionnel



Spectres dysfonctionnels beaucoup plus bruités

Quelques cas de rasoirs dysfonctionnels

Comparaison des spectres de Fourier en translation avec un rasoir fonctionnel



Les observations sont globalement similaires pour les spectres des rotations

3.3 Analyse géométrique : clustering

5 / 5

Clustering et K-means

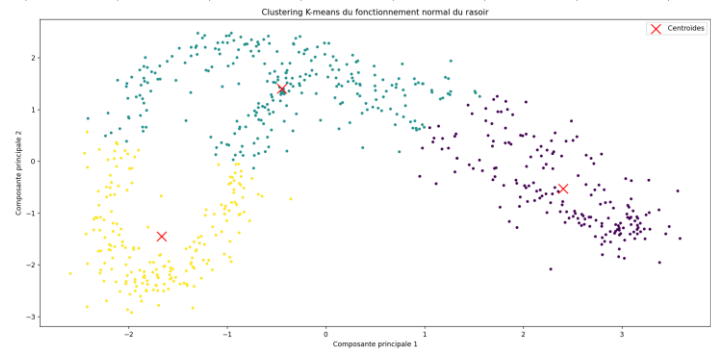
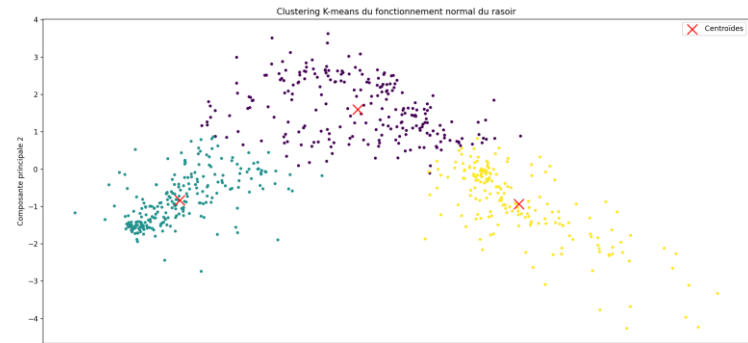
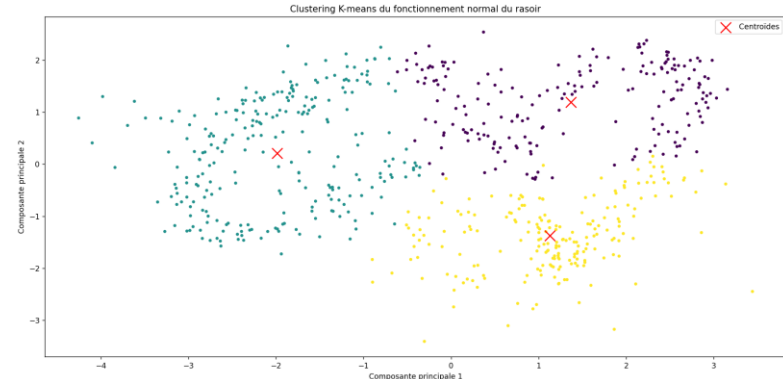
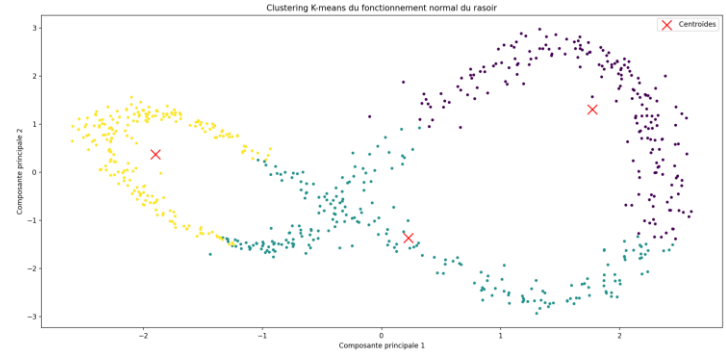
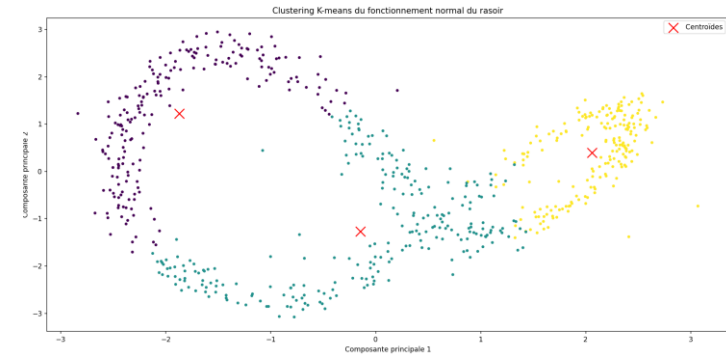
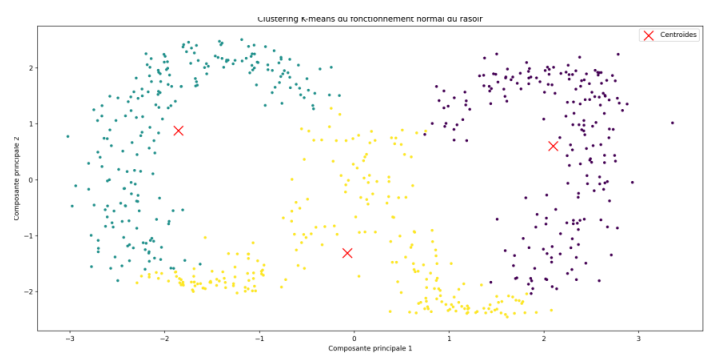
Transformer chaque essai en points ou en caractéristiques.

Utiliser:

- RMS_acc;
- RMS_gyr
- Appliquer K-means avec $K = 2$

→ Les clusters peuvent être mélangés, le clustering seul est insuffisant.

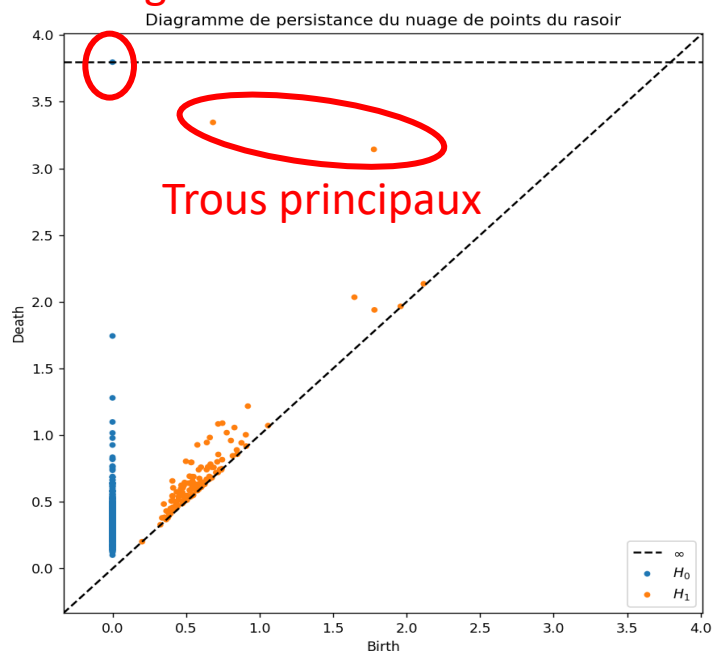




3.3 Analyse géométrique : TDA

5 / 5

Amas général



TDA sur nuage de points

→ Comparer la forme globale des données vibratoires.

Construire un nuage de points pour chaque essai :
RMS_acc RMS_gyr

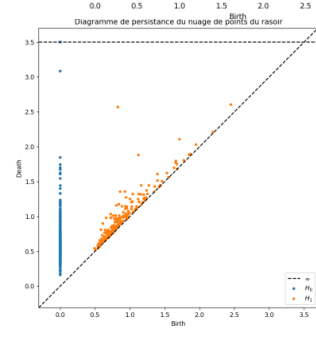
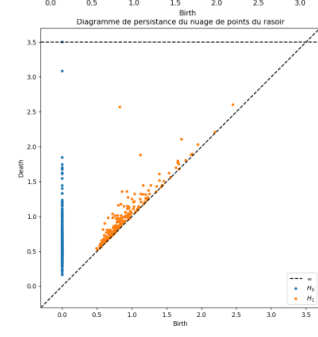
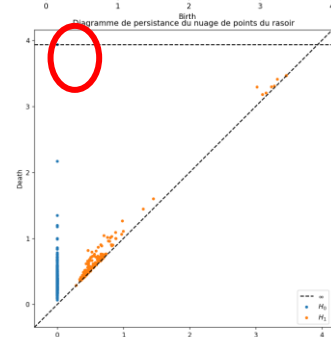
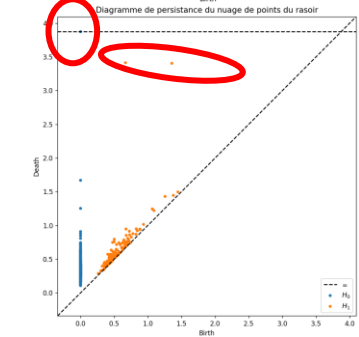
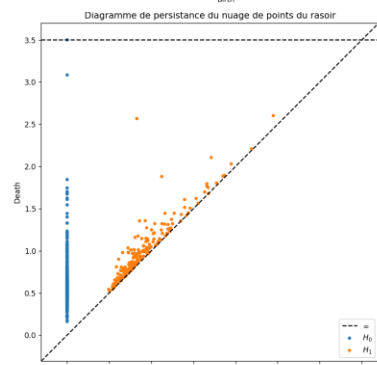
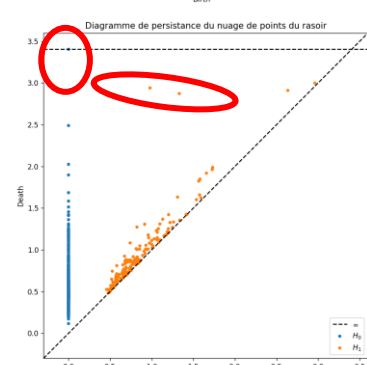
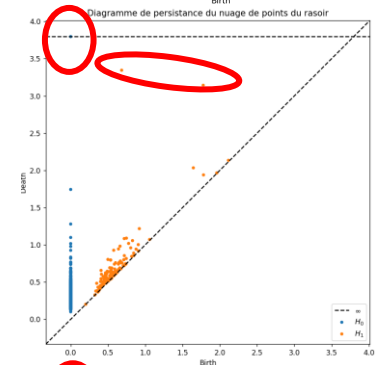
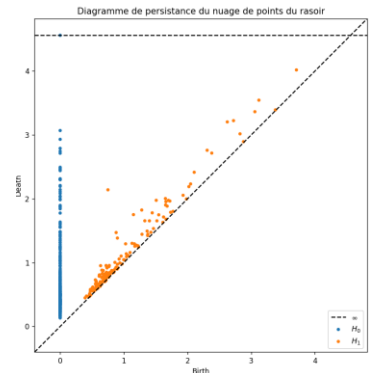
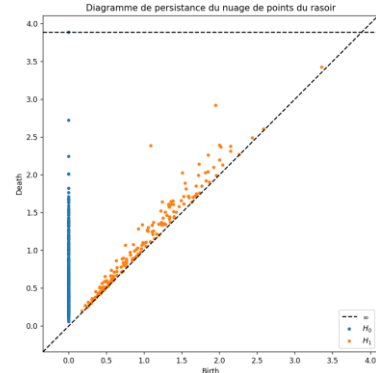
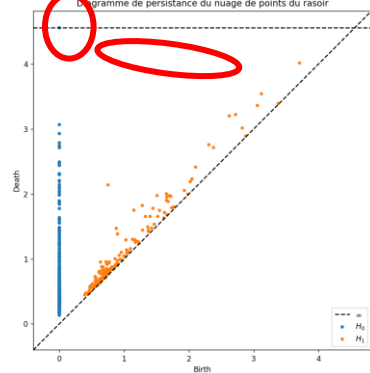
Birth = moment où une structure apparaît

Death = moment où la structure disparaît

Point proche de la diagonale: bruit/ structure faible

Point loin de la diagonale: important/ structure stable

H_0 : Amas, H_1 : boucles/trous



3.4 Classification et validation par arbre de décision + matrice de confusion

5 / 5

Arbre de décision

Évaluer si les indicateurs extraits

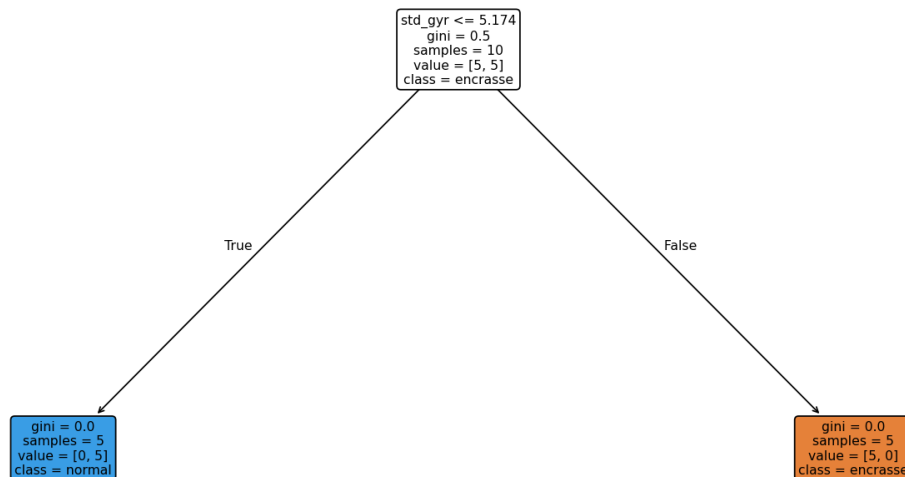
Extraire : RMS_acc et RMS_gyr de tous les fichiers d'essai.

Faire Tourner les TDA et les Cluster

Entraîner un arbre de décision :

Quelle variable sépare le mieux les modèles?

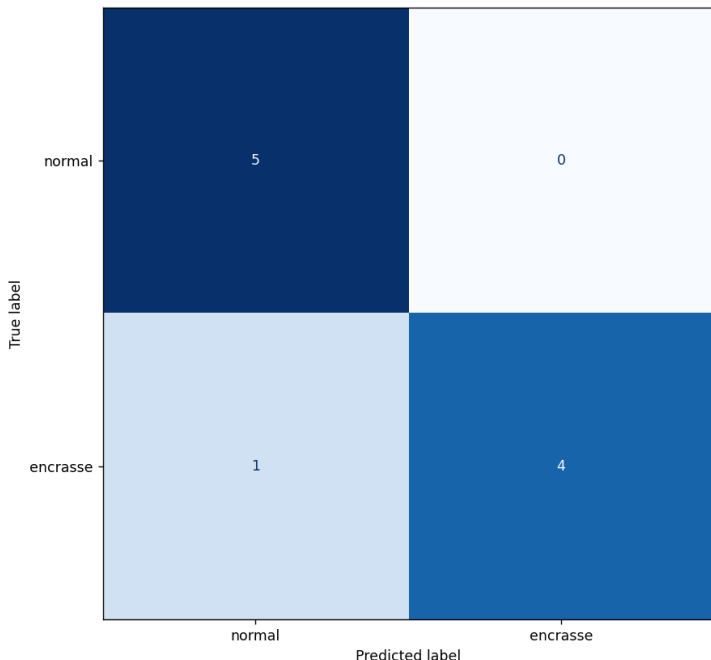
→ « std_gyr » : l'écart-type du gyroscope.



3.4 Classification et validation par arbre de décision + matrice de confusion

5 / 5

Matrice de confusion - rasoir normal vs encrassé



Matrice de confusion

Permettent-ils de détecter correctement l'encrassement.

A l'aide de l'arbre de décision, construire les différents cas, et leur résultat.

Afficher les faux positifs (!)

04

Pertinence de la solution et conclusion

Références : José Hidalgo · Nobsolete

4.1

Adéquation au besoin

4.2

Analyse ACV

4.3

Avantages & limites

4.4

Résultats obtenus

4.5

Perspectives

04 — ADÉQUATION AU BESOIN INITIAL

La solution répond-elle au cahier des charges ?



Étendre la durée de vie du rasoir

Détection précoce des dérives → entretien ciblé avant la panne → durée de vie prolongée



Utiliser des capteurs + traitement de données

Accéléromètre + gyroscope M5 Stick, analyse Python (K-means, TDA, arbre de décision)



Être économiquement viable

Capteur < 2 € en série industrielle ; code embarqué sur microcontrôleur bas coût



Ne pas ajouter de pannes (graceful degradation)

Capteur passif en lecture — le rasoir fonctionne normalement si le capteur est défaillant



Apporter une valeur ajoutée

Utilisateur : connaît l'état de son rasoir / Fabricant : données SAV en temps réel



04 — ANALYSE DU CYCLE DE VIE (ACV SIMPLIFIÉE)

Comparaison rasoir standard vs rasoir augmenté — approche cradle-to-grave



Fabrication

Standard :

Impact de base : acier, plastique ABS, cuivre moteur

Augmenté :

+20 % environ : ajout accéléromètre, microcontrôleur, PCB supplémentaire

Produit augmenté : impact plus élevé

Phase d'usage

Standard :

Panne non anticipée → remplacement de l'appareil entier

Augmenté :

Détection précoce → maintenance ciblée → durée de vie x1,5 à x2 estimée

Produit augmenté : gains environnementaux significatifs

Fin de vie

Standard :

Recyclage classique métal/plastique

Augmenté :

Composants électroniques supplémentaires → tri DEEE requis ; historique d'usage disponible

Légèrement plus complexe, mais traçabilité améliorée

Arbitrage : +20 % d'impacts en fabrication compensés par une durée de vie x1,5–2 → bilan environnemental favorable sur le cycle complet

04 — AVANTAGES ET LIMITES DE LA SOLUTION

✓ Avantages

- Détection précoce des dérives avant toute panne visible
- Non-invasif : aucune modification du circuit électrique
- Coût d'intégration < 2 € en série industrielle
- Graceful degradation : rasoir fonctionnel si capteur hors service
- Double valeur ajoutée : utilisateur + fabricant (données SAV)
- Approche générique : transposable à d'autres petits électroménagers

✗ Limites

- Anomalies simulées en lab ≠ conditions réelles de terrain
- Modèle entraîné sur un seul rasoir → généralisation limitée
- Sensibilité aux mouvements de la main (bruit de mesure)
- Pas de diagnostic précis de la cause de la panne
- Infrastructure logicielle requise pour le produit final (app / cloud)
- Absence de validation sur durée longue (vieillessement réel)

04 — CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Réponse au besoin initial

Nous avons démontré la faisabilité d'un système de maintenance prédictive par analyse vibratoire sur un rasoir électrique :
Economiquement viable (< 2 €), non-invasif, et apportant une valeur réelle à l'utilisateur comme au fabricant.

Barrières à lever

- Industrialisation : miniaturisation du capteur et intégration boîtier
- Validation terrain sur plusieurs appareils et durée longue
- Normes CE et compatibilité électromagnétique (CEM)
- Modèle économique : coût additionnel vs gain perçu par le consommateur

Perspectives d'amélioration

- Entraîner le modèle sur une flotte de rasoirs (apprentissage fédéré)
- Ajouter un capteur de courant pour corrélérer vibration et puissance
- Créer un passeport numérique produit (historique SAV, matériaux)
- Étendre l'approche à d'autres petits électroménagers (cafetière, tondeuse)



Un capteur à 2 € peut éviter de jeter un rasoir à 80 € — c'est le pari de la maintenance prédictive accessible.

05

Organisation & Répartition des tâches

Rôles · Planning · Outils de collaboration



Références : cours de gestion de projet · Git · GitHub

5.1

Répartition des rôles

5.2

Planning du projet

5.3

Outils de collaboration

5.1 Répartition des rôles

LG

Loïc Gautier

Éco concepteur

Coordination générale

Rédaction du rapport

PI

Paul Ikonou

Data Science / Python

FFT & analyse
fréquentielle

Machine Learning

MM

Matthieu Meurin

Simulation Unity

Intégration M5StickC+2

Organisation, coordination

LL

Louis Labesse

Acquisition capteur

Protocole expérimental

Data science / Python
Validation & tests

5.2 Planning du projet : GANT



5.3 Outils de collaboration

Versionning

Gitlab

Dépôt central du projet. Branches par fonctionnalité, pull requests, historique complet du code Python et scripts Unity.

- Branches : main / dev / feature-*
- Issues pour le suivi des tâches

Analyse de données

Python / Jupyter

Notebooks partagés via GitHub pour l'analyse FFT, le clustering et la classification des données capteur.

- Notebooks versionnés
- Bibliothèques : numpy, scipy, sklearn
- Exports CSV → Unity

Simulation 3D

Unity Hub

Projet Unity versionné sur GitHub. Modélisation du rasoir, affichage des données capteur en World Space.

- Assets/ versionné
- Scènes partagées
- JSON capteur importé

MERCI POUR VOTRE ECOUTE

