

Cas d'usage n°1 : Détection d'un défaut sur la bague interne du roulement principal d'une éolienne.

Ce cas d'usage a été rédigé pour documenter la casse d'un roulement principal d'une éolienne. Il présente en détails le diagnostic réalisé à partir des indicateurs et alarmes calculés par AStrion. Leur calcul est intégralement automatique. Les figures présentées ici sont directement tirées de l'interface web d'AStrion et ne sont que de la consultation de résultats automatiques. Il est très détaillé afin de présenter également les étapes de calculs d'AStrion.

Contexte et jeu de données

Le 30 décembre 2015, la casse du roulement principal d'une éolienne Eco 80 2.0 a provoqué une panne majeure et une année de perte d'exploitation. Le présent cas d'usage porte sur l'analyse des données de 2014 et 2015. Il montre comment AStrion aurait pu empêcher la panne de la machine en détectant le défaut plusieurs mois avant la casse. La signature du défaut est portée en basse fréquence par une famille harmonique à la fréquence de passage des billes sur le défaut de la bague interne (BPFI) du roulement principal. Les premières alertes sont levées plusieurs mois avant la casse lorsque l'énergie de cette composante augmente de manière significative.

Des signaux vibratoires ont été enregistrés du 10 février 2024 au 19 novembre 2015, soit 1356 signaux de 40 secondes échantillonnés à 25kHz (par capteur). Malheureusement, il n'y a pas de mesures disponibles après le 19 novembre soit quelques jours avant la casse du roulement.

Les 6 capteurs sont placés à différents points de la machine :

- Vib1 : roulement principal
- Vib2 : roulement d'entrée du boîtier d'engrenage planétaire
- Vib3 : 2^{ème} étage du boîtier d'engrenage planétaire
- Vib4 : 1^{er} étage du boîtier d'engrenage planétaire
- Vib5 : roulement d'entrée du générateur
- Vib6 : roulement de sortie du générateur

Un top-tour est également fixé sur l'arbre rapide de la génératrice afin de mesurer la vitesse de rotation de celle-ci. Il permet le rééchantillonnage angulaire des signaux. L'ensemble des mesures sont acquises de manière synchrone.

Afin d'analyser la machine dans des conditions de fonctionnement similaires, AStrion est paramétré pour ne considérer que les signaux pour lesquels la vitesse de rotation de la génératrice est supérieure à 1600 tr/min. La vitesse optimale pour la génération d'énergie est de 1800 tr/min, l'éolienne étant contrôlée pour ne pas aller au-delà.

L'ensemble des résultats présentés ci-après ont été calculés automatiquement à partir de ce jeu de donnée.

Etape 1 : validation des données et rééchantillonnage angulaire

La validation des données est dans ce cas d'usage très intéressante : elle permet de détecter que le capteur Vib1 s'est décollé en septembre 2015. En effet, à partir de cette date, le taux de non-stationnarité croît fortement (voir Figure 1).

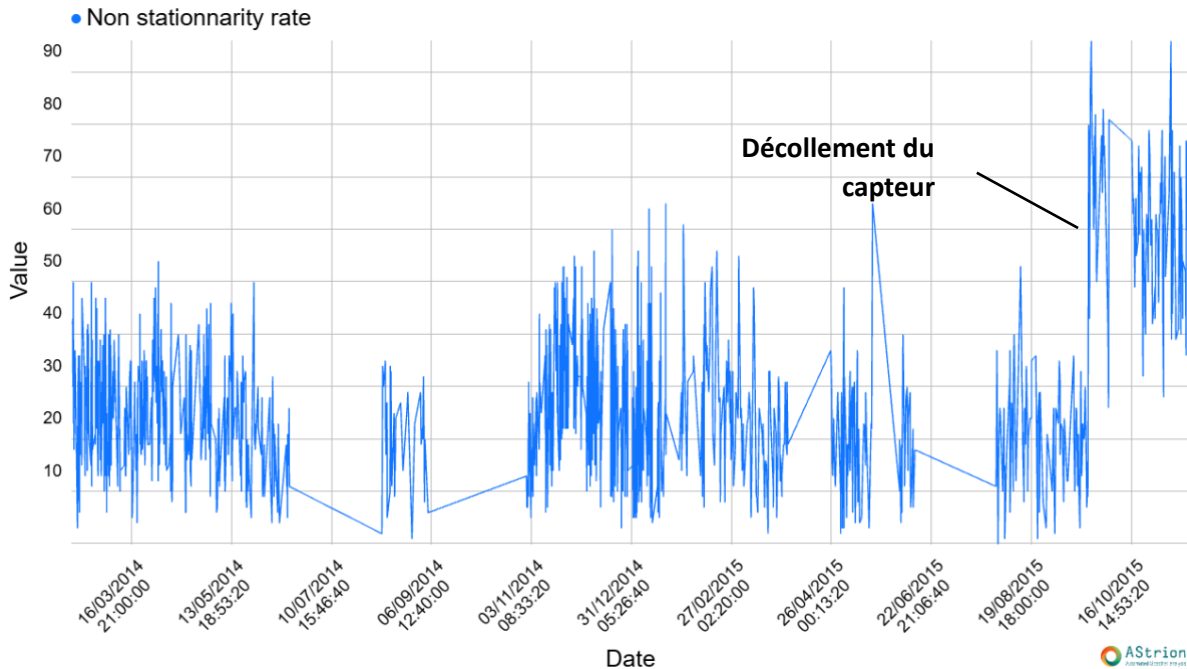


Figure 1: Evolution du taux de non-stationnarité indiquant un décollement du capteur vib1 en septembre 2015.

La consultation d'un rapport de signal fin septembre montre que le décollement du capteur provoque l'apparition de chocs.

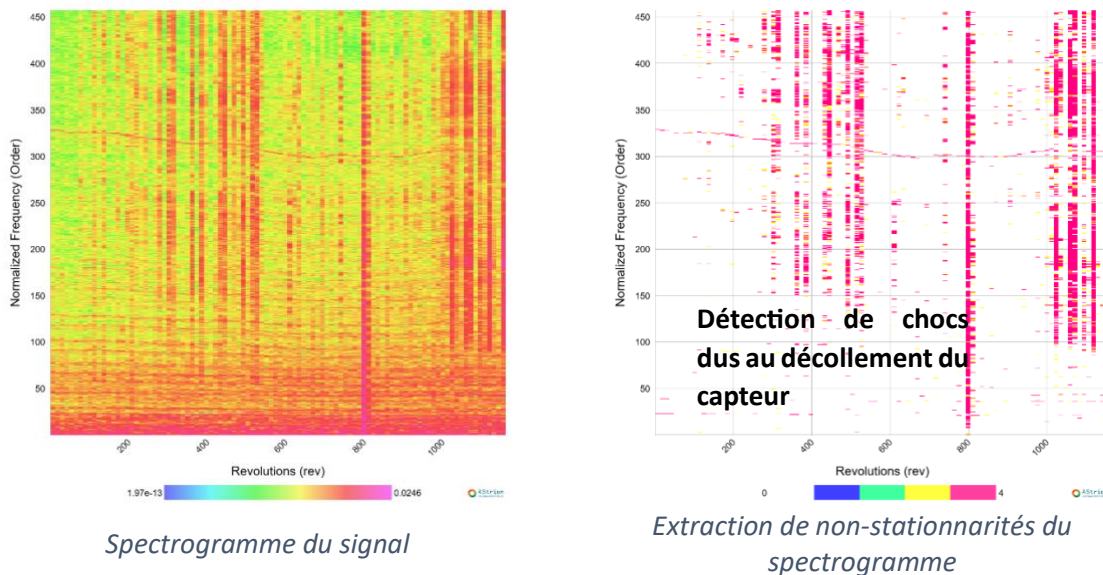


Figure 2: Spectrogramme et extraction des non-stationnarités d'un signal illustrant le capteur décollé.

L'indice de non-stationnarité est calculé en extrayant les parties non-stationnaires (fréquentielles et temporelles) du spectrogramme du signal. Il est visuellement très net que l'augmentation du taux de non-stationnarité est due à des chocs, représenté par des instants où l'ensemble des fréquences est excité : barres verticales rouges.

Le capteur vib1 n'est pas exploitable sur la fin de la période d'analyse. L'étude se focalise donc sur le capteur vib2, relié au roulement principal par un arbre de rotation.

Afin de compenser les variations de vitesse de l'éolienne dues aux variations de la vitesse du vent, les signaux sont rééchantillonnés angulairement à l'aide du top-tour. Cela améliore nettement les non-stationnarités dues aux variations du vent mais est en revanche sans effet sur les chocs. Les signaux temporels sont maintenant gradués en angle et les spectres en ordre.

Etape 2 : Extraction des familles harmoniques pour chaque signal

Astrion est capable de détecter automatiquement l'ensemble des pics fréquentiels présents sur le spectre du signal temporel. Les pics détectés sont regroupés en familles d'harmoniques et éventuellement en familles de bandes latérales s'il y a des phénomènes de modulation. Ces familles harmoniques sont ensuite associées à la cinématique lorsqu'elle est connue ce qui est le cas ici.

Dès les premières mesures, une famille harmonique associée au passage des billes sur le défaut de la bague interne (BPFI : Ball passing frequency on the inner race) du roulement principal à la fréquence 0,31 est détectée avec 6 harmoniques soit presque 2 ans avant la casse du roulement (voir Figure 3).

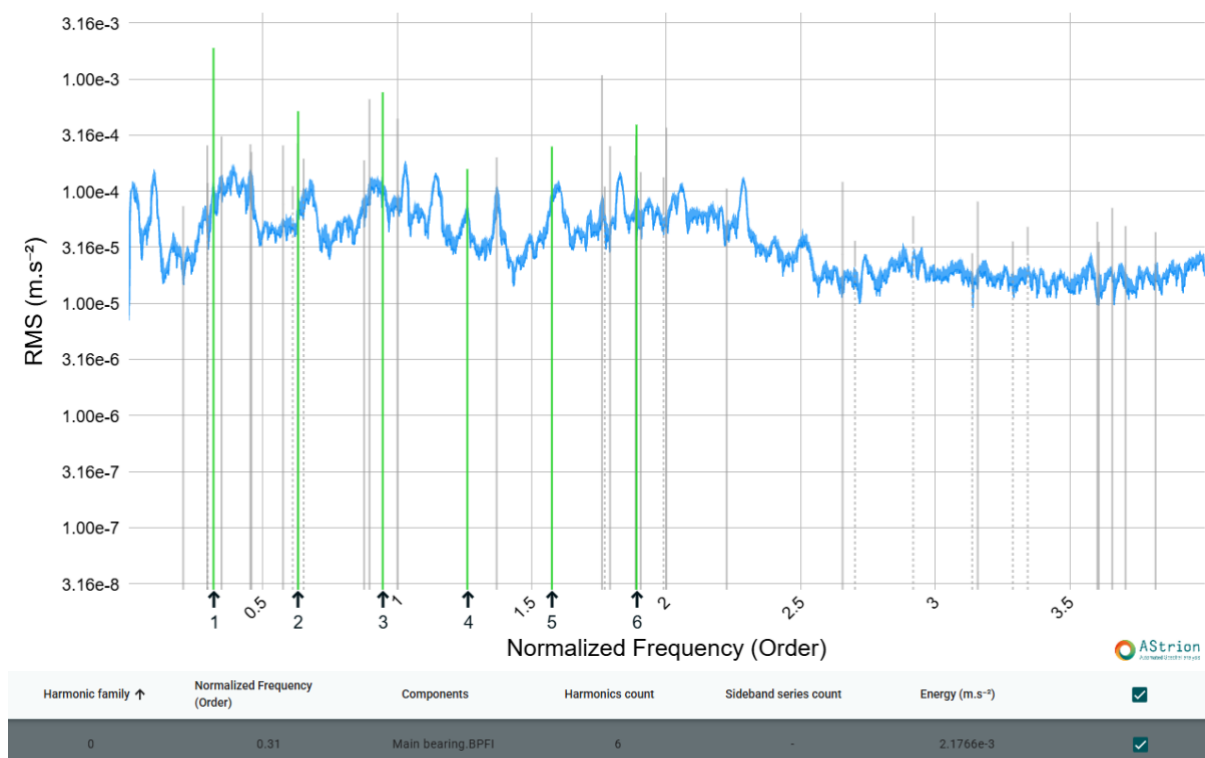


Figure 3: Détection automatique de la famille d'harmonique liée au passage des billes sur la bague interne du roulement.

Etape 3 : Suivi dans le temps de la famille d'harmonique liée à la BPFI du roulement principal

Les étapes 1 et 2 sont réalisées automatiquement pour chaque signal, fournissant ainsi l'ensemble des familles harmoniques détectées en fonction du temps. L'étape 3 permet de suivre l'évolution de chaque famille à travers différents indicateurs. Des alertes sont levées lorsque ces indicateurs présentent une dérive.

La Figure 4 présente un aperçu des trajectoires suivies par Astrion. Les différentes vignettes permettent de visualiser l'évolution de chacun des indicateurs estimés par Astrion au cours du temps. La trajectoire relative à la BPFI du roulement principal est encadrée en rouge sur la figure. La signature du défaut de roulement est présente sur 71 % des mesures.

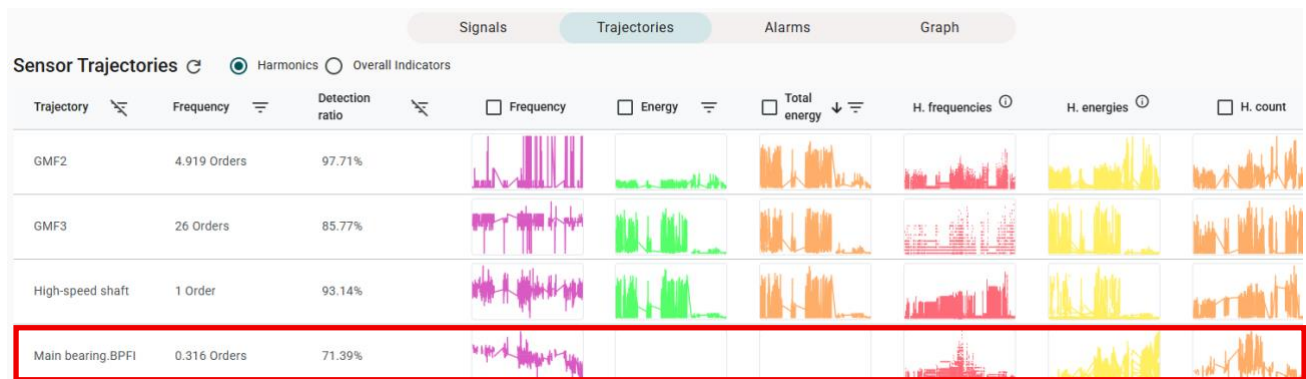
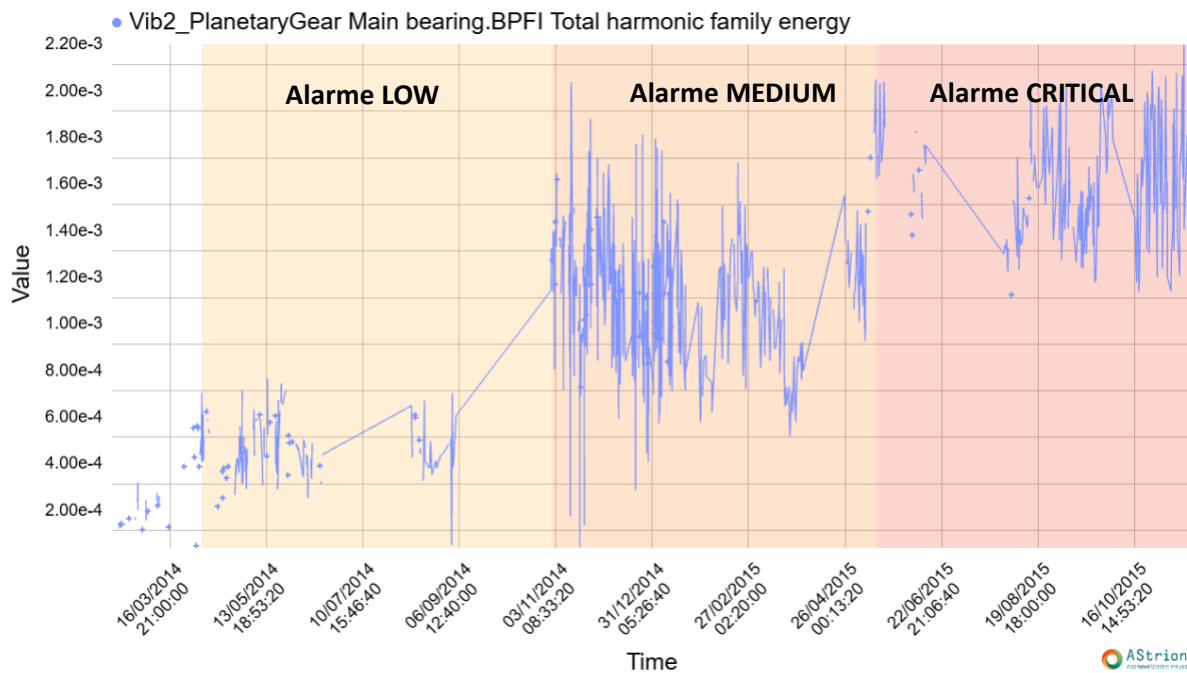


Figure 4: Aperçu des trajectoires suivies par Astrion avec en particulier la trajectoire associée à la BPFI du roulement principal (encadré rouge).

La Figure 5 montre l'évolution de l'énergie totale sur la période d'analyse. Une première alarme est levée dès avril 2014 suite à une première légère augmentation d'énergie de la famille harmonique liée au défaut du défaut. La sévérité de cette alarme passe de LOW à MEDIUM à partir de novembre 2014 puis de MEDIUM à CRITICAL à partir de mai 2015 suite à deux augmentations plus conséquentes et assez soudaines de l'énergie.

La Figure 6 montre l'évolution en énergie de chacun des harmoniques. Ceux-ci évoluent de manière assez caractéristique aux défauts de roulement : les harmoniques d'ordre 3 (en bleu) et 6 (en vert) sont pendant longtemps plus énergétiques que l'harmonique d'ordre 1 (en rouge). Ce dernier devient extrêmement prédominant à partir de fin octobre 2015, c'est-à-dire 2 mois avant la casse du roulement. La domination par l'harmonique d'ordre 1 permet d'affirmer que le roulement est à son dernier stade de dégradation.



Equipment Alarms +

Name	Severity	Last trigger date	Source	Detected on sensors
Main bearing	Critical	2015/11/19 00:23:16		Vib2_PlanetaryGear

Figure 5: Suivi de l'énergie de la famille harmonique de la BPF du roulement principal et levée d'alarmes

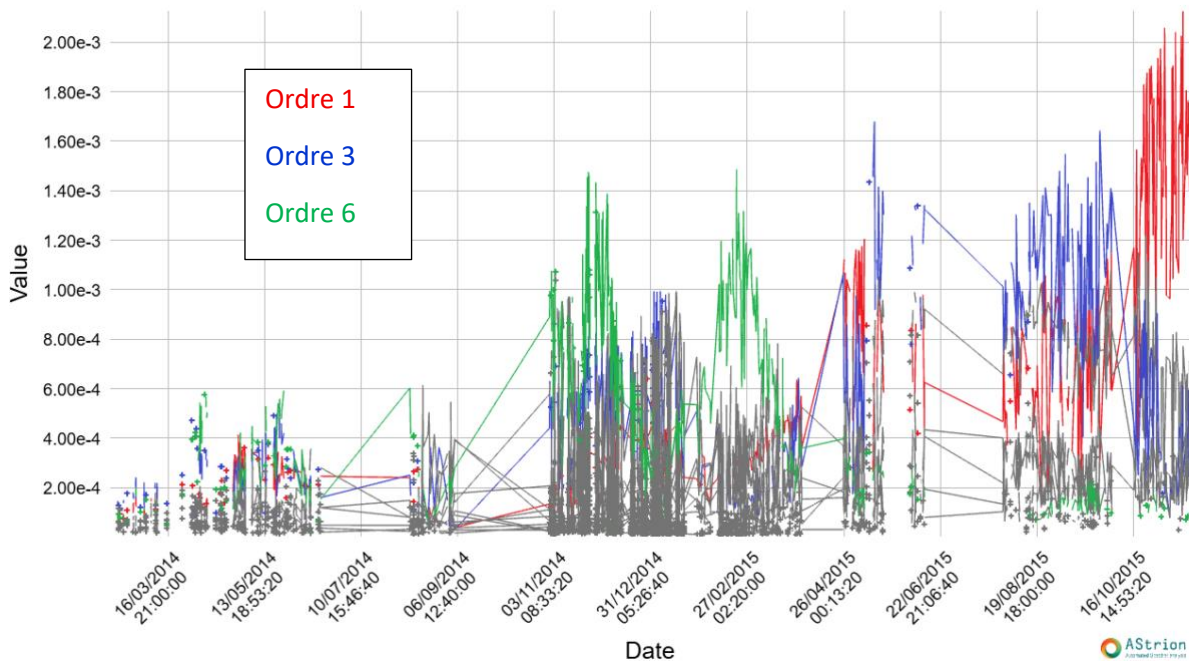


Figure 6: Suivi de l'énergie de chacun des harmoniques de la BPF du roulement principal.

Il est également constaté que la fréquence fondamentale décroît très lentement sur les 2 ans et que cette décroissance s'accélère à partir de septembre 2015 (voir Figure 7). Cette fréquence dépend entièrement des caractéristiques géométriques du roulement. Le fait qu'elle décroît témoigne d'une altération de cette géométrie due à l'usure du roulement. Il faut noter que cette décroissance est très faible, de l'ordre de 0,5 %. Cette détection est permise grâce à la résolution fréquentielle très fine d'Astrion.

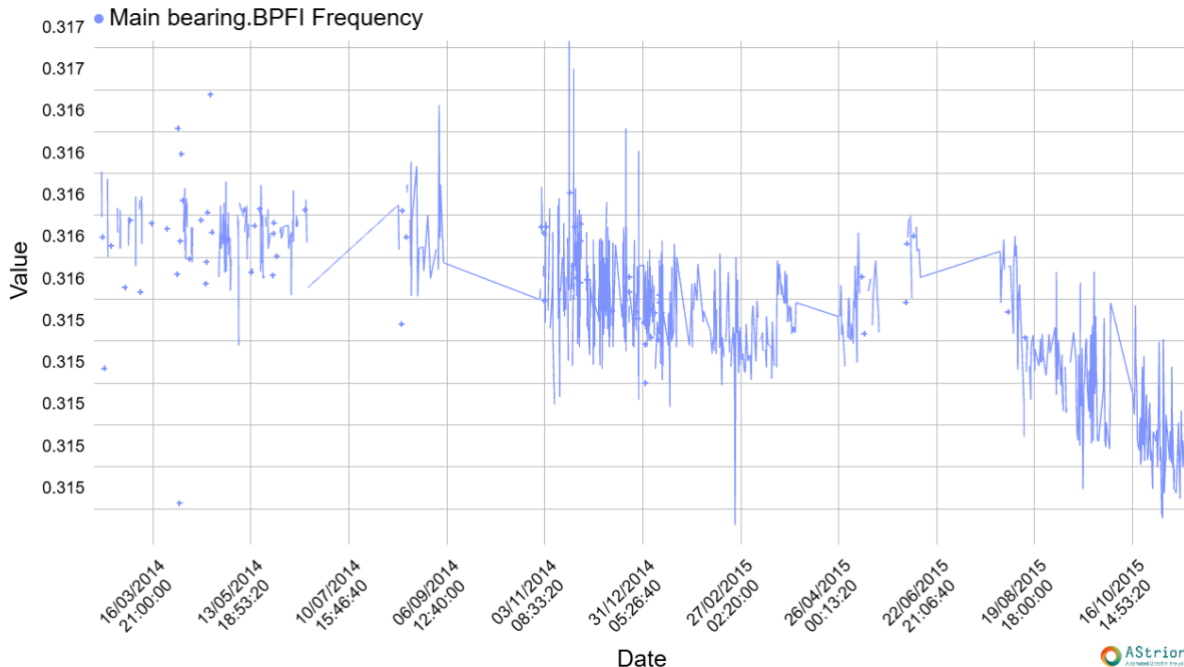


Figure 7: Suivi de la fréquence fondamentale de la BPF1 du roulement principal

Conclusion

Comme illustré dans le tableau récapitulatif ci-dessous, Astrion a détecté les premiers signes de dégradation du roulement principal près de 17 mois avant la casse de celui-ci, laissant tout le temps nécessaire pour planifier la maintenance au moment le plus opportun.

Tableau 1 : Tableau récapitulatif des évènements annonciateurs du défaut de sur le roulement principal et des alarmes levées sur l'éolienne WT8 dans Astrion.

Date	Évènement
Février 2014	1 ^{ère} détection de la BPF1 du roulement principal
Avril 2014	Alarme MainBearing.BPFI (Low)
Novembre 2014	Alarme MainBearing.BPFI (Medium)
Mai 2015	Alarme MainBearing.BPFI (Critical)
Septembre 2015	Accélération de la décroissance de la fréquence de la BPF1 du roulement principal
Octobre 2015	Domination énergétique du fondamental de la famille harmonique MainBearing.BPFI
Décembre 2015	Casse du roulement principal

Astrion démontre ainsi sa capacité à la fois à localiser un défaut sur la bague interne d'un roulement principal (détection en très basses fréquences) mais également à suivre son aggravation dans le temps. Astrion a également montré la pertinence de son étape de validation de données.