



DYNAE



L'analyse vibratoire : une aide efficace à la maintenance. Retours d'expériences.

Maxime PETIT

www.dynae.com





EES – Dynae, des experts à vos côtés



ae.com

EES – DYNAE

Des experts à vos côtés

Plus de 40 experts à votre service pour vous accompagner dans vos projets, vos problématiques, vos préoccupations et l'atteinte de vos objectifs.

Nos outils:

L'analyse vibratoire

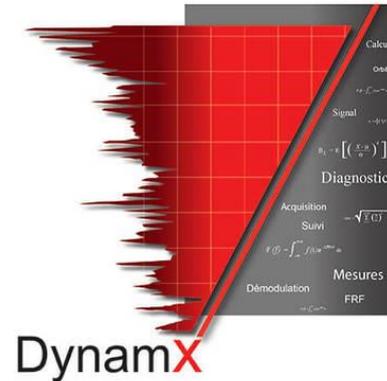
L'analyse électrique

La thermographie IR

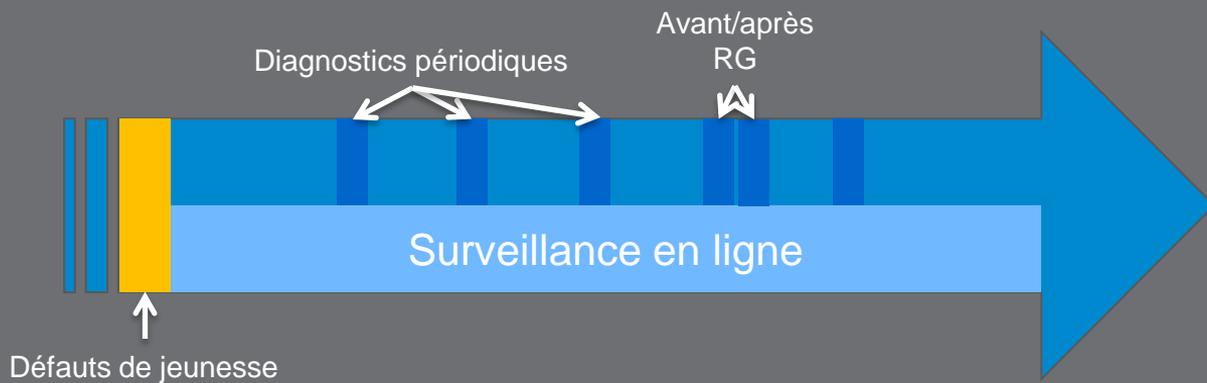


EES – DYNAE et l'hydroélectricité

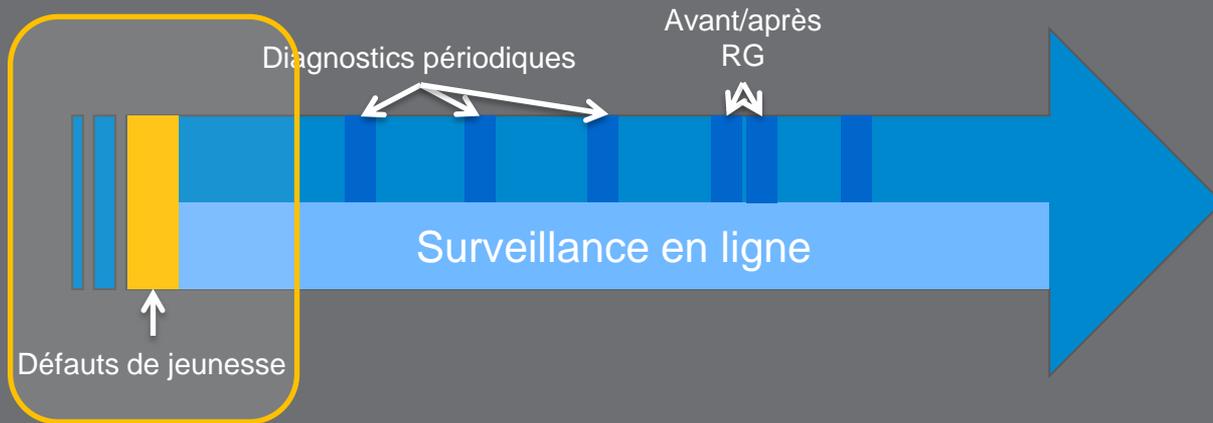
- Des clients historiques:     GE Renewable Energy
- 60 groupes hydroélectriques diagnostiqués par an en France et à l'étranger
- 50 groupes hydroélectriques instrumentés/surveillés
- Des développements informatiques spécifiques
- Particularité: multigrandeurs (vibration/courant/pression...)



L'analyse vibratoire : un outil qui accompagne la vie de la machine



Les défauts de jeunesse

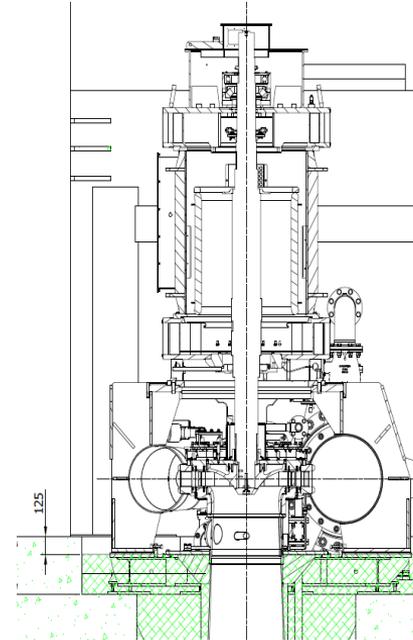


Analyse vibratoire sur machine neuve / modernisée / révisée

- Un groupe hydroélectrique récemment mis en service ou même en cours de mise en service peut présenter diverses problématiques:
 - Défauts mécaniques consécutifs à un problème de dimensionnement, de transport, de montage...
 - Phénomène hydraulique non prévu (cavitation, torche...)
 - Résonance...
- **Une réception vibratoire permet de détecter ces problèmes et valide (ou pas) les travaux effectués.**

ETUDE DE CAS: Résonance

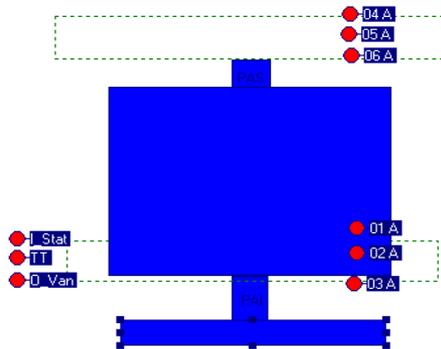
Type	Francis à axe vertical
Norme 20816-5	Groupe 4
Puissance nominale alternateur	850 kW
Vitesse de rotation	750 tr/mn



ETUDE DE CAS: Résonance

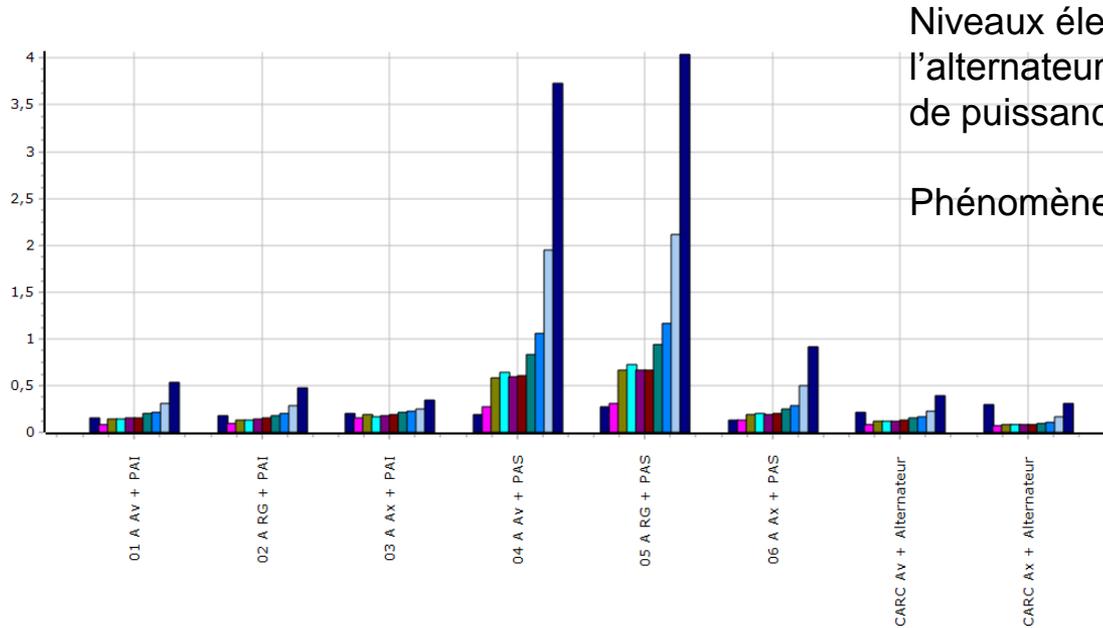
Les essais

Les points de mesures



Essai	Vitesse (tr/min)	Puissance active (kW)	Débit (L/s)
Nominal	750	700	1560
01 S_MAVNE	597,32	0	-
02 S_MAVEX	600,4	0	-
03 S_Pmini	599,9	57	250
Palier 1	750	81	300
Palier 2	750	104	355
Palier 3	750	121	395
Palier 4	750	150	460
Palier 5	750	170	500
Palier 6	750	195	555
Palier 7	750	221	610
Palier 8	750	505	1105
Palier 9	750	525	1190
Palier 10	750	550	1250
Palier 11	750	600	1350
Palier 12	750	640	1450
08 S_3/4	750	680	1560

ETUDE DE CAS: Résonance

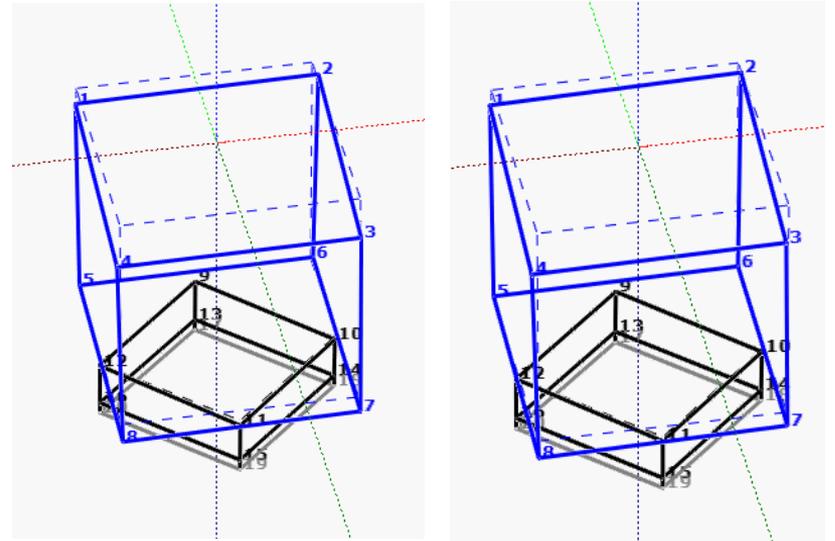
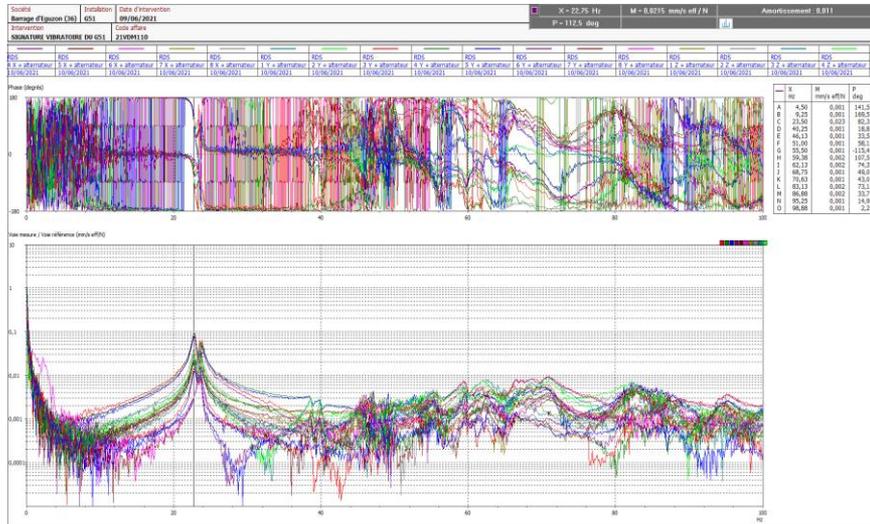


- Phénomène non cinématique
- Dépendant de la charge
- Origine hydraulique?

Les indicateurs vibratoires

ETUDE DE CAS: Résonance

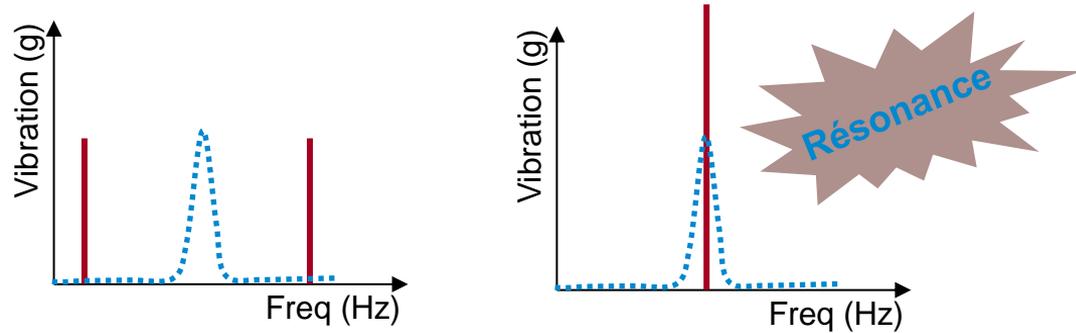
- Mesures de fréquences propres à l'arrêt et réalisation d'une déformée réelle



Réalisation d'une déformée pour voir comment la machine bouge à la fréquence incriminée.

ETUDE DE CAS: Résonance

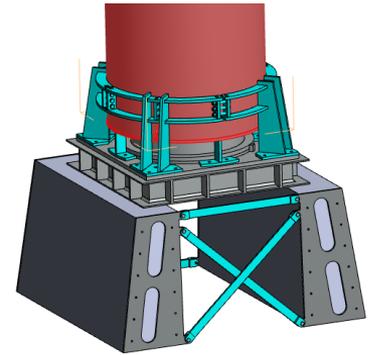
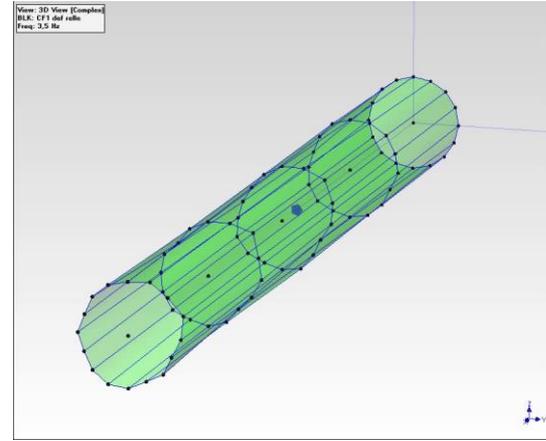
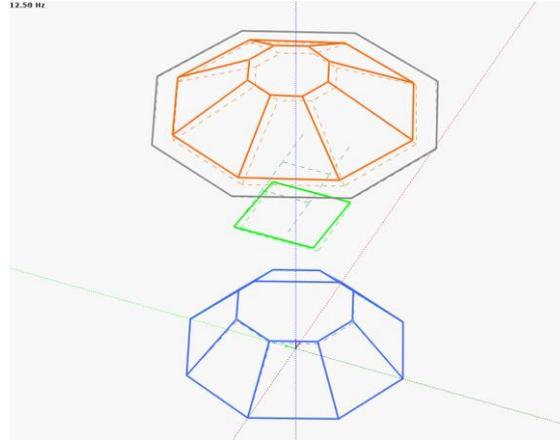
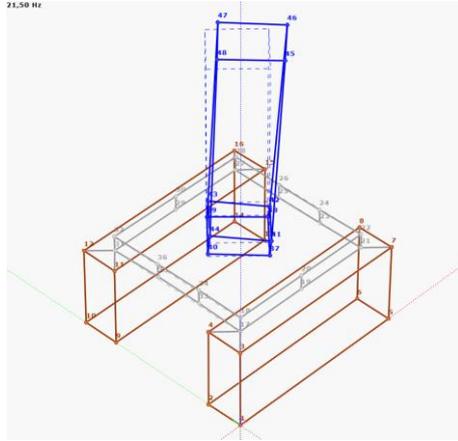
- Une résonance est la coïncidence entre une fréquence excitatrice et une fréquence propre de structure.



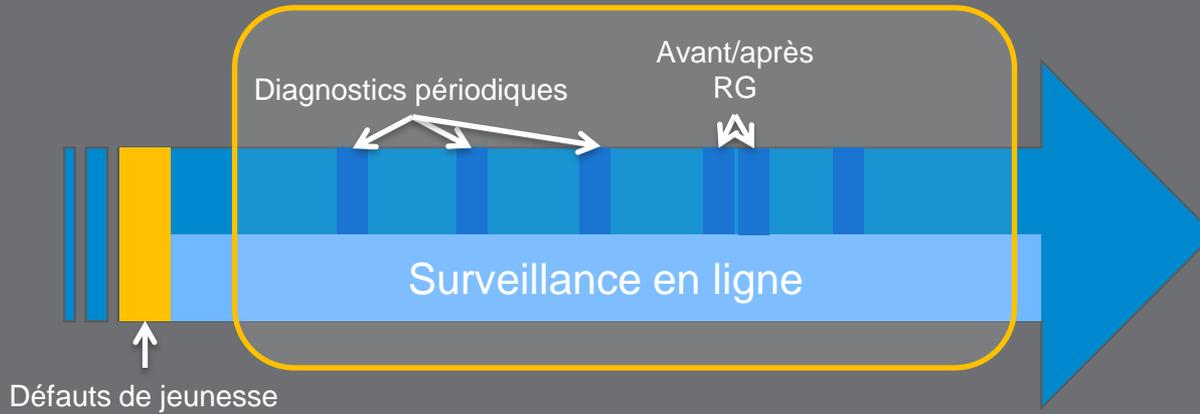
Le plus souvent la problématique vient d'une fréquence propre un peu basse (structure trop souple), ici c'est l'excitation qui est tout à fait anormale.

Nous avons donc préconisé d'agir sur la **source** et de résoudre ce problème d'excitation hydraulique anormale.

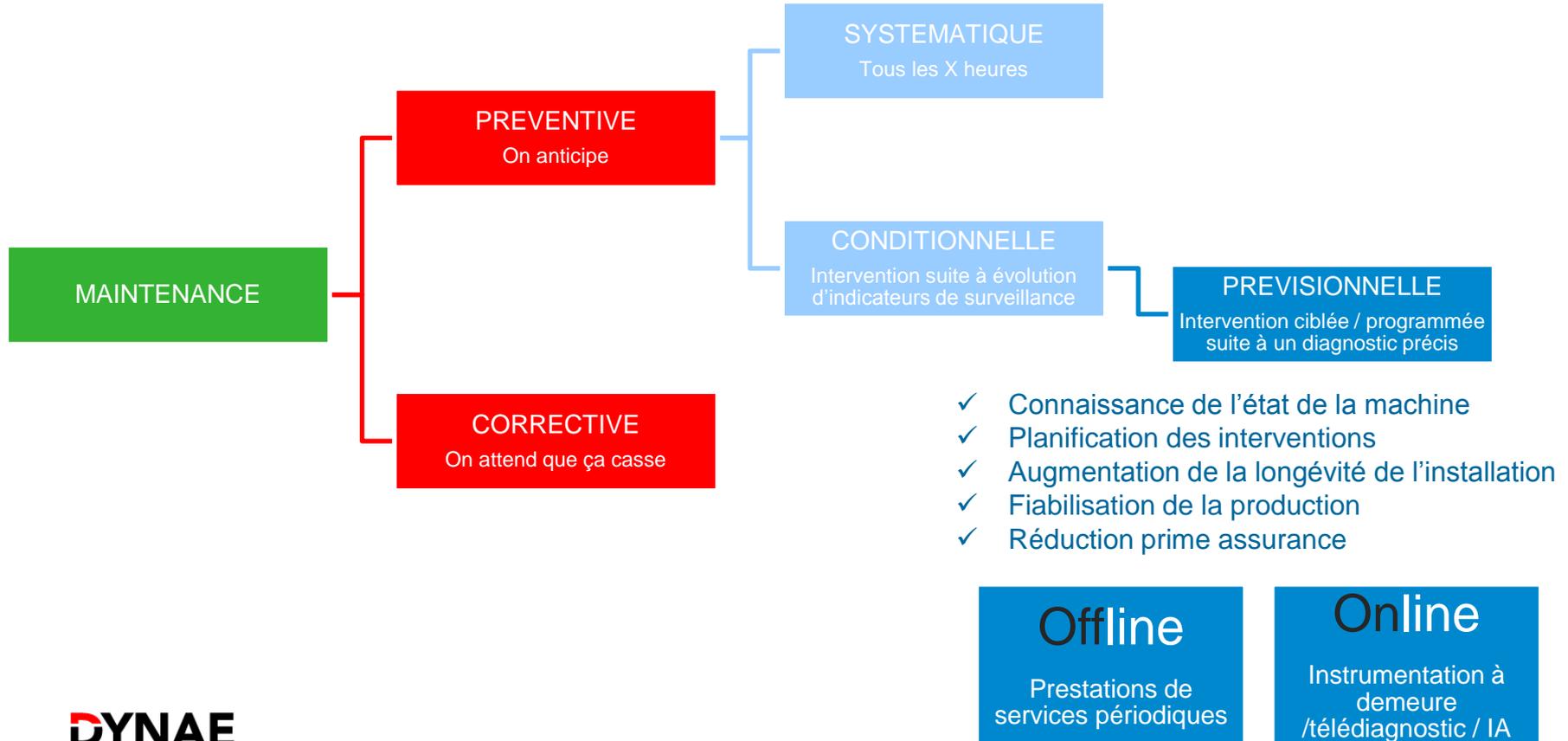
AUTRES EXEMPLES



L'analyse vibratoire pour la maintenance



LA MAINTENANCE



Retour d'expérience issu du suivi périodique du parc de la SDEM

Kaplan verticale avec multiplicateur

Offline

Prestations de
services périodiques

L'installation

Génératrice

Tension : 5500 volts

Puissance : 1,5 MW

Nombre de paires de pôles : 3

In : 181 A

Cosφ : 0,87

1 câble

Dynamo tachymétrique : Radio Energie Type RE 044 A

0,06 V/tr

0,18 A max

10000 tr/mn

Multiplicateur

ENGRENAGES ET REDUCTEURS

Type : N°68177

Vitesse d'entrée : 88,95 tr/mn

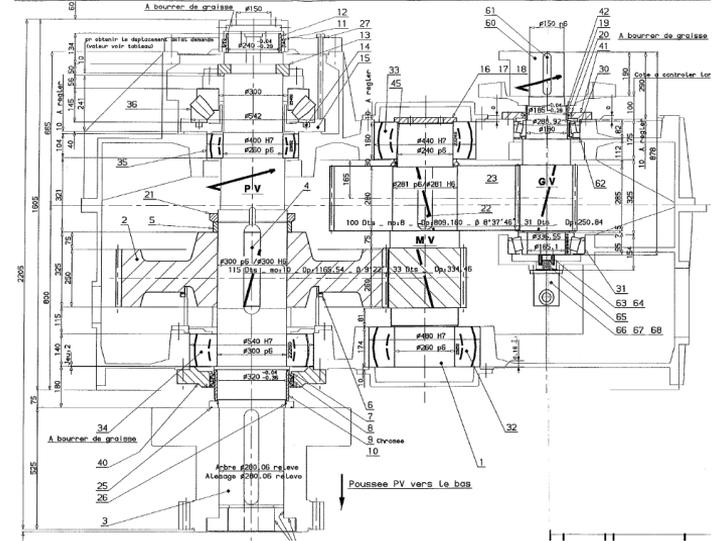
Vitesse de sortie : 1000 tr/mn

Rapport : 11,29303

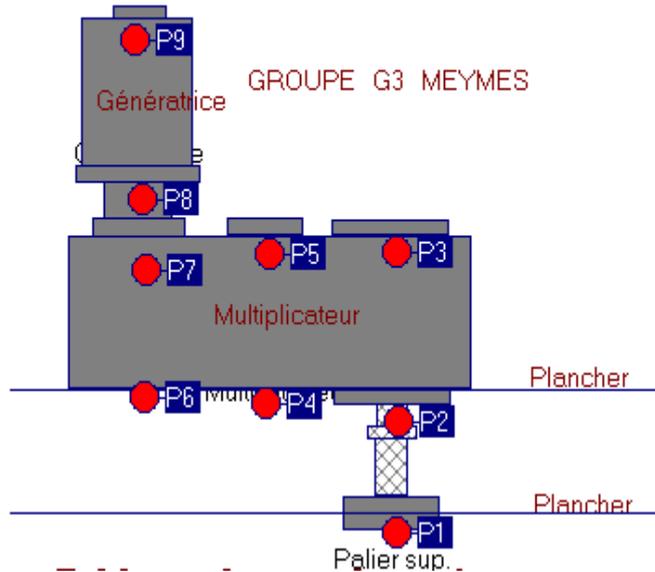
Puissance transmise : 1375 kW:

Turbine

Kaplan verticale à 4 pales orientables.



Points de mesure



Point de mesure	Localisation	Direction
P9	Génératrice	H1 H2 Ax
P8	Génératrice	H1 H2
P7	Multiplicateur	H1 H2 Ax
P6	Multiplicateur	H2 Ax
P5	Multiplicateur	H2
P4	Multiplicateur	H2
P3	Multiplicateur	H1 H2 Ax
P2	Multiplicateur	H1 H2
P1	Palier sup.	H1 H2

Fréquences cinématiques

Turbine

Fréquence de rotation : 1,484 Hz
Fréquence de passage des pales : 5,9352 Hz

Multiplieur

Fréquence de rotation arbre PV : 1,484 Hz
Fréquence d'engrènement train 1 : 170,64 Hz
PGCD : 1
Fréquence de coïncidence : 0,045 Hz
Fréquence de rotation arbre MV : 5,17 Hz
Fréquence d'engrènement train 2 : 517,080 Hz
PGCD : 1
Fréquence de coïncidence : 0,17 Hz
Fréquence de rotation arbre GV : 16,68 Hz

Génératrice

Fréquence de rotation : 16,680 Hz

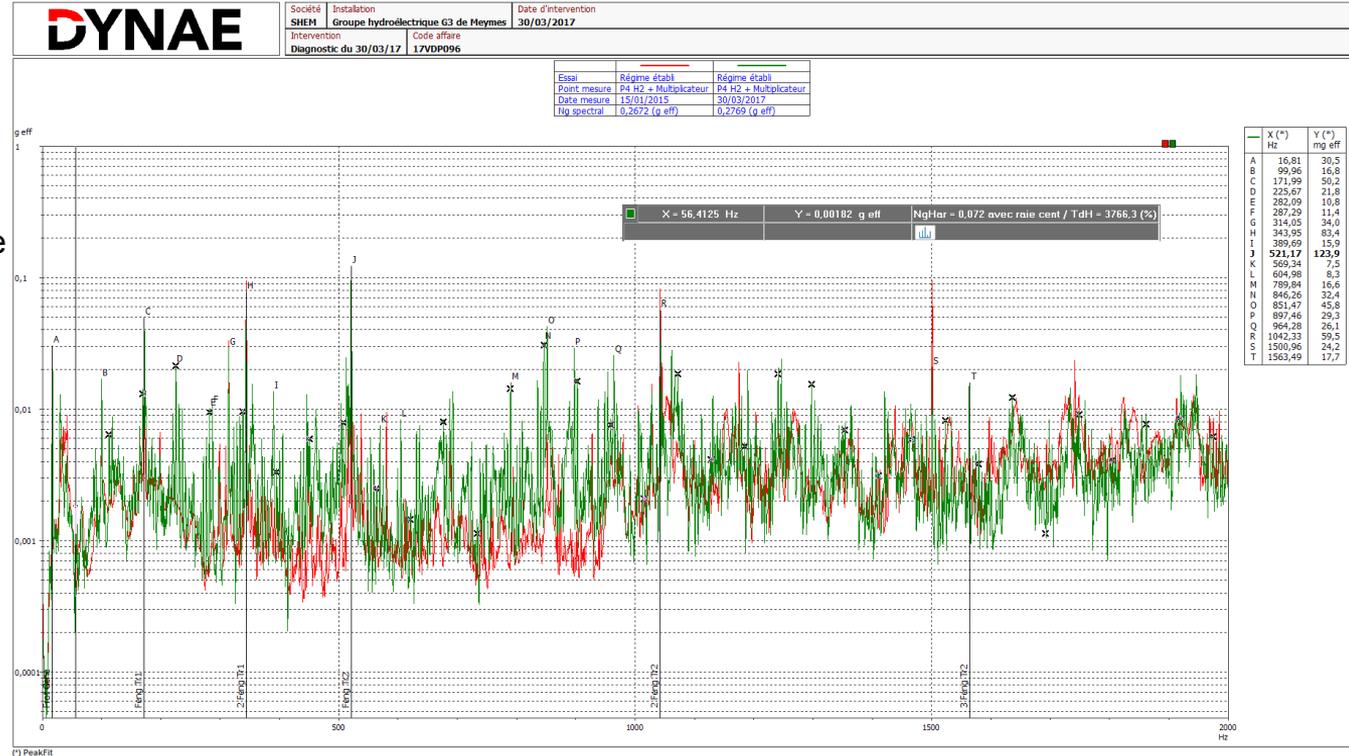
Référence	Marque	Fcage (Hz)	Fbe (Hz)	Fbi (Hz)	Fél (Hz)	Frot (Hz)
22260 C		0,63	11,40	15,42	9,54	1,49
23052 C		0,67	16,71	20,55	14,11	1,49
29460 E		0,67	12,79	15,53	9,48	1,49
23252 B	FAG	2,23	42,43	56,24	35,32	5,19
23248 B	FAG	2,24	44,74	59,12	35,70	5,19
23252 C	SKF	2,23	40,09	53,39	34,95	5,19
23248 C	SKF	2,23	42,43	56,24	35,26	5,19
HH437549/510		6,99	125,79	175,75	96,19	16,75
HM237547/510		7,35	169,26	216,03	132,98	16,75
7322 B		6,87	82,39	118,64	69,30	16,75
NU 234 E		7,20	128,47	173,03	110,55	16,75

Détection du défaut en 2017

- Apparition d'un peigne de raies dont le pas correspond à la fréquence de défaut de bague intérieure d'un des roulements MV.

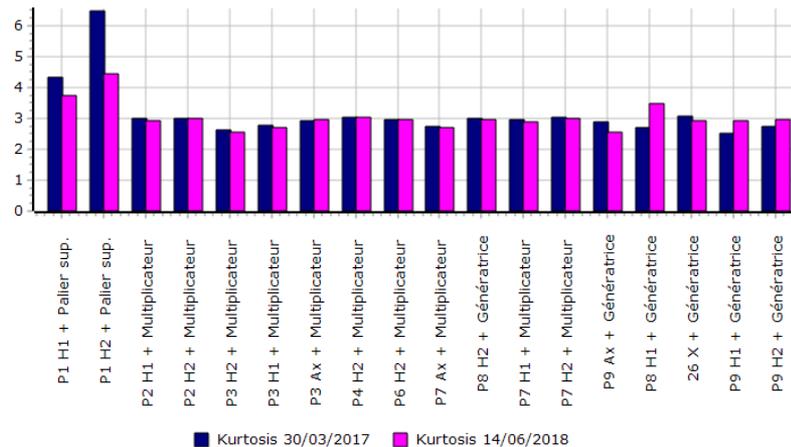
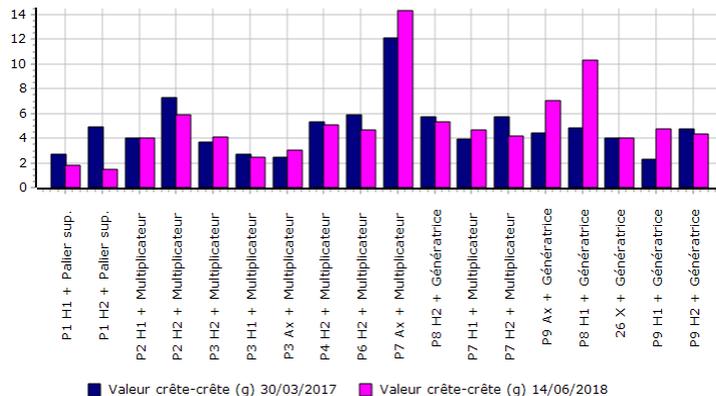
⇒ Faible impact sur les niveaux globaux

⇒ Niveaux donnés par l'émergence à la fréquence d'engrènement



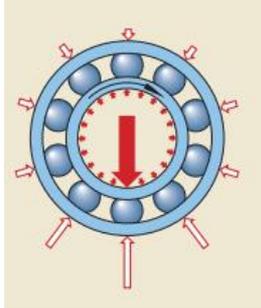
Suivi du défaut en 2018

⇒ Pas d'évolution franche des indicateurs et du défaut dans un 1^{er} temps



Diagnostic

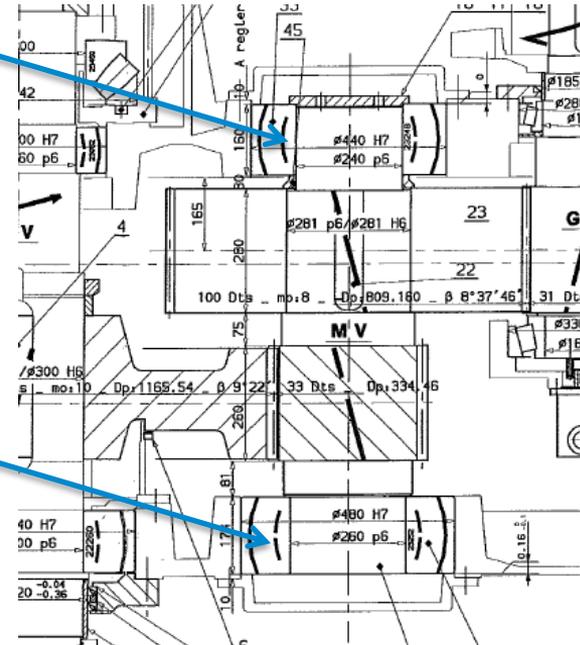
- La modulation du peigne par le fréquence de rotation MV oriente facilement vers un défaut de bague intérieure d'un des roulements MV. Lequel? Peignes de raies à 56,4 Hz.



Référence	Marque	Fcage (Hz)	Fbe (Hz)	Fbi (Hz)	Fél (Hz)	Frot (Hz)
23248 C	SKF	2,23	42,43	56,24	35,26	5,19
23252 C	SKF	2,23	40,09	53,39	34,95	5,19

23248

23252

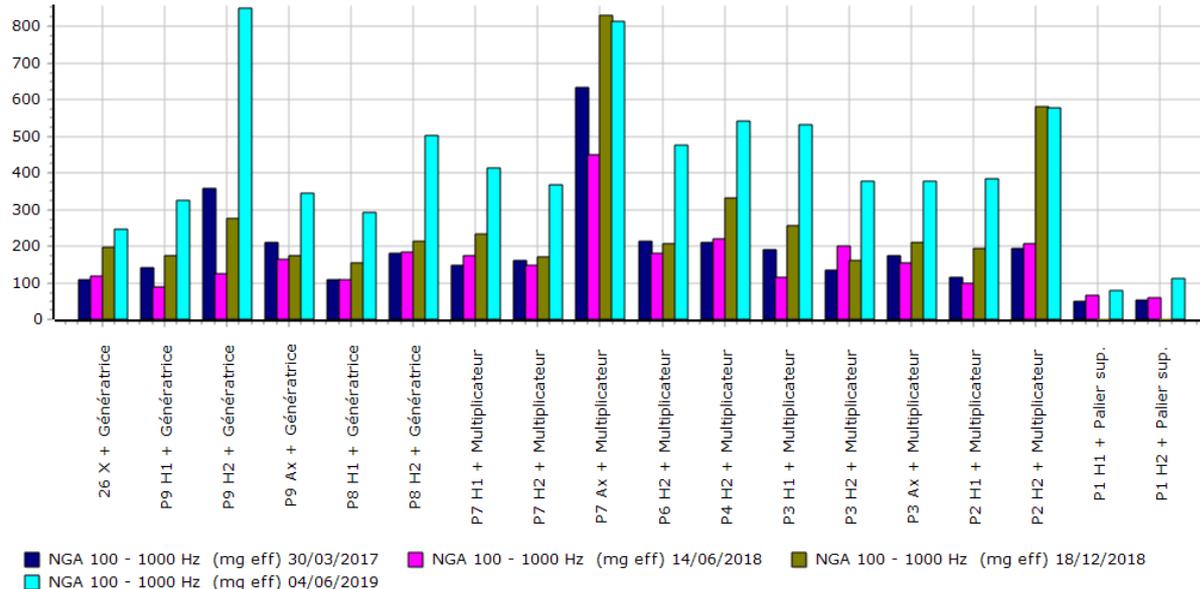


Remplacement du roulement supérieur

- Décision de remplacer le roulement supérieur (opération faisable sur place avec peu d'indisponibilité)

⇒ **Le roulement démonté ne présente aucun défaut!**

Il est tout de même remplacé et cela n'a aucune incidence positive sur le comportement. Par contre au démontage, le roulement s'avère être un FAG et non un SKF.



Remplacement du roulement supérieur

- En modifiant la cinématique avec des roulements FAG, on se rend compte que le diagnostic est totalement différent. La fréquence de défaut de bague intérieure du roulement SKF 23252 et donc du haut est identique à celle du FAG 23248 du bas...

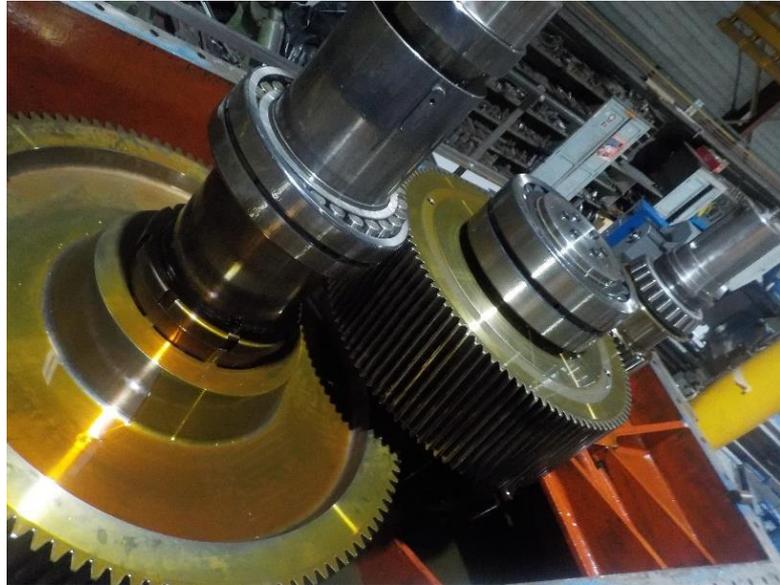
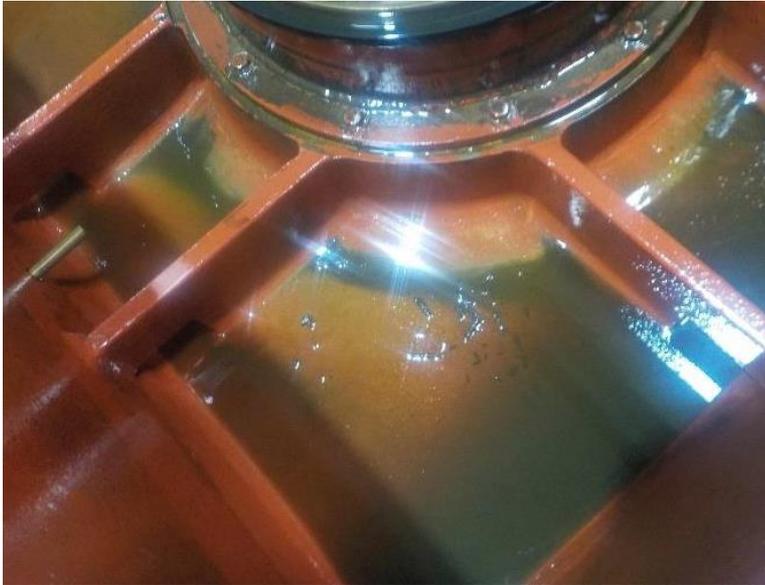


Référence	Marque	Fcage (Hz)	Fbe (Hz)	Fbi (Hz)	Fél (Hz)	Frot (Hz)
23252 B	FAG	2,23	42,43	56,24	35,32	5,19
23248 B	FAG	2,24	44,74	59,12	35,70	5,19
23252 C	SKF	2,23	40,09	53,39	34,95	5,19
23248 C	SKF	2,23	42,43	56,24	35,26	5,19

	FAG 23252	SKF 23248
d	260 mm	240 mm
D	480 mm	440 mm
B	174 mm	160 mm
Poids	140 kg	109 kg
Nbr d'éléments	19 éléments	19 éléments

Constats au démontage en 2020

- Présence importante de limaille en fond de carter



Constats au démontage en 2020

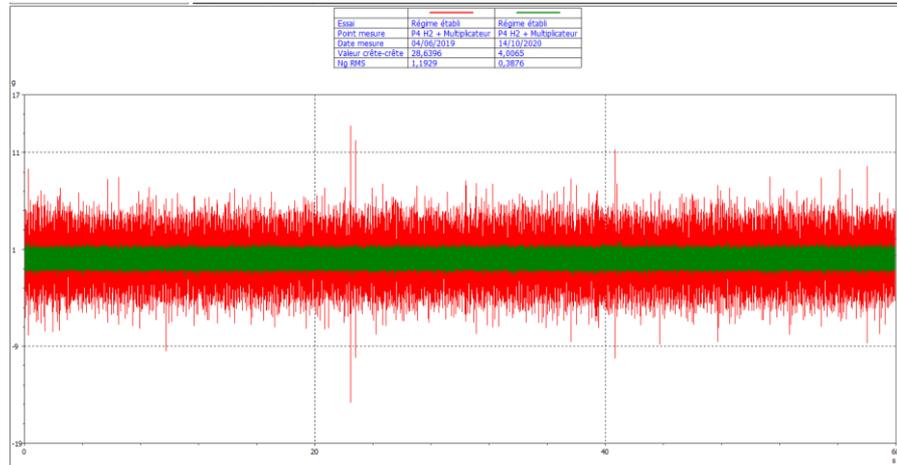
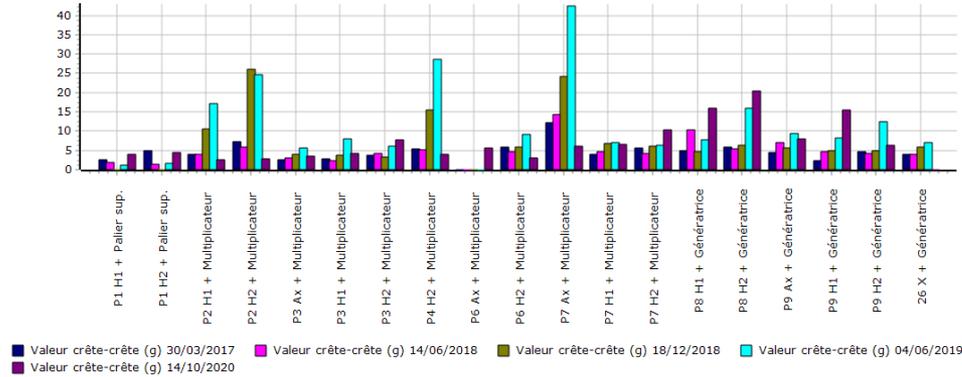
Roulement MV inférieur
écaillé sur la bague
intérieure

+certains rouleaux
(visible sur enveloppe)

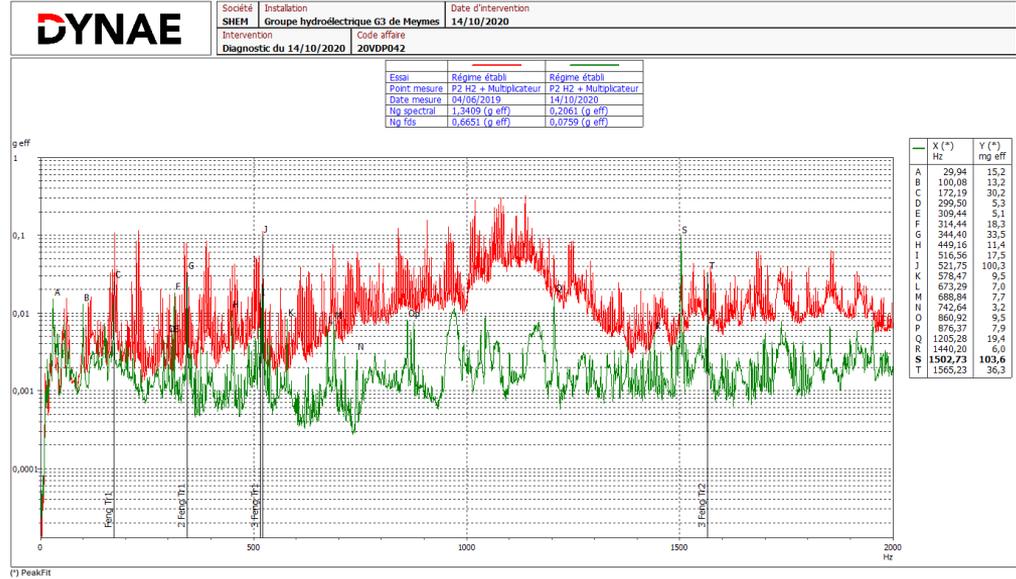
Rq: une piste chargée



Impact de la révision



Impact de la révision



Les enseignements

- Importance de la cinématique pour la fiabilité du diagnostic!
- L'évolution relativement lente du défaut
- Défaut récurrent sur ces machines, comment l'expliquer?
 - Pourquoi la bague intérieure?
 - Pourquoi un pattern avec l'espacement des éléments?



Instrumentation des groupes hydroélectriques

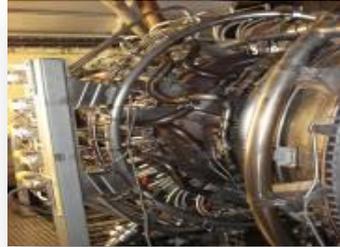
Protection et surveillance de la machine

Retours d'expérience suite à déclenchement

Online

Instrumentation à
demeure

Instrumentation pour la surveillance des machines tournantes



Protection

- Déclenchement sur vibration haute des machines tournantes

Surveillance

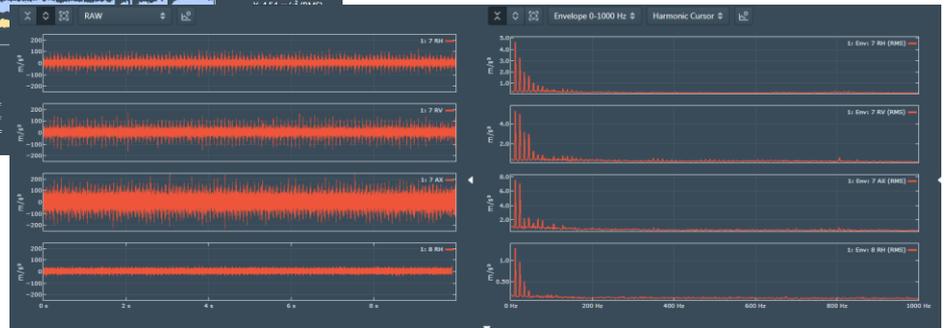
- Surveillance on line des machines : détection d'un défaut

Télédiagnostic

- Recherche de la cause du défaut

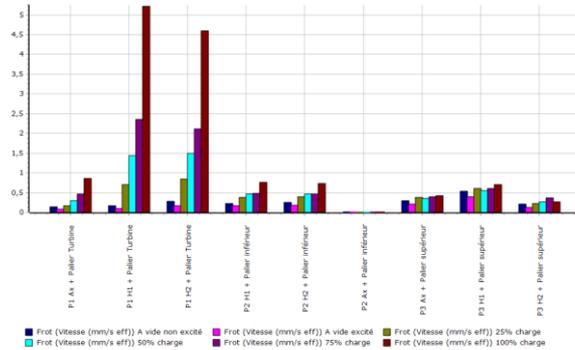


Télédiagnostic

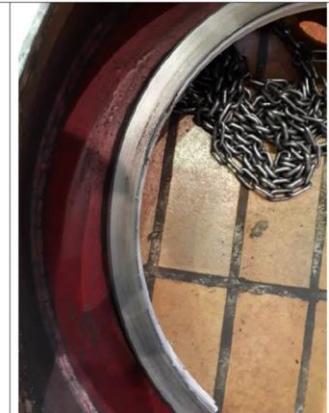
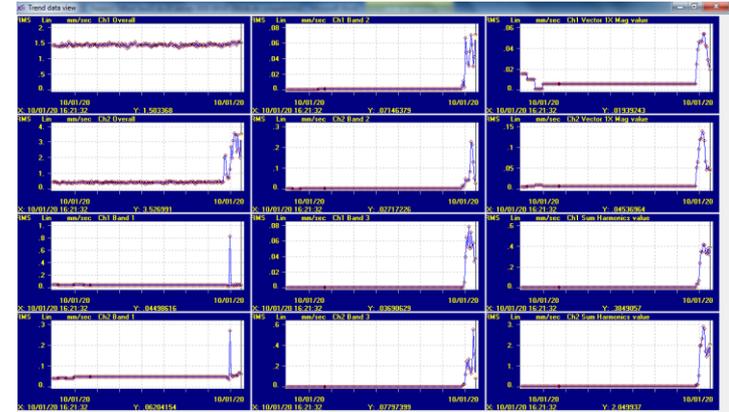


Retours d'expérience

Francis verticale – bois coincé dans la roue

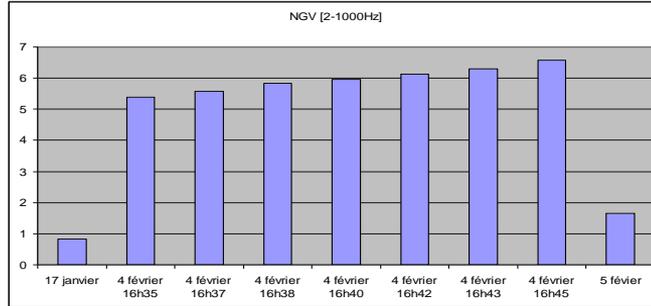


Francis Horizontale –frottement

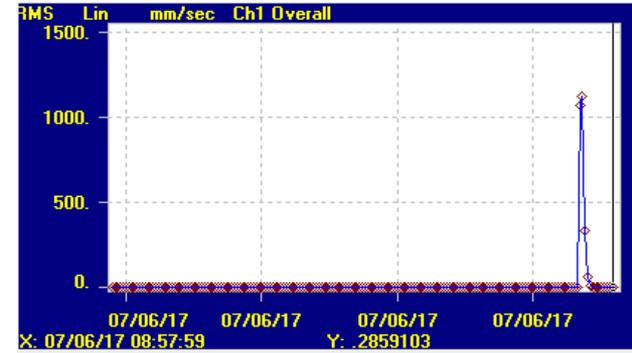


Retours d'expérience

Destruction roulement palier turbine Kaplan



Défaut d'isolement





EIFFAGE

ÉNERGIE SYSTÈMES