



**DYNAE**



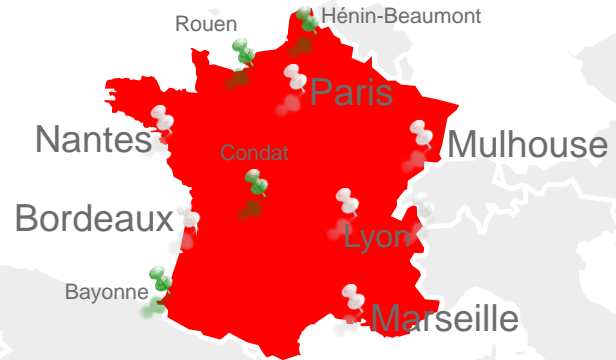
**L'analyse vibratoire : une aide efficace à la maintenance. Retours d'expériences.**

**Maxime PETIT**

[www.dynae.com](http://www.dynae.com)



# EES – Dynae, des experts à vos côtés



# 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

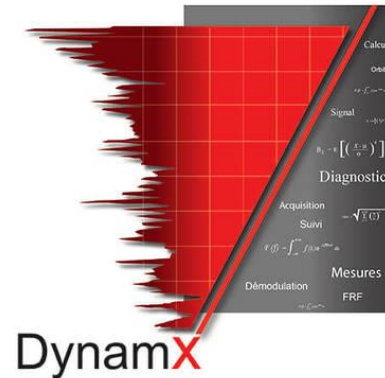
L'analyse électrique

La thermographie IR



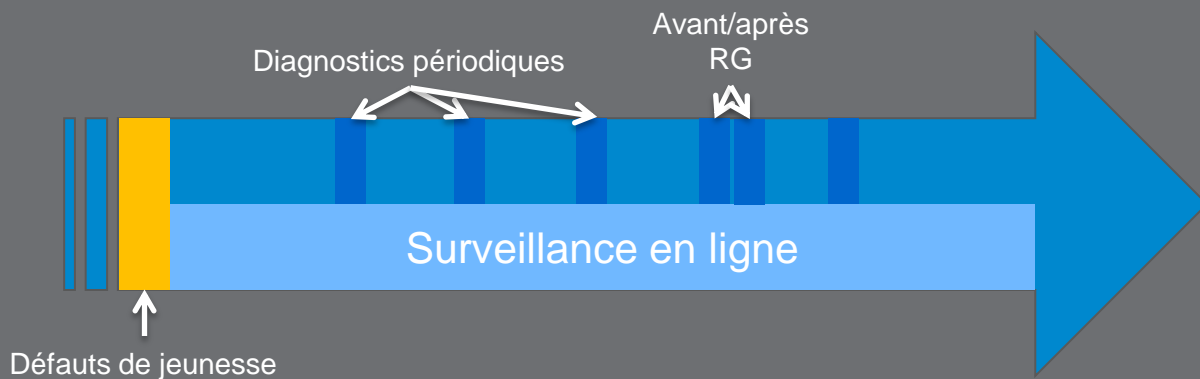
# EES – DYNAE et l'hydroélectricité

- 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...)

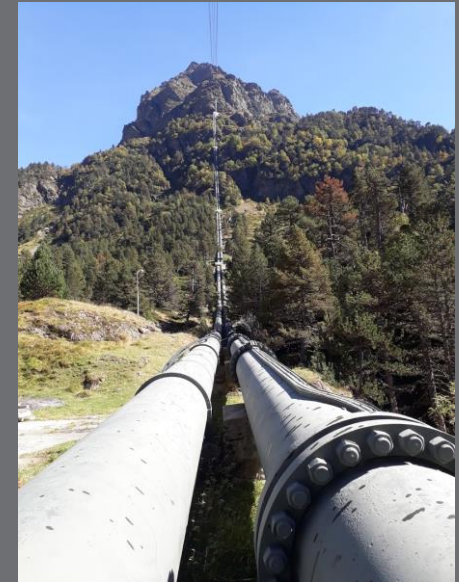
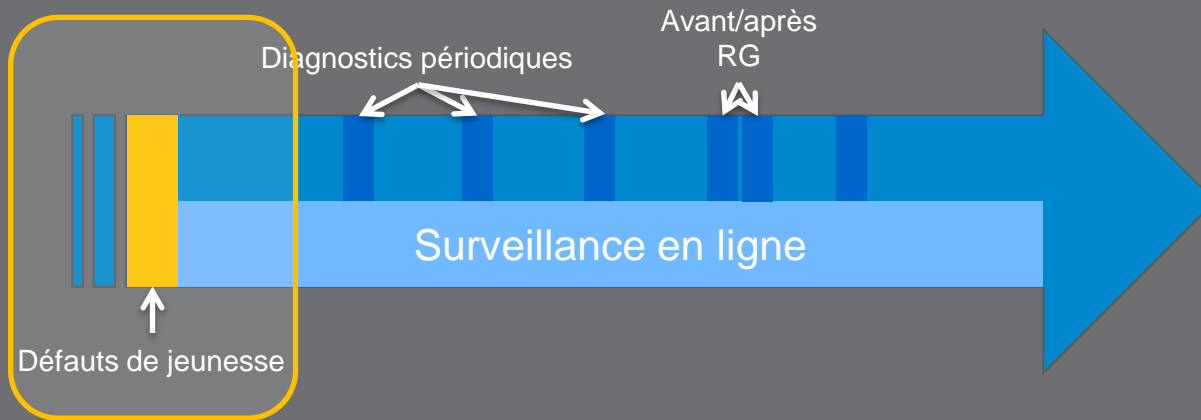




# L'analyse vibratoire : un outil qui accompagne la vie de la machine



# Les défauts de jeunesse

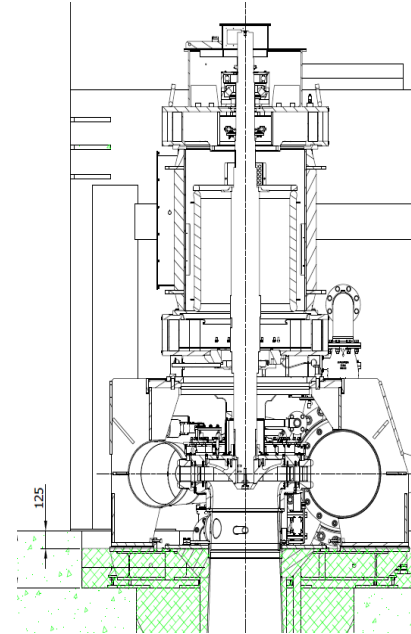


# Analyse vibratoire sur machine neuve / modernisée / révisée

- 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

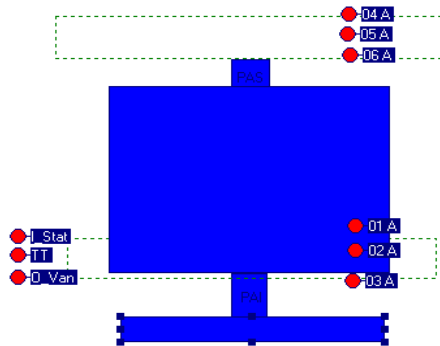




# ETUDE DE CAS: Résonance

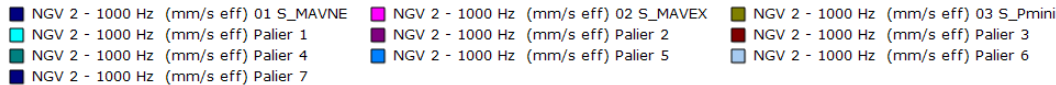
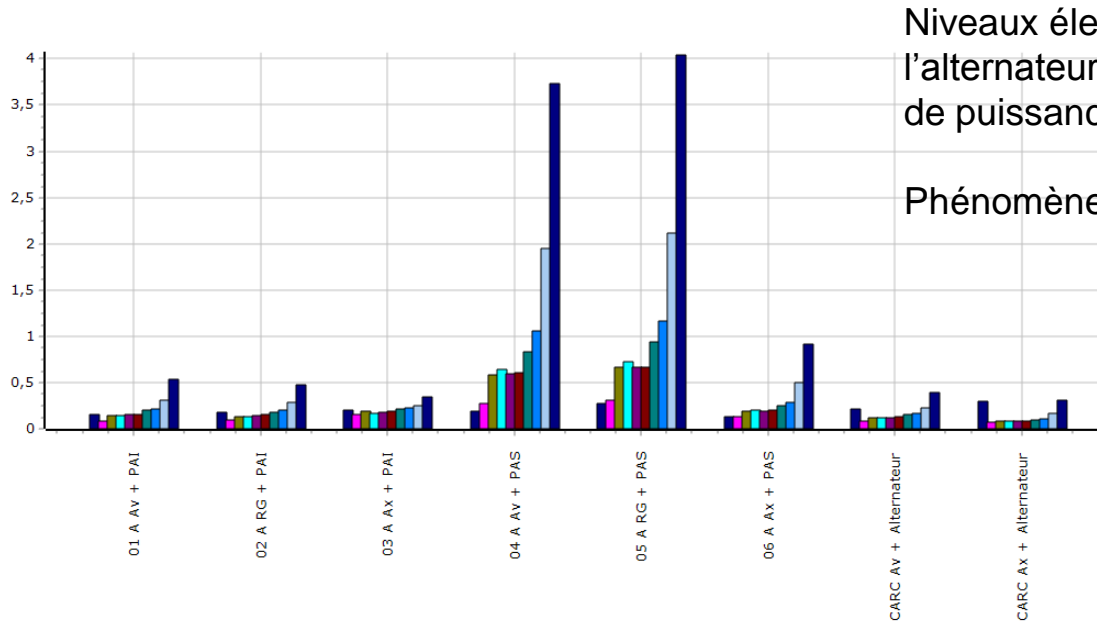
## Les essais

### Les points de mesures



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

# ETUDE DE CAS: Résonance

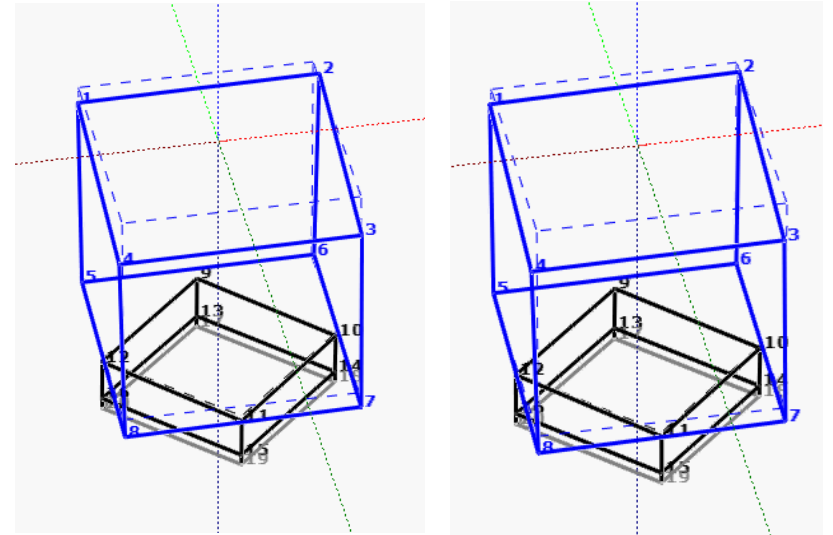
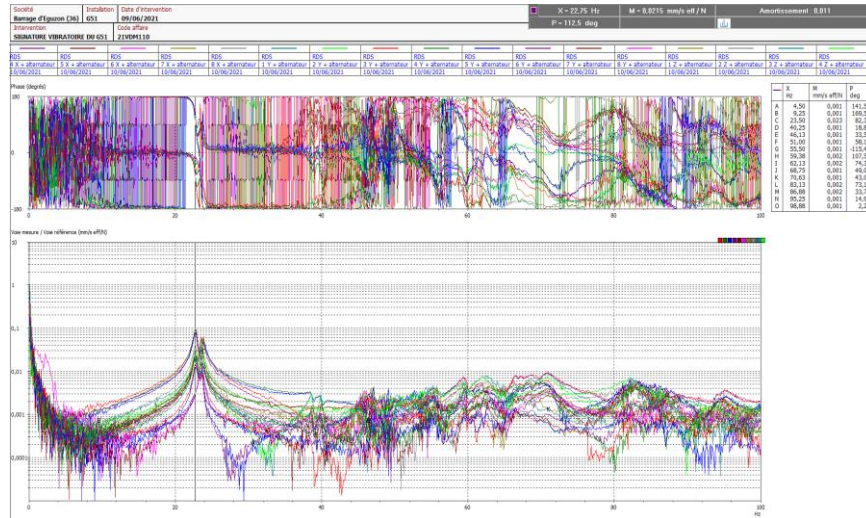


- Phénomène non cinématique
- Dépendant de la charge
- Origine hydraulique?

Les indicateurs vibratoires

# ETUDE DE CAS: Résonance

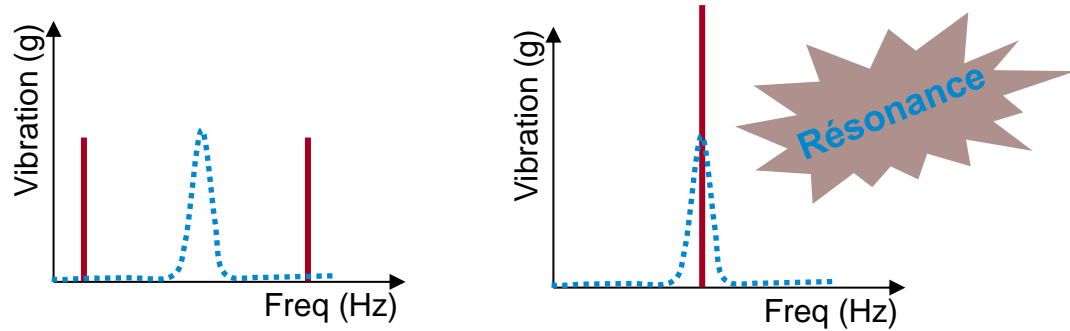
- Mesures de fréquences propres à l'arrêt et réalisation d'une déformée réelle



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

# ETUDE DE CAS: Résonance

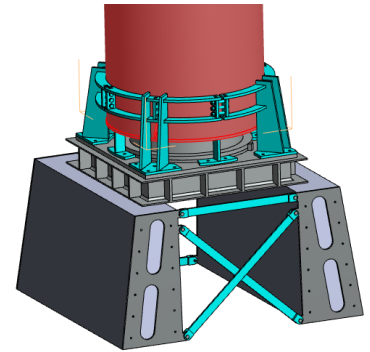
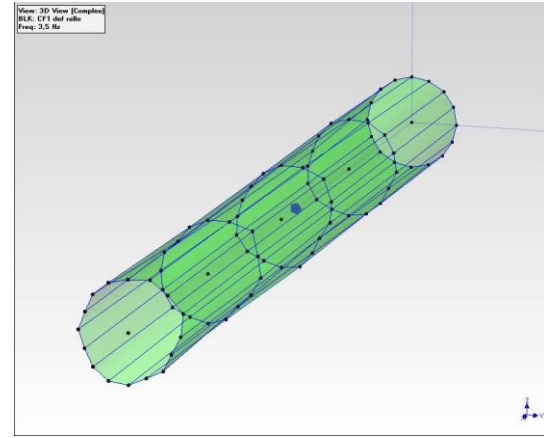
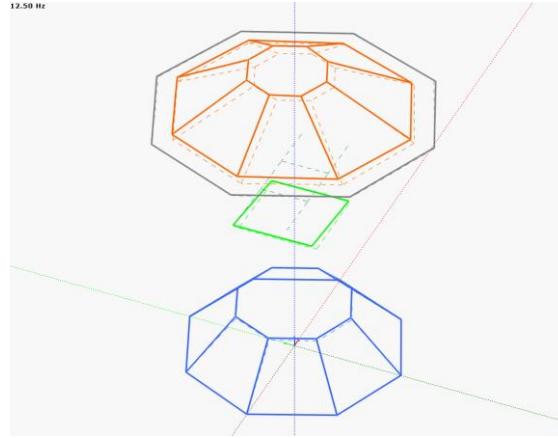
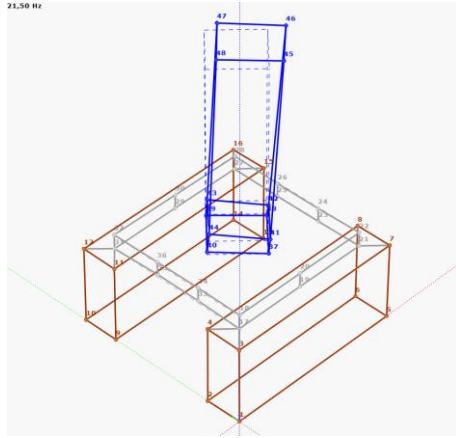
- Une résonance est la coïncidence entre une fréquence excitatrice et une fréquence propre de structure.



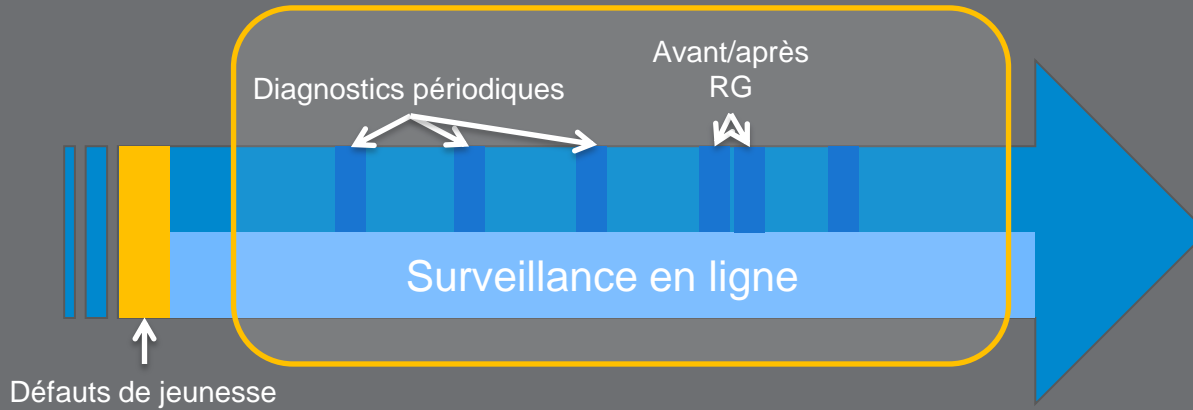
Le plus souvent la problématique vient d'une fréquence propre un peu basse (structure trop souple), ici c'est l'excitation qui est tout à fait anormale.

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

# AUTRES EXEMPLES

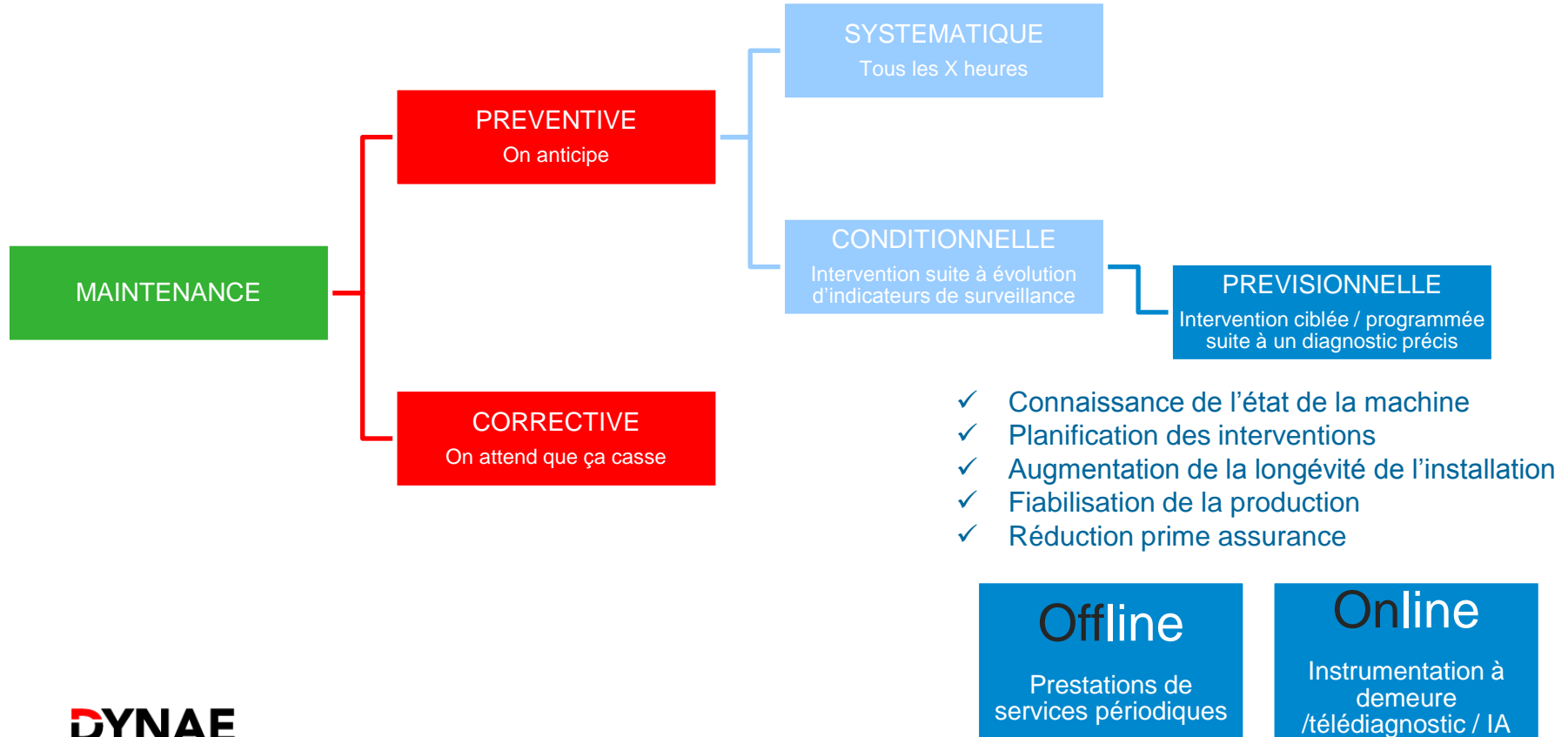


# L'analyse vibratoire pour la maintenance





# 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

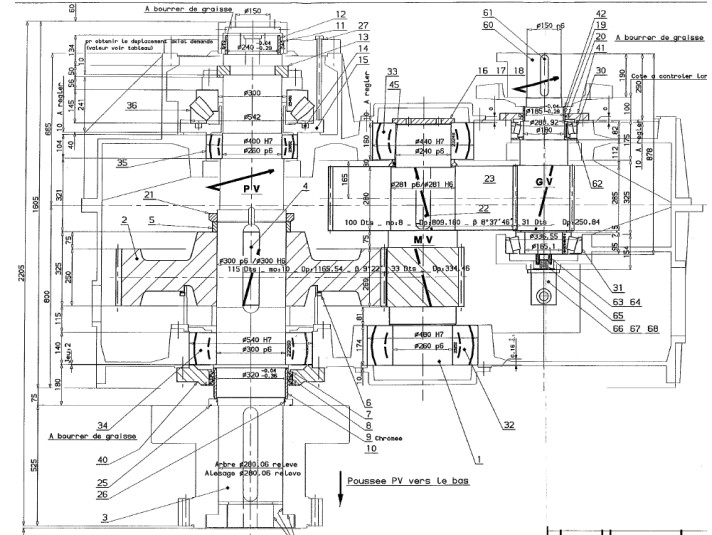
Vitesse de sortie : 1000 tr/mn

Rapport : 11,29303

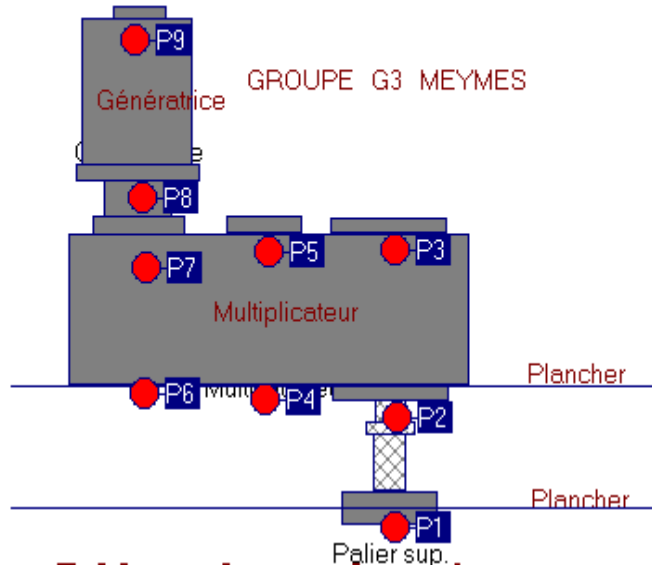
Puissance transmise : 1375 kW:

## 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

## Multiplicateur

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

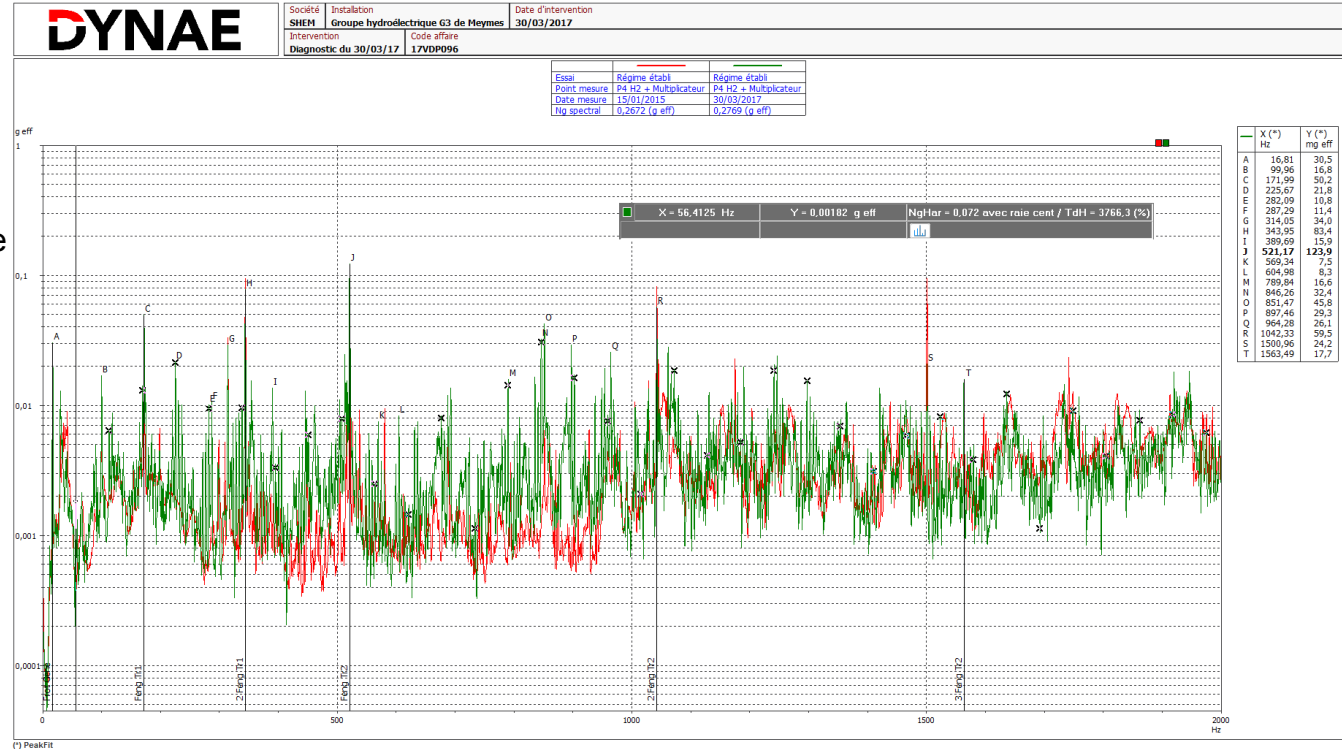
Référence	Marque	Fcage (Hz)	Fbe (Hz)	Fbi (Hz)	Fél (Hz)	Frot (Hz)
<b>22260 C</b>		0,63	11,40	15,42	9,54	1,49
<b>23052 C</b>		0,67	16,71	20,55	14,11	1,49
<b>29460 E</b>		0,67	12,79	15,53	9,48	1,49
<b>23252 B</b>	FAG	2,23	42,43	56,24	35,32	5,19
<b>23248 B</b>	FAG	2,24	44,74	59,12	35,70	5,19
<b>23252 C</b>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

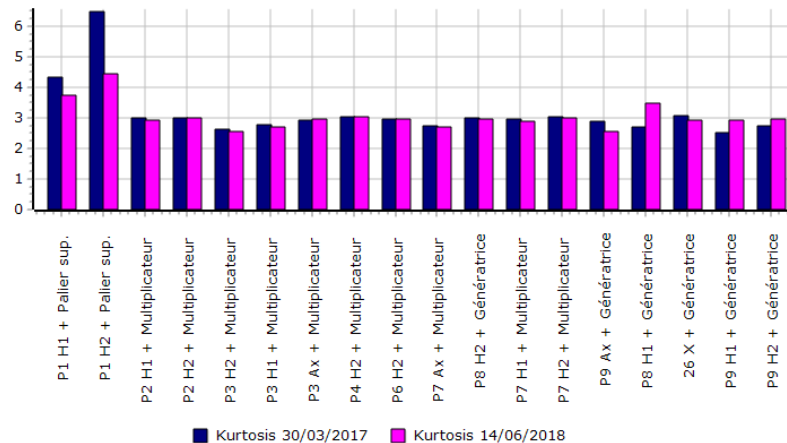
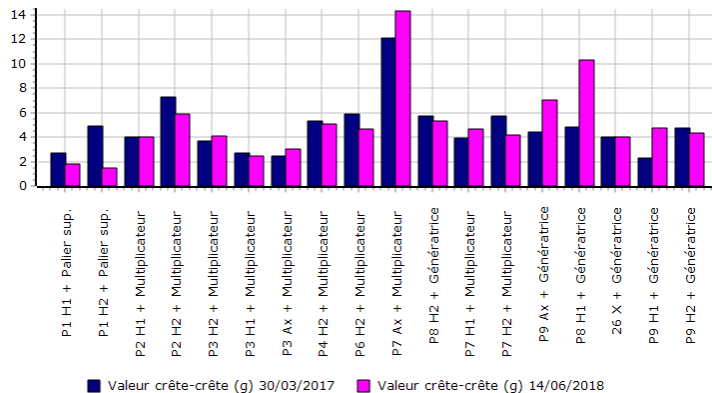
⇒ Niveaux donnés par l'émergence à la fréquence d'engrènement





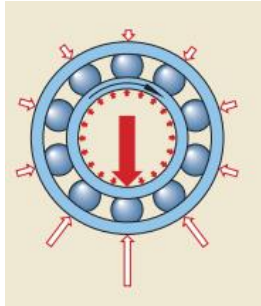
# Suivi du défaut en 2018

⇒ Pas d'évolution franche des indicateurs et du défaut dans un 1<sup>er</sup> temps



# Diagnostic

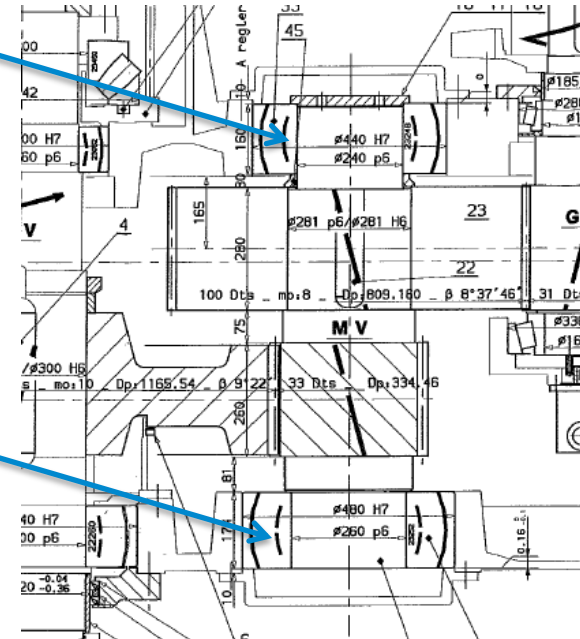
- La modulation du peigne par le fréquence de rotation MV oriente facilement vers un défaut de bague intérieure d'un des roulements MV. Lequel? Peignes de raies à 56,4 Hz.



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

23248

23252

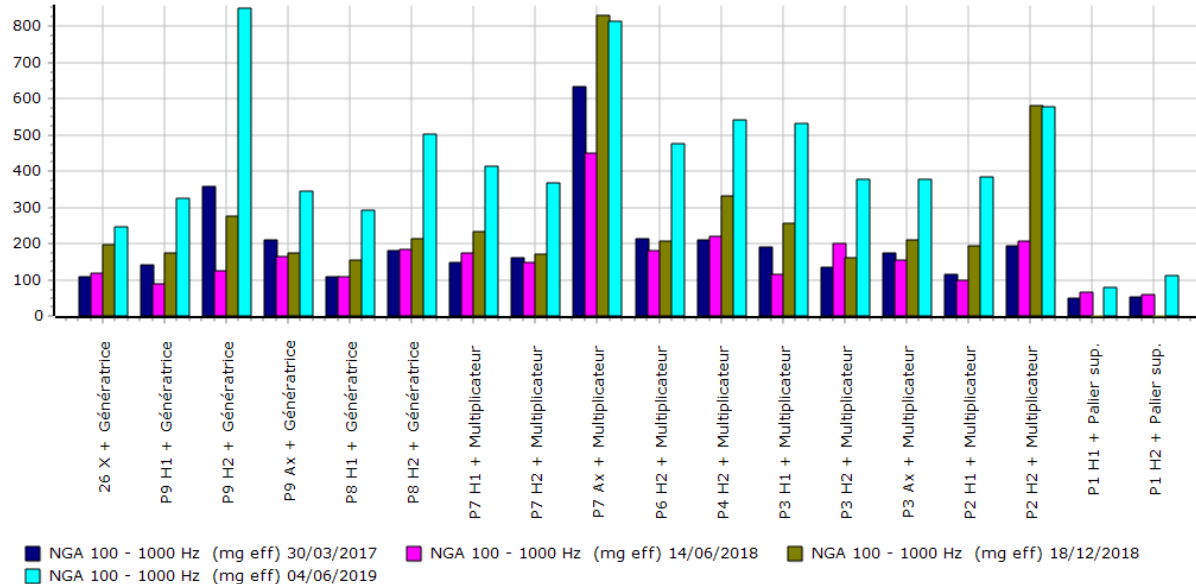


# Remplacement du roulement supérieur

- 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...

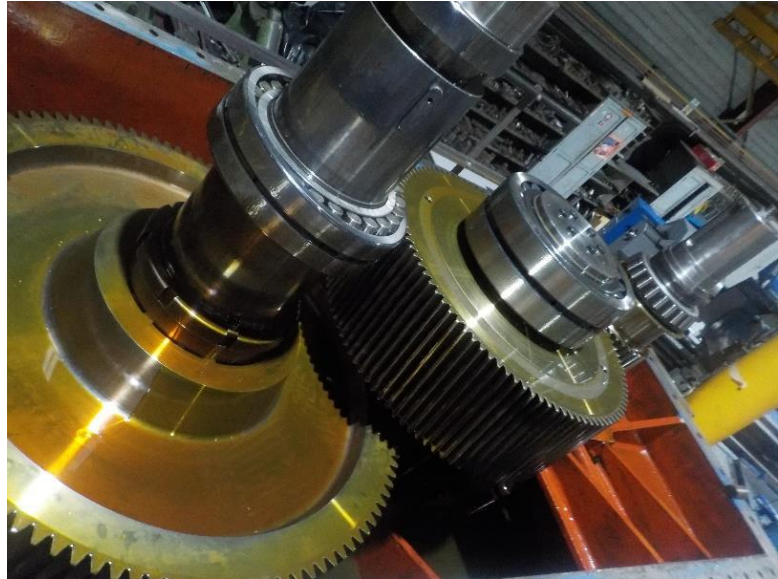
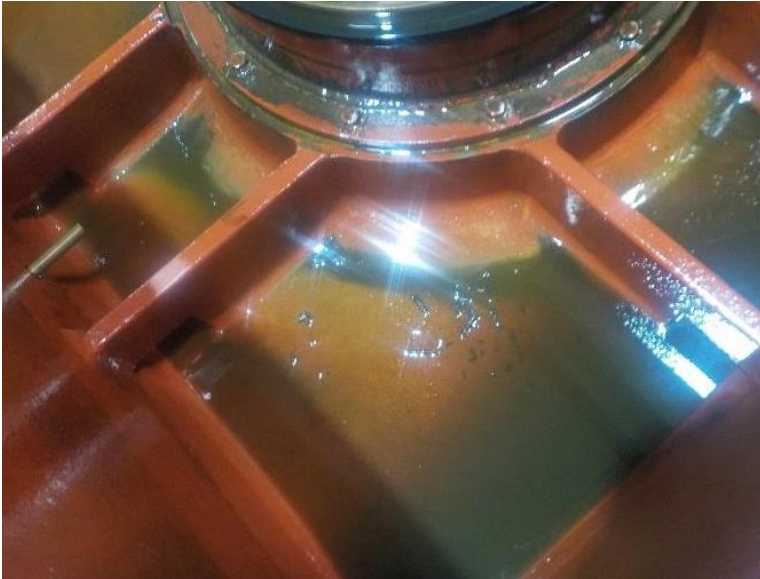


Référence	Marque	Fcage (Hz)	Fbe (Hz)	Fbi (Hz)	Fél (Hz)	Frot (Hz)
23252 B	FAG	2,23	42,43	56,24	35,32	5,19
23248 B	FAG	2,24	44,74	59,12	35,70	5,19
23252 C	SKF	2,23	40,09	53,39	34,95	5,19
23248 C	SKF	2,23	42,43	56,24	35,26	5,19

	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

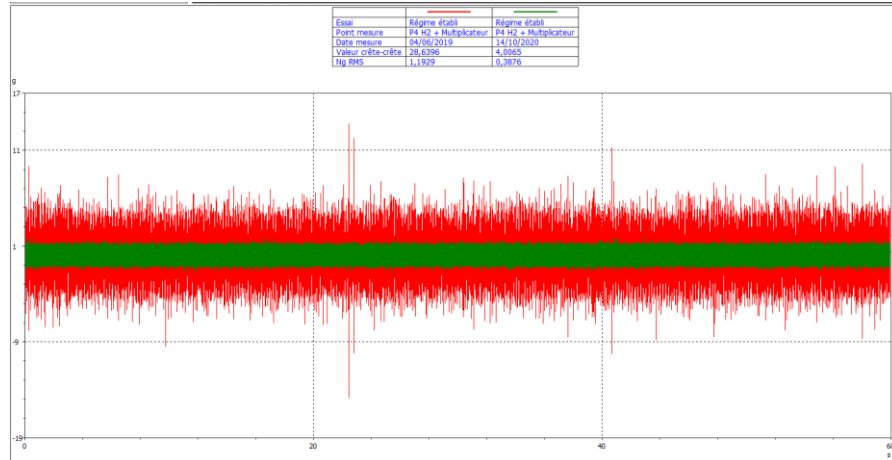
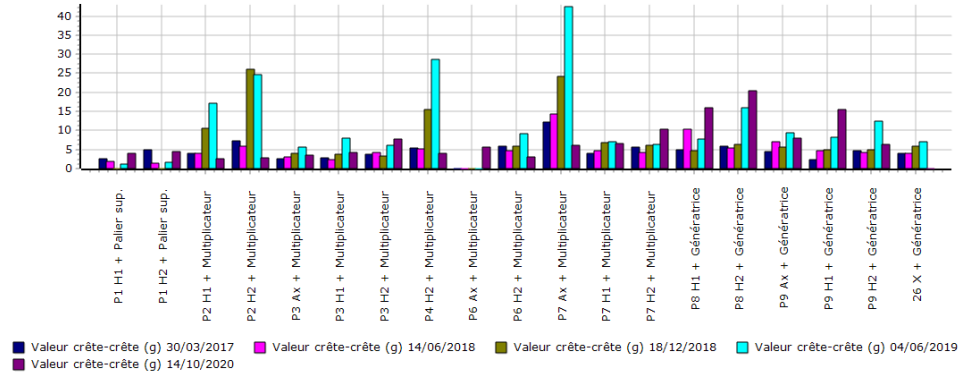
+certains rouleaux  
(visible sur enveloppe)

Rq: une piste chargée





# Impact de la révision

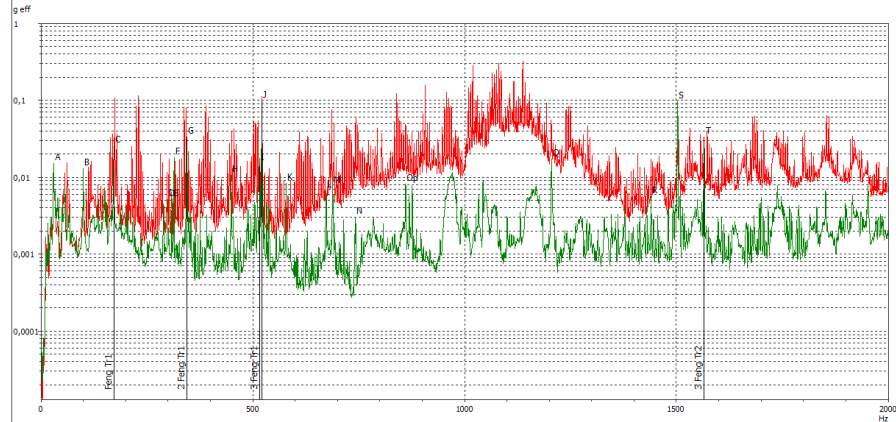


# Impact de la révision

**DYNAE**

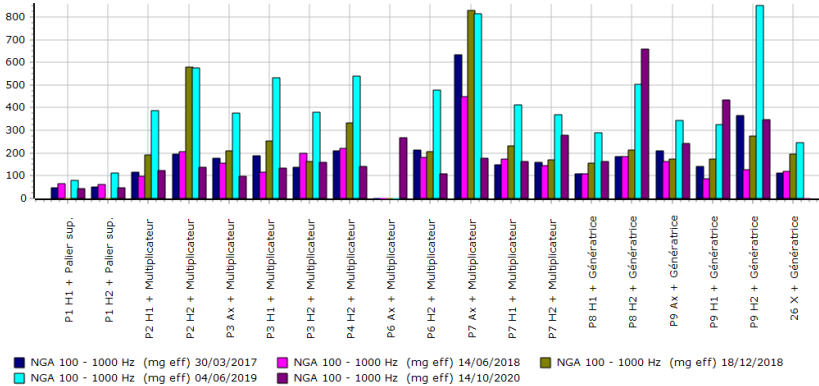
Société Installation  
**SIHEM** Groupe hydroélectrique G3 de Meymes  
 Date d'intervention  
**14/10/2020**  
 Intervention Code affaire  
 Diagnostic du 14/10/2020 20VDP042

Essai	Régime établi	Régime établi
Point mesure	P2 H2 + Multiplicateur	P2 H2 + Multiplicateur
Date mesure	04/06/2019	14/10/2020
Ng spectral	1,2409 (g eff)	0,2061 (g eff)
Ng fds	0,6651 (g eff)	0,9759 (g eff)



	X (*) Hz	Y (*) mg eff
A	29,94	15,2
B	100,08	13,2
C	172,19	30,2
D	299,50	5,3
E	309,44	5,1
F	314,44	18,3
G	344,40	33,5
H	449,16	11,4
I	516,56	17,5
J	521,75	100,3
K	578,47	9,5
L	673,29	7,0
M	688,84	7,7
N	742,64	3,2
O	860,52	9,5
P	876,37	7,9
Q	1205,28	19,4
R	1440,20	6,0
S	<b>1502,73</b>	<b>103,6</b>
T	1565,23	36,3

(\*) PeakFit



■ NGA 100 - 1000 Hz (mg eff) 30/03/2017 ■ NGA 100 - 1000 Hz (mg eff) 14/06/2018 ■ NGA 100 - 1000 Hz (mg eff) 18/12/2018  
 ■ NGA 100 - 1000 Hz (mg eff) 04/06/2019 ■ NGA 100 - 1000 Hz (mg eff) 14/10/2020

# 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

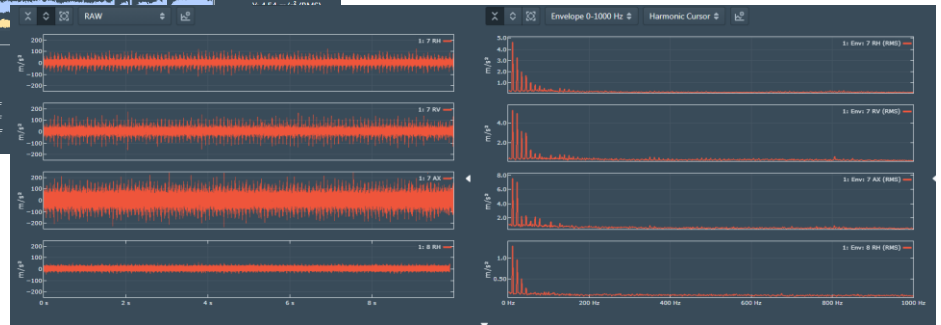
- Surveillance on line des machines : détection d'un défaut

## Télédiagnostic

- Recherche de la cause du défaut

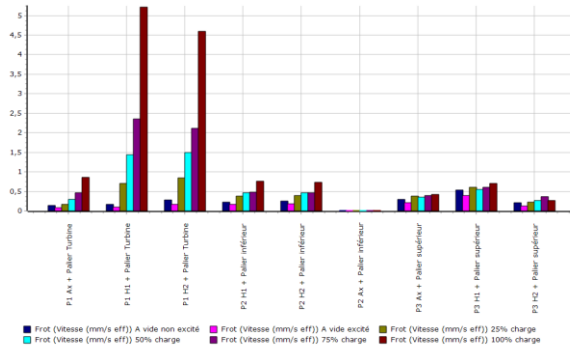


# Télédiagnostic

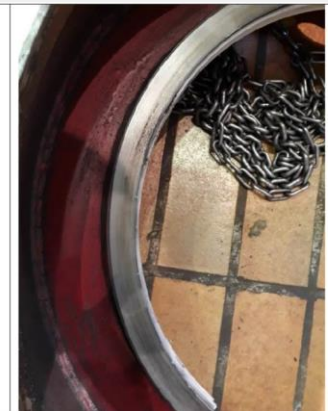
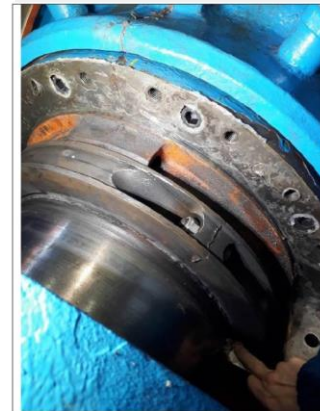
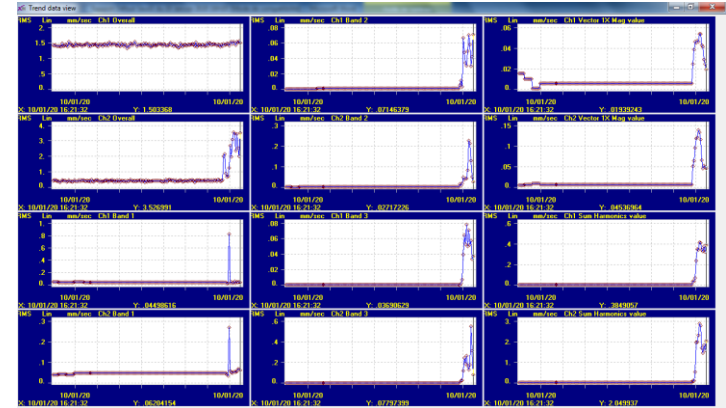


# Retours d'expérience

Francis verticale – bois coincé dans la roue



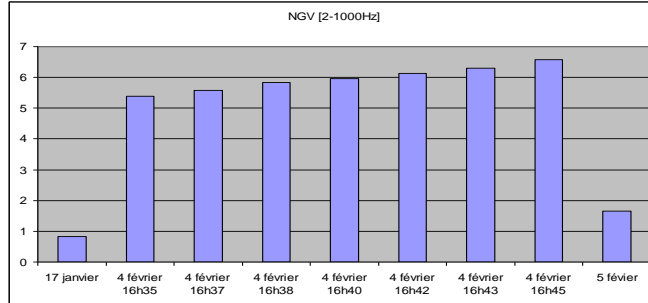
Francis Horizontale –frottement



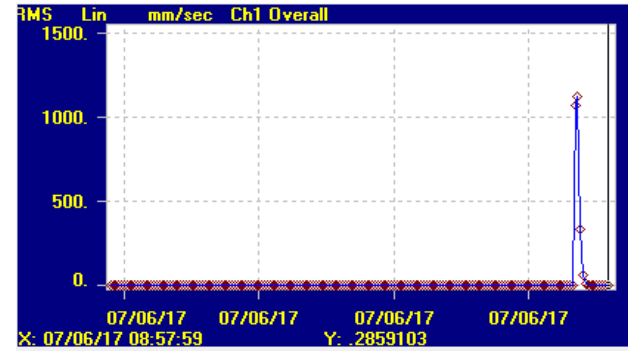


# Retours d'expérience

## Destruction roulement palier turbine Kaplan



## Défaut d'isolement







***EIFFAGE***

ÉNERGIE SYSTÈMES