

*l'expertise dynamique pour  
la maîtrise de vos équipements*

◀ Analyse vibratoire

◀ Analyse électrique

◀ Thermographie infrarouge

Hélène PIOT

Responsable Agence Rhône-Alpes



# DIAGNOSTIC VIBRATOIRE DES GROUPES HYDROELECTRIQUES

# ROULEMENTS

Groupes  
hydroélectriques  
au fil de l'eau  
(Kaplan, bulbe)



Pelton de 2 MW (SHEM)



Francis de 590 kW (SHEM)

# Outils de diagnostic

## Vibratoires:

- Indicateurs globaux:
  - Niveaux globaux accélération hautes et moyennes fréquences
  - Niveaux globaux vitesse pour les dégradations avancées
- Indicateurs énergétiques:
  - Peigne de raies aux différentes fréquences de défauts de roulement
  - Évolution du fond de spectre (vibrations aléatoires)
- Indicateurs typologiques:
  - Kurtosis
  - Cepstre
- Autres:
  - HFRT

## Analyse d'huile

## Suivi des températures de palier



## Particularités

- Cinématique complexe
- Vitesses lentes
- Chevauchement spectral
- Effet de masque
- Conditions de fonctionnement stables

Référence	Fcage (Hz)	Fbe (Hz)	Fbi (Hz)	Fél (Hz)	Frot (Hz)	Localisation
23056 CC PV Sup	0,79	21,28	25,89	17,56	1,75	PV sup
23984 CA PV Inf	0,82	32,65	37,23	26,47	1,75	PV inf
29464 E	0,79	14,99	18,20	11,13	1,75	Multi PV
23256 CA	2,12	38,46	50,41	35,05	4,94	Multi MV
NU2336M GV Inf	5,19	77,88	110,11	70,96	12,53	Multi GV inf
NU2336E GV Sup	5,38	71,61	103,85	65,91	12,53	Multi GV sup
QJ336 N2 GV Sup	5,26	67,80	95,13	59,66	12,53	Multi GV sup
NU1036	5,59	134,05	166,74	113,94	12,53	Géné CA
7330 BG(SKF)	5,26	74,20	101,27	60,41	12,53	Géné COA
7330 BG(FAG)	5,16	61,96	88,43	52,88	12,53	Géné COA

## Retour d'expérience – Marcenac G1



### Génératrice asynchrone :

Tension : 5500 volts  
Puissance : 2 MW  
Nombre de paires de pôles : 4  
 $\cos\varphi \approx 0,87$

In : 241 A  
Cos  $\varphi \approx 0,87$   
1 câble

### Multiplicateur : ENGRENAGES ET REDUCTEURS

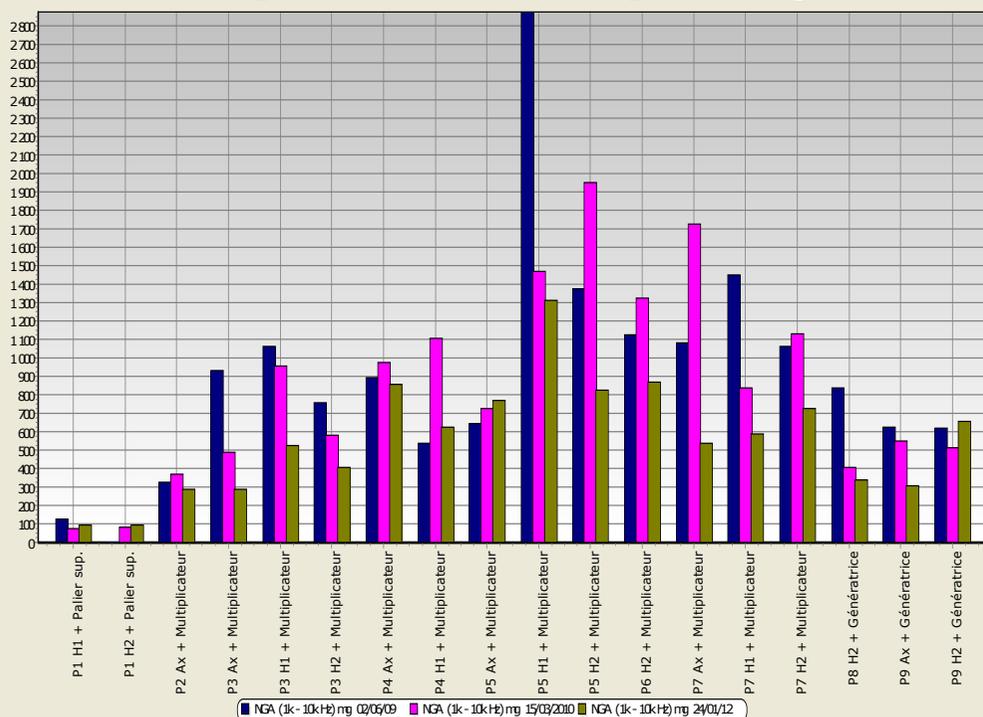
Type : V2.VB.800 N° 73343  
Vitesse d'entrée : 104,54 tr/mn  
Vitesse de sortie : 750 tr/mn  
Rapport : 7,17  
Puissance transmise : 1980 kW  
Date de mise en service : 1989

### Alternateur tachymétrique Radio-Energie Y32

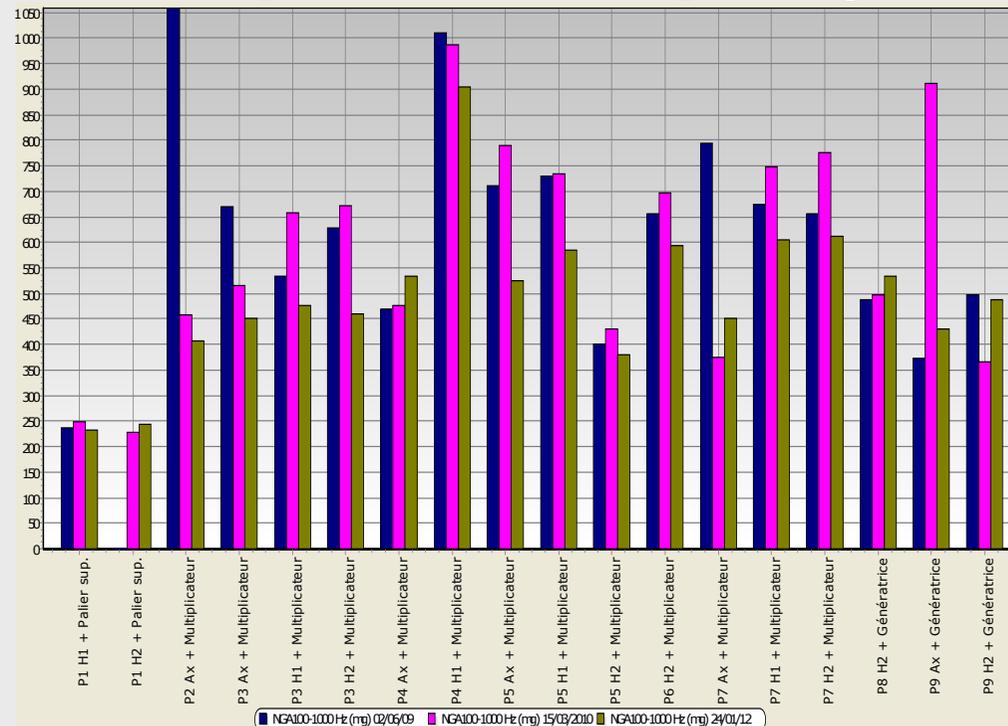
0,125 V/tr  
200 Hz à 1000 tr/mn

# Indicateurs énergétiques

## NGA [2kHz – 20 kHz] en mg eff



## NGA [100Hz – 1000Hz] en mg eff



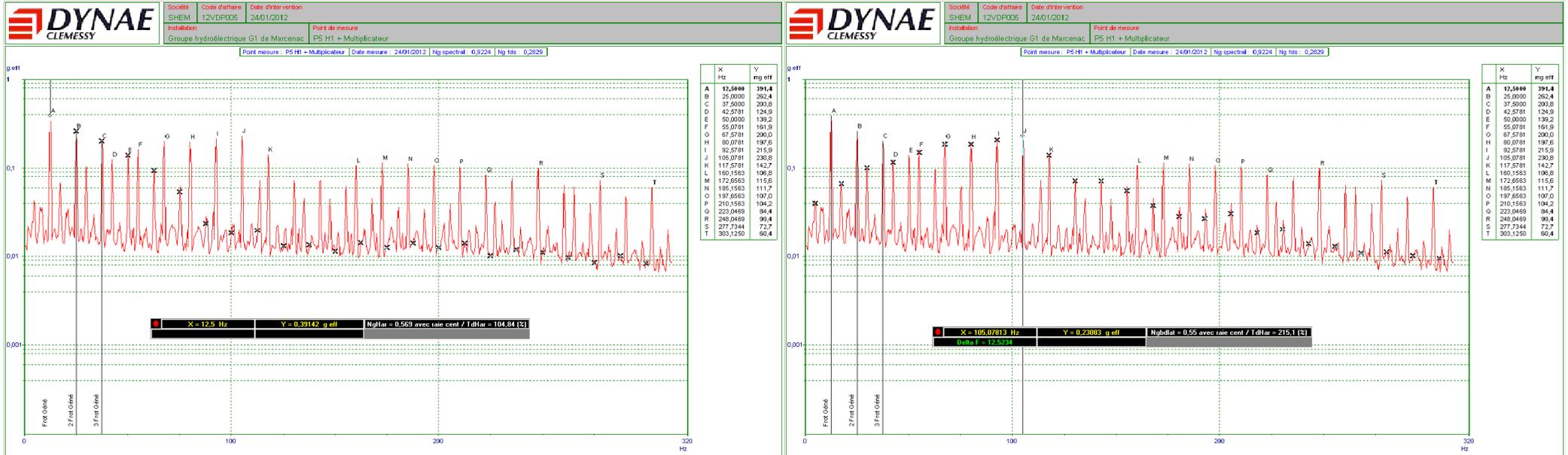
Très peu voire aucune évolution des indicateurs globaux énergétiques

## Indicateurs typologiques

Point mesure	Valeur crête-crête (g)	Ng RMS (g)	Kurtosis	Facteur crête	Valeur absolue max (g)
P1 H1 + Palier sup.	5,846	0,256	4,025	11,827	2,973
P1 H2 + Palier sup.	4,096	0,266	3,574	7,990	2,195
P2 Ax + Multiplicateur	4,511	0,498	3,045	4,602	2,296
P3 Ax + Multiplicateur	5,412	0,535	2,956	5,431	2,941
P3 H1 + Multiplicateur	10,860	0,711	3,831	8,145	5,847
P3 H2 + Multiplicateur	7,864	0,613	3,191	7,047	4,329
P4 Ax + Multiplicateur	12,798	1,010	3,782	6,479	6,519
P4 H1 + Multiplicateur	12,942	1,097	3,141	6,436	7,024
P5 Ax + Multiplicateur	25,148	0,936	22,419	13,801	12,959
P5 H1 + Multiplicateur	39,327	1,431	26,421	14,516	20,779
P5 H2 + Multiplicateur	19,372	0,909	12,393	10,748	9,804
P6 H2 + Multiplicateur	13,124	1,057	3,194	6,540	6,938
P7 Ax + Multiplicateur	8,286	0,702	3,341	5,988	4,172
P7 H1 + Multiplicateur	10,915	0,842	3,591	7,044	5,916
P7 H2 + Multiplicateur	15,923	0,943	4,642	8,581	8,122
P8 H2 + Génératrice	5,774	0,633	2,611	4,645	2,923
P9 Ax + Génératrice	4,310	0,531	2,813	4,164	2,249
P9 H2 + Génératrice	7,491	0,822	2,912	4,592	3,790

Bonne réponse des indicateurs typologiques

# Spectres FMA (HFRT)



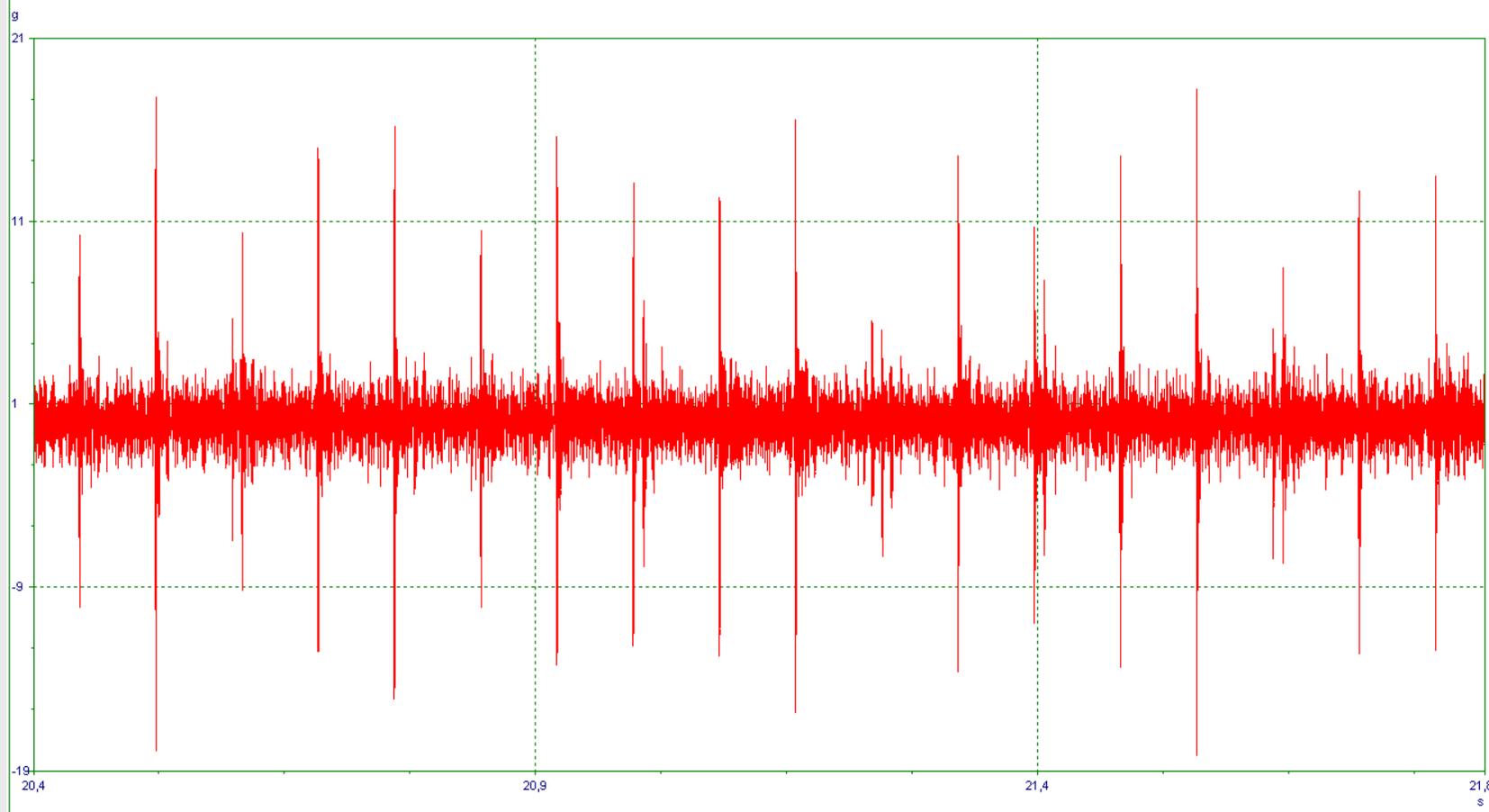
On constate un peigne de raies dont le pas correspond à la fréquence de rotation GV, un second peigne de raies dont le pas correspond à une fréquence de défaut de roulement modulé par la fréquence de rotation GV.

# Signal temporel



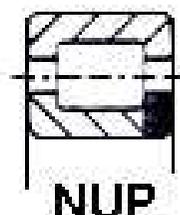
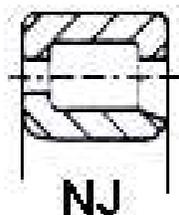
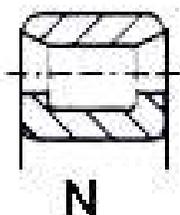
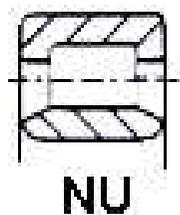
Société	Code d'affaire	Date d'intervention
SHEM	12VDP005	24/01/2012
Installation	Point de mesure	
Groupe hydroélectrique G1 de Marcenac	P5 H1 + Multiplicateur	

Point mesure : P5 H1 + Multiplicateur | Date mesure : 24/01/2012 | Valeur crête-crête : 39,3266 | Gap : 0,0123 | Ng RMS : 1,4306



# Fréquences cinématiques

Référence	Fcage (Hz)	Fbe (Hz)	Fbi (Hz)	Fél (Hz)	Frot (Hz)
23056 CC PV Sup	0,79	21,30	25,92	17,57	1,75
23984 CA PV Inf	0,82	32,68	37,26	26,49	1,75
29464 E	0,79	15,00	18,22	11,14	1,75
23256 CA	2,13	38,50	50,46	35,09	4,94
NU2336M GV Inf	5,19	77,95	110,22	71,03	12,55
NU2336E GV Sup	5,38	71,68	103,95	65,97	12,55
QJ336 N2 GV Sup	5,27	67,87	95,22	59,71	12,55
NU236M	5,47	103,92	134,43	96,40	12,55
NU236E	5,38	102,22	136,14	86,37	12,55
7330 BG(FAG)	5,17	62,02	88,52	52,93	12,55

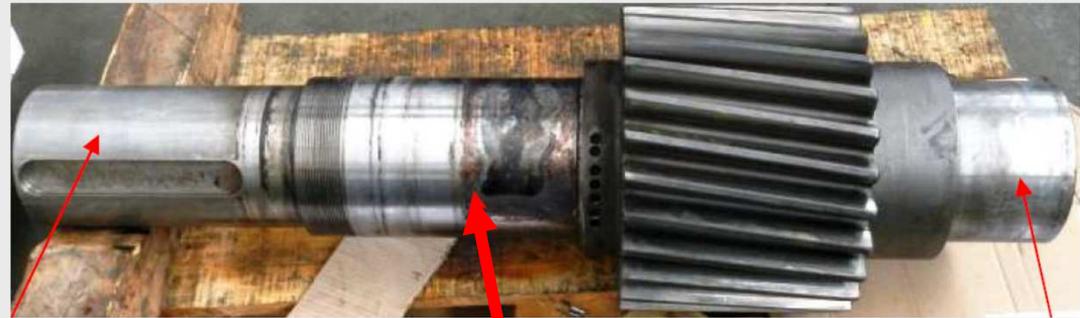


Palier CA

## Constat après RG



Bague intérieure du roulement supérieur de l'arbre GV fissurée



Traces importantes de fretting sur la portée de ce roulement.



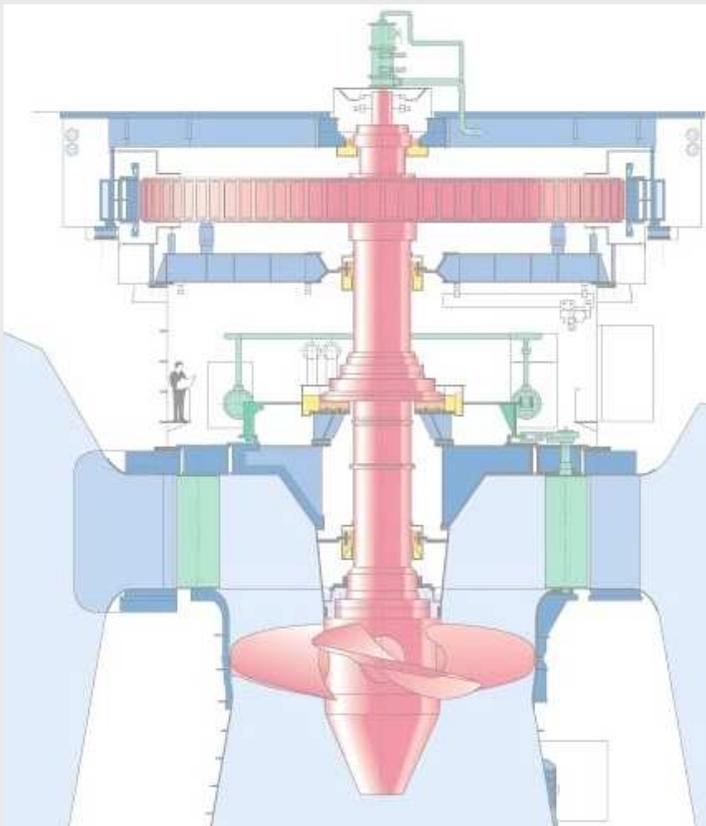
A noter aussi la présence d'une usure importante sur l'accouplement flexident qui aurait pu être aussi à l'origine d'une typologie de chocs à la fréquence de rotation.

# PALIERS LISSES

Groupes hydroélectriques de fortes puissance.

Outils : les mêmes que pour les roulements

plus la mesure à partir de sonde de proximité et traitements spécifiques (orbites)



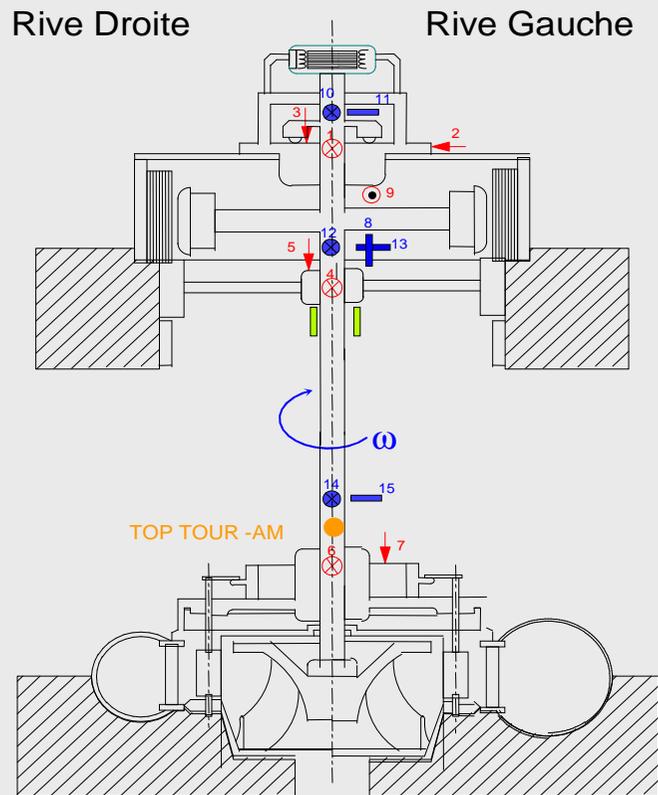
# EXEMPLE DE DETECTION DE FROTTEMENT

Les cause de frottements sont multiples :

- Un mauvais lignage
  - Une excentration ou un balourd magnétique
  - Un départ à l'emballement, une survitesse
  - Un transitoire un peu violent
  - Une poussée hydraulique hors tolérance
  - Une vanne de décharge mal réglée...
  - Un bois qui se coince entre pale et manteau
  - Un desserrage de palier
  - Une instabilité de palier...
- 
- Le phénomène de frottement dans un palier lisse n'est pas toujours simple à diagnostiquer.
  - Il est délicat de localiser le palier qui frotte dans le bruit ambiant et il est difficile de qualifier la criticité d'un frottement.

# EXEMPLE DE DETECTION DE FROTTEMENT : EXEMPLE

Contrôle de routine sur une turbine Francis .

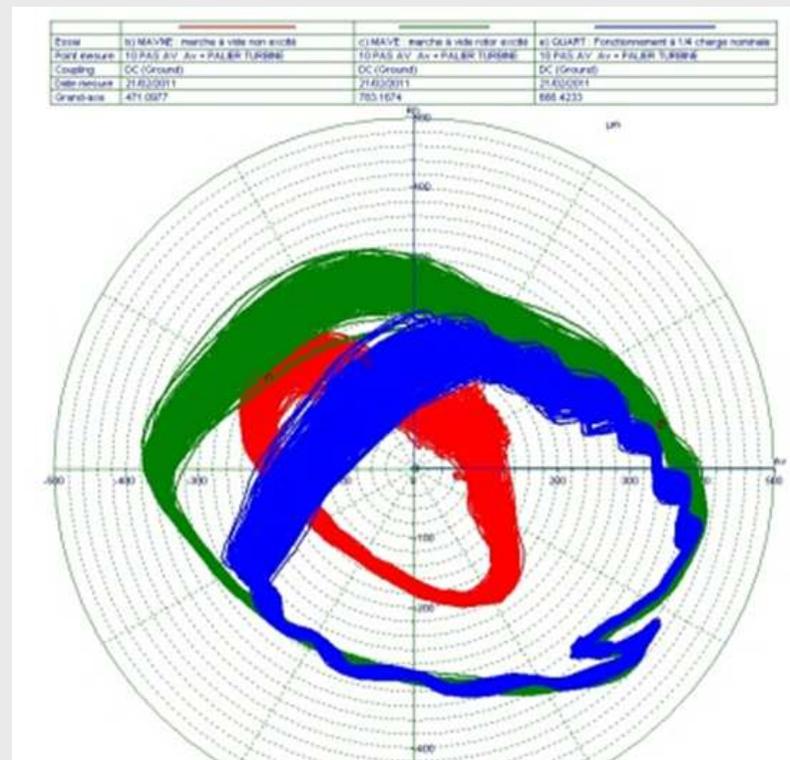


Orbite palier alternateur supérieur

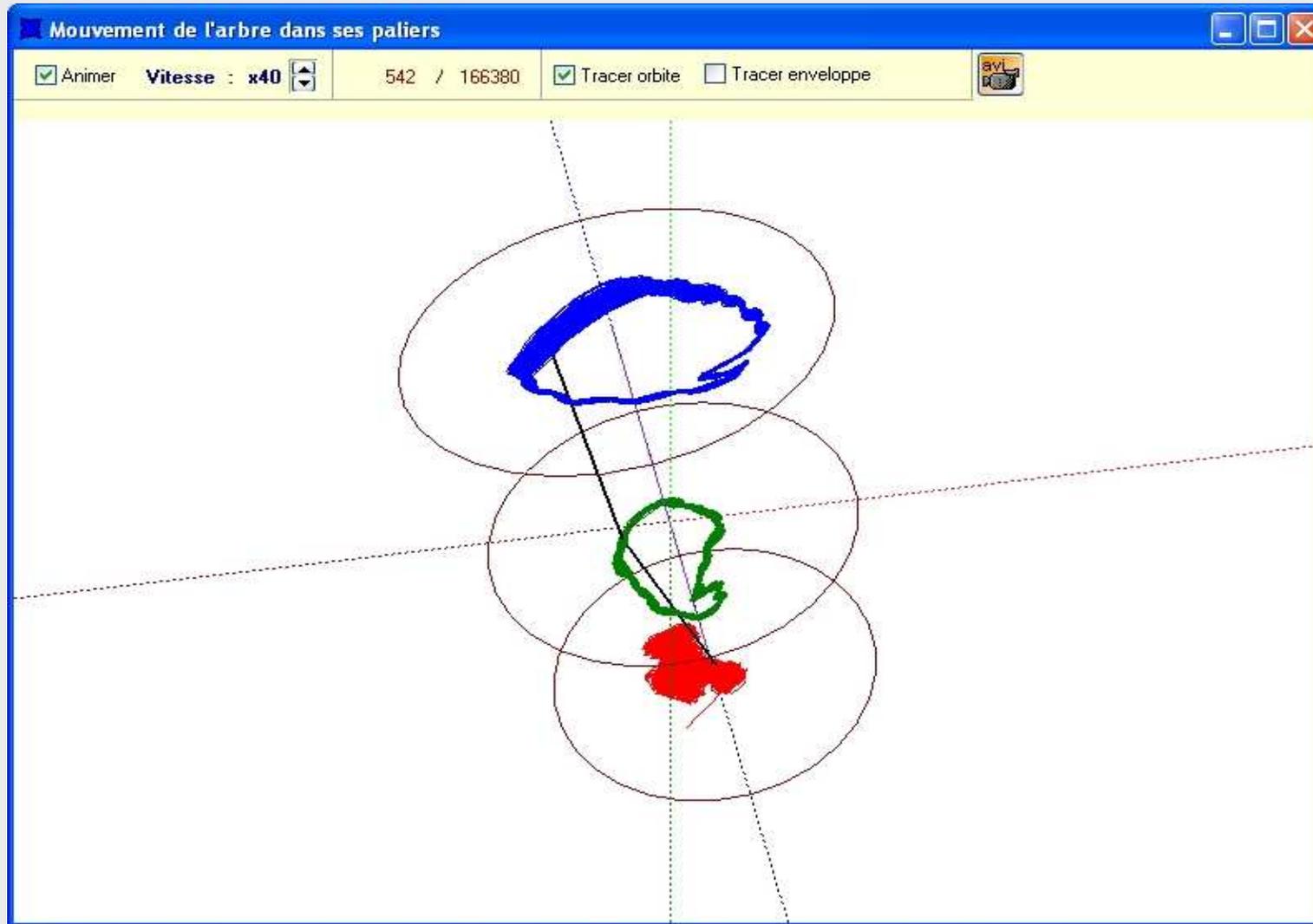
Marche à vide

Marche à vide excitée

¼ de charge



# EXEMPLE DE DETECTION DE FROTTEMENT : EXEMPLE

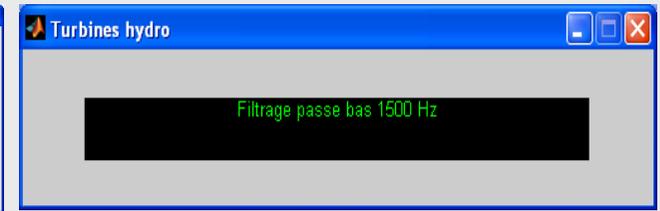
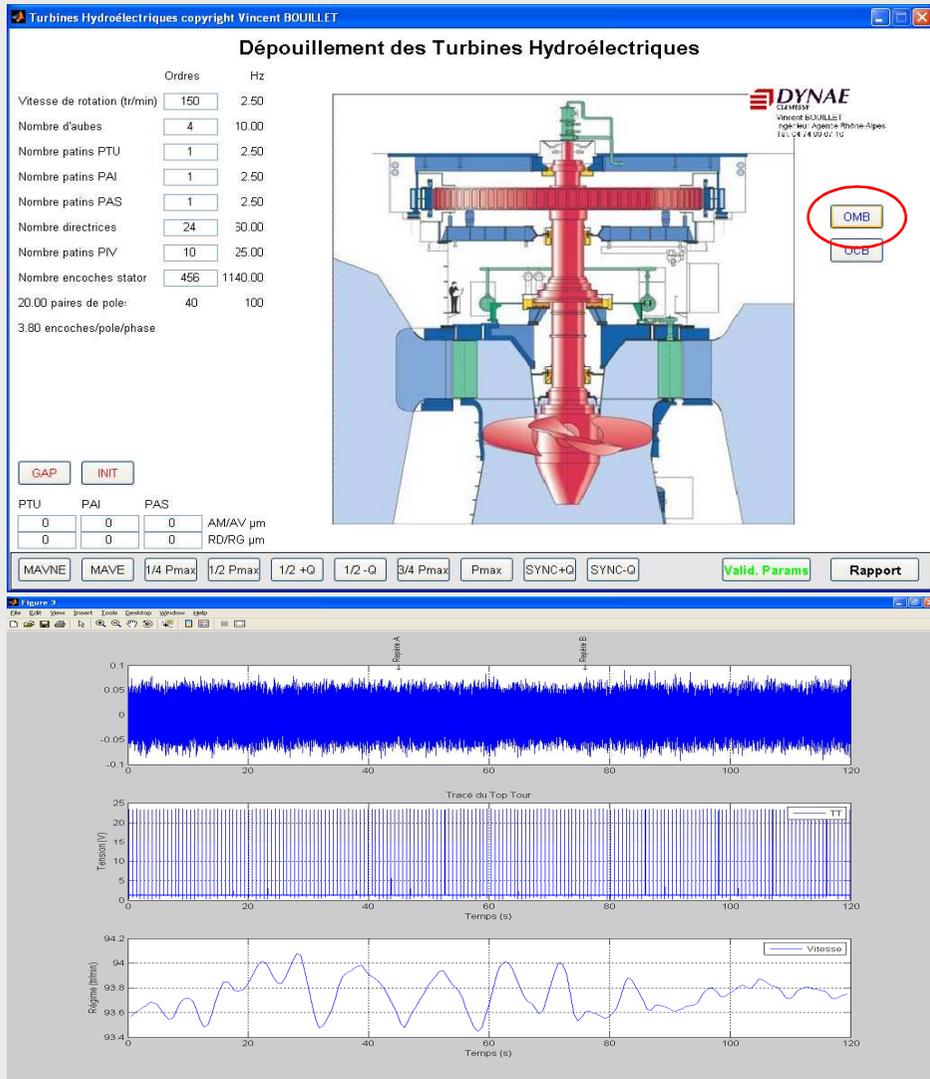


Palier  
alternateur  
supérieur

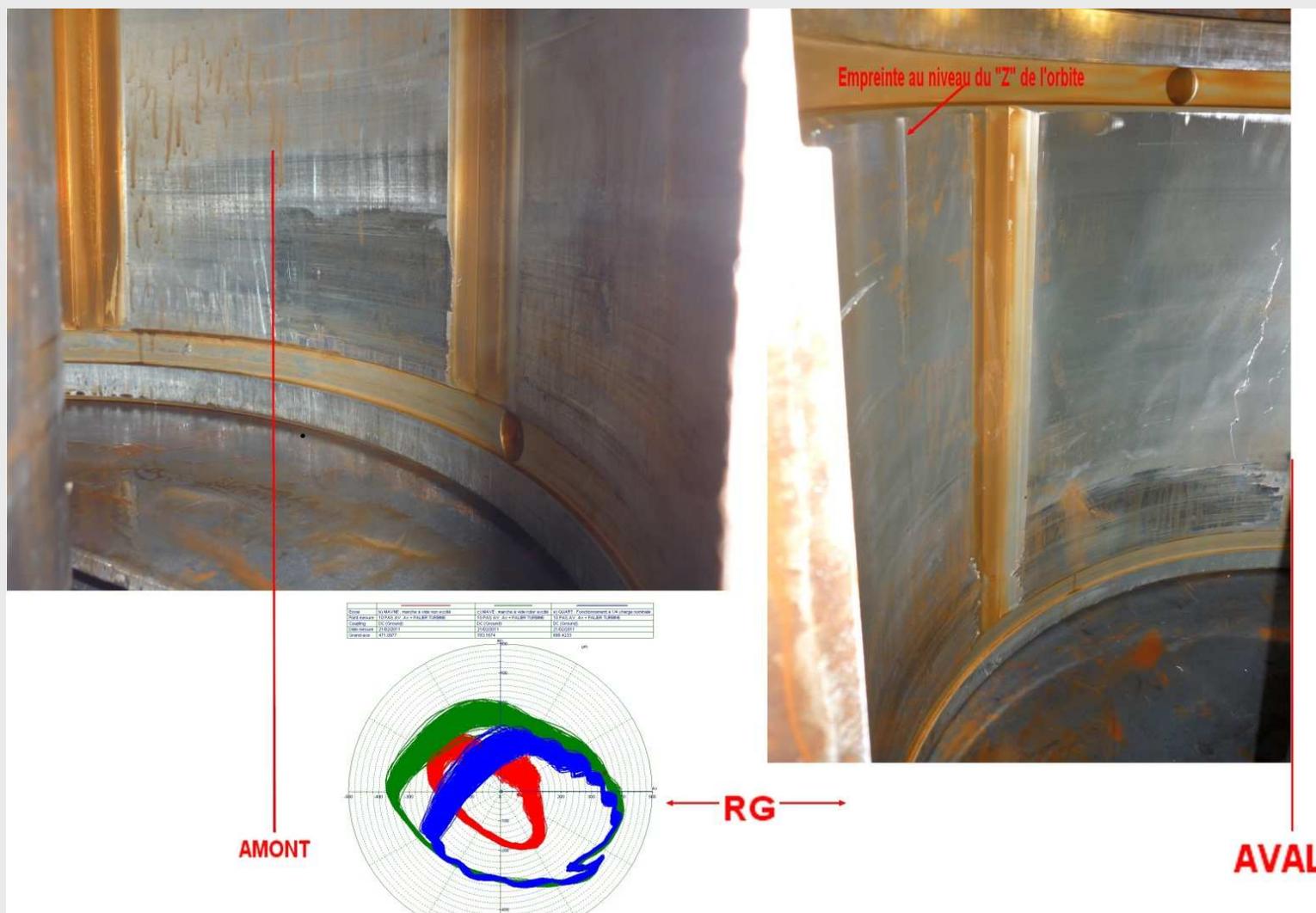
Palier  
alternateur  
inférieur

Palier  
turbine

# EXEMPLE DE DETECTION DE FROTTEMENT : EXEMPLE



# EXEMPLE DE DETECTION DE FROTTEMENT : EXEMPLE





# DETECTION/CARACTERISATION DE PHENOMENES HYDRAULIQUES PAR ANALYSE DU COURANT

## Contexte

- Les mesures vibratoires sont peu sensibles aux défauts induisant des fluctuations de couple.
- Les mesures électriques du courant statorique des groupes hydroélectriques permettent d'obtenir une image de ces fluctuations.
- Défauts:
  - Accouplement,
  - Jeu,
  - Résonance torsionnelle,
  - Hydrauliques,
  - .....



ANDRITZ-Hydronews13

# Moyens classiques de détection

## Mesures de pressions



## Mesures vibratoires



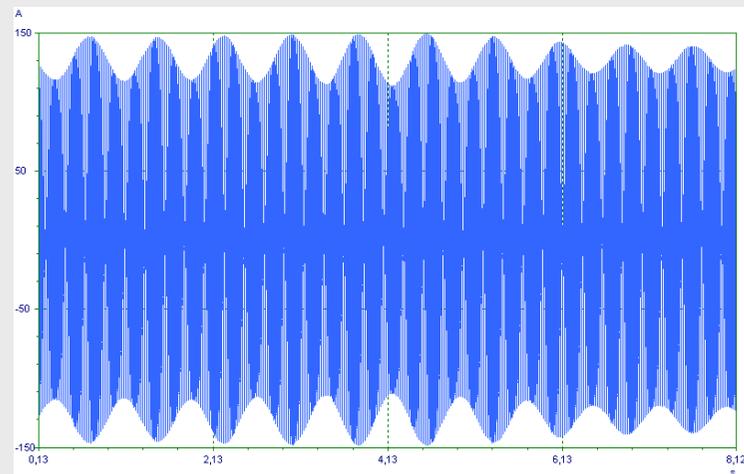
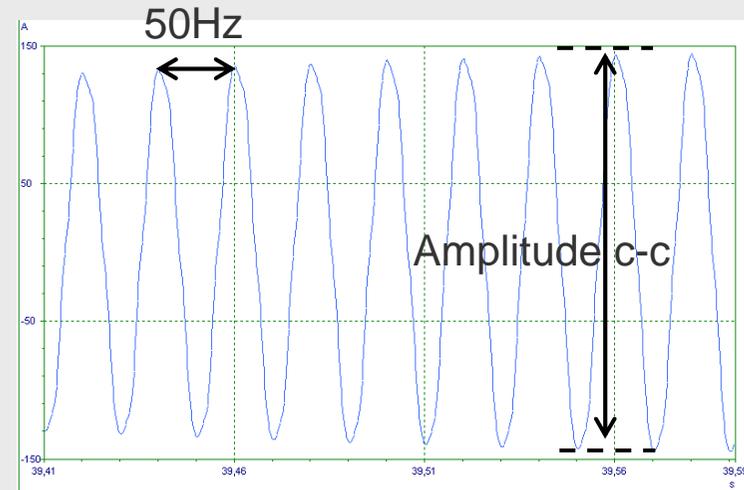
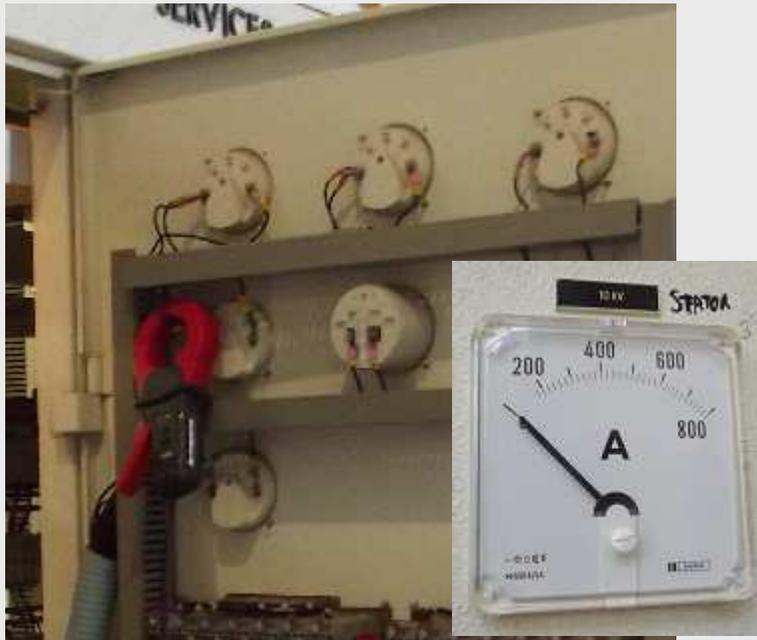
# Mesure électrique – Une image des fluctuations de couple

## Intérêt:

- Apporte des données complémentaires aux vibrations.
- Permet de détecter les défauts induisant des fluctuations de couple et de vitesse.
- Moins bruitée qu'une mesure vibratoire.
- **Mesure facile à mettre en œuvre (mesure de couple, pressions...)**

# Mesures électriques

Mesure de l'intensité instantanée délivrée par le stator

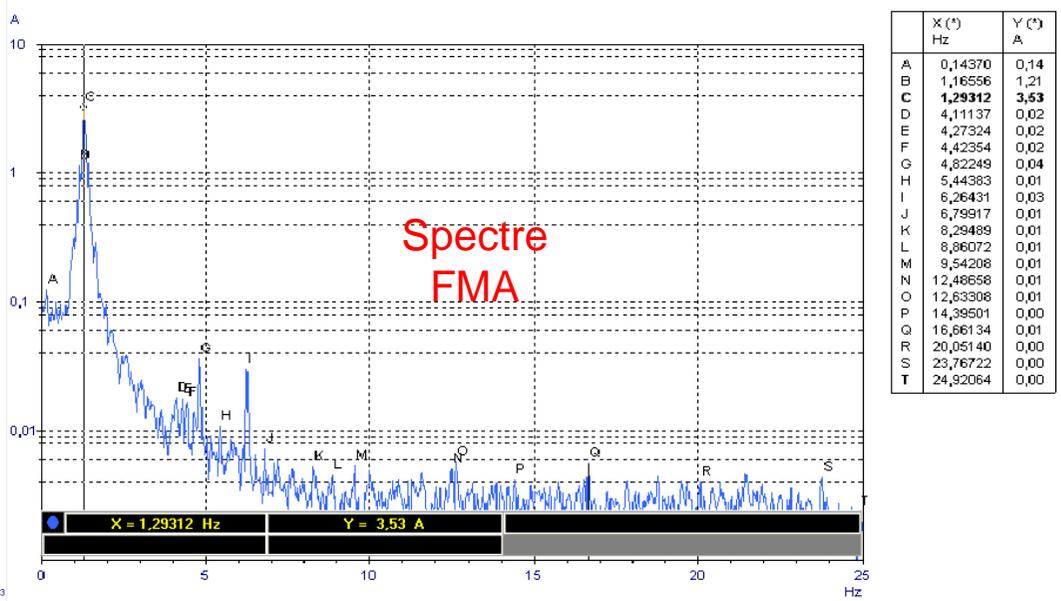
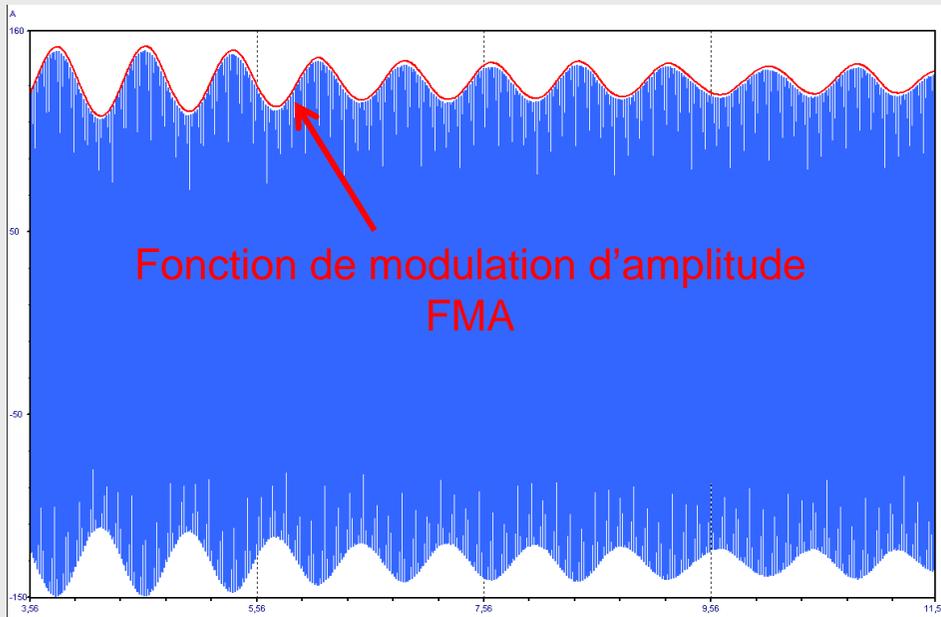
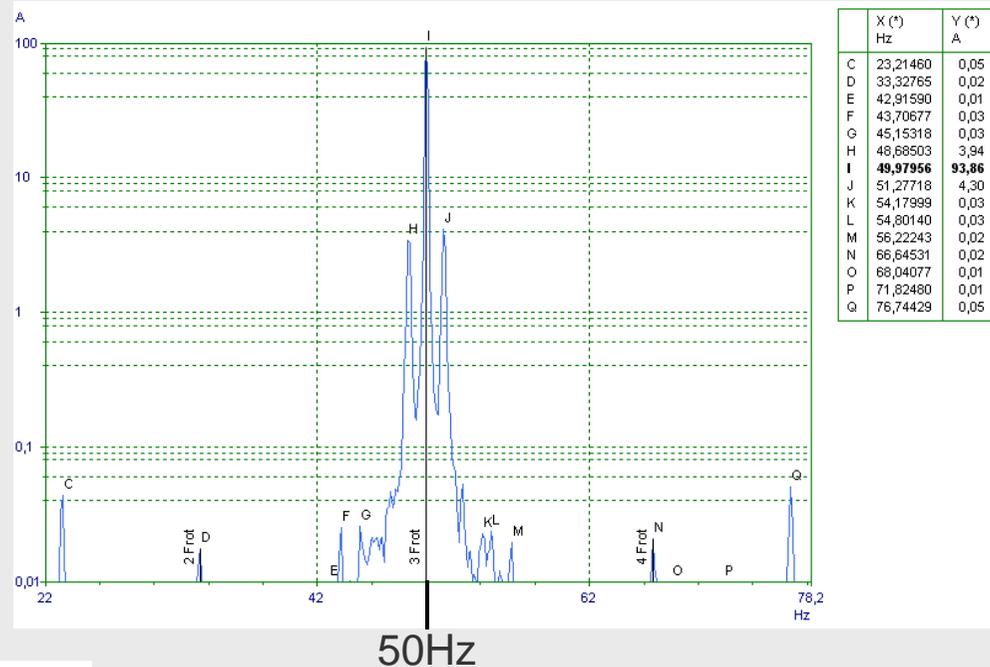


# Mesures électriques

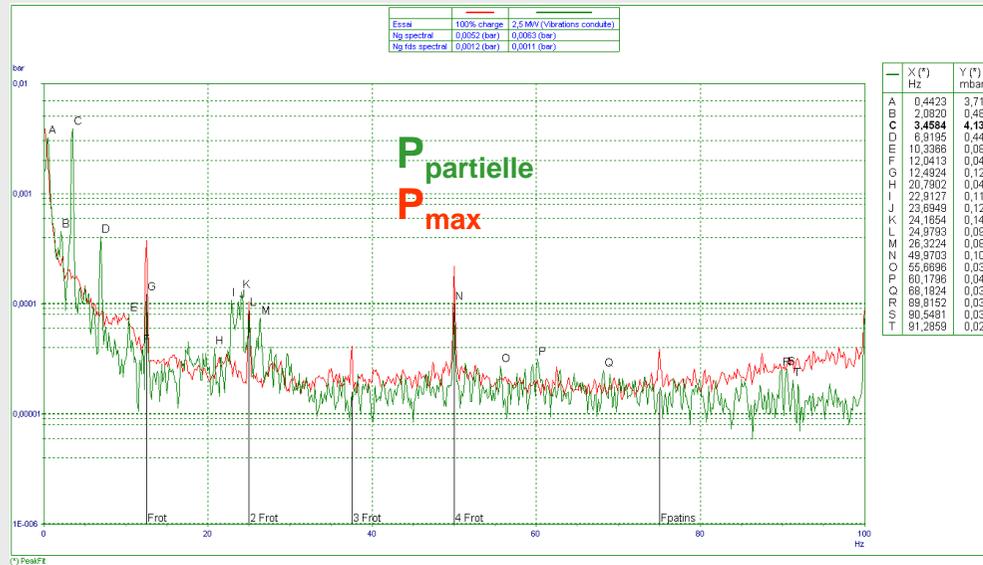
Analyse spectrale:  
Bandes latérales de modulations

FMA => Spectre FMA

Calcul du taux de modulation  
à une fréquence donnée



# Exemple : Francis verticale de 4,3 MW



Pression plafond de roue:

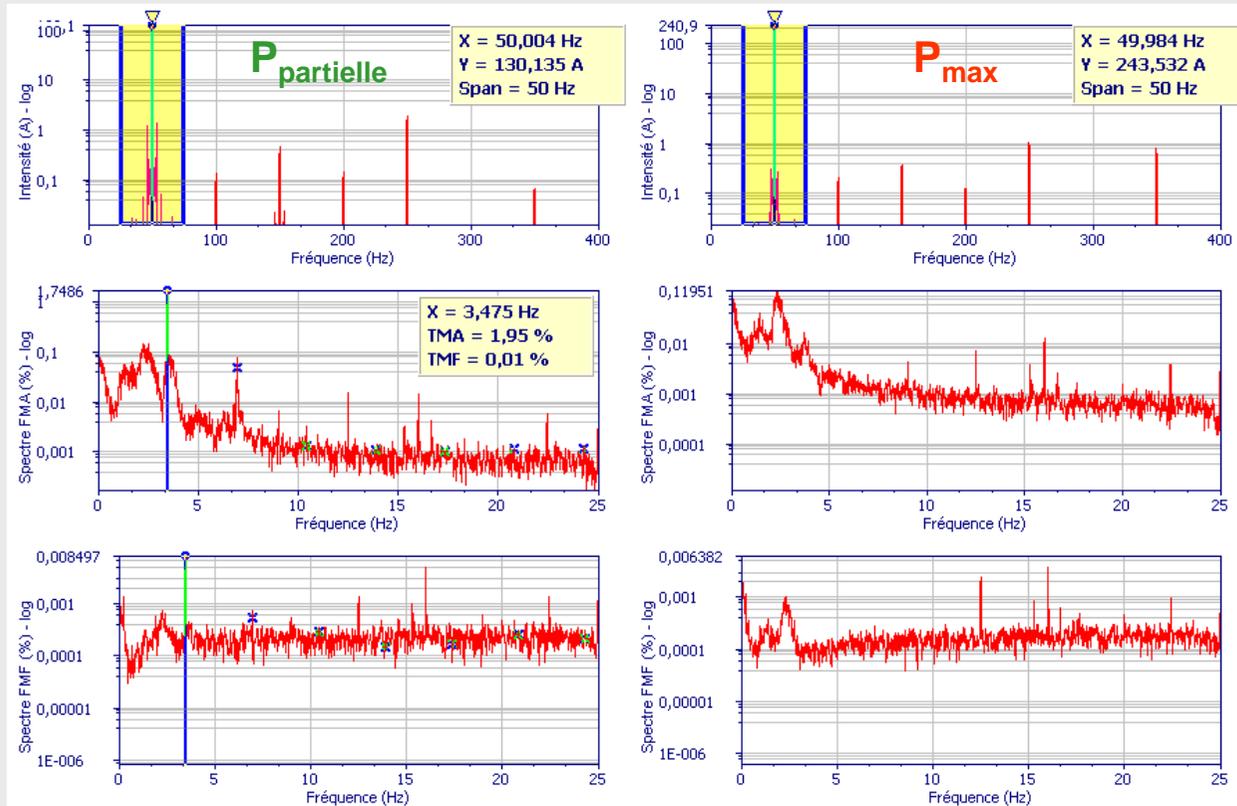
Présence d'une pulsation de pression à 0,28 Frot de l'ordre de 1%.



Vibrations palier turbine:

Présence d'un choc dont le pas correspond à 0,28 Frot sur le palier turbine en direction axiale

# Exemple : Francis verticale de 4,3 MW



TMA global: 2,1%  
TMA  $F_{vortex}$ : 1,95%

TMA global: 0,4%  
TMA  $F_{vortex}$ : RAS

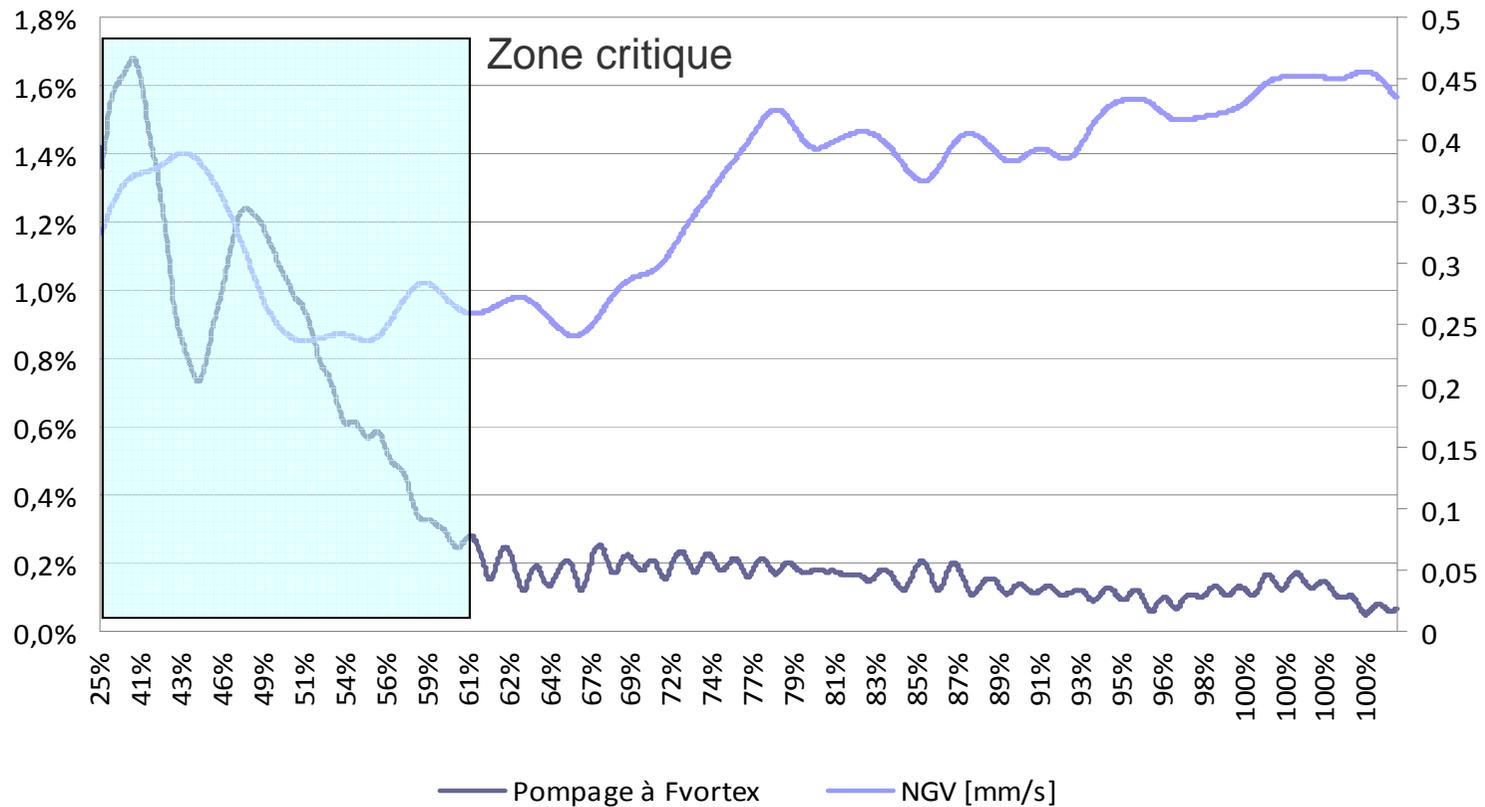
## Analyse du courant:

Présence d'un pompage de l'intensité statorique à charge partielle qui disparaît à Pmax dont le pas correspond à 0,28 Frot.

Aucune fluctuation de vitesse significative.

## Suivi des modulations lors d'une montée en charge:

### Modulation du courant en fonction de la charge



# SYNTHESE

MESURES	AVANTAGES	INCONVENIENTS
VIBRATIONS	Mesures effectuées régulièrement à des fins de maintenance prédictive	Lecture perturbée par le bruit de fond et l'impact des résonances locales
PRESSIONS	Permet d'obtenir les fluctuations de pressions en lien direct avec les fluctuations de couple	Mise en œuvre plus compliquée dans le cadre d'un suivi périodique
COURANT	Mise en œuvre simple Analyse simple	Image des fluctuations de couple
COUPLE	Valeurs réelles des fluctuations de couple	Mise en œuvre compliquée à réserver aux diagnostics ponctuels répondant à un problème