

Intégrité des rotors embarqués sur excitateur 6 axes

COMMISSION MACHINE TOURNANTE
– AFM – 04/06/2019

- Introduction
- Simulation numérique de rotor embarqué
- Démonstrateur académique
- Pilotage de l'excitateur 6-axes
- Perspectives

Introduction

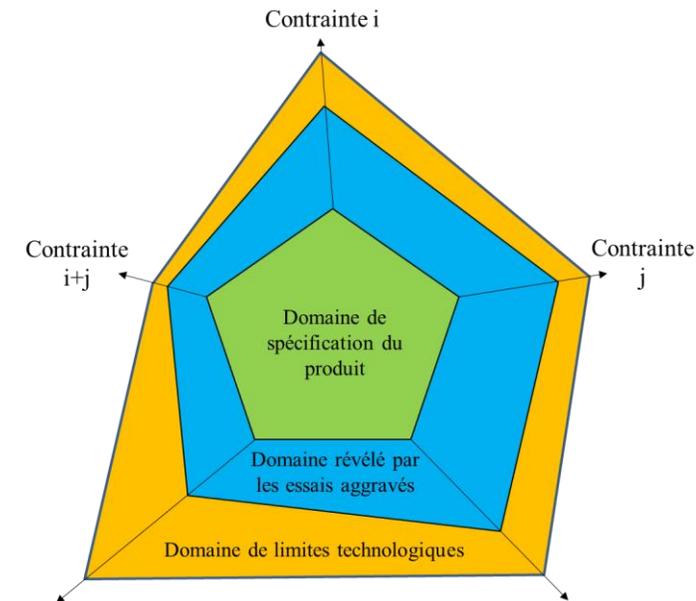
Introduction : Contexte et Objectifs

Contexte

- Machines sur base « mobile » (turbomoteurs d'aéronefs, éoliennes, extraction pétrolière sous-marine...)
- Atteinte de l'intégrité des machines tournantes

Objectifs : Améliorer la fiabilité des rotors embarqués

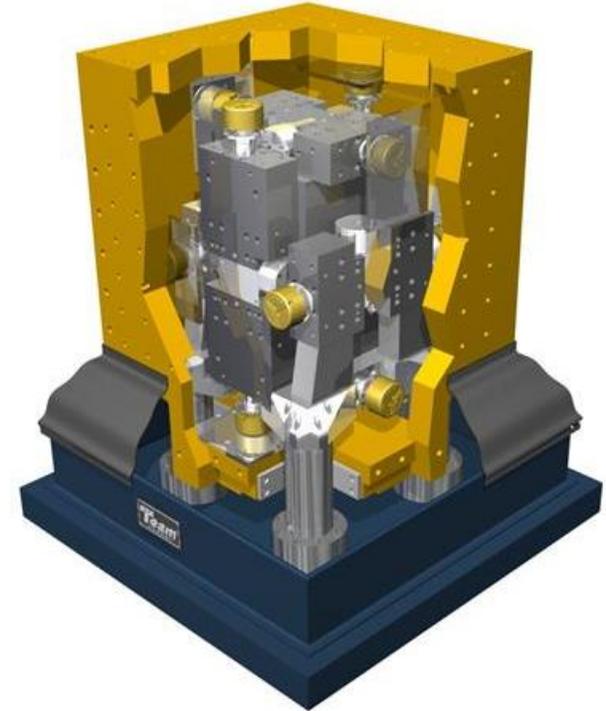
- Développer de nouvelles méthodologies d'essais aggravés mono-multi axes
 - Simuler numériquement le comportement dynamique de machines sous sollicitations extrêmes (grands déplacements, grandes déformations)
 - Validation expérimentale avec démonstrateur académique
 - Essais aggravés sur machine industrielle



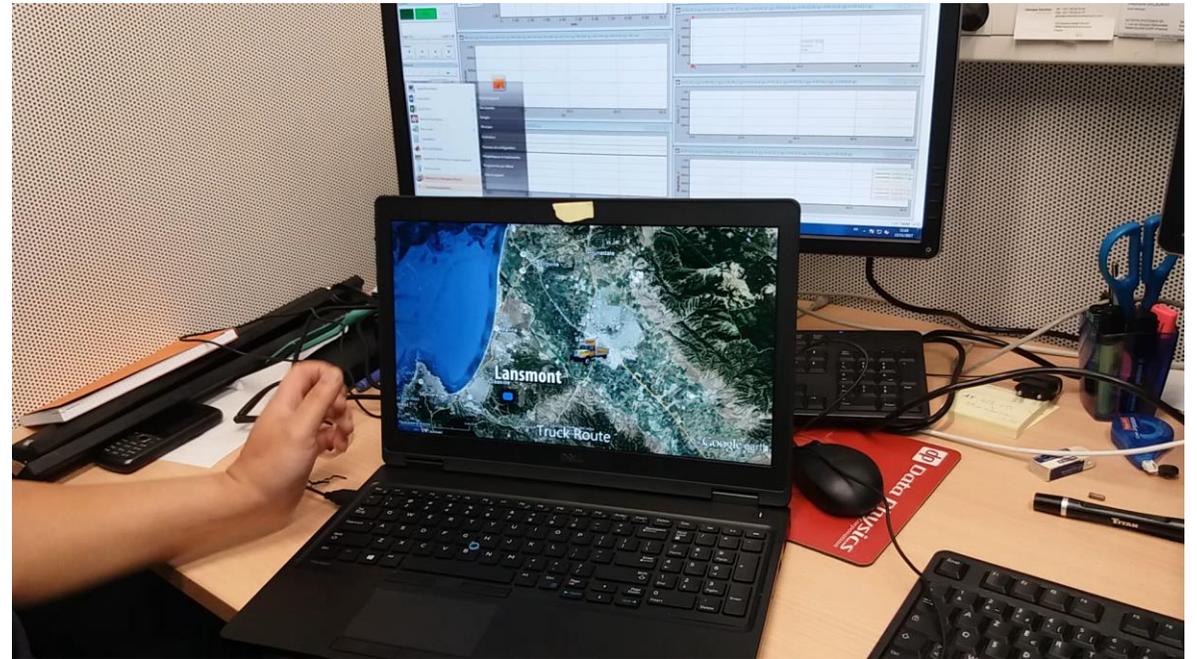
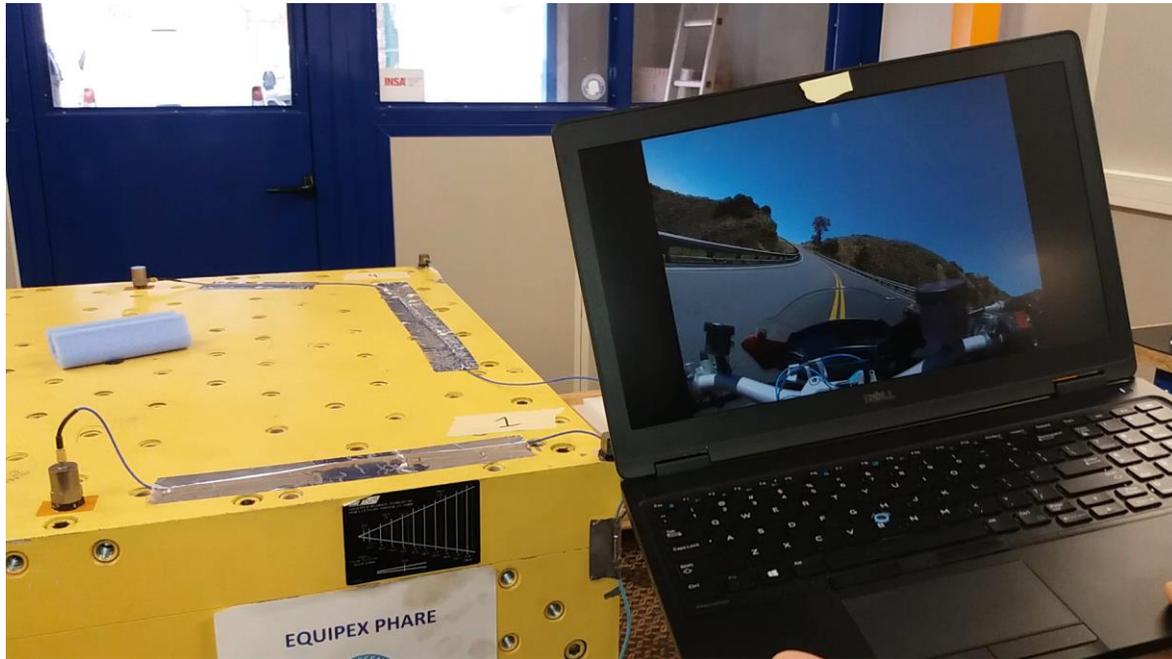
Introduction : Excitateur hydraulique 6 axes

Equipex PHARE – Excitateur 6 axes (translations et rotations)

- Masse embarquée jusqu'à 450 kg
- Excitations sinus, aléatoires, chocs, réplique de signaux
- Gamme de fréquence [0-250]Hz
- Force 62kN en dynamique, 93kN en statique
- Niveaux maximums :
 - Accélération 10g
 - Déplacement en translations +/- 50mm en Z, +/- 25mm en X et Y
 - Rotation +/- 4°



Introduction : Excitateur hydraulique 6 axes

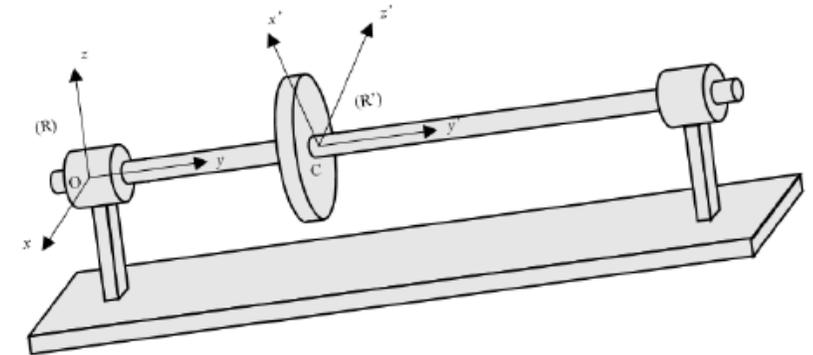
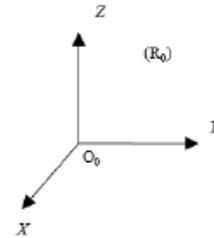


Simulation numérique de rotor embarqué

Simulations numériques de rotor embarqué

➤ Spécificités du modèle numérique EF

- 6 ddl (flexion/torsion/longitudinal)
- 6 ddl de la base avec configuration possible du CIR
- Paliers hydrodynamiques longueur finie
- Grand déplacement / petite rotation de l'arbre
- Vitesse de rotation non stationnaire

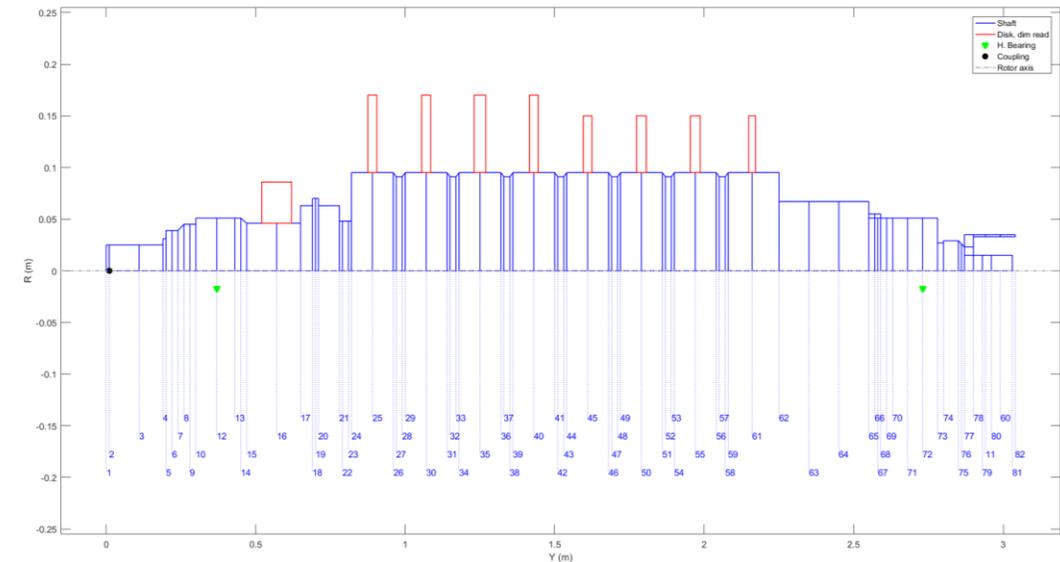


➤ Résultats possibles

- Calcul transitoire non-linéaire palier roulement/hydrodynamique
- Mise en évidence de l'influence des mouvements de la base sur les orbites au niveau des paliers
- Instabilités mono/multi-axes en rotation
- Calcul de contraintes/déformations dues au mouvement par la base
- ...

Interface Homme Machine : AdVISOR

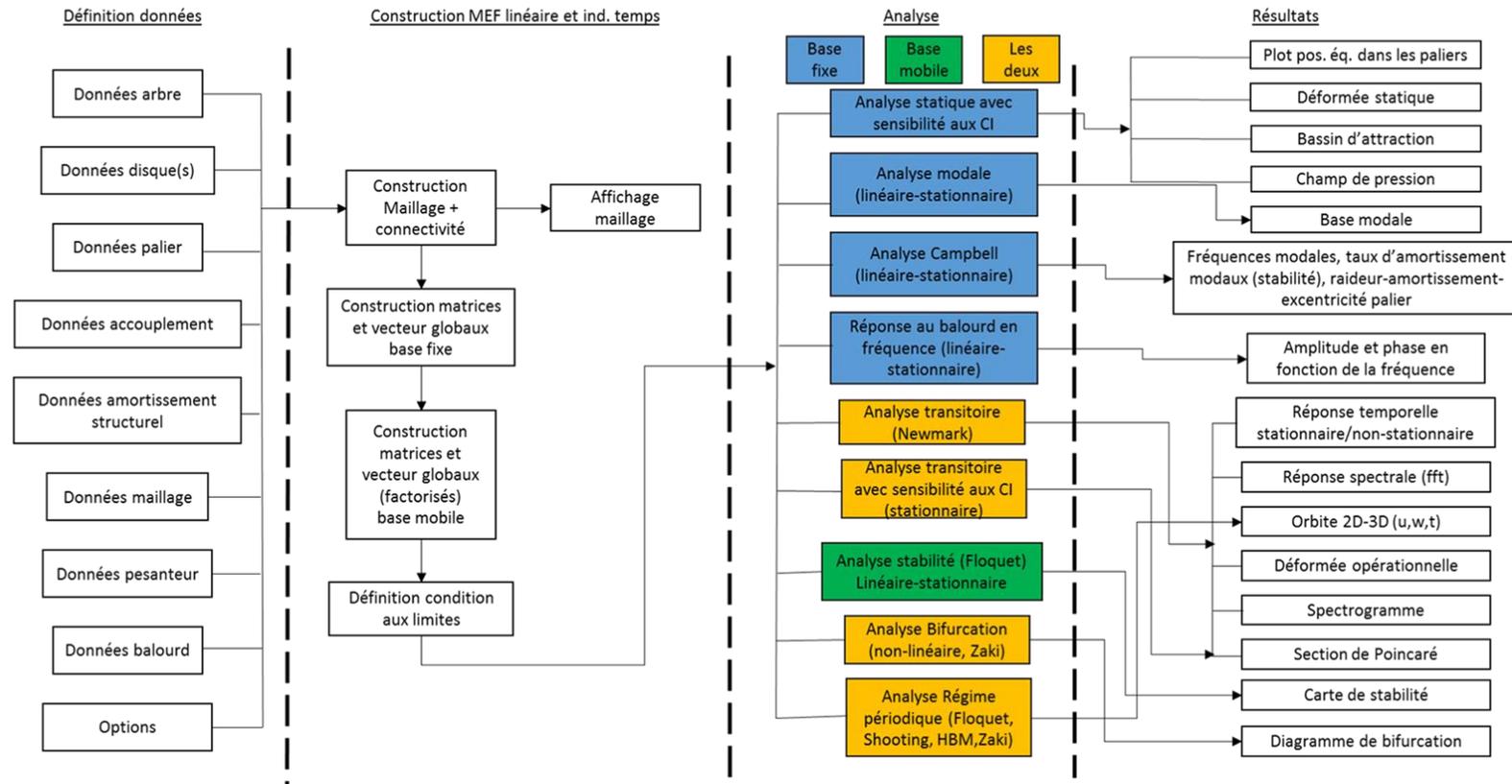
- Logiciel de calcul avec interface graphique en cours de développement : prévoir le comportement dynamique de machines tournantes embarquées industrielles



Interface Homme Machine : AdVISOR

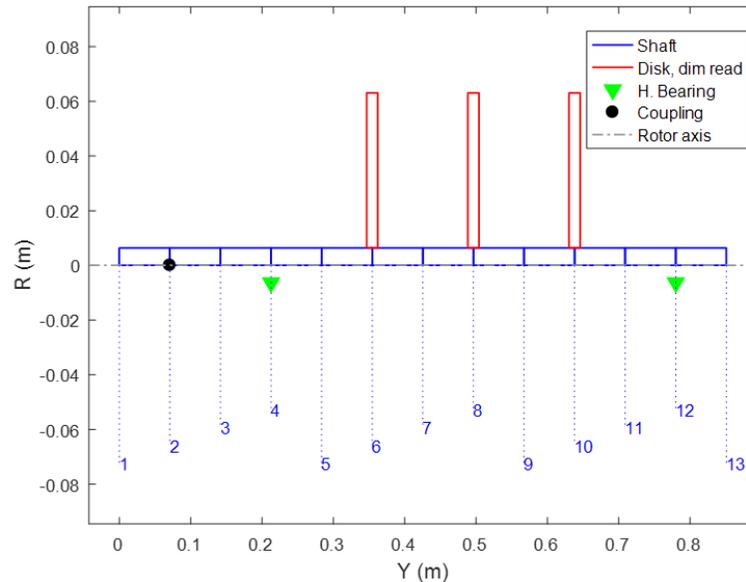
➤ Architecture du soft

Code Advisor



Interface Homme Machine : AdVISOR

➤ Exemple de modèle E.F. de rotor embarqué



Modèle à 3 disques avec paliers hydrodynamiques et un accouplement.

```

/TITLE
Rotor embarqué
3 disques, 2 paliers et 1 accouplement
/NOEUD
1, 0.000000E+00,
2, 7.092000E-02,
3, 1.418600E-01,
4, 2.128000E-01,
5, 2.837000E-01,
6, 3.546000E-01,
7, 4.255000E-01,
8, 4.964000E-01,
9, 5.673000E-01,
10, 6.382000E-01,
11, 7.091500E-01,
12, 7.801000E-01,
13, 8.510000E-01,
/BC
/ELEM
1, 1, 1, 2, 1, 1, 1,
2, 1, 2, 3, 1, 1, 1,
3, 1, 3, 4, 1, 1, 1,
4, 1, 4, 5, 1, 1, 1,
5, 1, 5, 6, 1, 1, 1,
6, 1, 6, 7, 1, 1, 1,
7, 1, 7, 8, 1, 1, 1,
8, 1, 8, 9, 1, 1, 1,
9, 1, 9, 10, 1, 1, 1,
10, 1, 10, 11, 1, 1, 1,
11, 1, 11, 12, 1, 1, 1,
12, 1, 12, 13, 1, 1, 1,
13, 2, 6, 0, 1, 2, 0,
14, 2, 8, 0, 1, 2, 0,
15, 2, 10, 0, 1, 2, 0,
16, 3, 4, 0, 0, 3, 4, 5,
17, 3, 12, 0, 0, 3, 4, 5,
18, 4, 2, 0, 0, 6, 7,
/MAT
1, 2.100000E+11, 7778.000, 0.300,
/PROP
1, 6.350000E-03, 0.000000E+00, 2,
2, 6.305500E-02, 6.350000E-03, 1.560000E-02, 2,
3, 0.0224, 0.0063925, 0.01, 0, 0, 3, 3, 1,
4, 1.4e5, 200, 15, 1e-7, 90, 270,
5, 1e-8, 1e-8, 1e-8, 1e-8, 1e-5, 1e-4, 1e-5, 1e-4, 1e-1,
6, 30832, 11147, 30832, 2.36, 2.36, 84.9,
7, 2.91, 17.02, 2.91, 5.7e-4, 5.7e-4, 1e3,
/DAMP
0, 1e-5, 1e-4,
/PARAM
9.51, 1e5,
/END
    
```

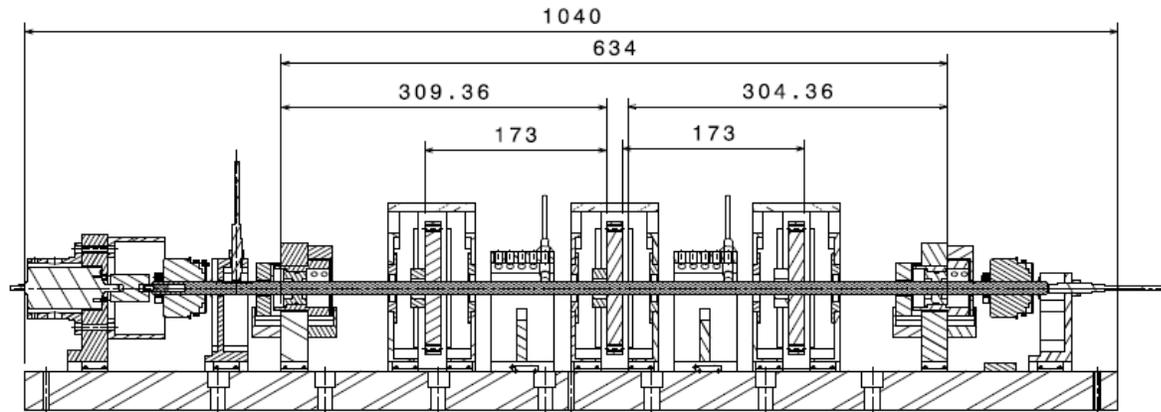
- Noeuds
- El arbre
- El disque
- El palier H.
- El accouplement
- Prop arbre
- Prop palier H.
- Amort. structural
- Param. généraux

Fichier E.F. rotor_emb.dat

Démonstrateur académique

Démonstrateur de machine tournante embarqué

- Démonstrateur instrumenté avec une chaîne de mesure de haute précision

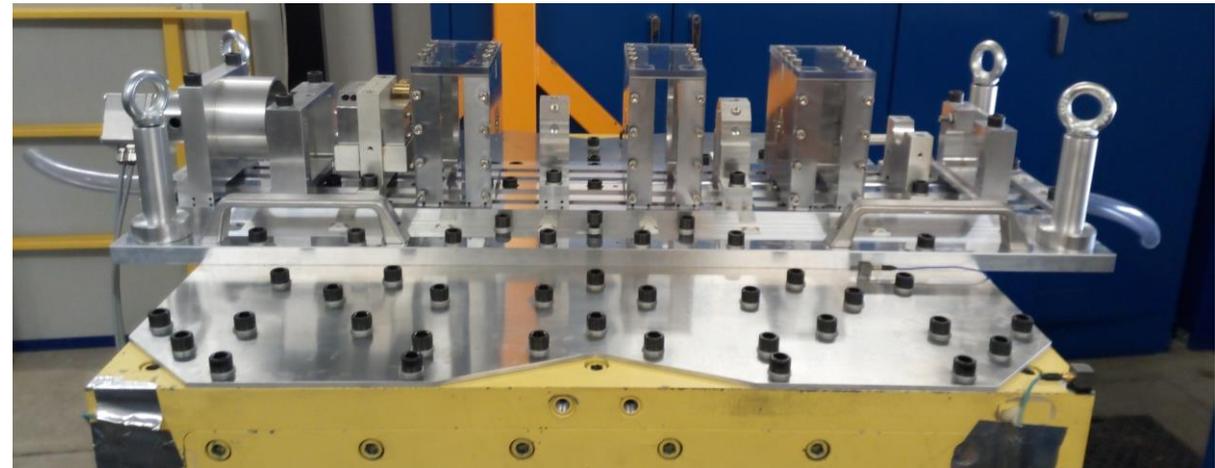


Coupe A-A

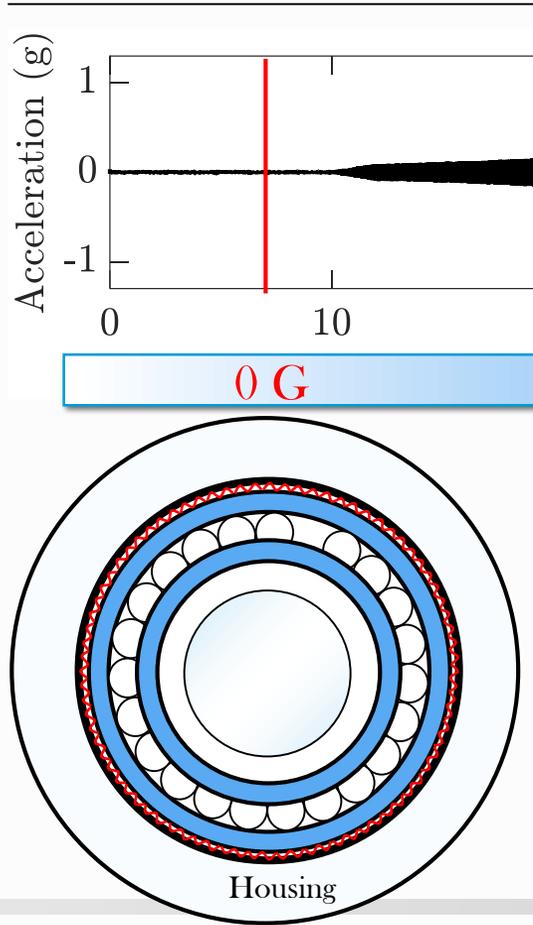
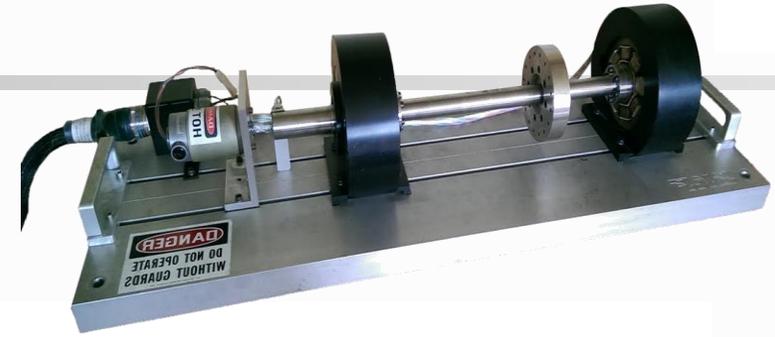
- Arbre de 851mm et $\varnothing 12,7$ mm
- 3 disques de 1,5kg
- 2 paliers hydrodynamiques
- 1 moteur jusqu'à 7000 rpm

- Instrumentation

- Capteurs de déplacement μ -epsilon
 - Tachomètre
 - Mouvement axial
 - Mouvement flexion
- Codeurs (Torsion)
- Accéléromètres (base)
- 24 voies acquisitions (64 kHz)

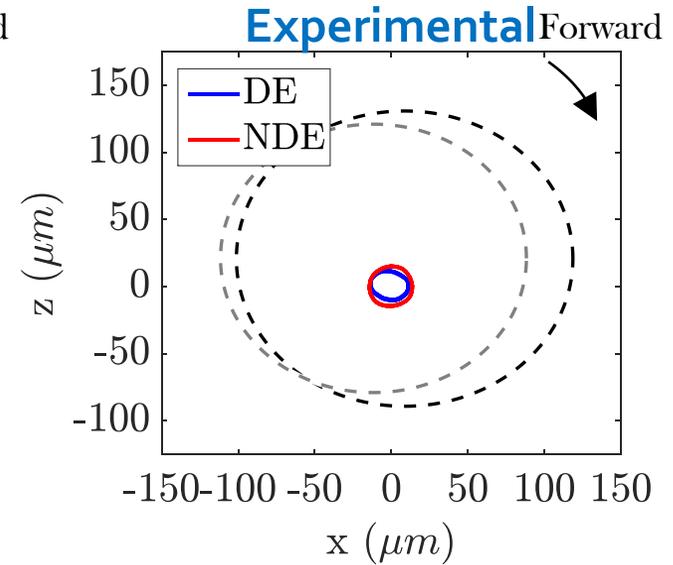
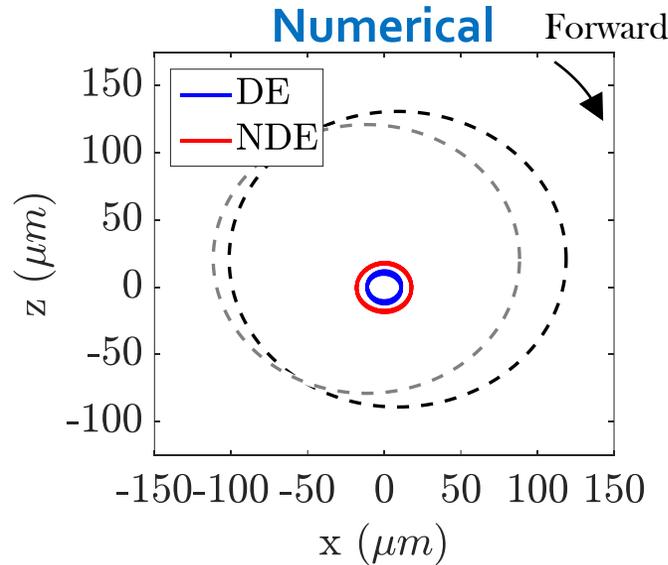


Configuration 2 – Rotor at 6000 rpm – Harmonic test (20Hz)

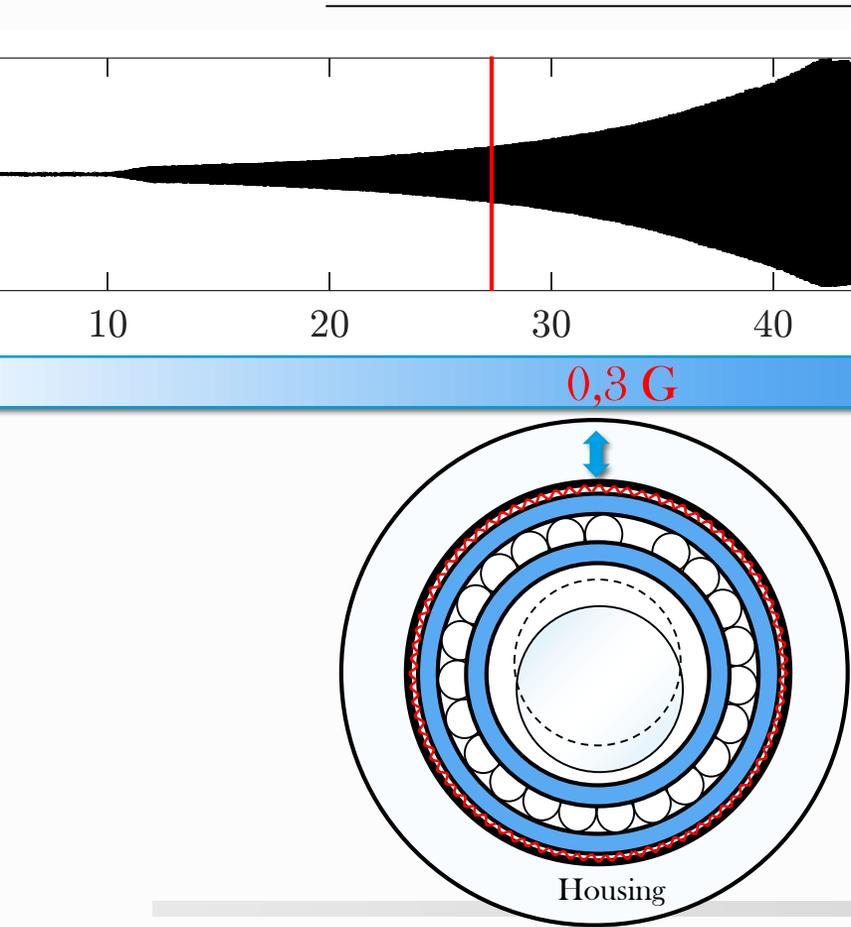
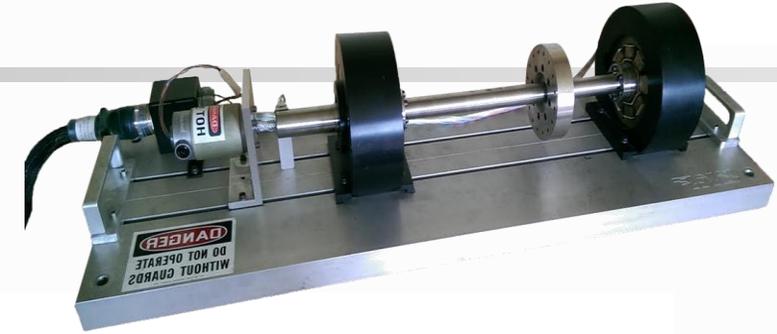


■ Rotor orbit at 0 G

- Reference: Mass unbalance
➔ forward orbits

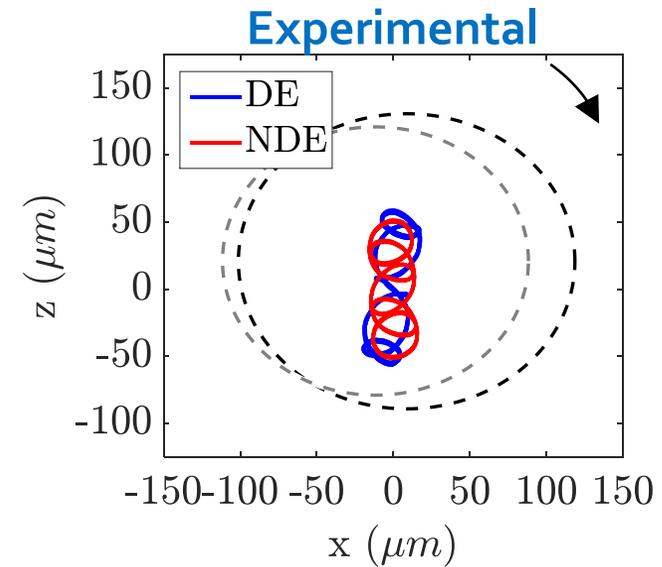
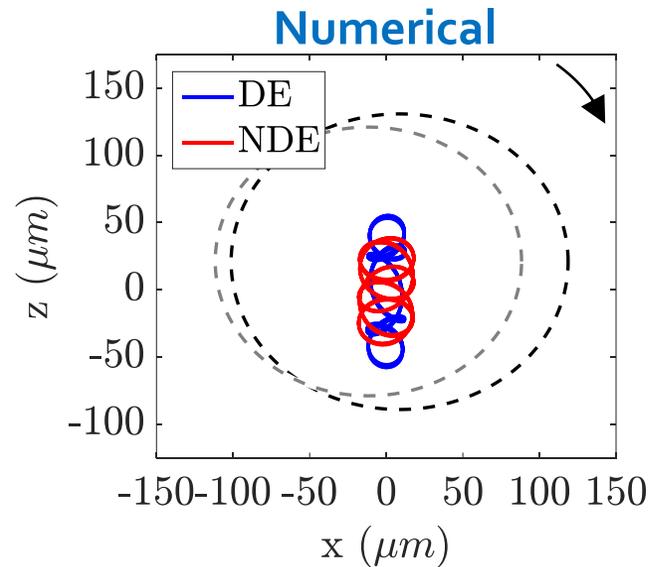


Configuration 2 – Rotor at 6000 rpm – Harmonic test (20Hz)



■ Rotor orbit at **0.3 G**

- Mass unbalance + base motion
→ complex periodic forward orbit
- Depends on the ratio of base motion frequency over rotating speed



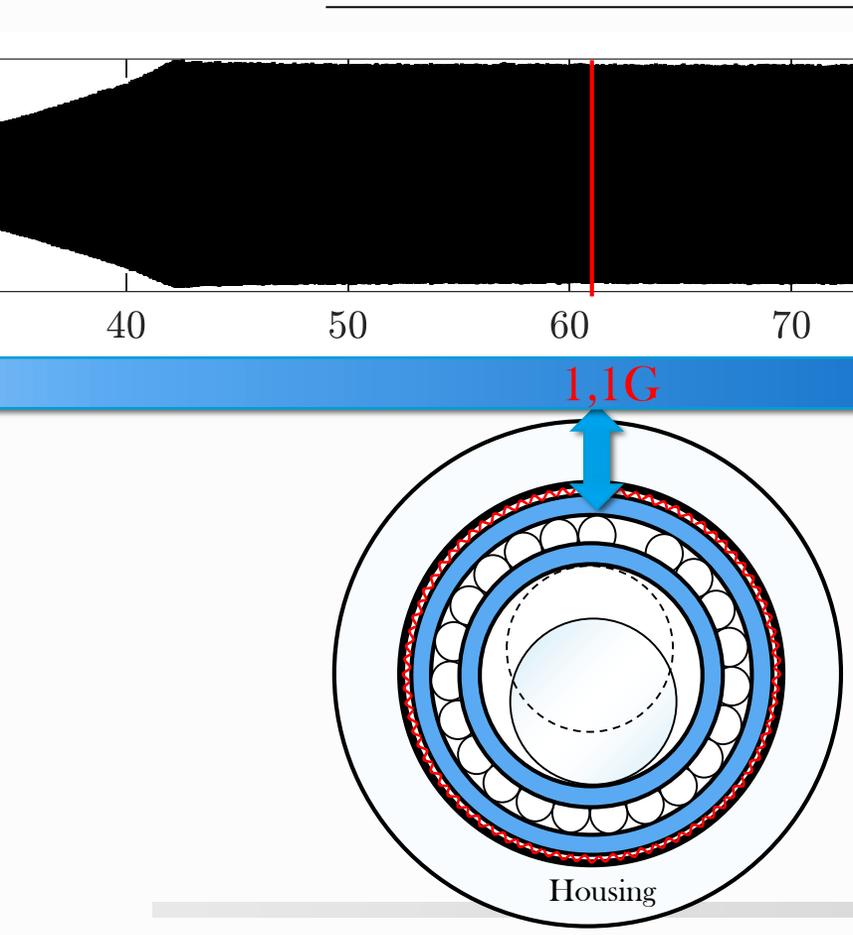
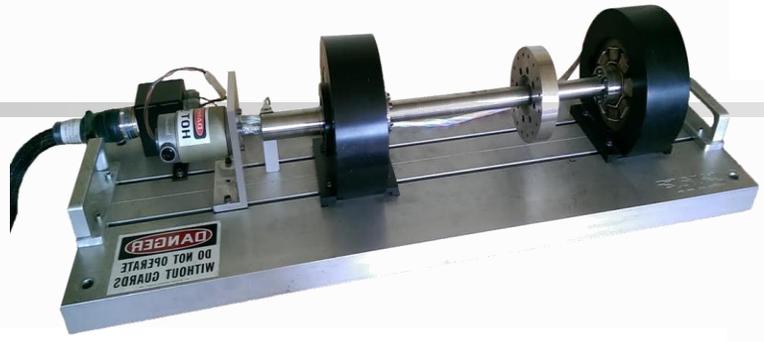
DE

NDE

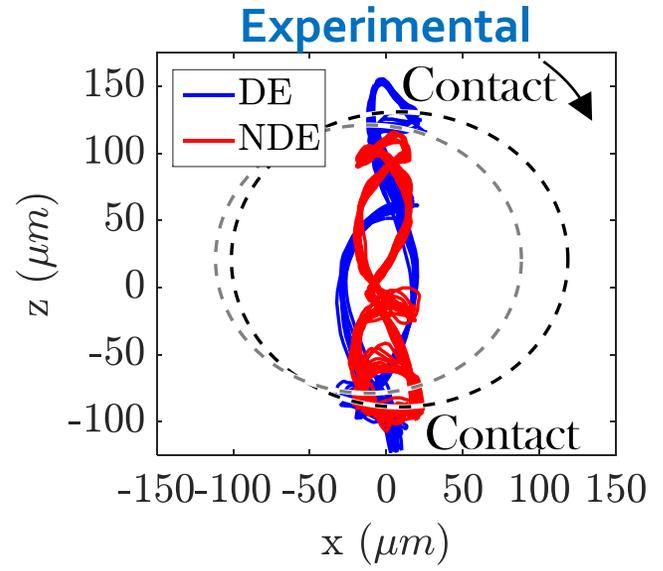
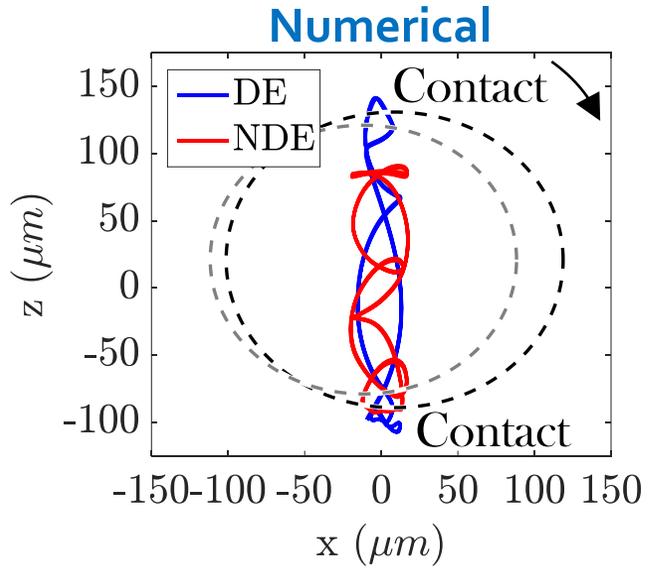


Thèse Clément Jarroux (2017) – CIFRE GE Oil & Gas

Configuration 2 – Rotor at 6000 rpm – Harmonic test (20Hz)



- Rotor orbit at 1.1 G
 - Mass unbalance + base motion + TDB contact
 - ➔ complex nonlinear periodic forward orbit
 - No backward whirl ➔ limited sliding friction effects:
 - limited base acceleration / TDB driven in rotation



Close predictions

Pilotage de l'excitateur 6-axes

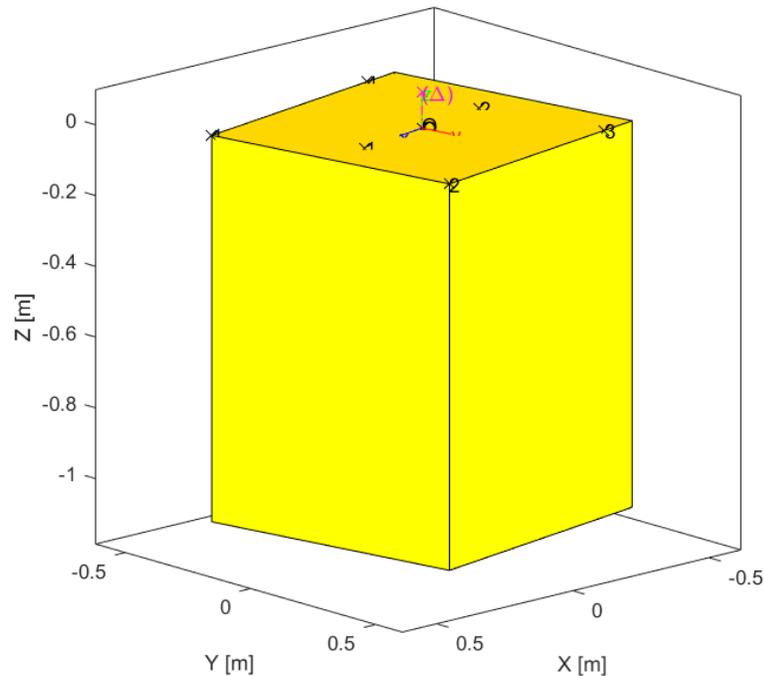
Pilotage de l'excitateur 6 axes

- 6 degrés de liberté



Pilotage de l'excitateur 6 axes

- Rotation sinusoidale autour d'un axe paramétrable : Création modèle cinématique 6 ddls



$$\begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \end{Bmatrix}$$



Problème direct :

Modèle
cinématique cube à
6 ddls



$$\begin{Bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \\ A_5 \\ A_6 \end{Bmatrix}$$

Pilotage de l'excitateur 6 axes

- Rotation sinusoidale autour d'un axe paramétrable : Cas test de rotation autour de y

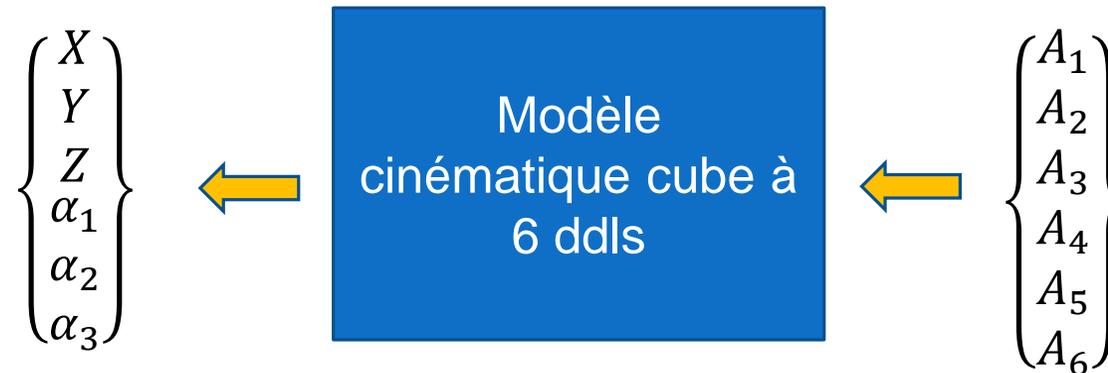


- Problème : on observe des mouvements « parasites »
- Comment les caractériser ?

Pilotage de l'excitateur 6 axes

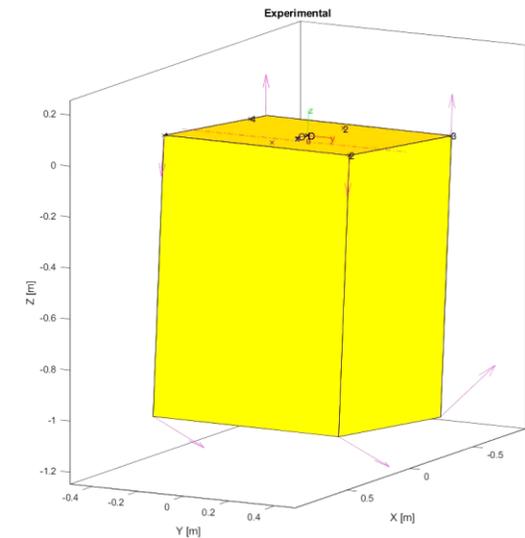
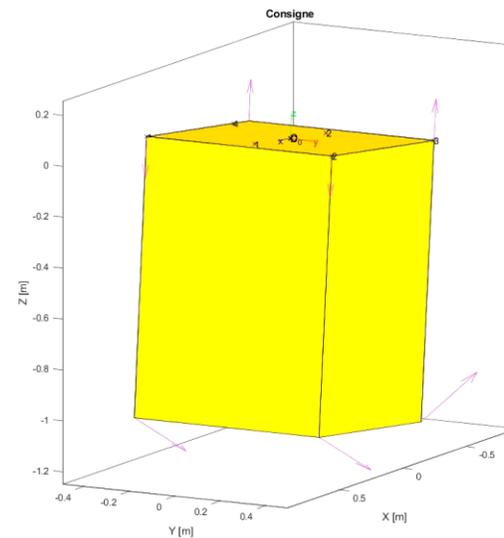
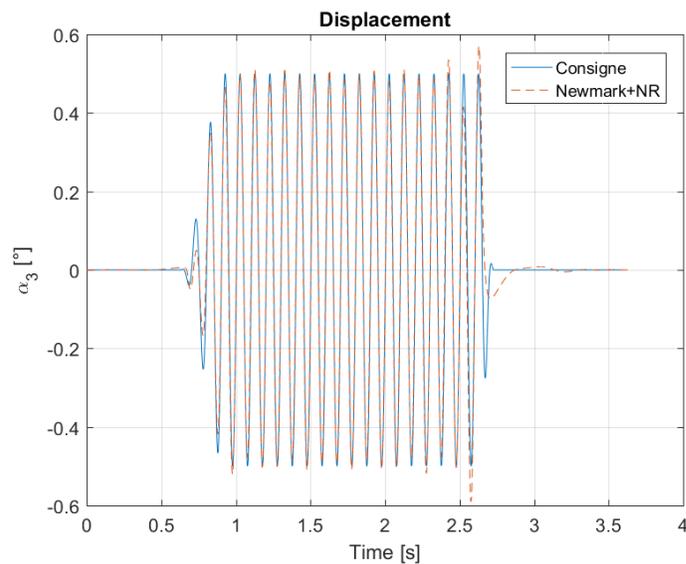
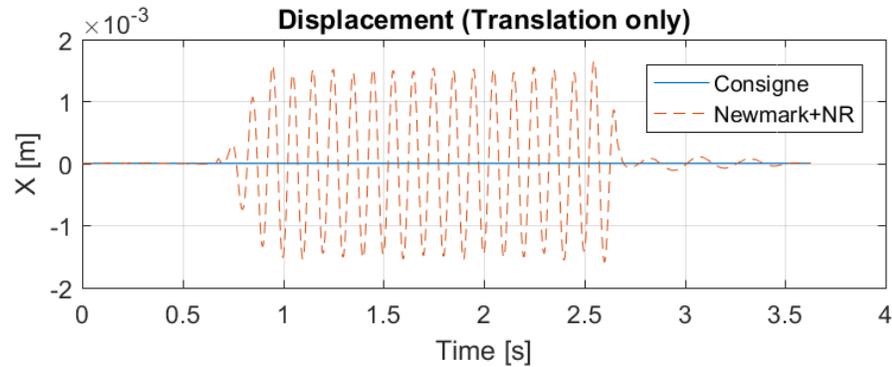
- Rotation sinusoidale autour d'un axe paramétrable : Problème inverse

Problème inverse:



Pilotage de l'excitateur 6 axes

➤ Rotation sinusoidale autour d'un axe paramétrable : Problème inverse

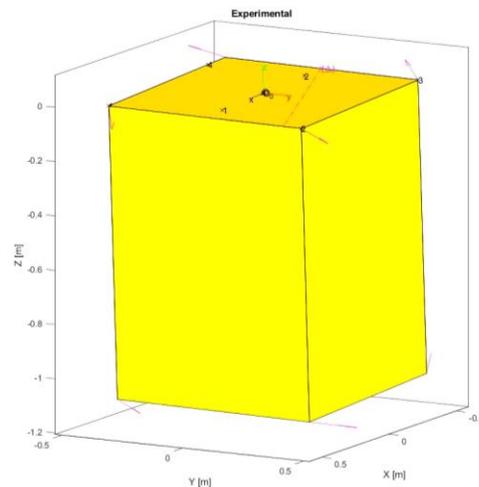
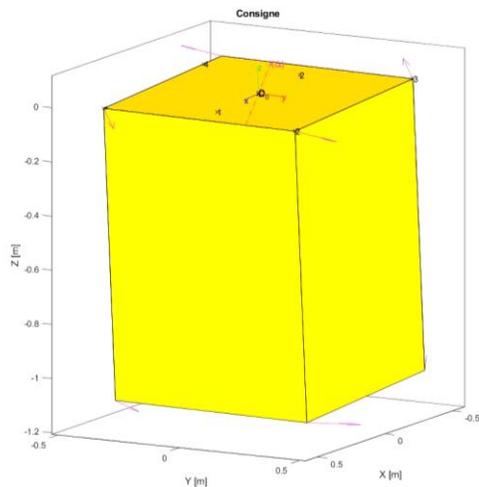


(coeff 50)

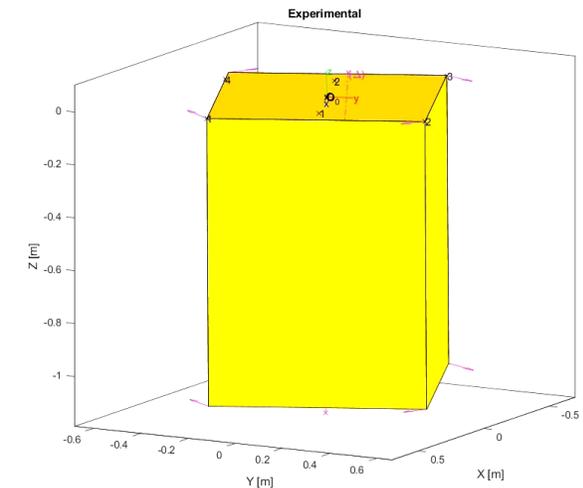
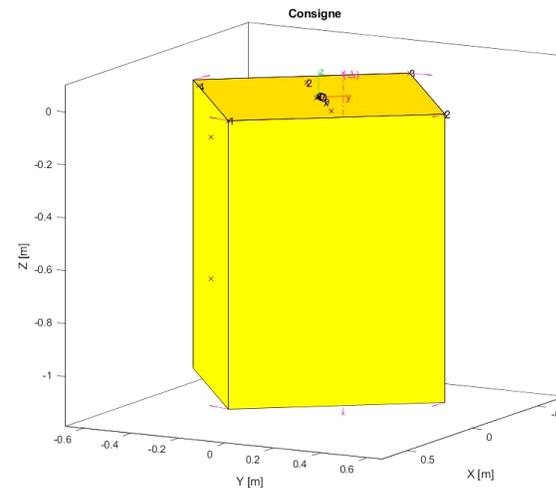
Pilotage de l'excitateur 6 axes

➤ Rotation sinusoidale autour d'un axe paramétrable : Autres cas tests

- 2 rotations (coeff 10)



- 1 translation + 1 rotation (coeff 100)



Perspectives

- Recalage calculs-essais en régime sinusoïdal
 - Translation mono-axe
 - Rotation mono-axe
 - Combinaison multi-axes
 - Sur roulements puis paliers hydrodynamiques

- Essais aggravés rotor académique : Faire apparaître des modes de défaillance
 - Augmentation des sollicitations par la base
 - Sollicitations sinus, choc, aléatoire
 - Comparaison mono/multi-axe

- Essais fatigue rotor académique : Estimation de durée de vie

- Essais aggravés système industriel

Questions

Ad
V iTAM

Perspectives : Vers les essais aggravés

- Vers les essais fatigues : Etude pour quantifier l'influence des chargements multiaxiaux sur la durée de vie des structures vs. chargements monoaxiaux successifs :

