



**APPROCHE SIMPLIFIÉE DE LA PRESTATION  
VIBRO-ACOUSTIQUE PAR HYBRIDATION  
CALCULS/ESSAIS DES SOURCES SECONDAIRES**

- 1. Introduction**
- 2. Approche théorique de la méthode**
- 3. Validation sur modèle numérique**
- 4. Application sur siège motorisé**
  1. Prise en compte des moments



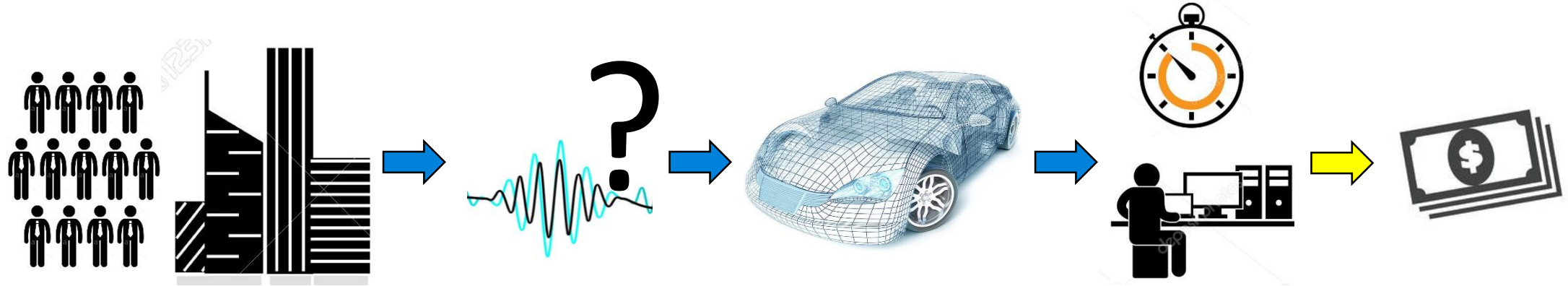
# INTRODUCTION

# Introduction

Approche simplifiée de la prestation vibro-acoustique par hybridation calculs/essais des sources secondaires

## Prédiction des niveaux vibratoires / grandes entreprises

- **Méthodologie employée**



Modélisation complète des structures

Caractérisation des sources par tests (données d'entrée)

Prédictions des comportements vibro-acoustiques par modélisation FEM des structures dans leur globalité

- **Lourds investissements dans les stations de calculs**
- **Longs temps de calculs**

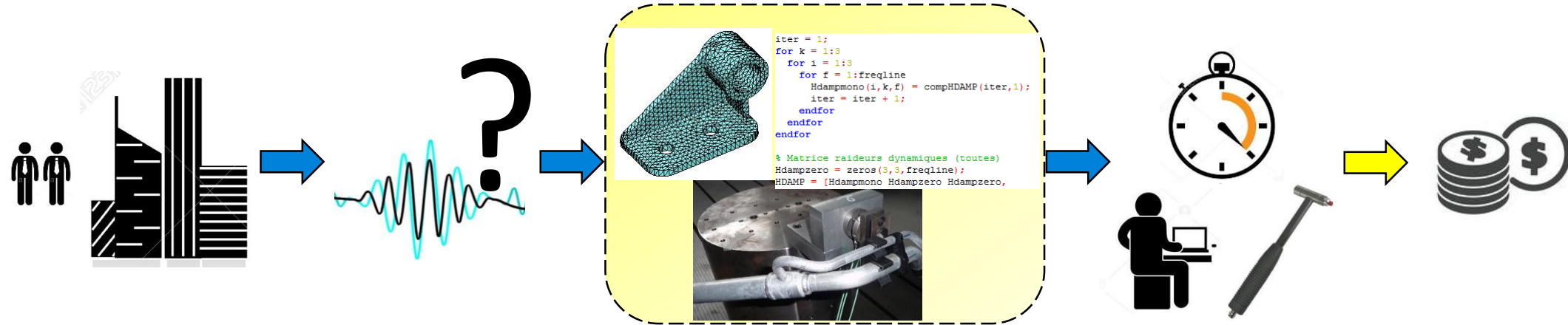
Méthodologie très couteuse non-adaptée aux petites structures

# Introduction

Approche simplifiée de la prestation vibro-acoustique par hybridation calculs/essais des sources secondaires

## Prédiction des niveaux acoustiques / petites entreprises

- Nouvelle méthode



Modélisation FEM de quelques éléments de structures

Caractérisation des sources, voies de passages et récepteurs au niveau des points de fixation par essais

Combinaison des résultats avec routine de calculs

- Calculs légers => investissement dans des ordinateurs à configuration de faible coût
- Temps de calculs raisonnables
- Essais rapides et peu coûteux

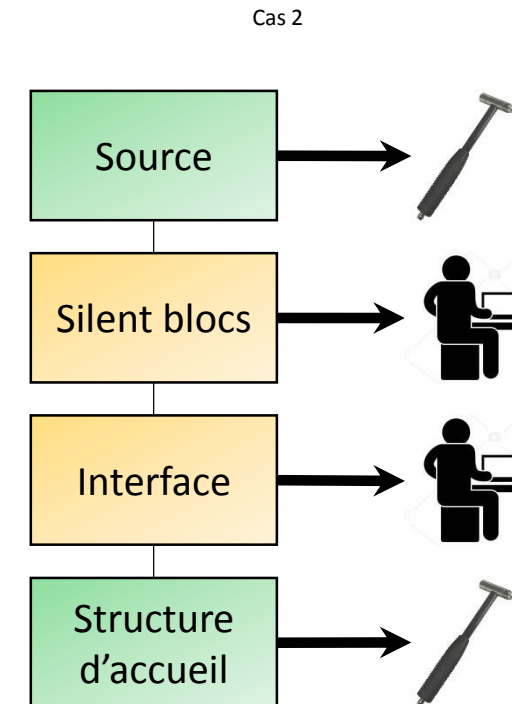
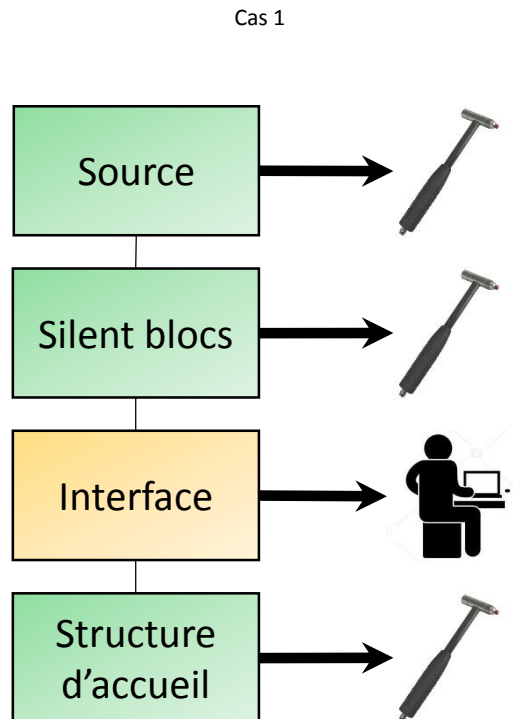
Méthodologie nécessitant un budget raisonnable

# Introduction

Approche simplifiée de la prestation vibro-acoustique par hybridation calculs/essais des sources secondaires

Développement d'un produit à partir de sous-systèmes à la conception figée avec prise en compte de la prestation vibro-acoustique

- Deux cas de développement
  - Cas 1
    - Source, structure d'accueil et plots filtrants dans leur design final => A caractériser par essais
    - Interface à développer => itérations de design / caractérisation par calculs
  - Cas 2
    - Source et structure d'accueil dans leur design final => A caractériser par essais
    - Interface à développer et plots à définir => itérations de design / caractérisation par calculs



# Introduction

Approche simplifiée de la prestation vibro-acoustique par hybridation calculs/essais des sources secondaires

## Exemple



Itération de conception des interfaces de façon à limiter l'impact vibro-acoustique de la source au niveau du point de réception





# APPROCHE THEORIQUE DE LA METHODE

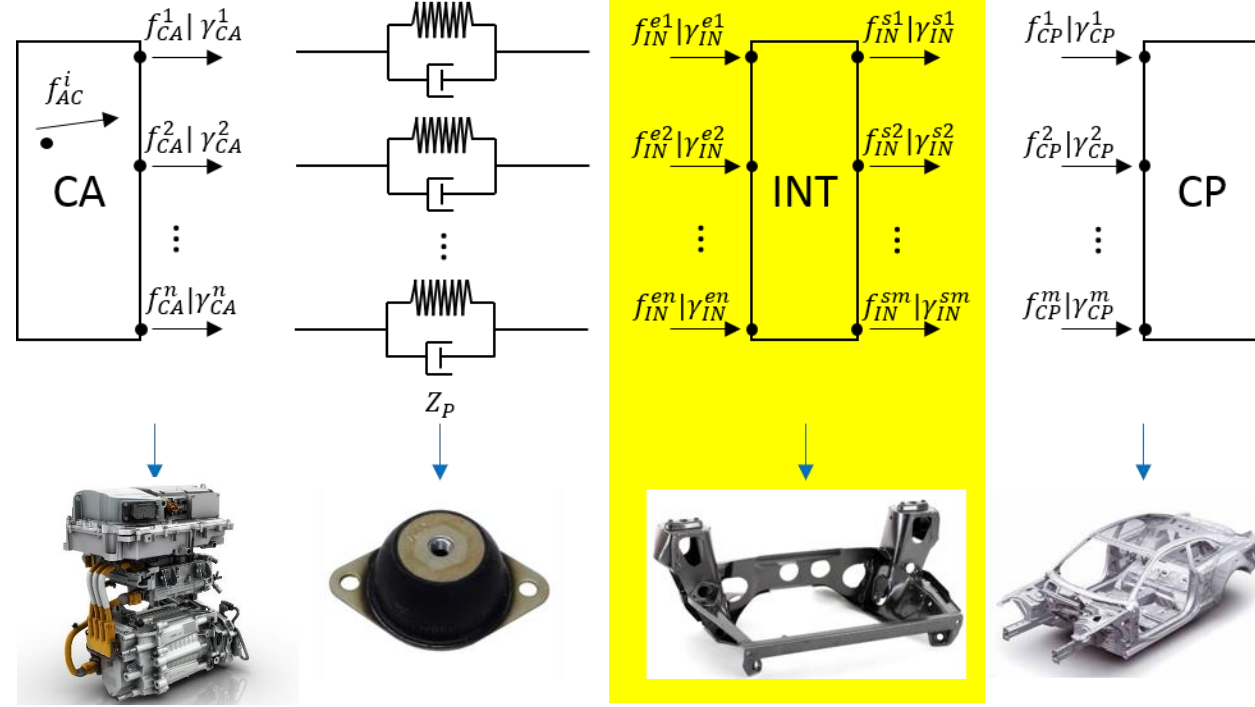


# APPROCHE THÉORIQUE DE LA MÉTHODE

Approche simplifiée de la prestation vibro-acoustique par hybridation calculs/essais des sources secondaires

## Méthode basée sur la norme XP 19-701

- Caractérisation des sous-systèmes au niveau de leurs liaisons => ajout d'une interface



$f_{CA}^i$  = vecteur efforts internes au composant actif  
 $f_{CA}^x$  = vecteur efforts aux points d'interfaçage du composant actif  
 $\gamma_{AC}^x$  = vecteur accélérations aux points d'interfaçage du composant actif  
  
 $Z_p$  = matrice raideurs dynamiques des plots de filtration  
  
 $f_{IN}^{ex}$  = vecteur efforts aux points d'entrée de l'interface  
 $\gamma_{IN}^{ex}$  = vecteur accélérations aux points d'entrée de l'interface  
 $f_{IN}^{sx}$  = vecteur efforts aux points de sortie de l'interface  
 $\gamma_{IN}^{sx}$  = vecteur accélérations aux points de sortie de l'interface  
  
 $f_{CP}^x$  = vecteur efforts aux points d'interfaçage du composant passif  
 $\gamma_{CP}^x$  = vecteur accélérations aux points d'interfaçage du composant passif

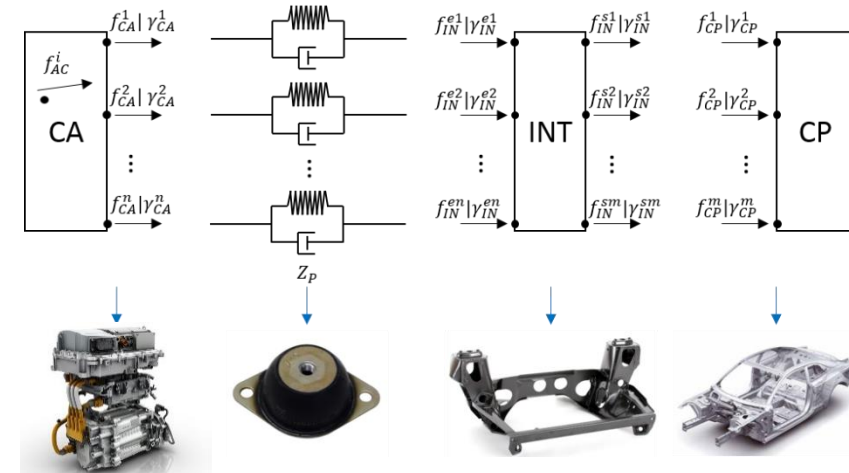
# APPROCHE THÉORIQUE DE LA MÉTHODE

Approche simplifiée de la prestation vibro-acoustique par hybridation calculs/essais des sources secondaires

## Comportement vibratoire du composant actif

$$Y_{CA} f_{CA} + Y_{CA}^i f_{CA}^i = \gamma_{CA} \quad (1)$$

Où  $Y_{CA}^i f_{CA}^i$  correspond aux efforts et transferts internes

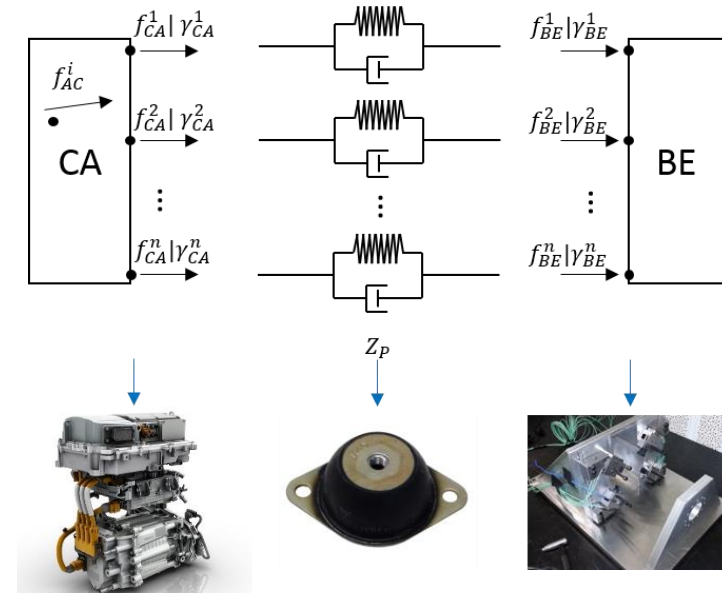


En utilisant les formules de comportement vibratoire du composant passif, de l'interface et des plots, il est possible de déterminer  $Y_{CA}^i f_{CA}^i$  en fonction de  $Y_{CP}$ ,  $Y_{CA}$ ,  $Y_{INT}$ ,  $Z_P$  et  $f_{CP}$

# APPROCHE THÉORIQUE DE LA MÉTHODE

Approche simplifiée de la prestation vibro-acoustique par hybridation calculs/essais des sources secondaires

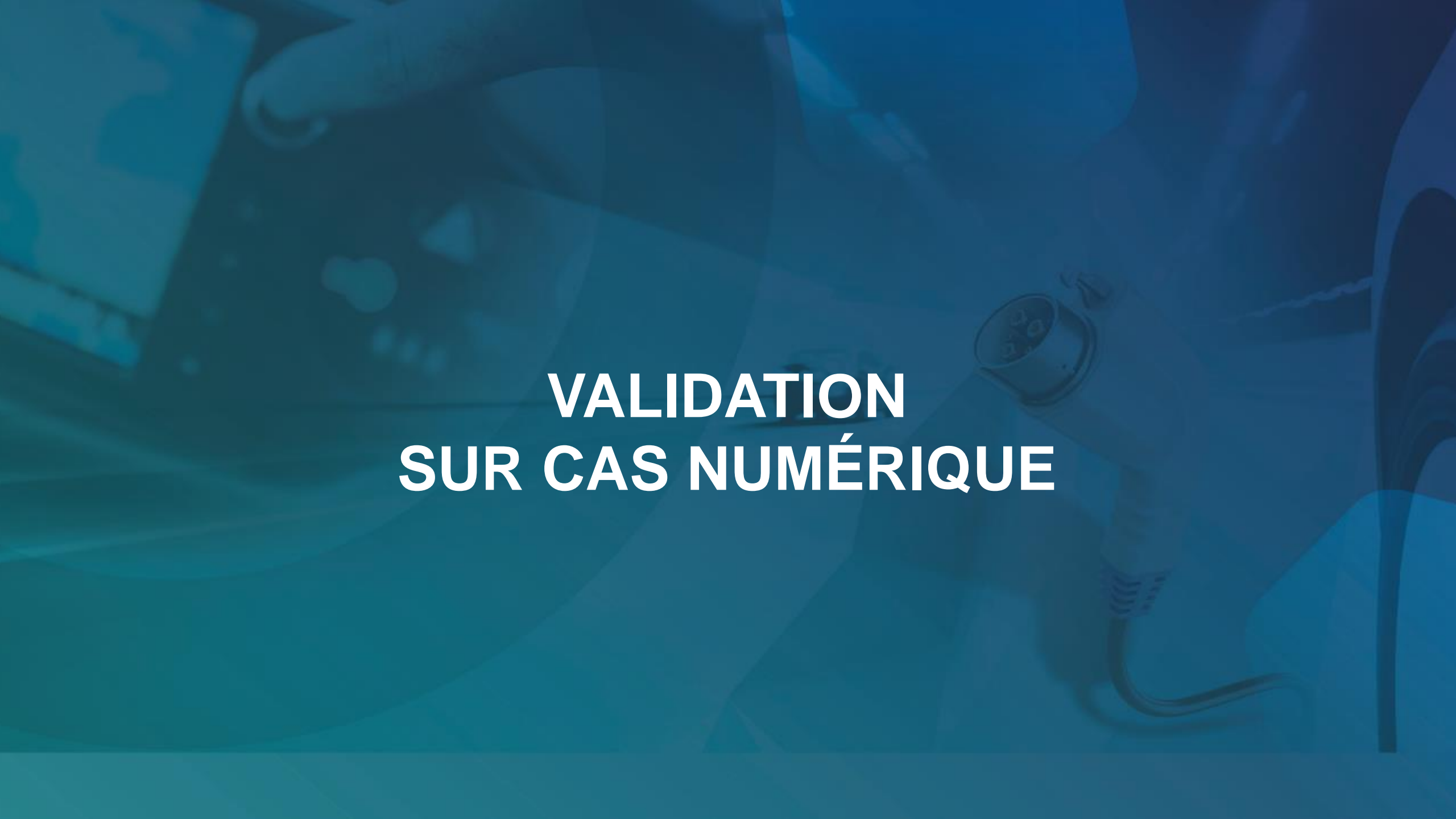
De par la complexité de détermination de  $Y_{CA}^i$  et  $f_{CA}^i$ , un deuxième composant passif est utilisé (banc de test)



Il est alors possible de déterminer  $Y_{CA}^i f_{CA}^i$  en fonction de  $Y_{BE}$ ,  $Y_{CA}$ ,  $Y_{INT}$ ,  $Z_P$  et  $f_{BE}$

En outre, la mesure de  $Y_{BE}$  permet de corriger la mesure des efforts sur un banc non-neutre d'un point de vue vibratoire.

Il est alors possible d'utiliser un banc qui résonne dans la gamme d'étude (outillages moins rigides / moins massifs / moins couteux)



**VALIDATION  
SUR CAS NUMÉRIQUE**

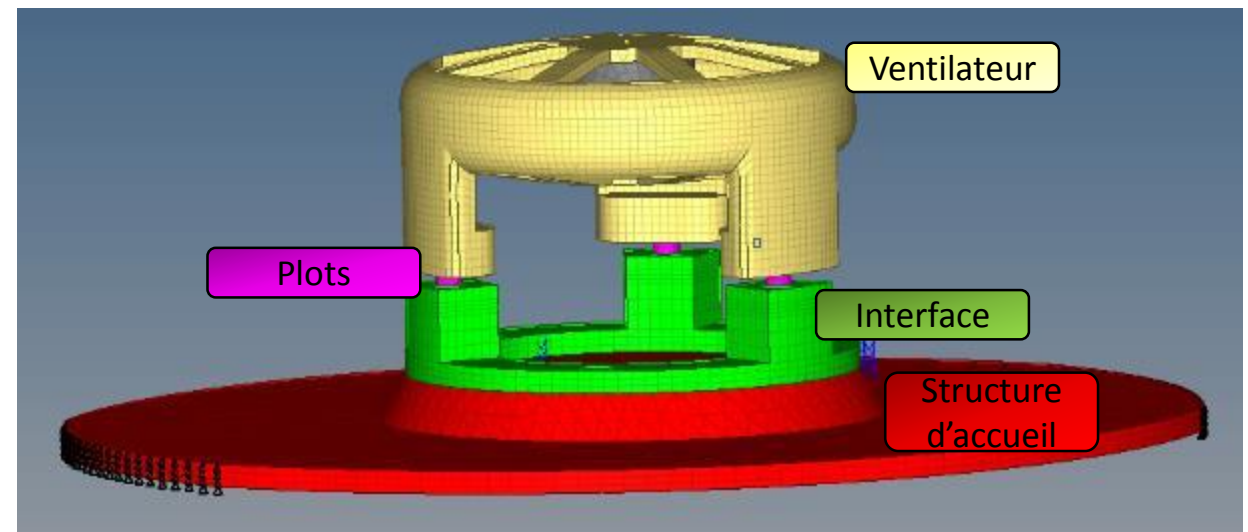
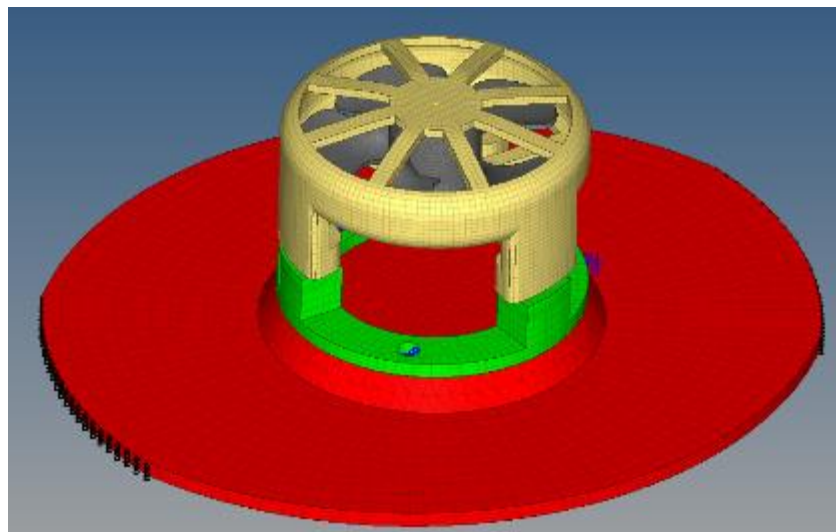
# VALIDATION SUR CAS NUMÉRIQUE

## ○ Méthodologie testée sur modèle FEM complet

- Tests reproduits de façon numérique → Permet de jouer plus facilement sur divers paramètres

## ○ Modèle effectué

- Système de ventilation
  - CAO : Solidworks 2016
  - Maillage : Hypermesh 14.0
  - Solveur FEM : Optistruct
  - Script de calcul de recombinaison : Octave 4.0.0

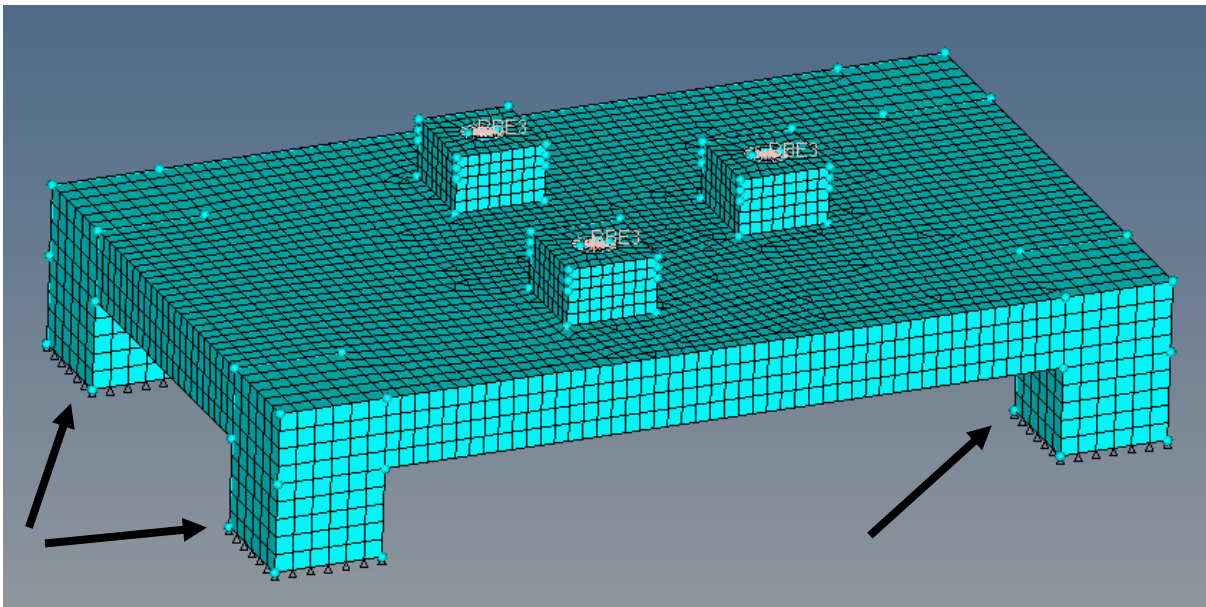


## ○ Calcul des inertances et transferts croisés aux points de fixation de la source

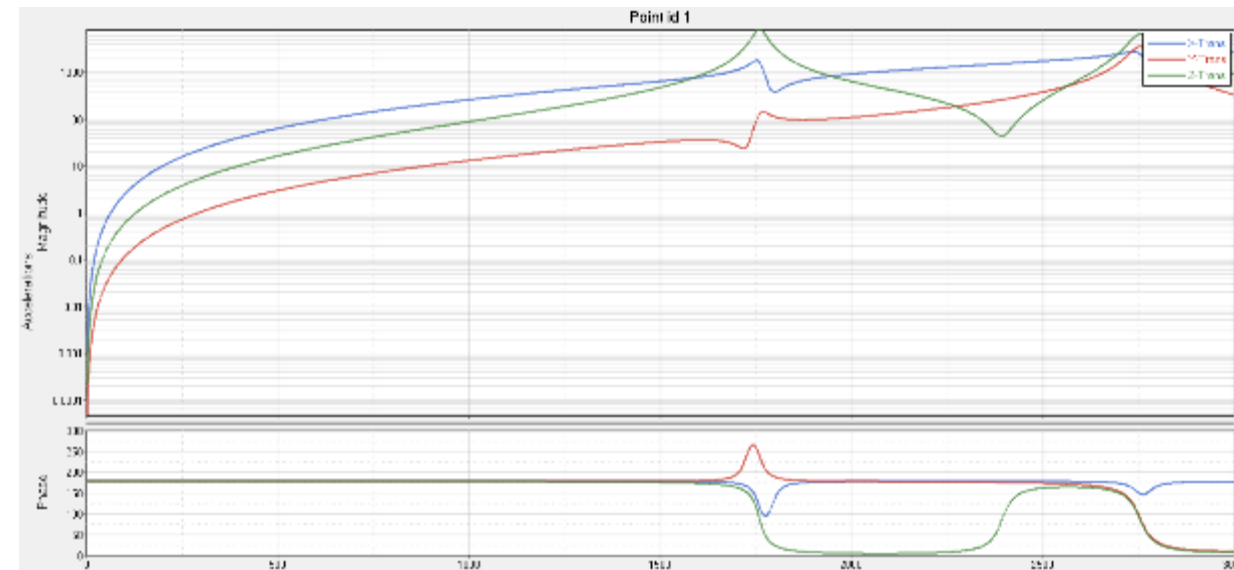
- Injection d'un effort unitaire en chaque point de fixation et relevé des accélérations

## ○ Réalisation dans le cadre des tests

- Instrumentation des points de fixation avec accéléromètres 3D
- Injection d'effort par frappes marteau



## Exemple de courbes accélération / effort



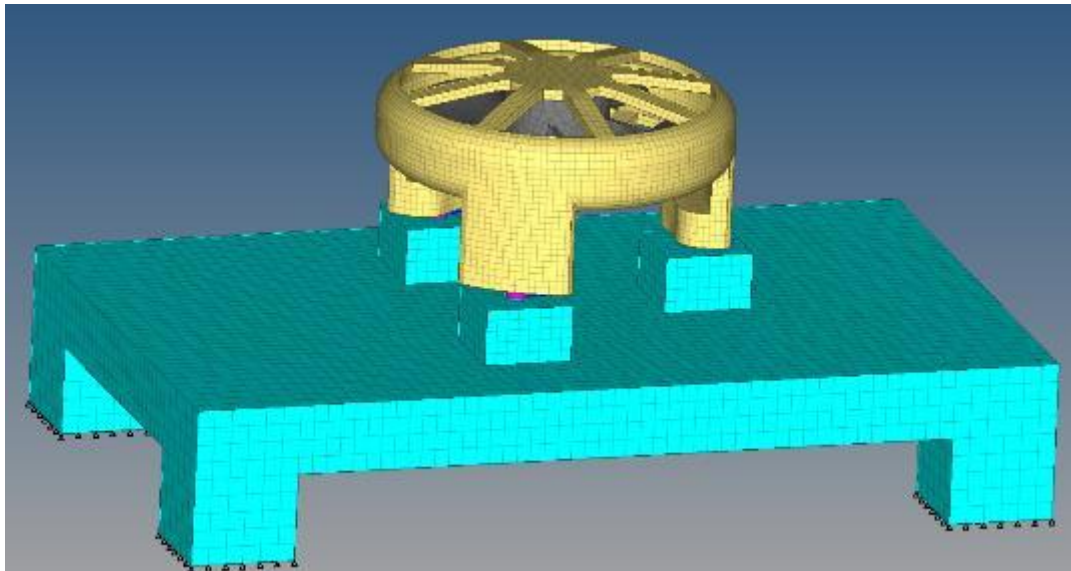
# SOURCE + PLOTS SUR BANC

## ○ Calcul des efforts aux points de fixation de la source sur banc

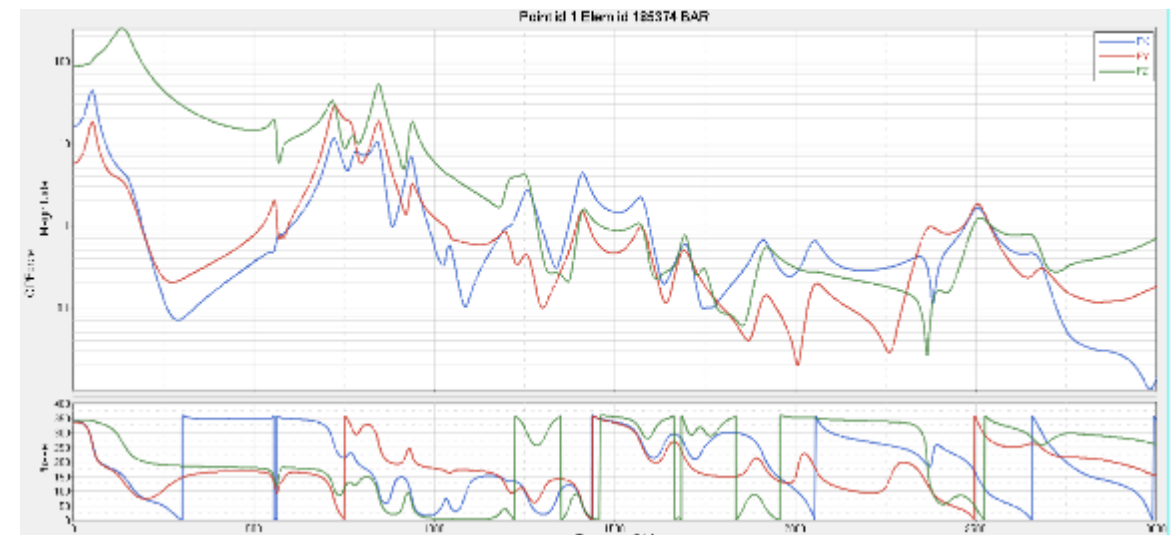
- Injection d'un effort triaxial au niveau de la source
  - Niveaux définis arbitrairement constants sur toute la gamme de fréquences
- Relevé des efforts aux points de fixation

## ○ Réalisation dans le cadre des tests

- Mesure au moyen de capteurs d'efforts positionnés entre le banc et les plots

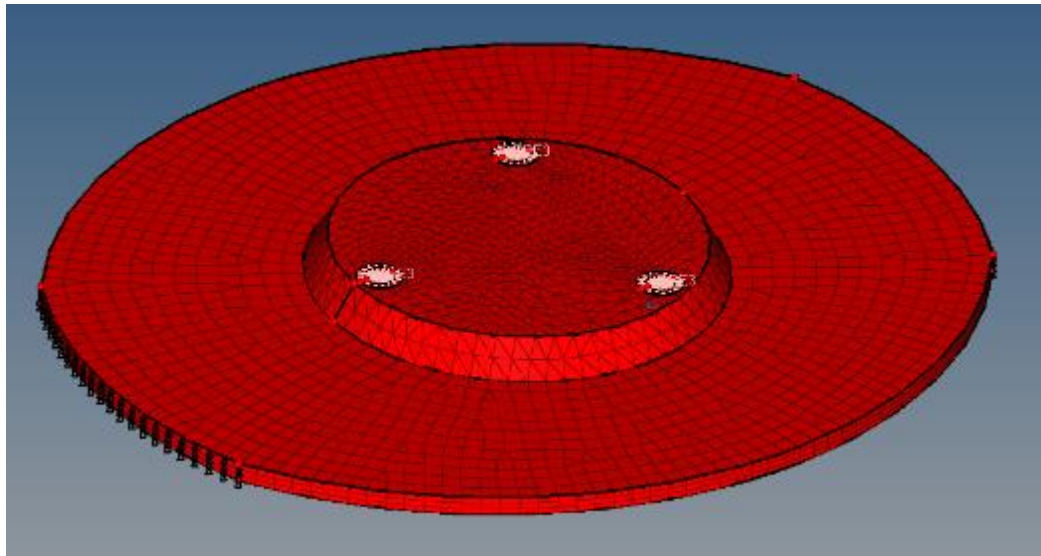


## Exemple de courbes d'efforts

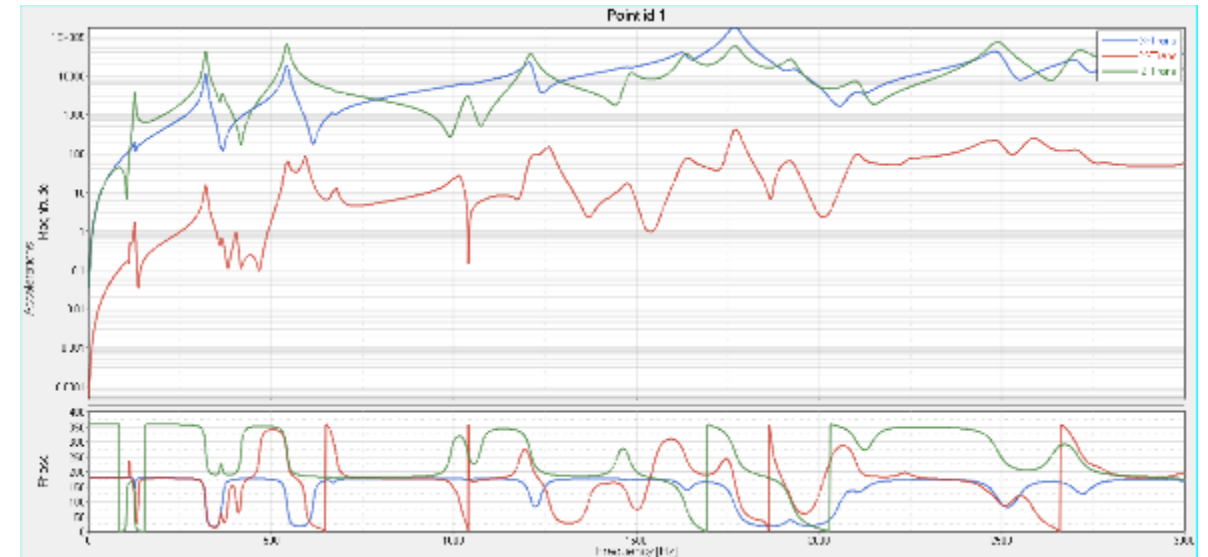


# STRUCTURE D'ACCUEIL

- **Calcul des inertances et transferts croisés aux points de fixation de la structure d'accueil**
  - Injection d'un effort unitaire en chaque point de fixation et relevé des accélérations
- **Réalisation dans le cadre des tests**
  - Instrumentation des points de fixation avec accéléromètres 3D
  - Injection d'effort par frappes marteau



Exemple de courbes accélération / effort





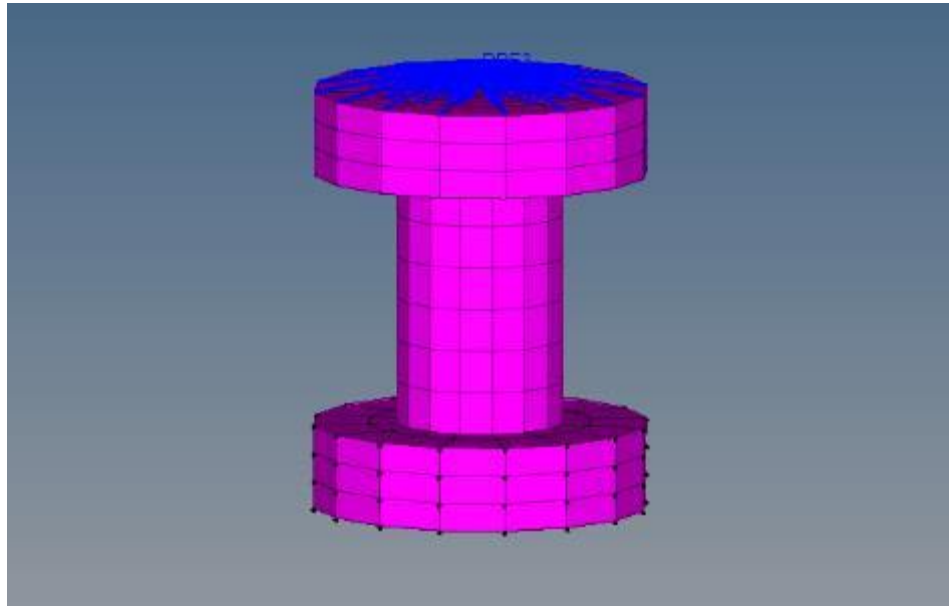
# PLOTS ANTIVIBRATILES

## ○ Calcul des raideurs dynamiques

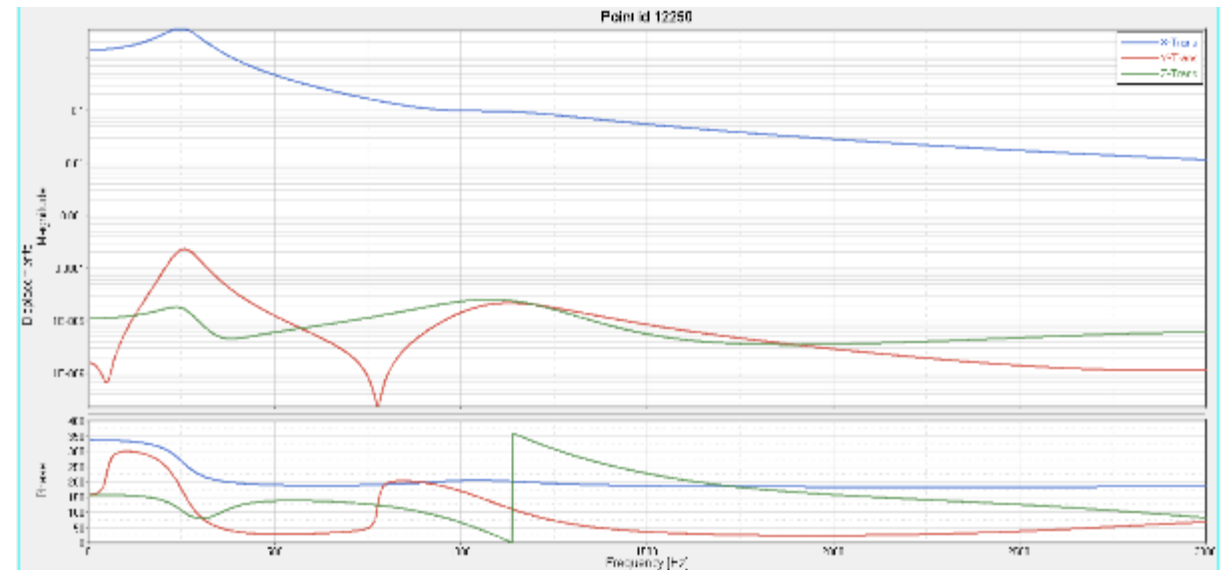
- Injection d'un déplacement unitaire en chaque point de fixation et relevé des efforts

## ○ Réalisation dans le cadre des tests

- Mesures spécifiques

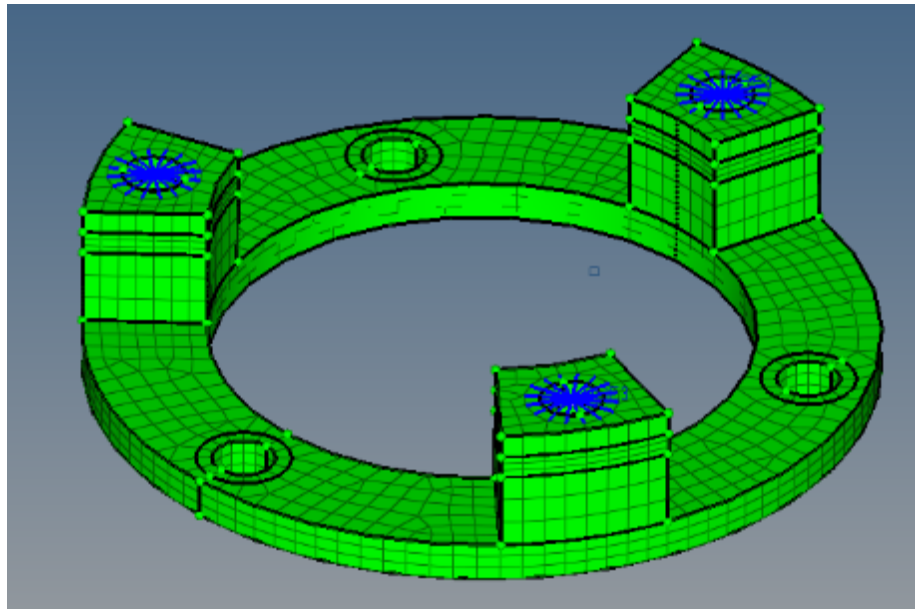


## Exemple de courbes de raideur

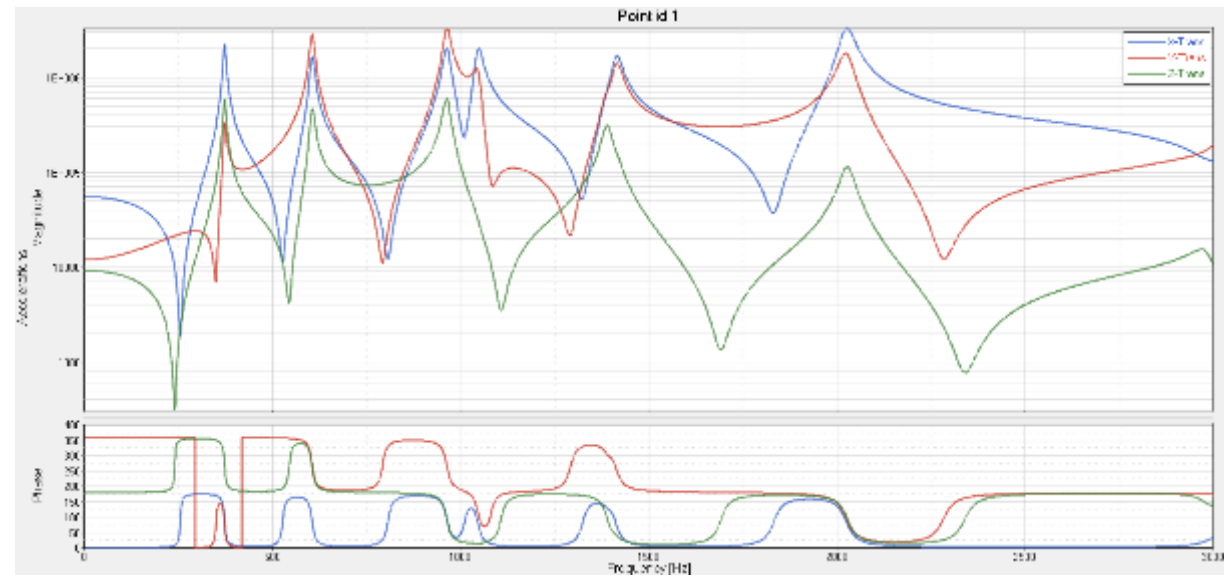


# INTERFACE

- Calcul des inertances et transferts croisés aux points de fixation de la structure d'accueil
  - Injection d'un effort unitaire en chaque point de fixation et relevé des accélérations



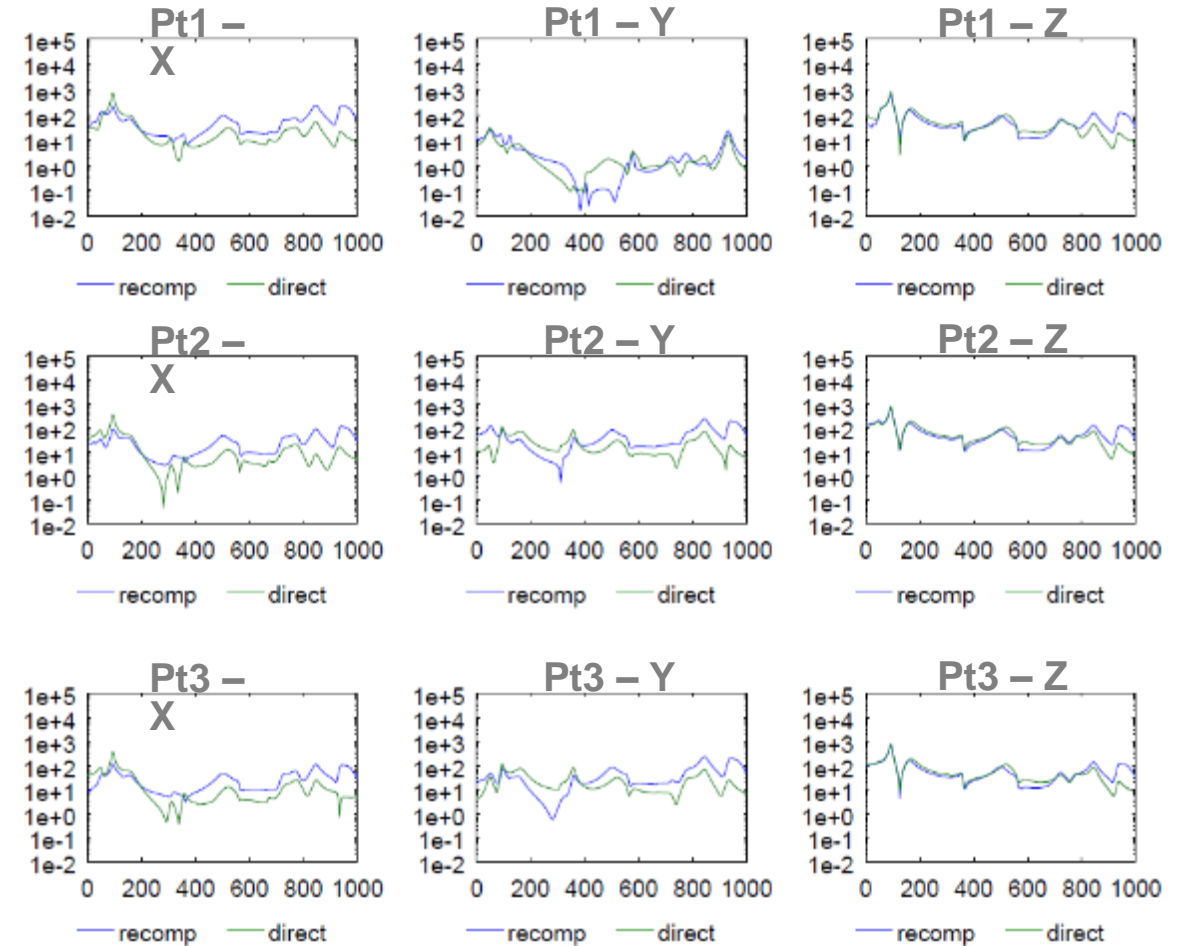
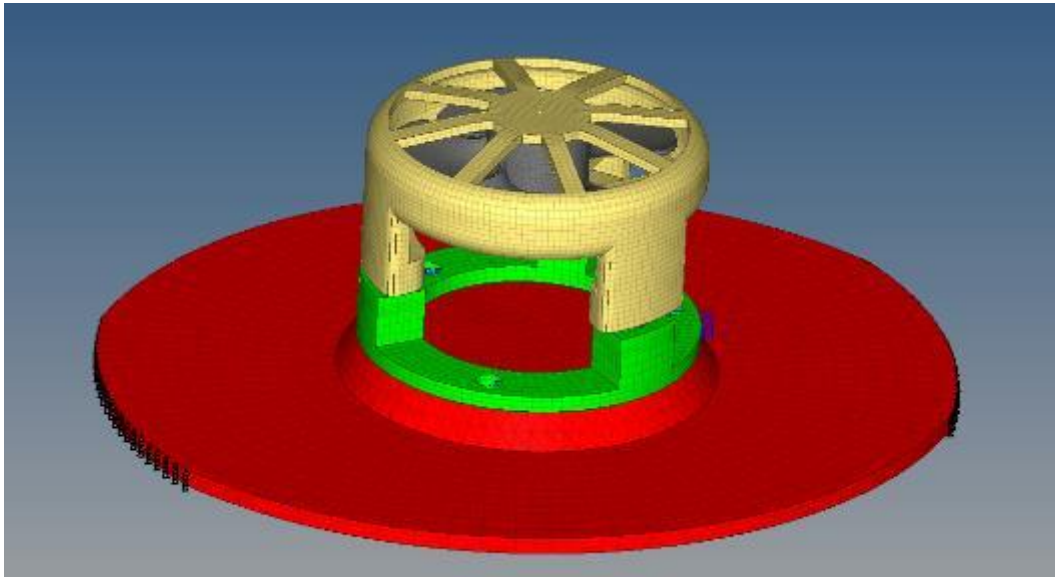
Exemple de courbes accélération / effort



# SYSTÈME COMPLET

## Calcul des efforts injectés à la structure d'accueil en présence de la source

- Permettra de comparer les résultats de la recomposition avec les résultats directs

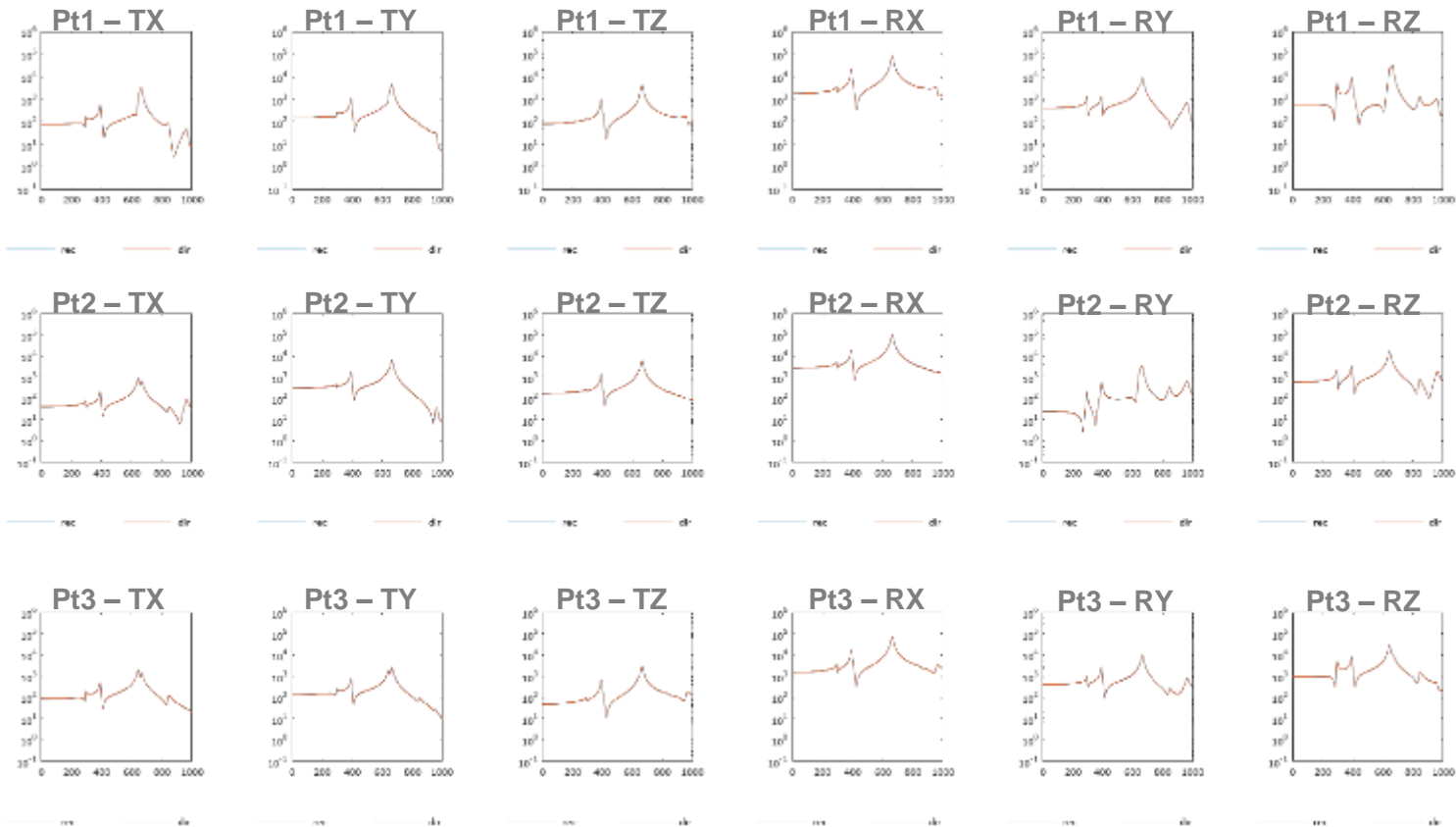


Recomposition proche des résultats de calculs directs.

Légers décalages dus à la non prise en compte des moments (difficiles à mesurer).

# CALCULS AVEC MOMENTS

○ Calculs effectués sur un autre modèle en prenant en compte les moments



Résultats de recomposition et de calcul direct confondus

# RÉALISATION D'UN MODÈLE HYBRIDE ESSAI / CALCUL

- **Développement d'une méthodologie basée sur la norme XP 19-701 permettant la prédiction d'efforts par hybridation calculs / essais**
  - Calculs effectués sur un autre modèle en prenant en compte les moments
- **Étude complètement menée sur un modèle numérique pour pouvoir itérer sur les designs et agir sur divers paramètres**
- **La prise en compte des moments permet d'obtenir des résultats de recomposition et des résultats de calcul direct rigoureusement identiques**
  - La mesure des moments est très compliquée
  - Ne pas les prendre en compte permet d'obtenir une bonne approximation des résultats dans le cas des sources découplées.
- **Perspectives**
  - Test de la méthode en conditions réelles → réalisation d'essais
  - Application multi-secteurs (industrie, ferroviaire, automobile...)



# APPLICATION SUR SIÈGE MOTORISÉ

# APPLICATION SUR SIÈGE MOTORISÉ

Moteur électrique → source

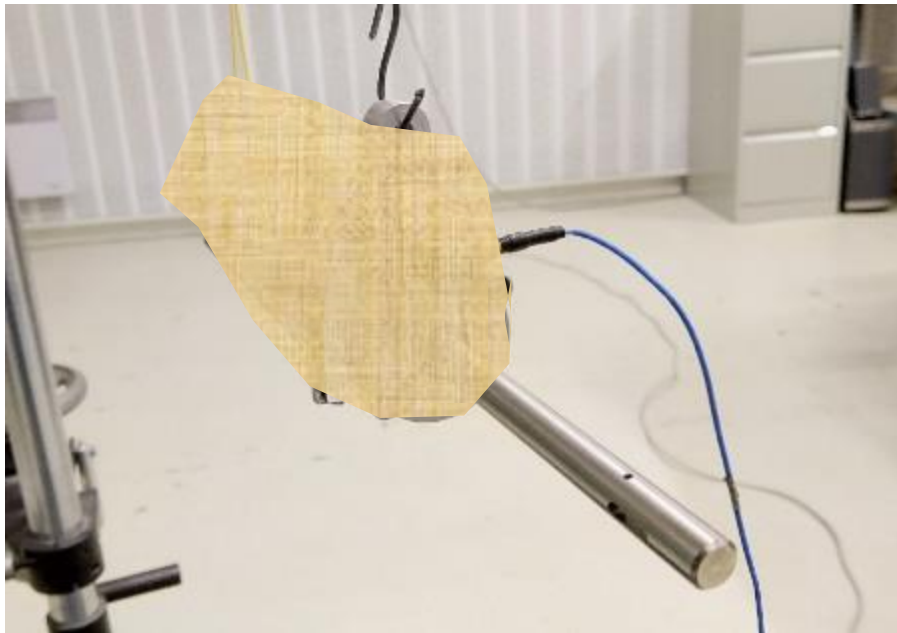
Actionneur → interface

Siège → structure

## ● Difficulté :

Le moteur est fixé en rigide sur l'actionneur

→ Moment d'ordre 1 devant les efforts en translation



# APPLICATION SUR SIÈGE MOTORISÉ

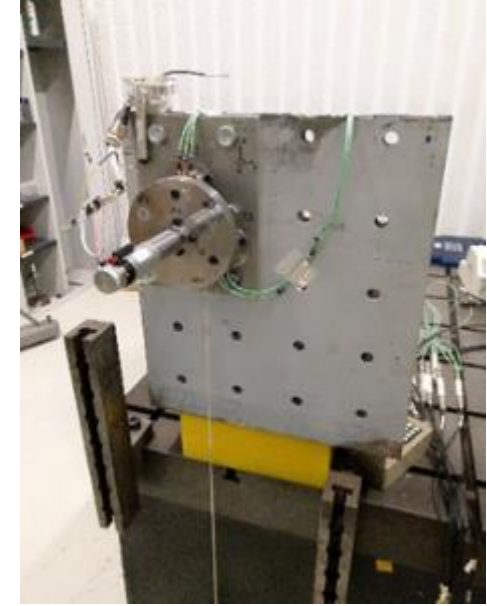
## 1. Mesure des efforts sur banc

1. Localement, considération de la zone de mesure d'efforts comme étant rigide
2. Projection du torseur équivalent en appliquant le PFS

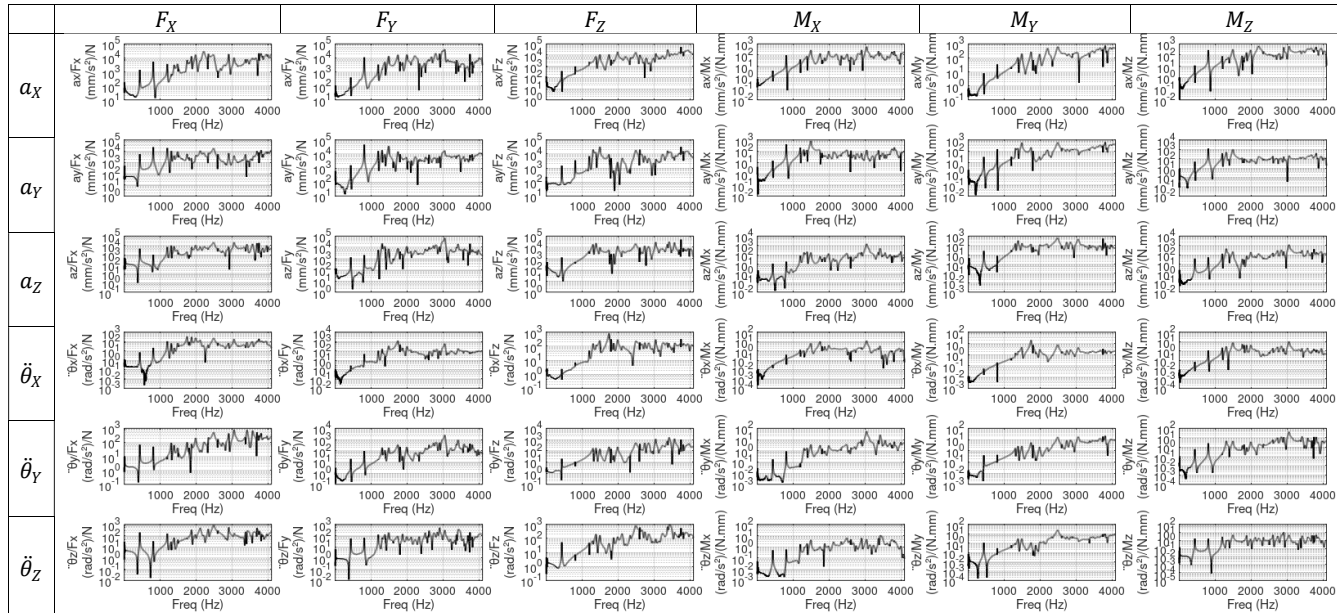
## 2. Mesure des rapports {accélération/effort} ( $\frac{a}{F}$ ) au niveau du banc

1. Localement, considération de la zone de mesure d'efforts comme étant rigide
2. Localement, considération de la zone de mesure d'accélération comme étant rigide
3. Projection du torseur équivalent en utilisant le PFS et le PFD

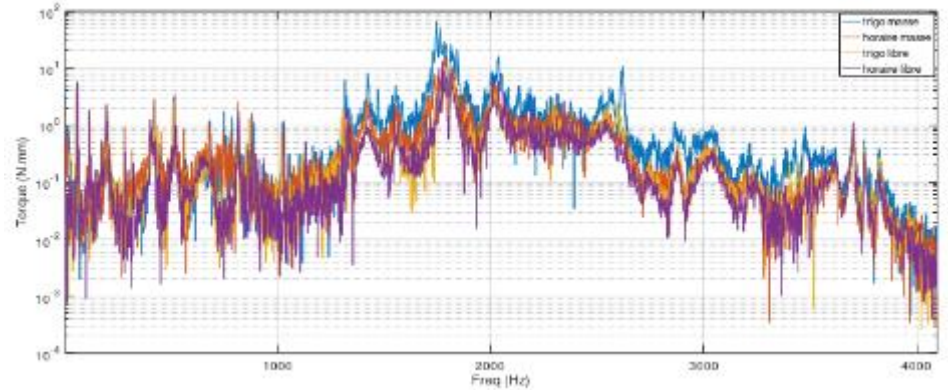
1. Détermination des rapports  $\frac{a}{F}$ ,  $\frac{a}{M}$ ,  $\frac{\dot{\theta}}{F}$  et  $\frac{\dot{\theta}}{M}$  au centre



### Amplitudes des termes $Y_{BE}$



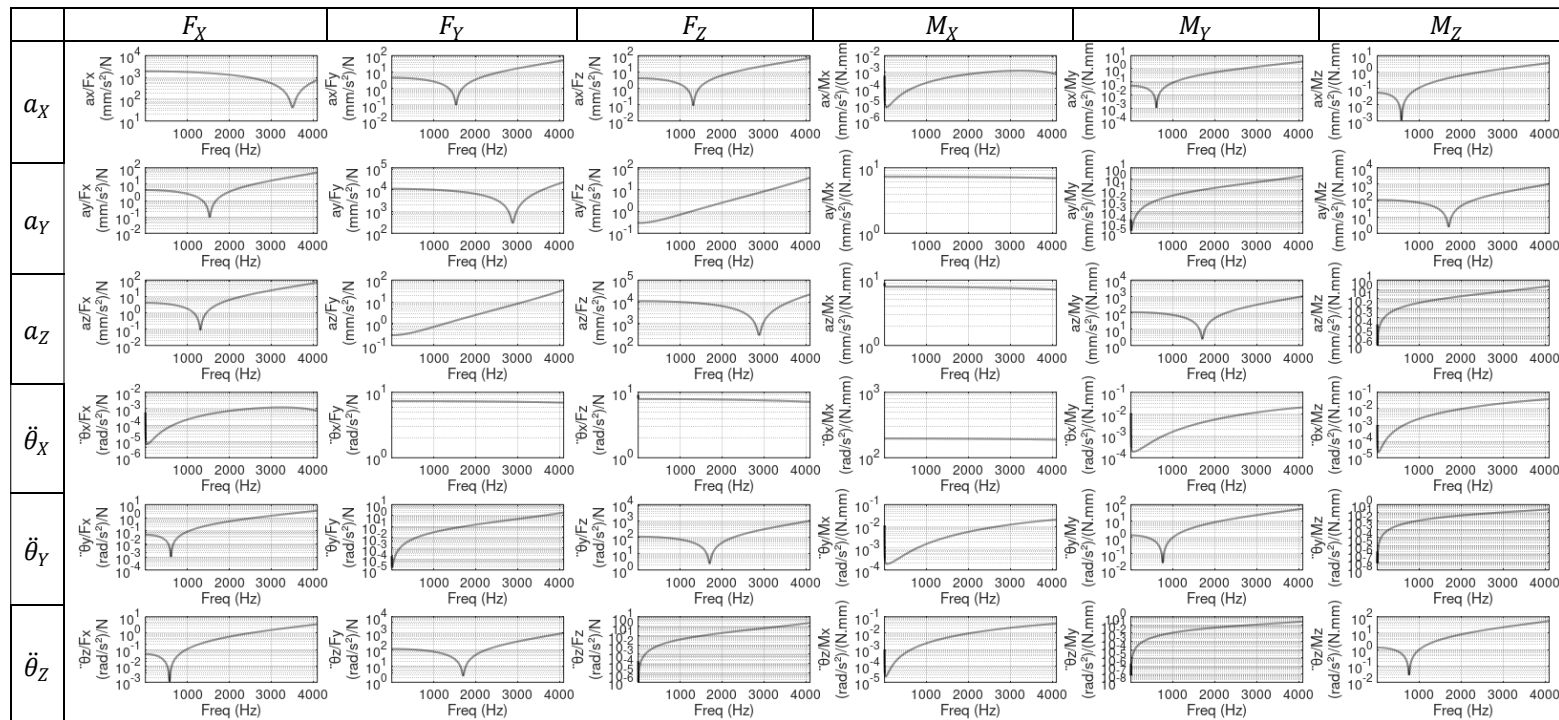
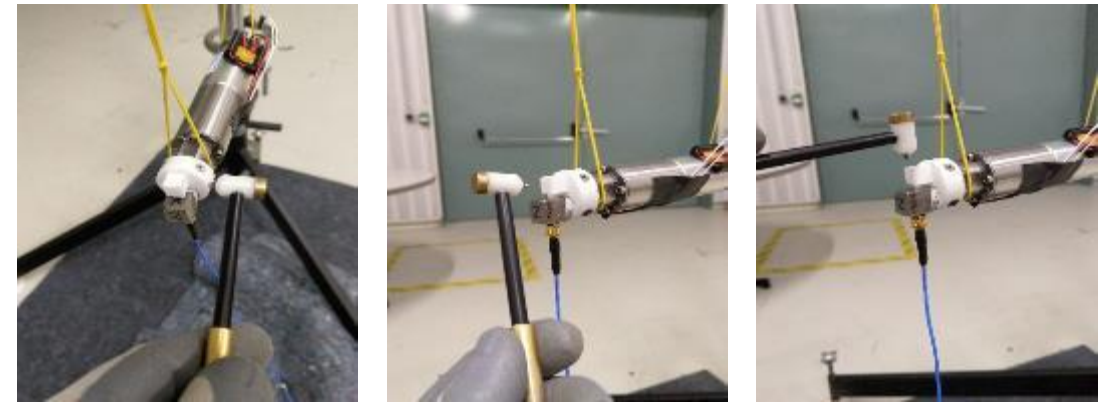
### Moment X





# APPLICATION SUR SIÈGE MOTORISÉ

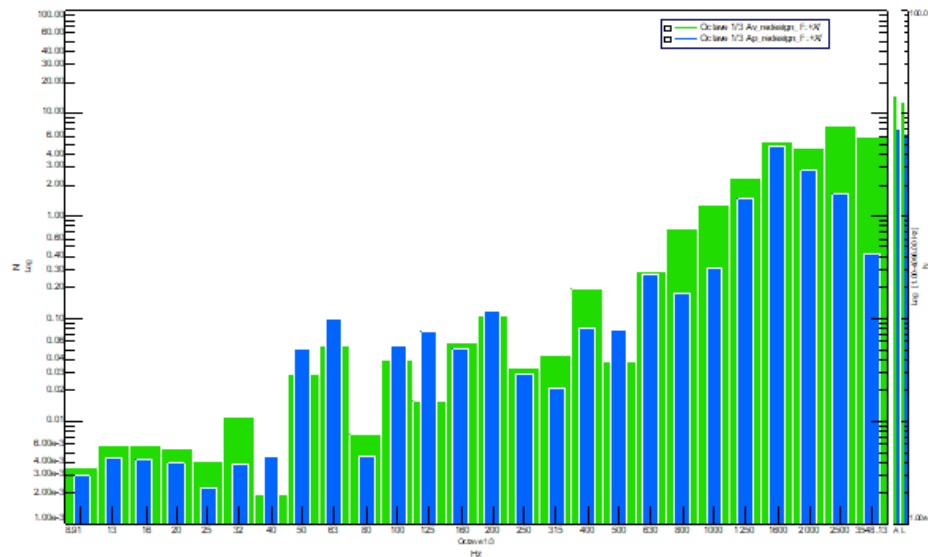
1. Mesure de FRF sur le moteur
2. Recalage calcul/essai
3. Calcul de la matrice ci-dessous



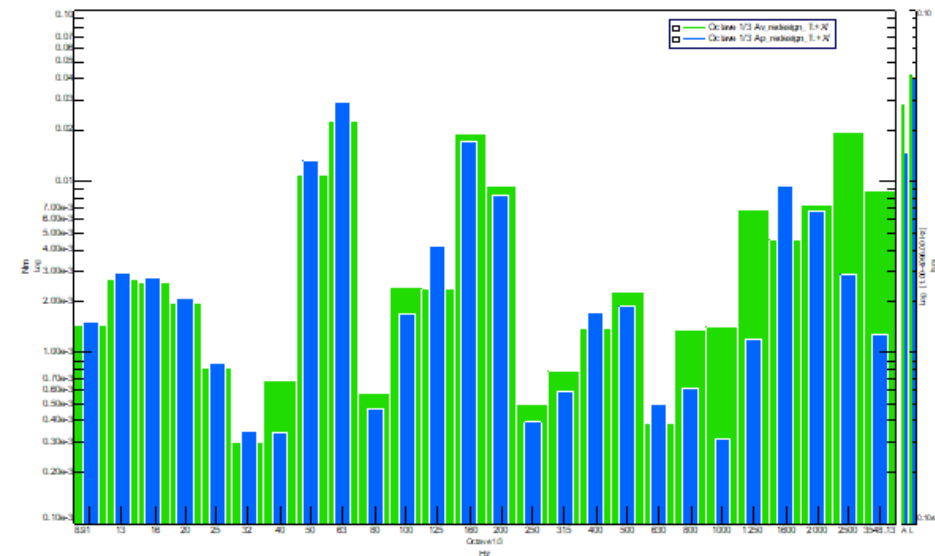
# APPLICATION SUR SIÈGE MOTORISÉ

1. Mesure de FRF sur l'actionneur
2. Recalage calcul essai
3. Calcul des matrices d'inertances et de transferts croisés 6x6.

Assemblage des différentes matrices et calcul de l'effort injectés dans le siège. Itération de calcul sur l'actionneur.



Comparaison des efforts en 1/3 d'octave – X – ( ) avant redesign – ( ) après redesign



Comparaison des moments en 1/3 d'octave – X – ( ) avant redesign – ( ) après redesign

**Vos questions ?**  
**Merci de votre attention**

[cevaa.com](http://cevaa.com) | [n.chevallier@groupe-6napse.com](mailto:n.chevallier@groupe-6napse.com)