

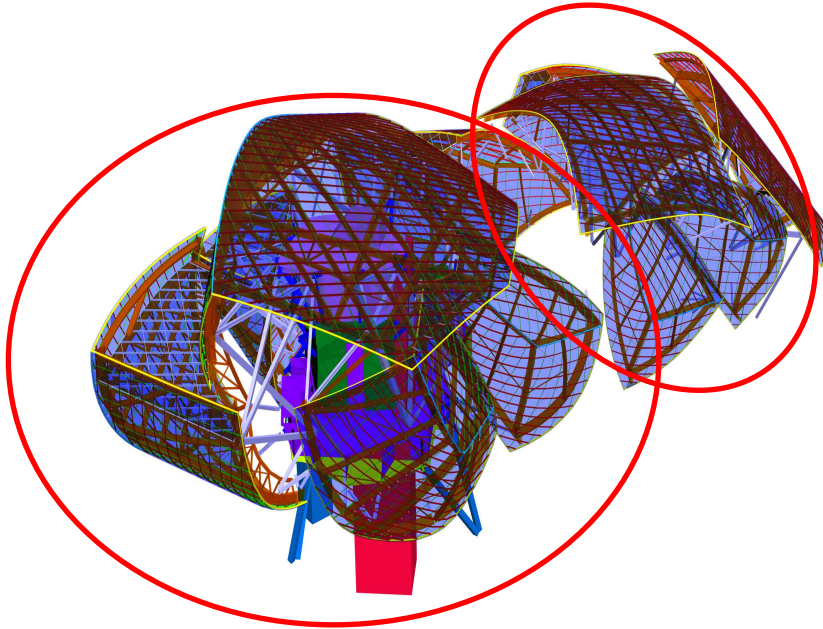
Link.  
FERRY APR. 06

## Présentation Méthodologie TPI

## Principes du calcul au vent - Fondation Louis Vuitton

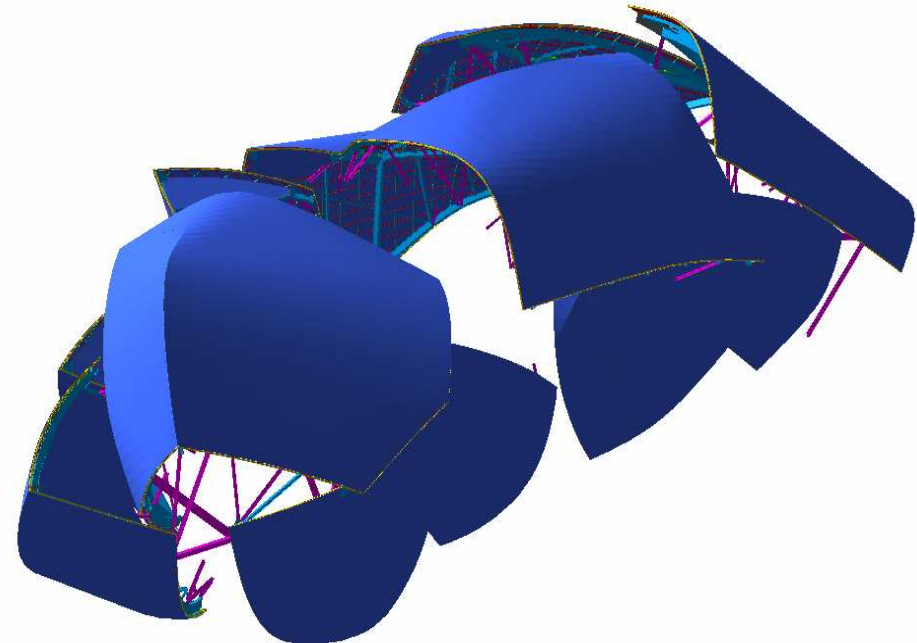
- I. Interprétation des résultats des essais du CSTB et méthodologie générale du calcul au vent
  
- II. Principe de détermination de la réponse dynamique d'une verrière
  
- III. Résultats obtenus

## Présentation de la modélisation réalisée



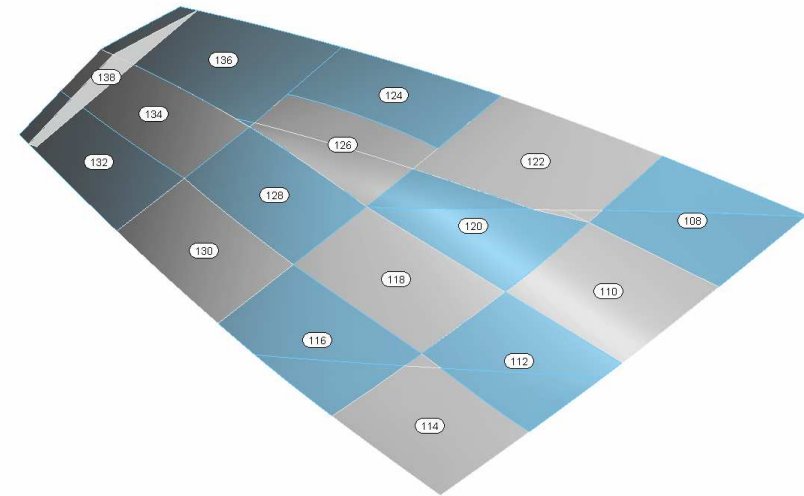
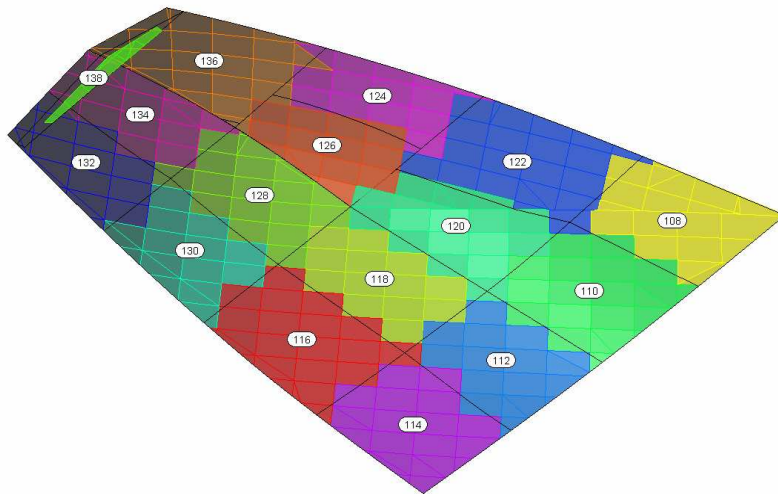
- Bloc Centre Ouest (7 verrières) : modélisation sur appuis fixes
- Bloc Est (5 verrières) : modélisation sur appuis souples avec prise en compte de l'interaction avec le gros œuvre

- Modélisation de l'ensemble des 12 verrières des 2 blocs de la Fondation



## Interprétation des résultats des essais en soufflerie

- Chaque capteur associé à une zone sur une verrière par le CSTB



- Chaque capteur associé à une zone (constituée de plusieurs éléments de dalle) sur une verrière dans le logiciel Pythagore

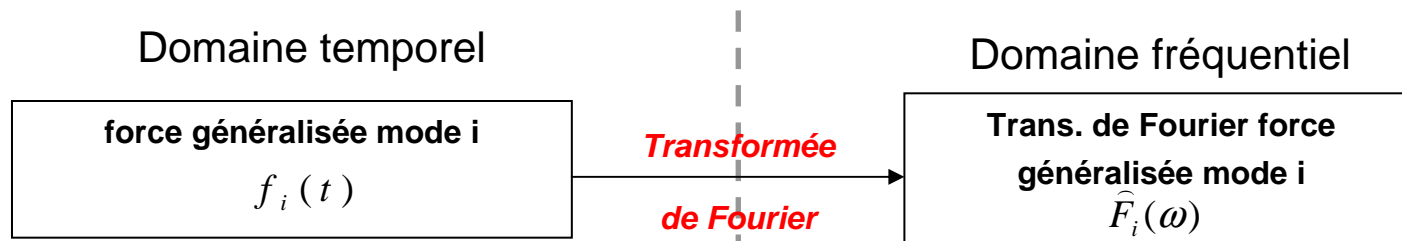
## Méthodologie générale du calcul par analyse spectrale

- Équation de la dynamique :

$$\underline{\underline{M}}\ddot{\underline{U}} + \underline{\underline{C}}\dot{\underline{U}} + \underline{\underline{K}}\underline{U} = \underline{F}(t)$$

- Décomposition sur le base des modes propres :

$$\ddot{y}_i(t) + 2\xi_i\omega_i\dot{y}_i(t) + \omega_i^2 y_i(t) = \frac{\omega_i^2}{k_i} f_i(t) \quad i = 1..N$$

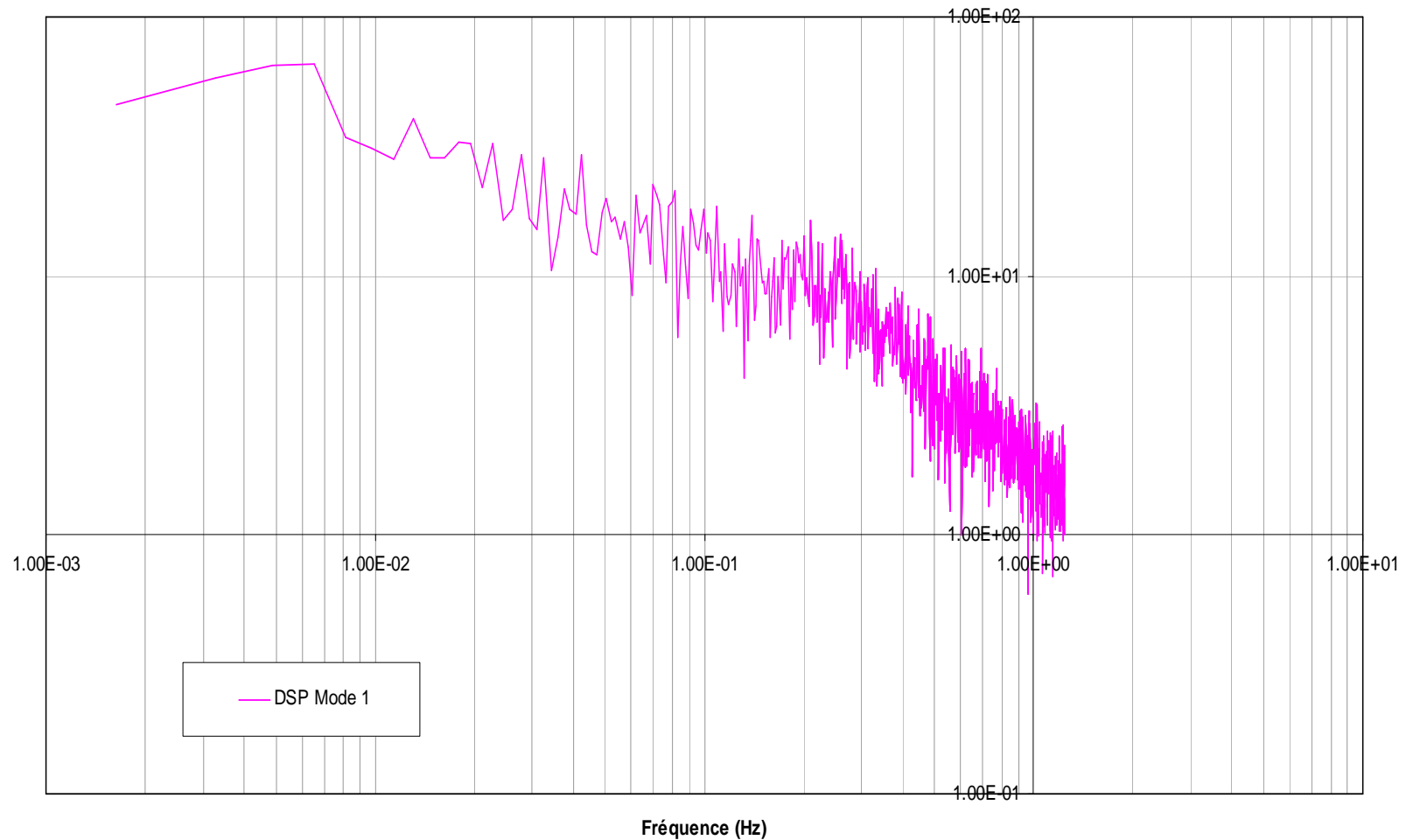


- Représentation graphique des transformées de Fourier:
  - Densité spectrale de puissance

$$S_{f_i}(\omega) = f \left( \left| \hat{F}_{i,k}(\omega) \right|^2 \right)$$

## Méthodologie générale du calcul par analyse spectrale

Densité spectrale de puissance de la force généralisée associée au mode 1 - Incidence 160°



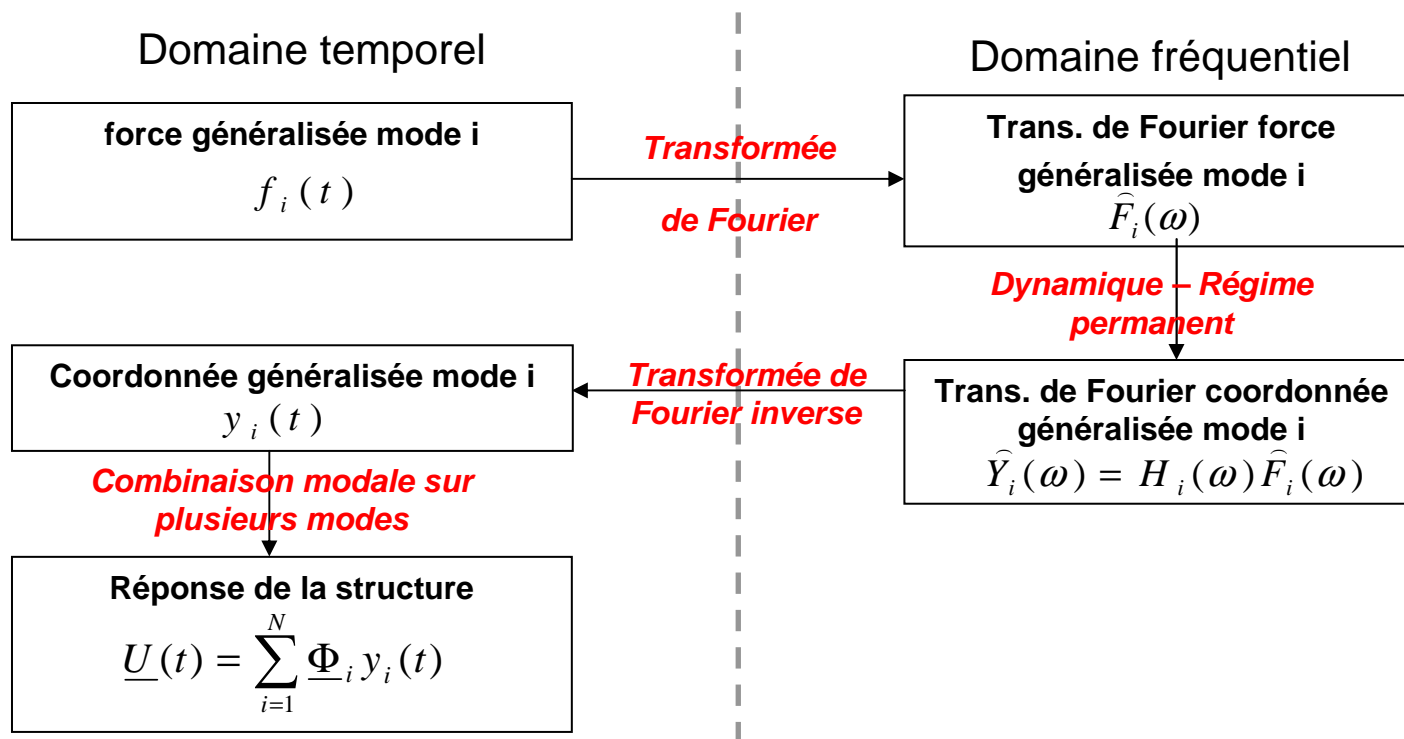
## Méthodologie générale du calcul par analyse spectrale

- Équation de la dynamique :

$$\underline{\underline{M}}\ddot{\underline{U}} + \underline{\underline{C}}\dot{\underline{U}} + \underline{\underline{K}}\underline{U} = \underline{F}(t)$$

- Décomposition sur le base des modes propres :

$$\ddot{y}_i(t) + 2\xi_i\omega_i\dot{y}_i(t) + \omega_i^2 y_i(t) = \frac{\omega_i^2}{k_i} f_i(t) \quad i = 1..N$$



## Méthodologie générale du calcul par analyse spectrale

- Équation de la dynamique :

$$\cancel{\underline{\underline{M}}}\dot{\underline{\underline{U}}} + \cancel{\underline{\underline{C}}}\dot{\underline{\underline{U}}} + \underline{\underline{K}}\underline{\underline{U}} = \underline{\underline{F}}(t)$$

- Décomposition sur le base des modes propres :

$$\ddot{y}_i(t) + 2\xi_i\omega_i\dot{y}_i(t) + \omega_i^2 y_i(t) = \frac{\omega_i^2}{k_i} f_i(t) \quad i = 1..N$$

$$y_{i,QS}(t) = \frac{1}{k_i} f_i(t) \quad i = 1..N$$

Coordonnée généralisée mode i  
 $y_i(t)$

- Réponse dynamique décomposée partie quasi-statique/ partie résonante:

$$y_i(t) = y_{i,QS}(t) + y_{i,RES}(t)$$

Quasi-statique
Résonante

## Calcul de la partie quasi-statique

- Soit par Calcul Spectral
- Soit par Calcul Statique direct
- Le calcul spectral est fait sur un nombre de modes inférieur au nombre de degrés de liberté du système
  - Combien de modes pour avoir la totalité de la réponse ?

## Calcul de la partie quasi-statique

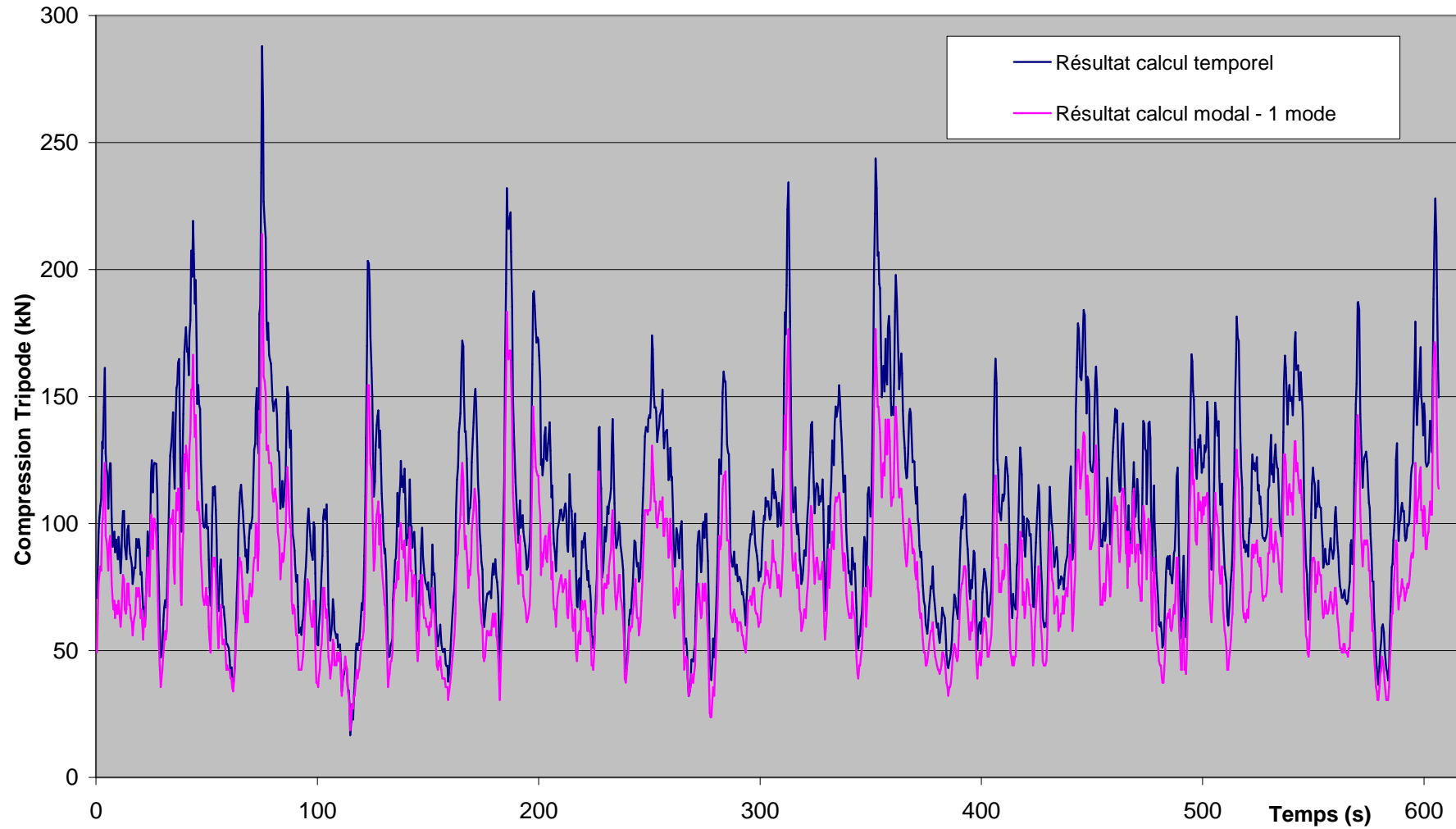


Figure 2.1 : Comparaison du calcul temporel et du calcul modal avec 1 mode

## Calcul de la partie quasi-statique

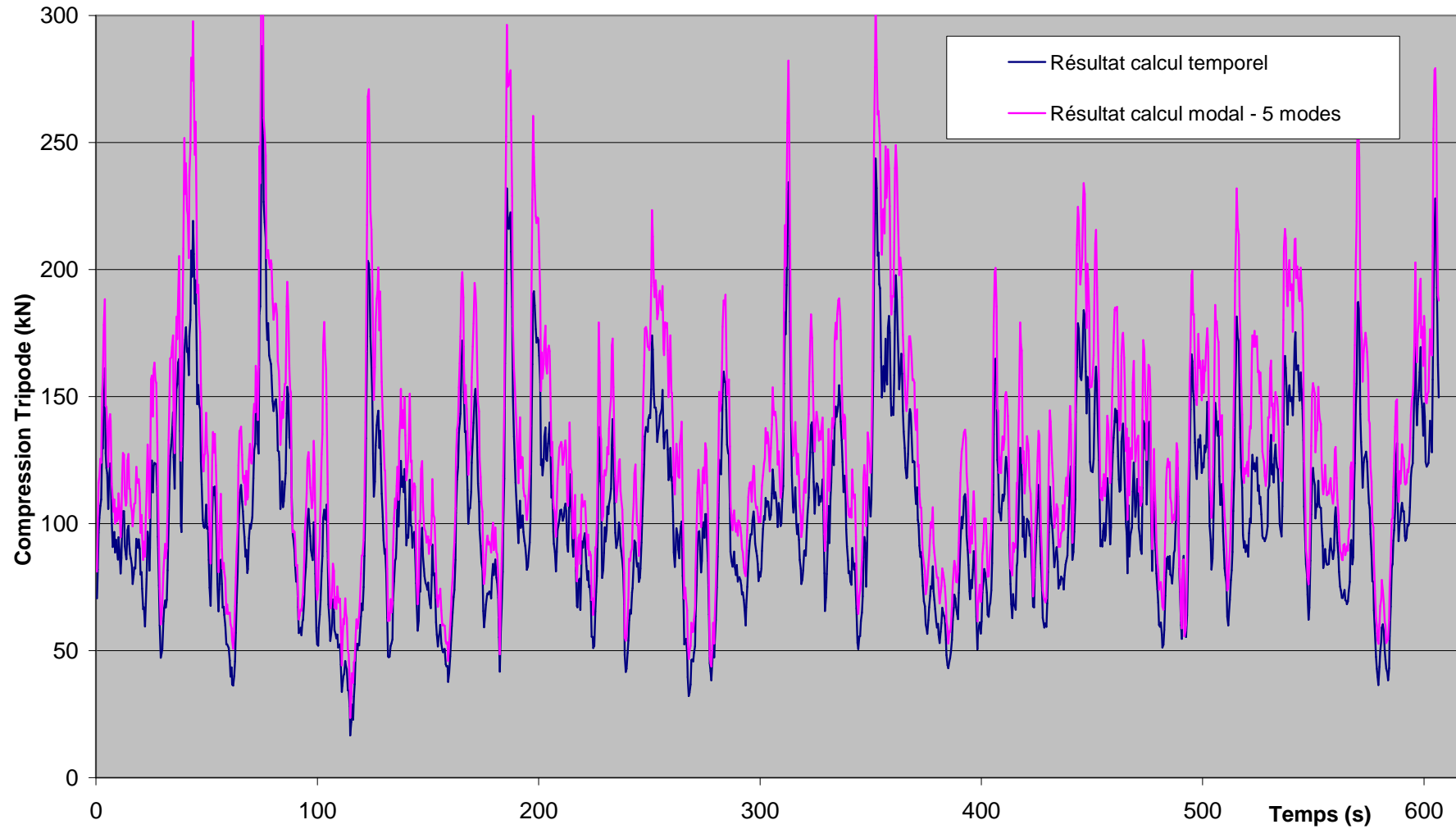


Figure 2.2 : Comparaison du calcul temporel et du calcul modal avec 5 modes

## Calcul de la partie quasi-statique

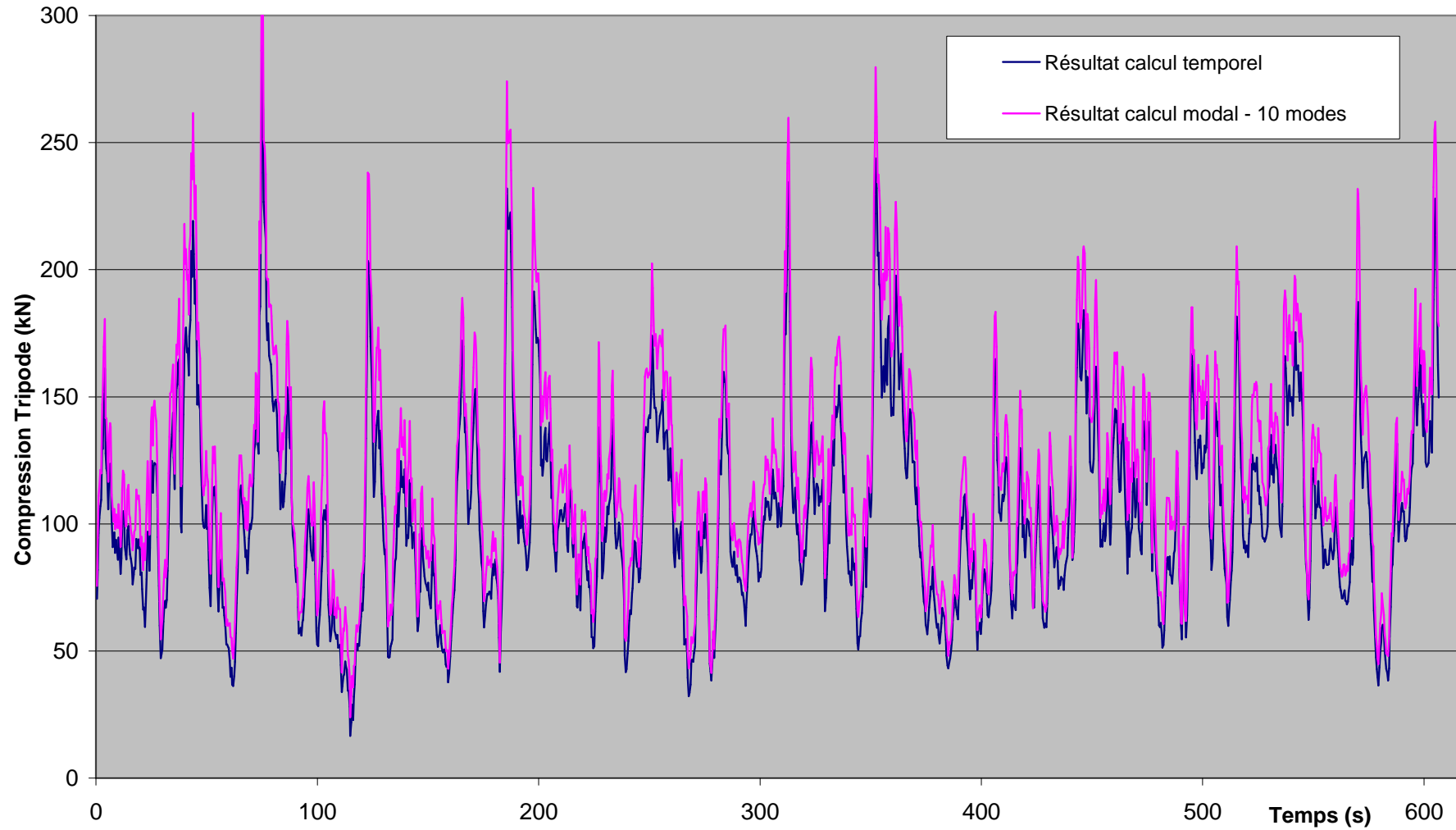


Figure 2.3 : Comparaison du calcul temporel et du calcul modal avec 10 modes

## Calcul de la partie quasi-statique

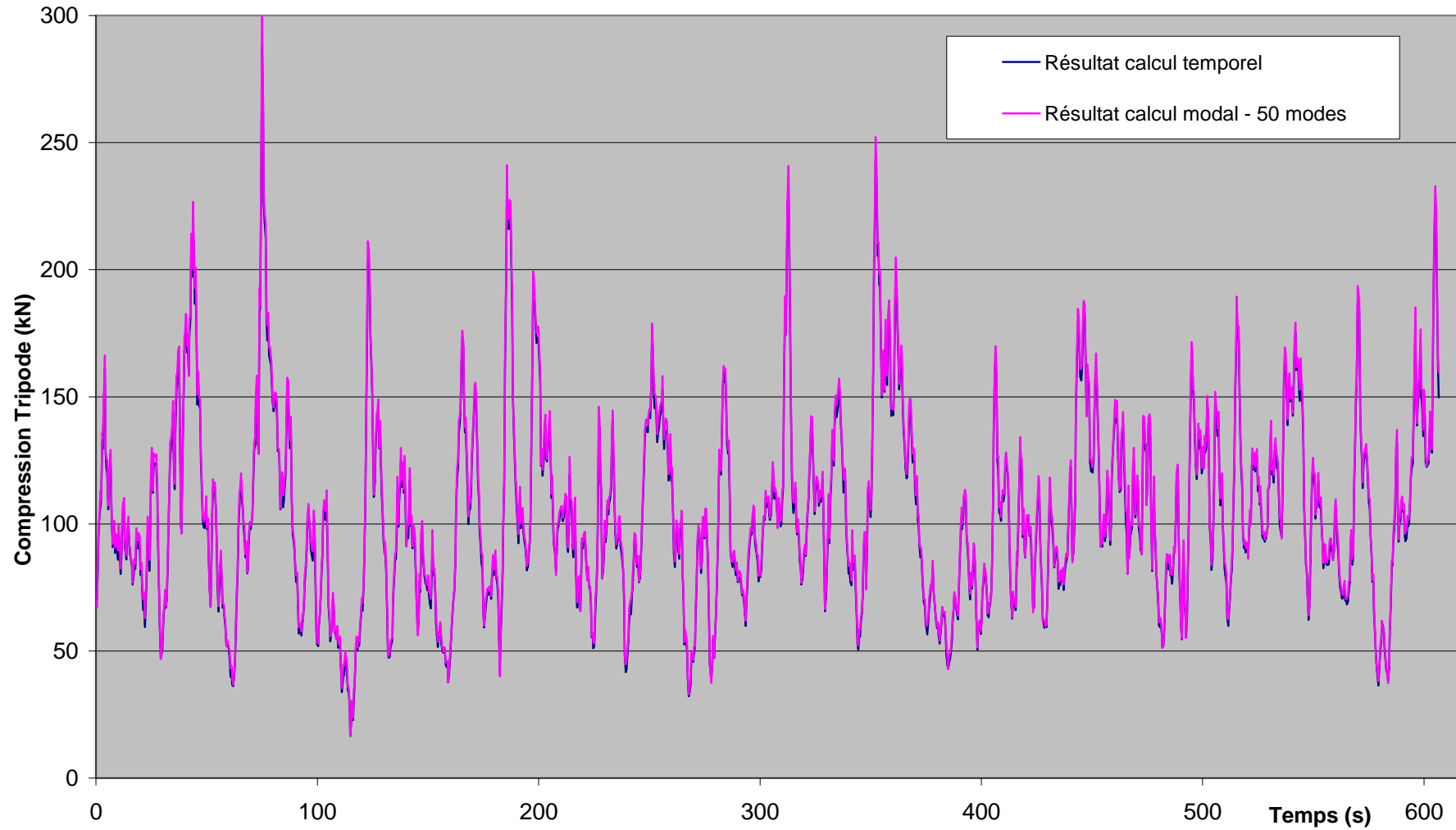


Figure 2.4 : Comparaison du calcul temporel et du calcul modal avec 50 modes

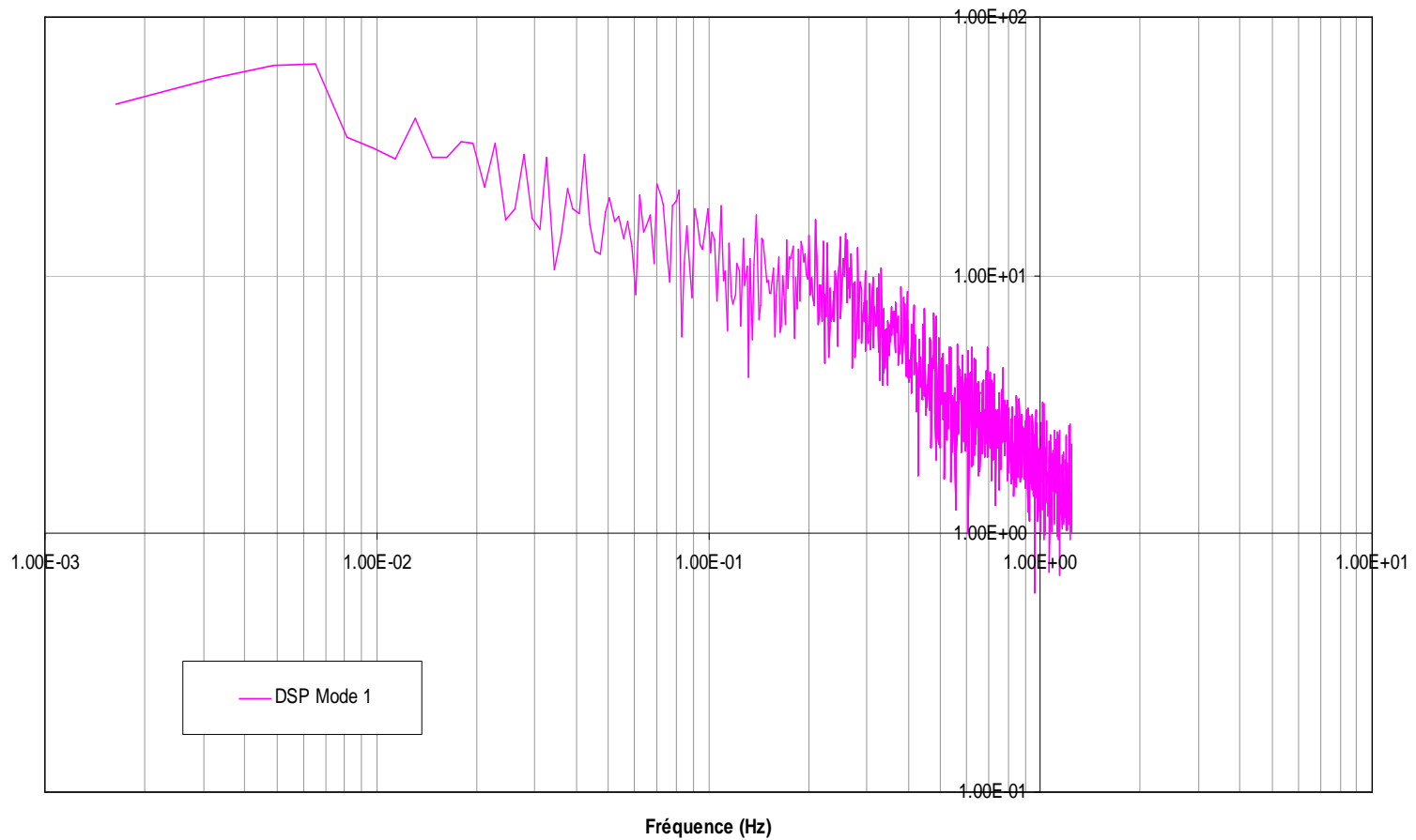
## Calcul de la partie quasi-statique

- Il faut un grand nombre de modes pour faire un calcul spectral qui prend en compte la partie quasi-statique. Ce nombre de modes est inconnu a priori.
- Choix d'une approche temporelle pour le calcul de la partie quasi-statique
- Calcul de la partie résonante par une approche spectrale

# Calcul de la partie résonante

Problématique particulière à la Fondation: exemple de la verrière RWU1

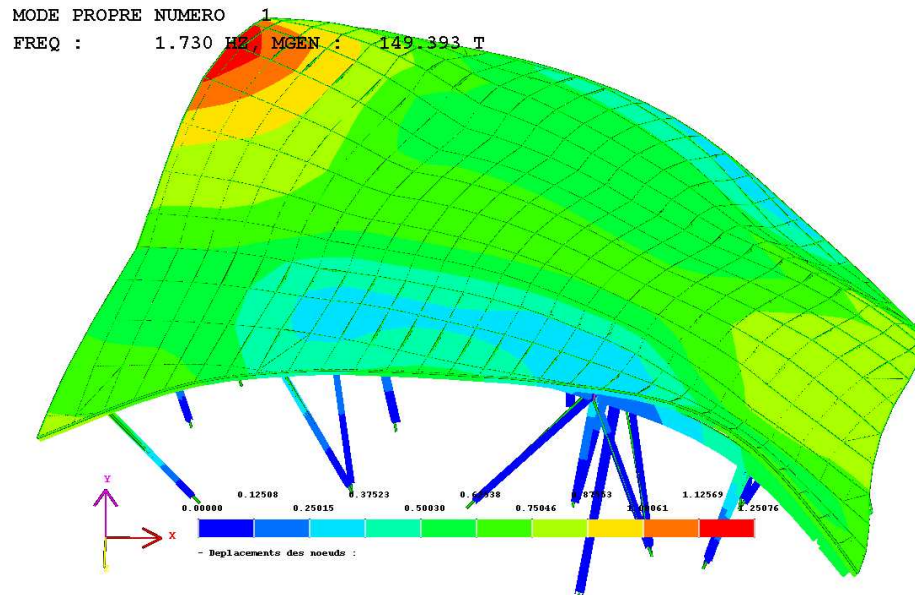
Densité spectrale de puissance de la force généralisée associée au mode 1 - Incidence 160°



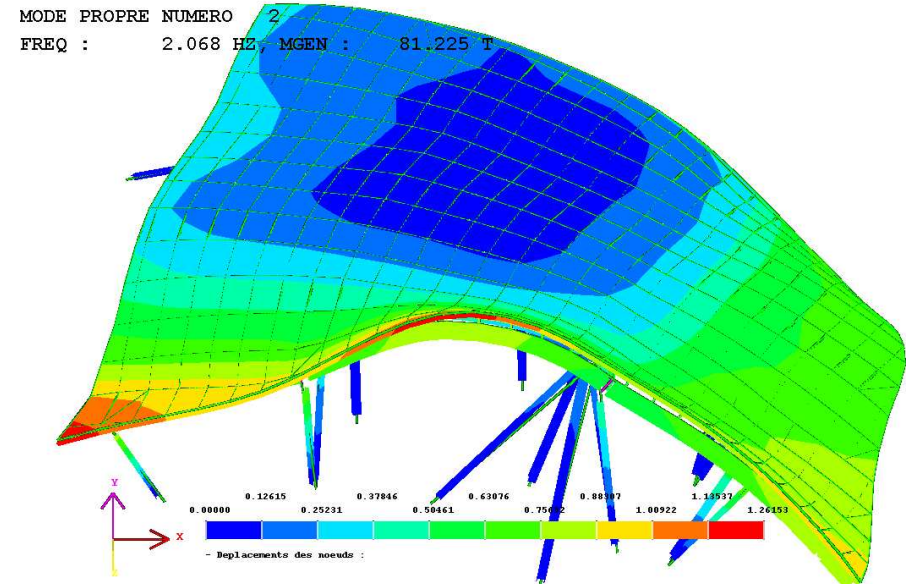
# Calcul de la partie résonante

## Problématique particulière à la Fondation: exemple de la verrière RWU1

Mode 1 :  $f_1 = 1,730\text{Hz}$



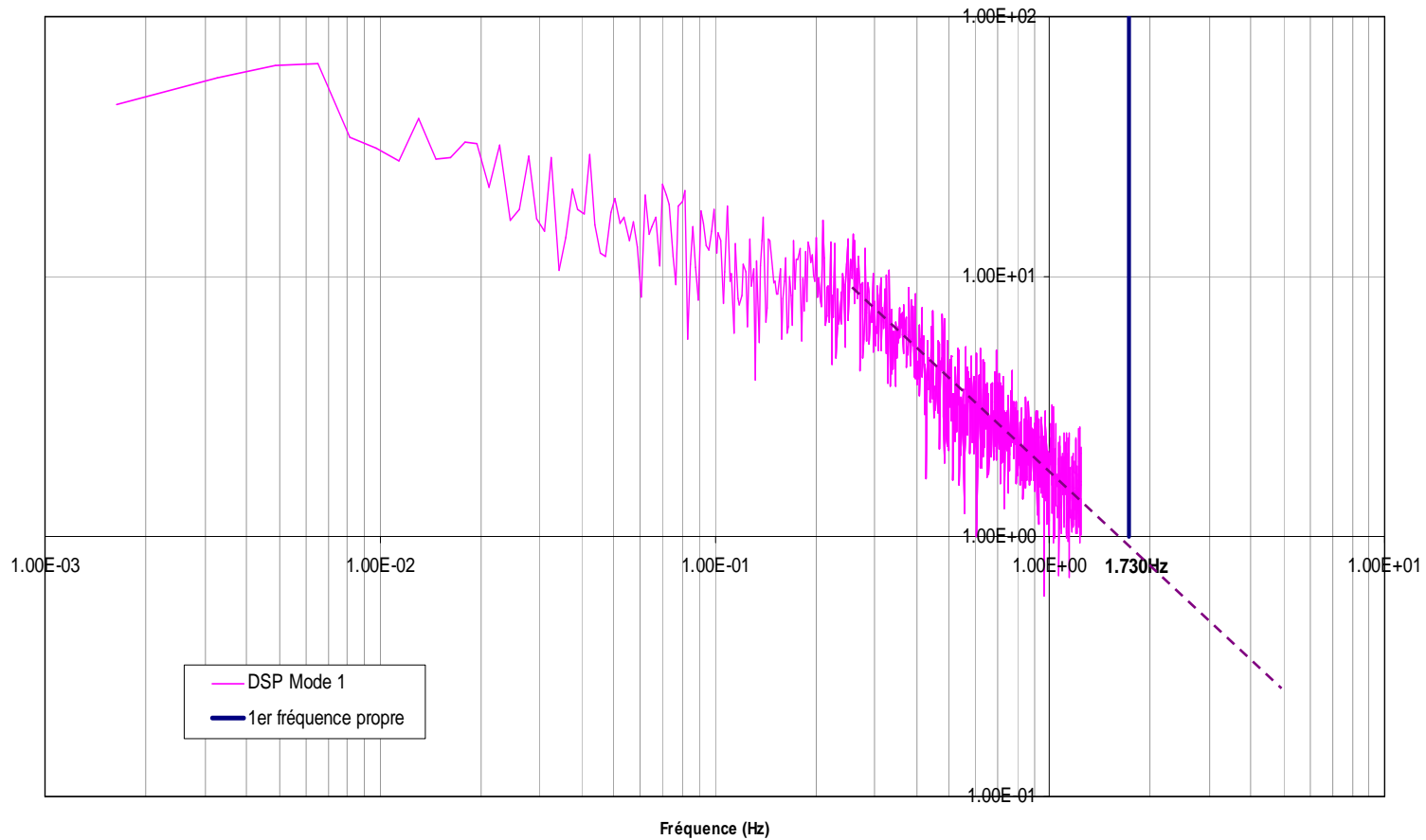
Mode 2 :  $f_2 = 2,068\text{Hz}$



# Calcul de la partie résonante

## Problématique particulière à la Fondation: exemple de la verrière RWU1

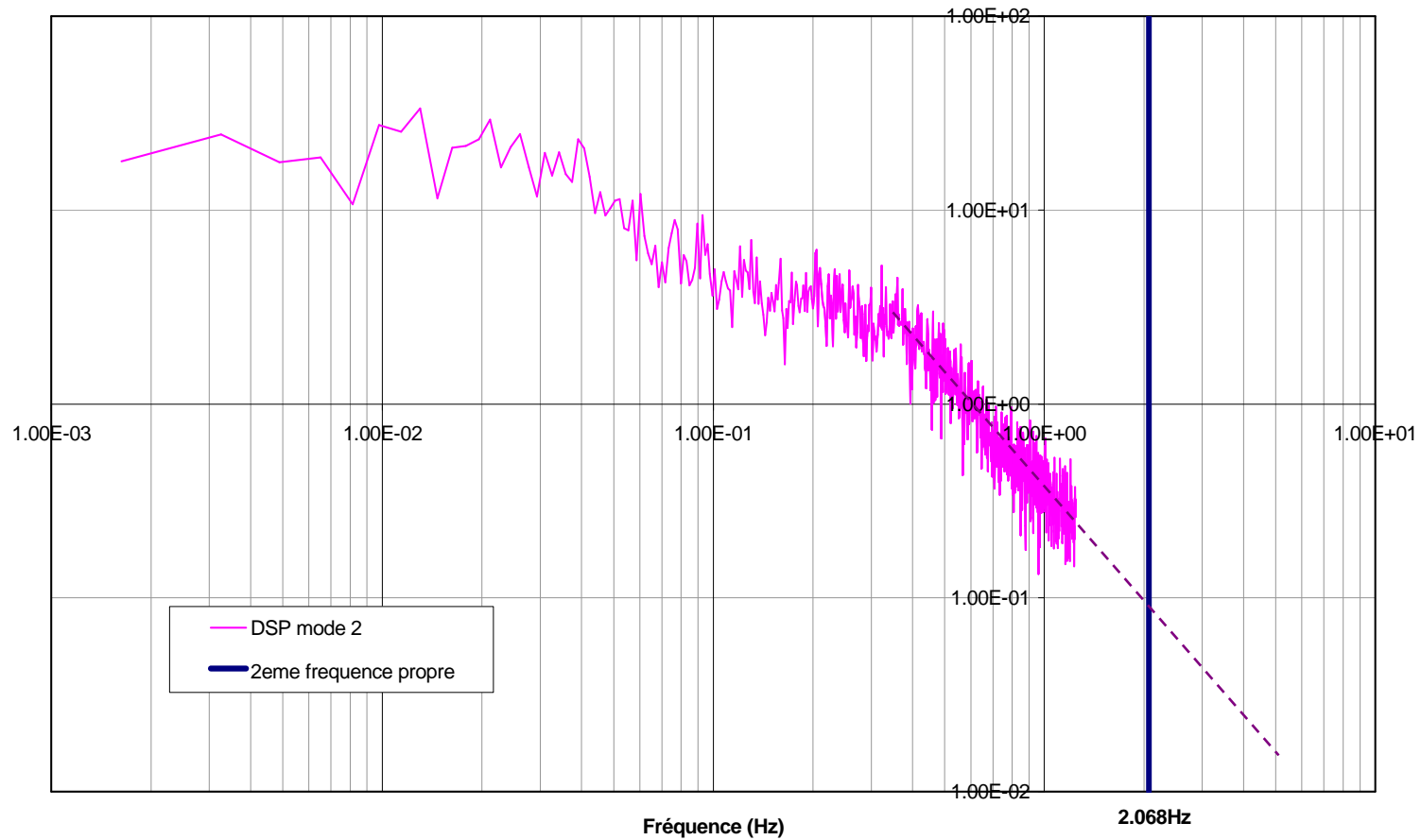
Densité spectrale de puissance de la force généralisée associée au mode 1 - Incidence 160°



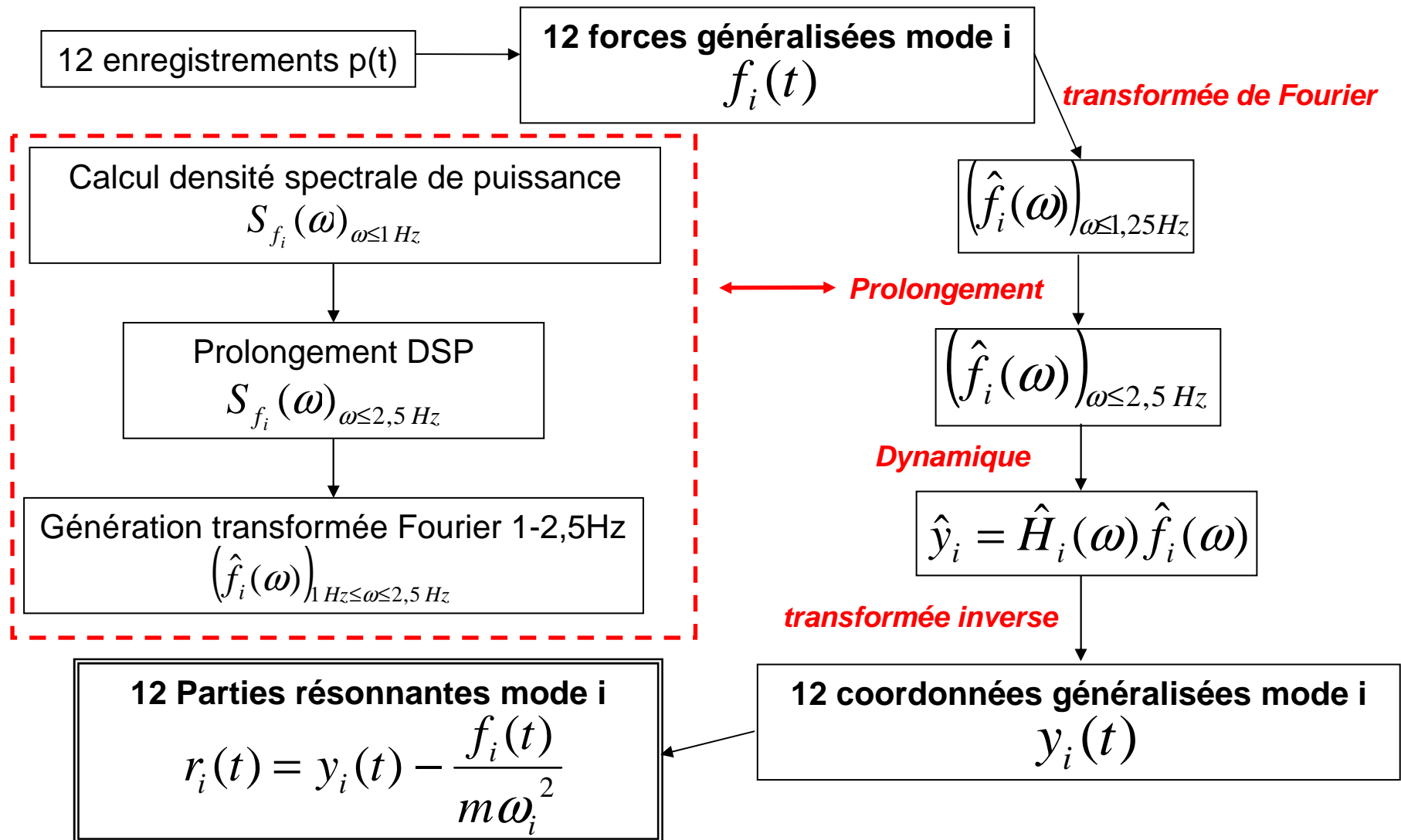
## Calcul de la partie résonante

Problématique particulière à la Fondation: exemple de la verrière RWU1

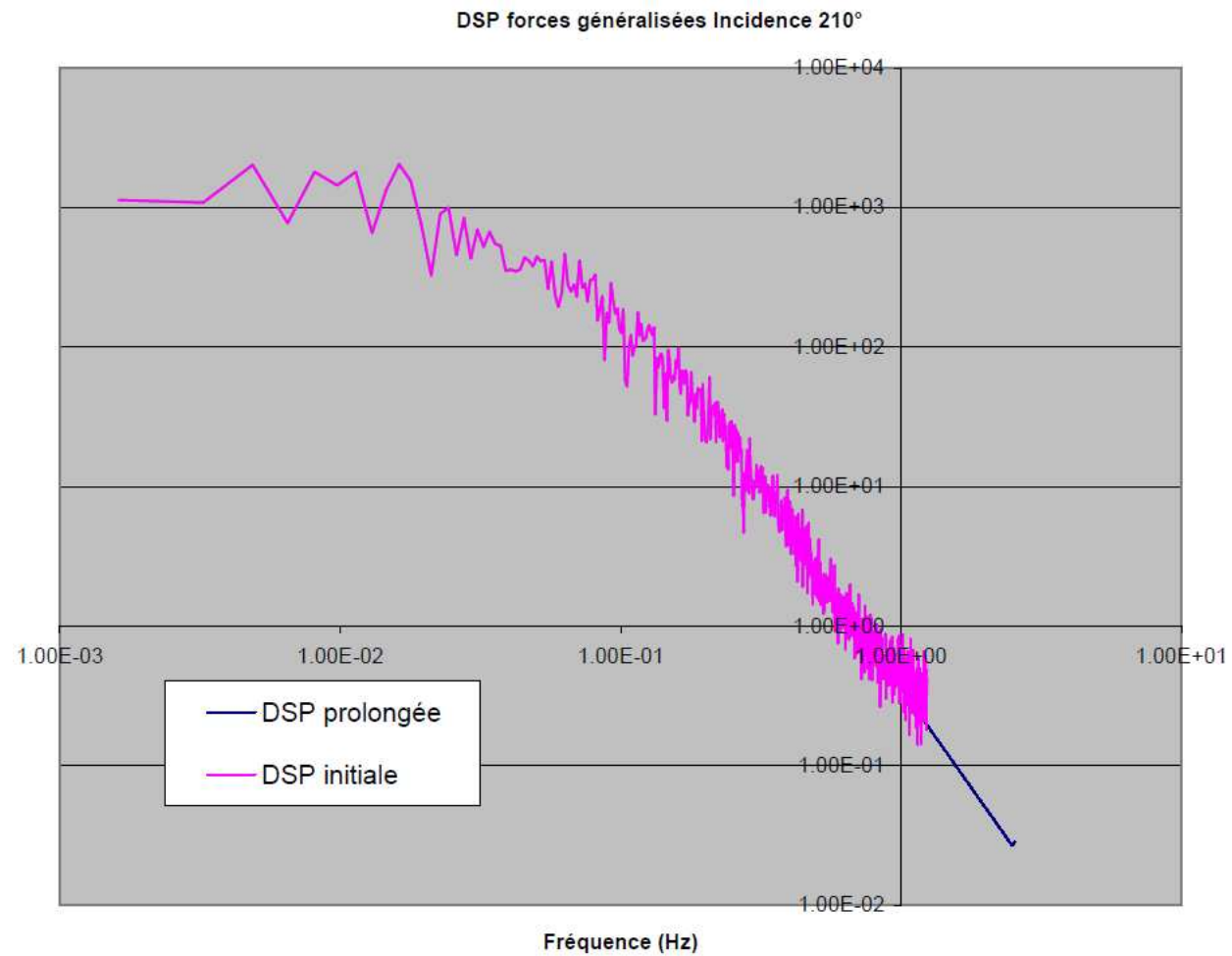
Densité spectrale de puissance de la force généralisée associée au mode 2 - Incidence 160°



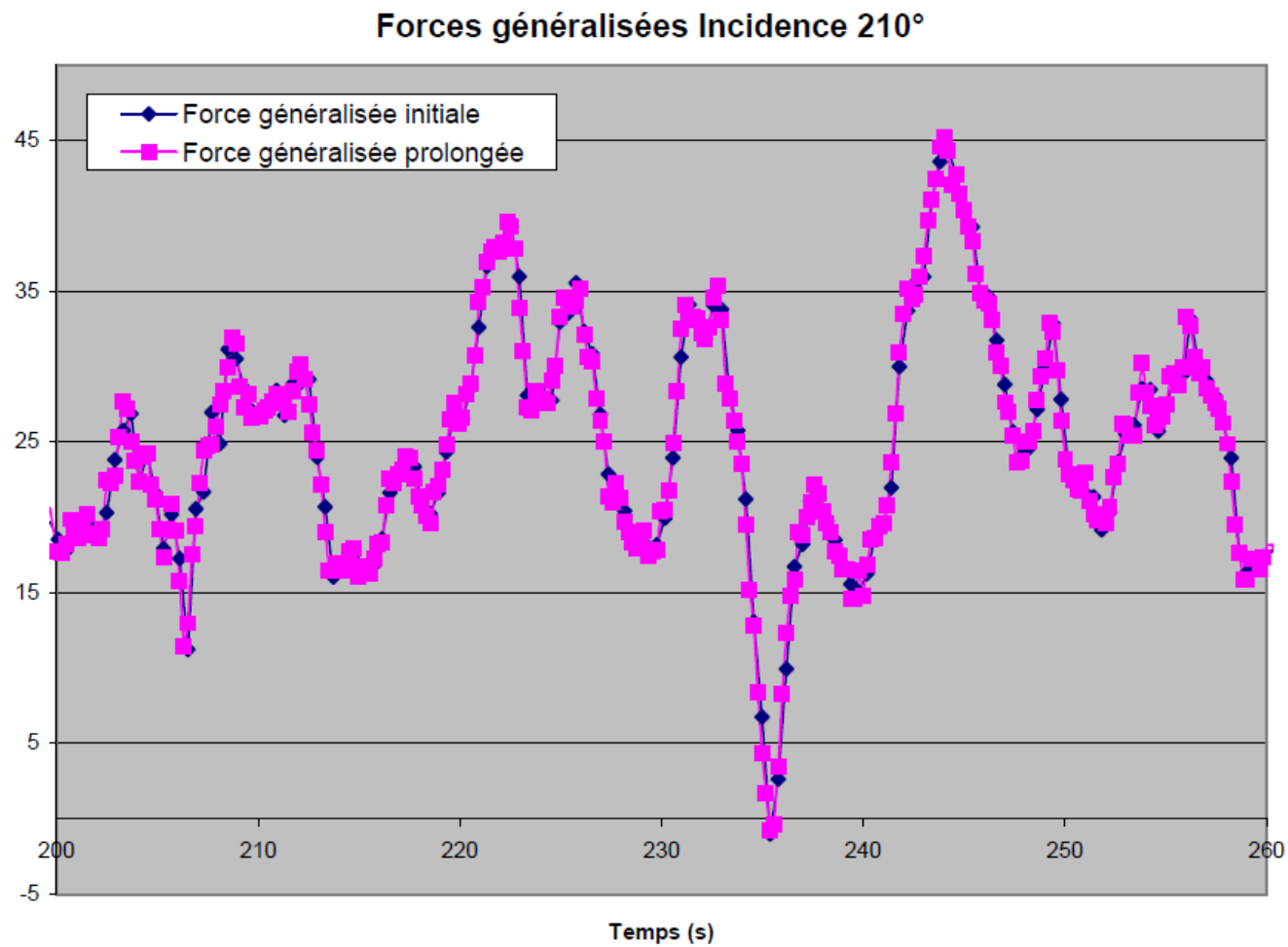
# Démarche générale



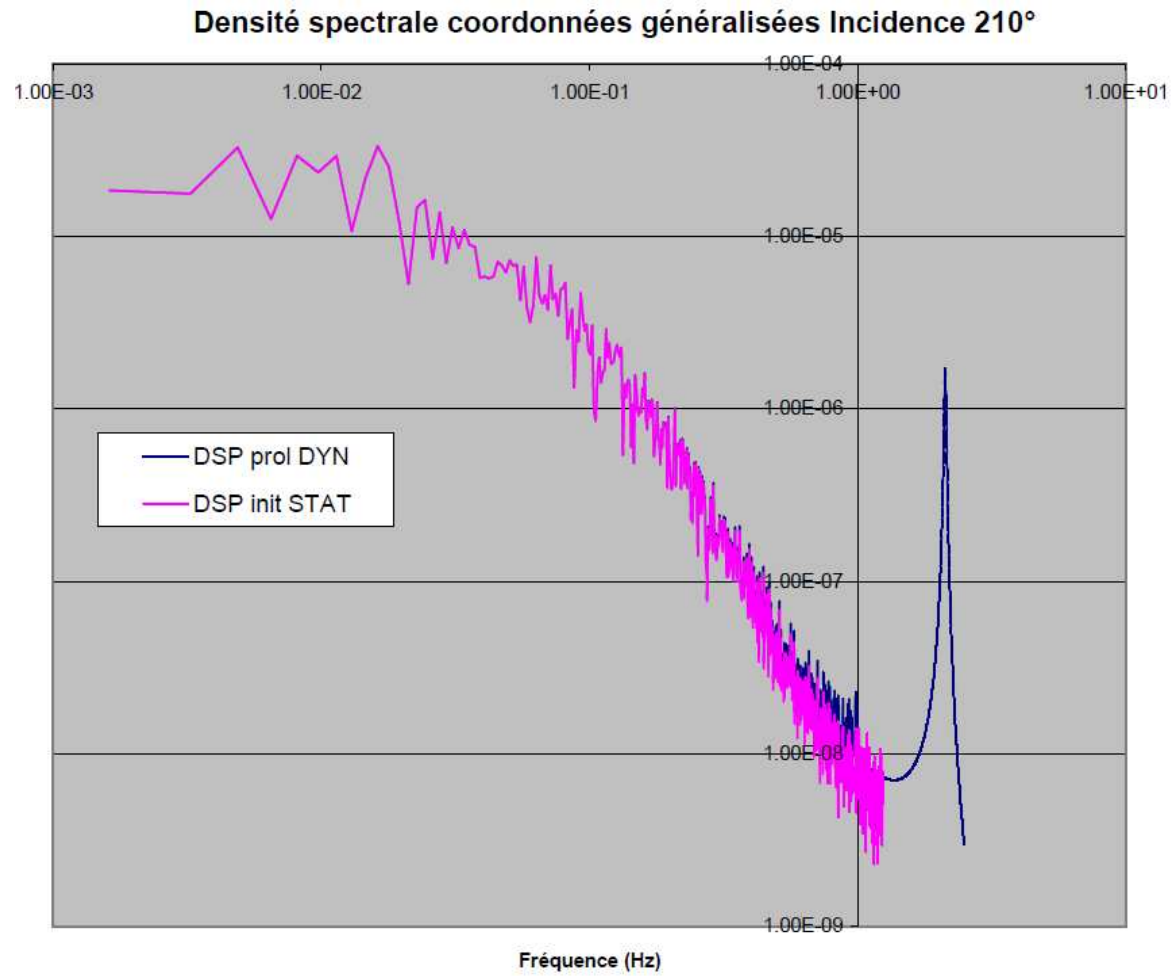
## Exemple de prolongement: verrière SWU1, 1er mode



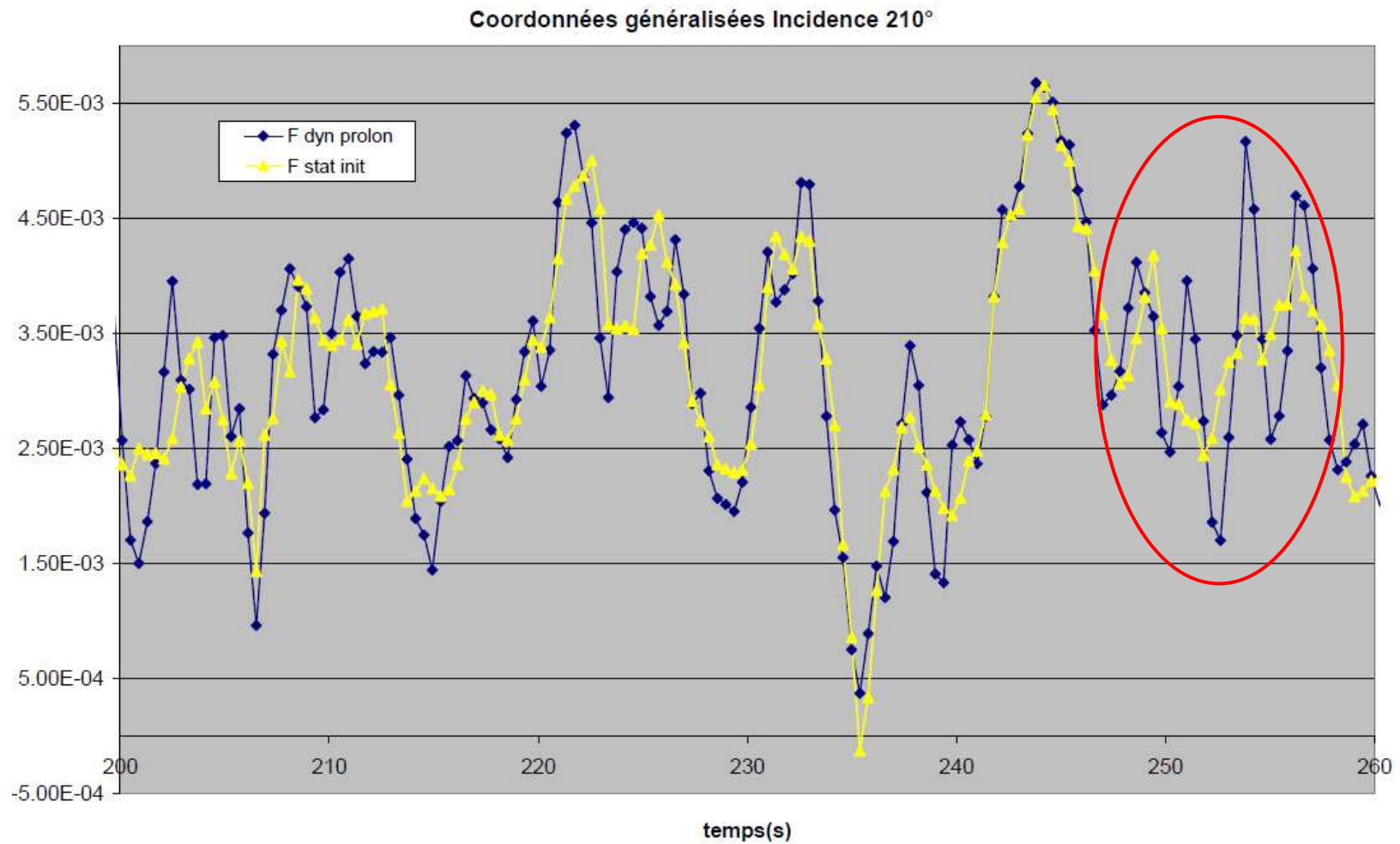
## Comparaison entre signal initial et signal prolongé



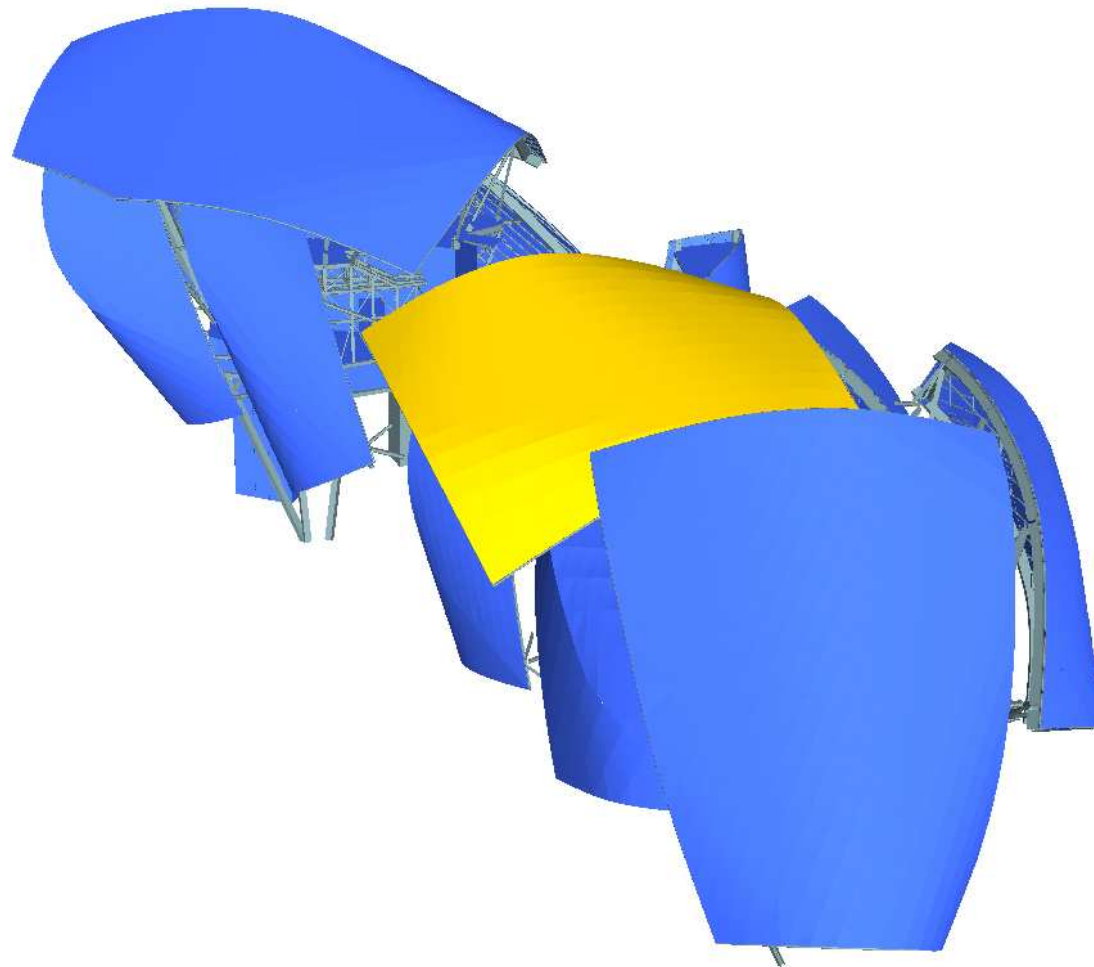
## Mise en évidence de la résonance



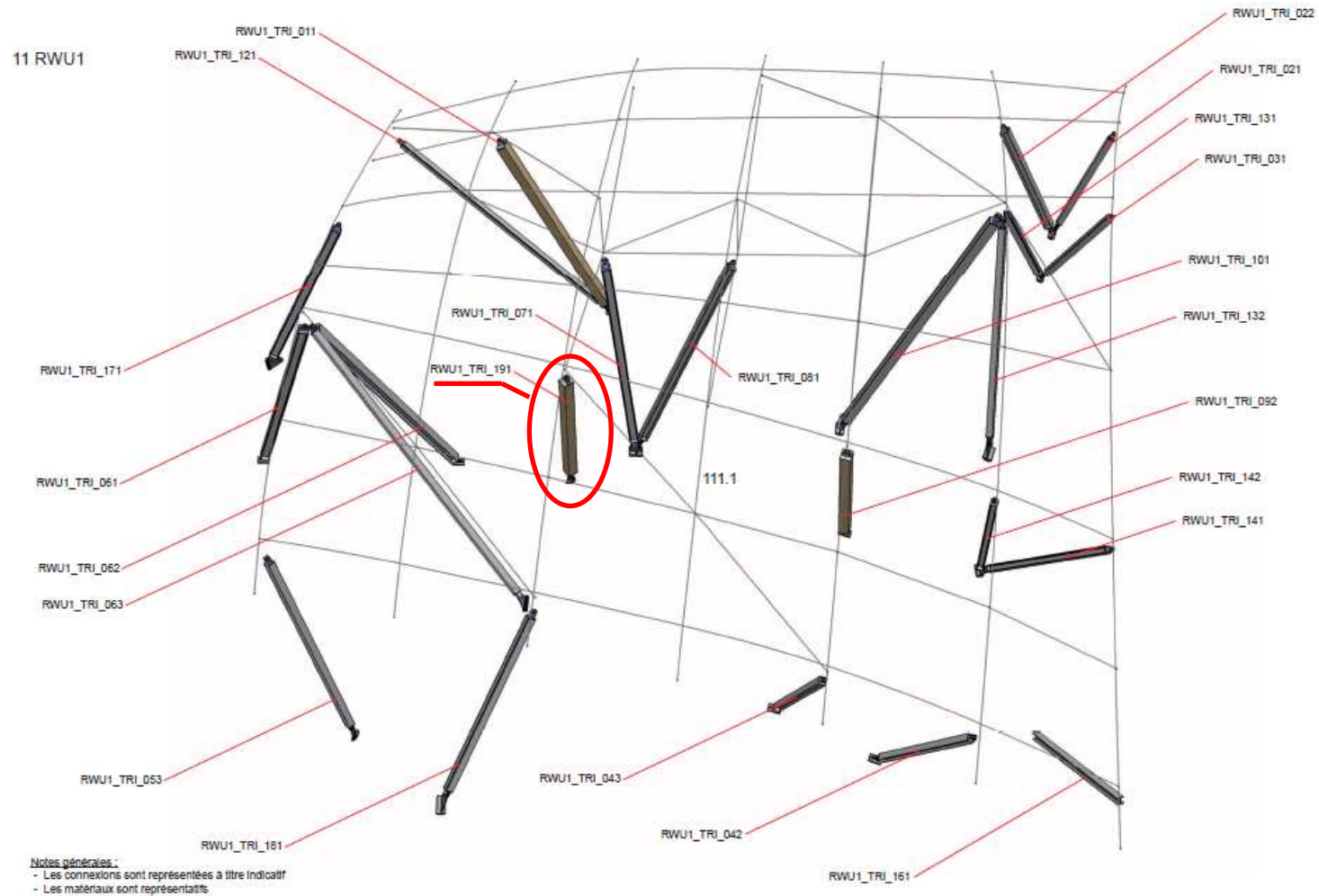
# Calcul de la réponse en temporel



## Exemple de résultats : verrière RWU1



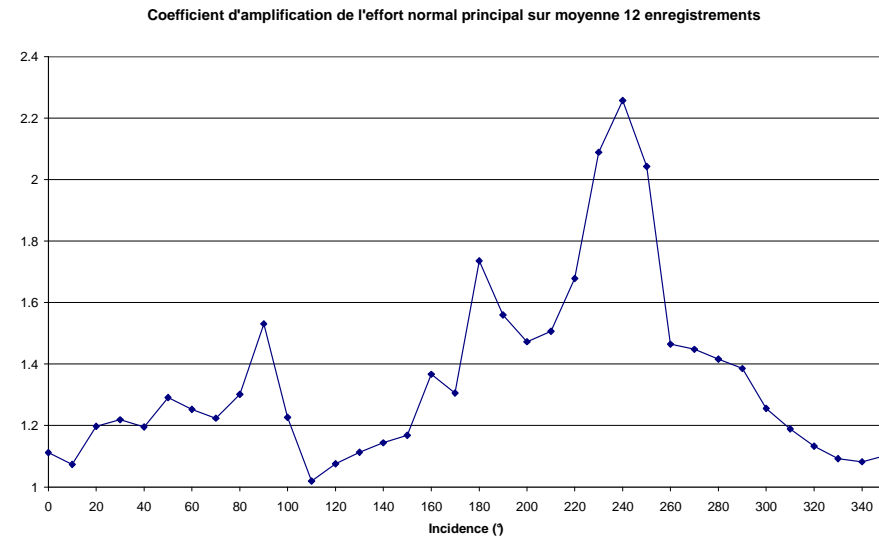
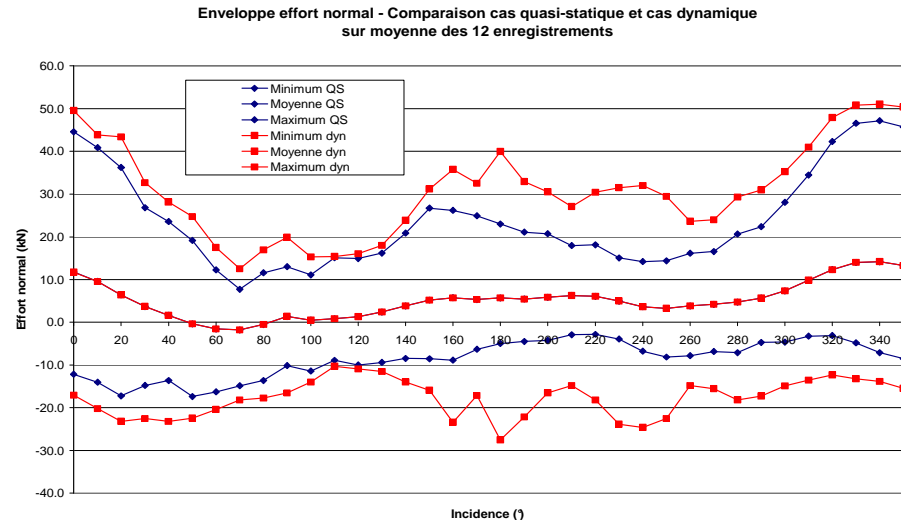
## Exemple de résultats : verrière RWU1



## Exemple de résultats : verrière RWU1

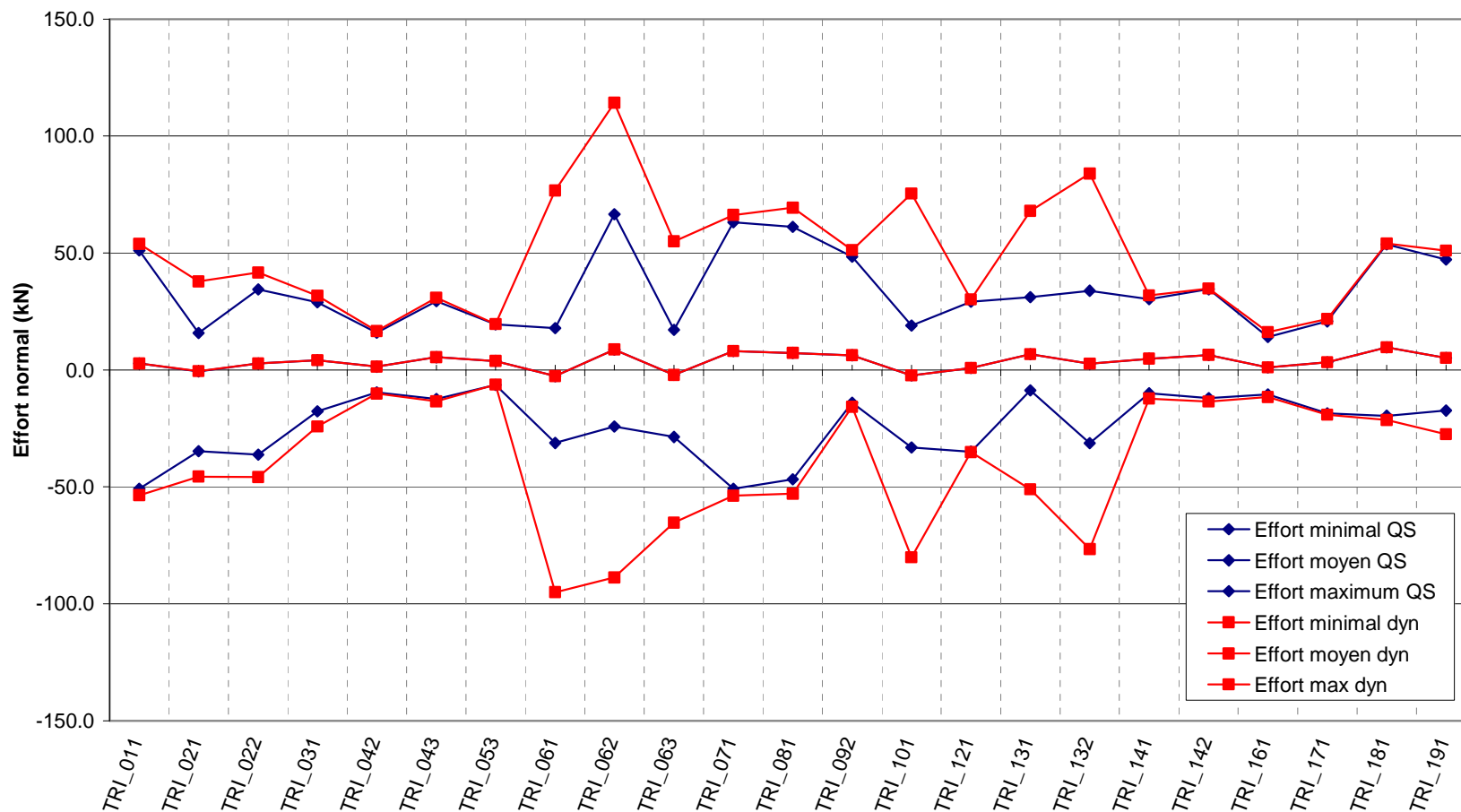
- Traitement des 36 incidences
- Traitement des 12 x 10 min d'enregistrement temporel
  - Moyenne des min / max sur 10 min (selon prescriptions Eurocode)
- Caractérisation de « l'amplification dynamique » : efforts normaux dans les tripodes

$$\alpha_{DYN} = \frac{N_{DYN}}{N_{QS}}$$



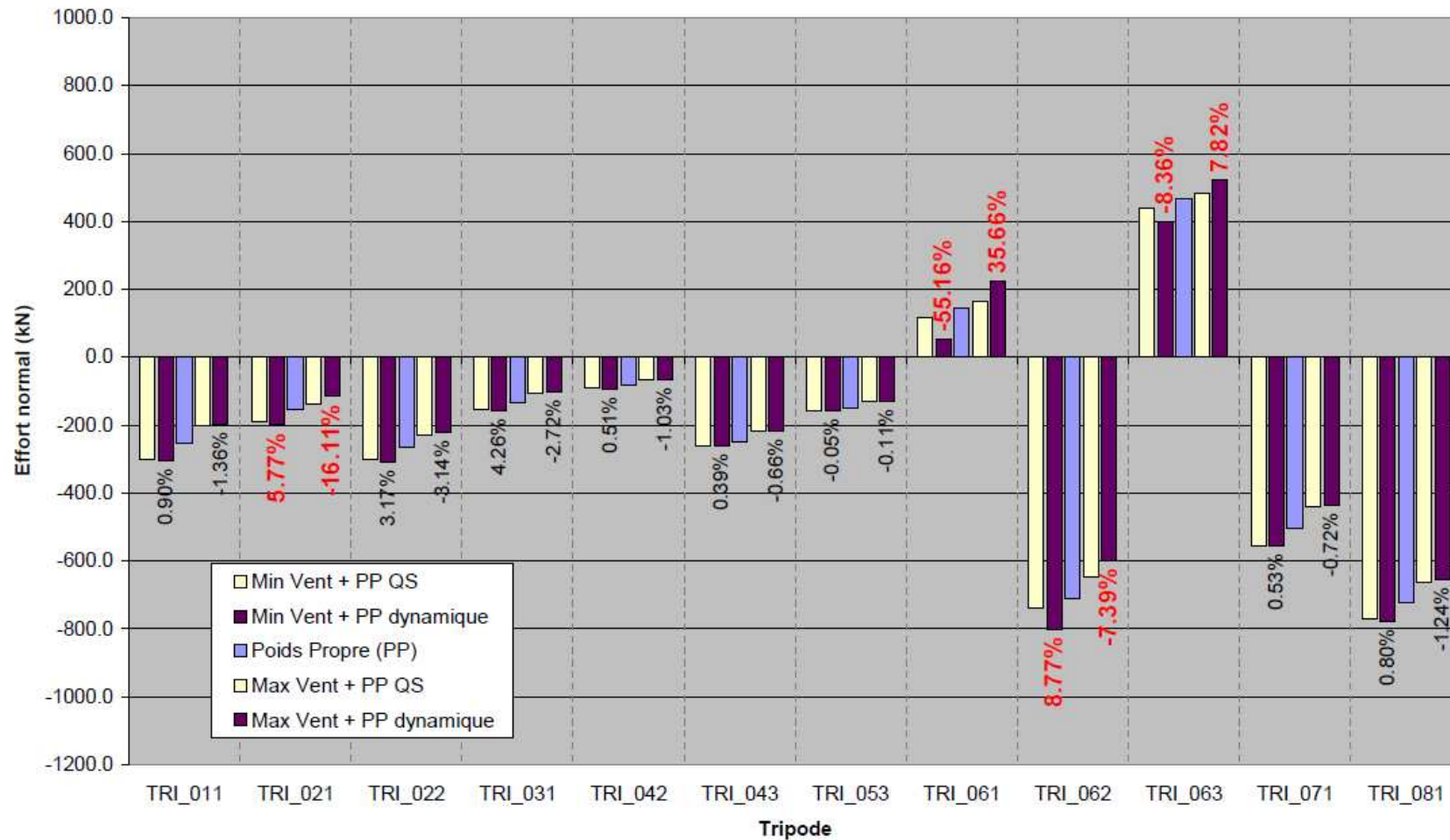
## Exemple de résultats : verrière RWU1

Enveloppe efforts normaux dans les tripodes Toutes Incidences Confondues  
 Comparaison cas quasi-statique et cas dynamique sur la moyenne des 12 enregistrements

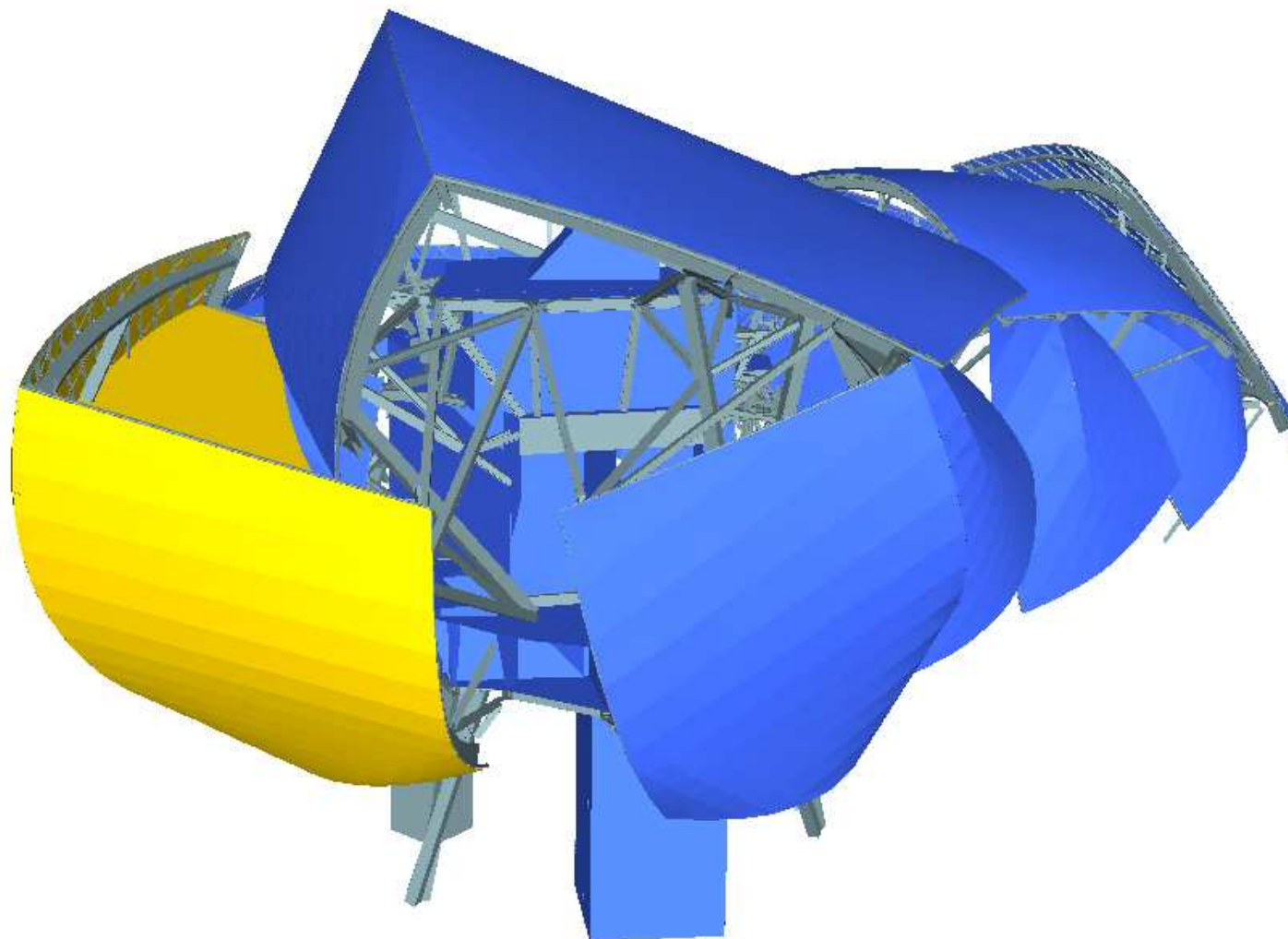


## Exemple de résultats : verrière RWU1

Effort normal dans les tripodes et variation relative entre cas statique et cas dynamique



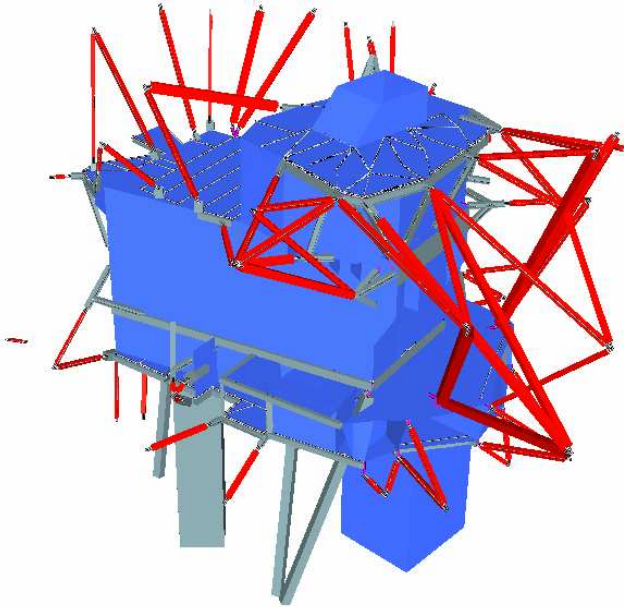
## Exemple de résultats : verrière SHU sur bloc Est



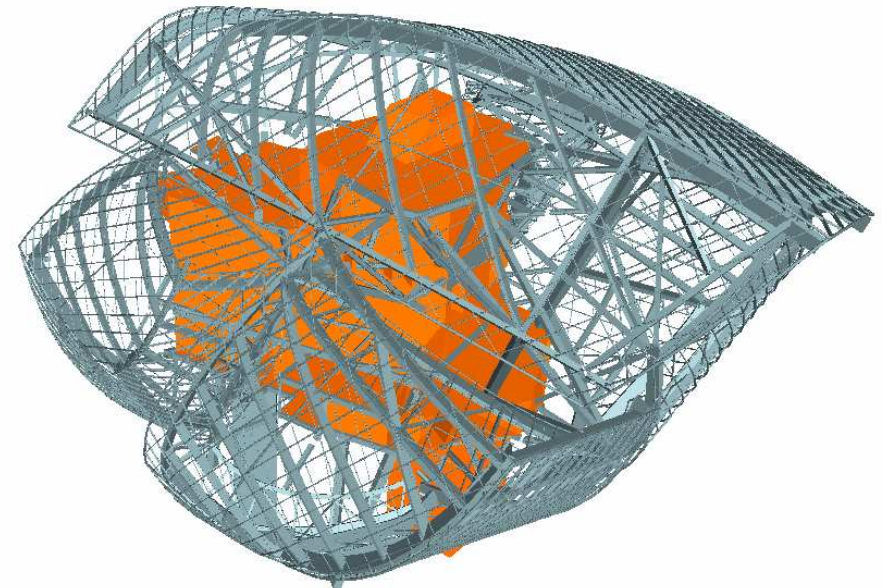
## Exemple de résultats : verrière SHU sur bloc Est

### Présentation de la structure du Bloc Est

Bloc Est + tripodes verrières

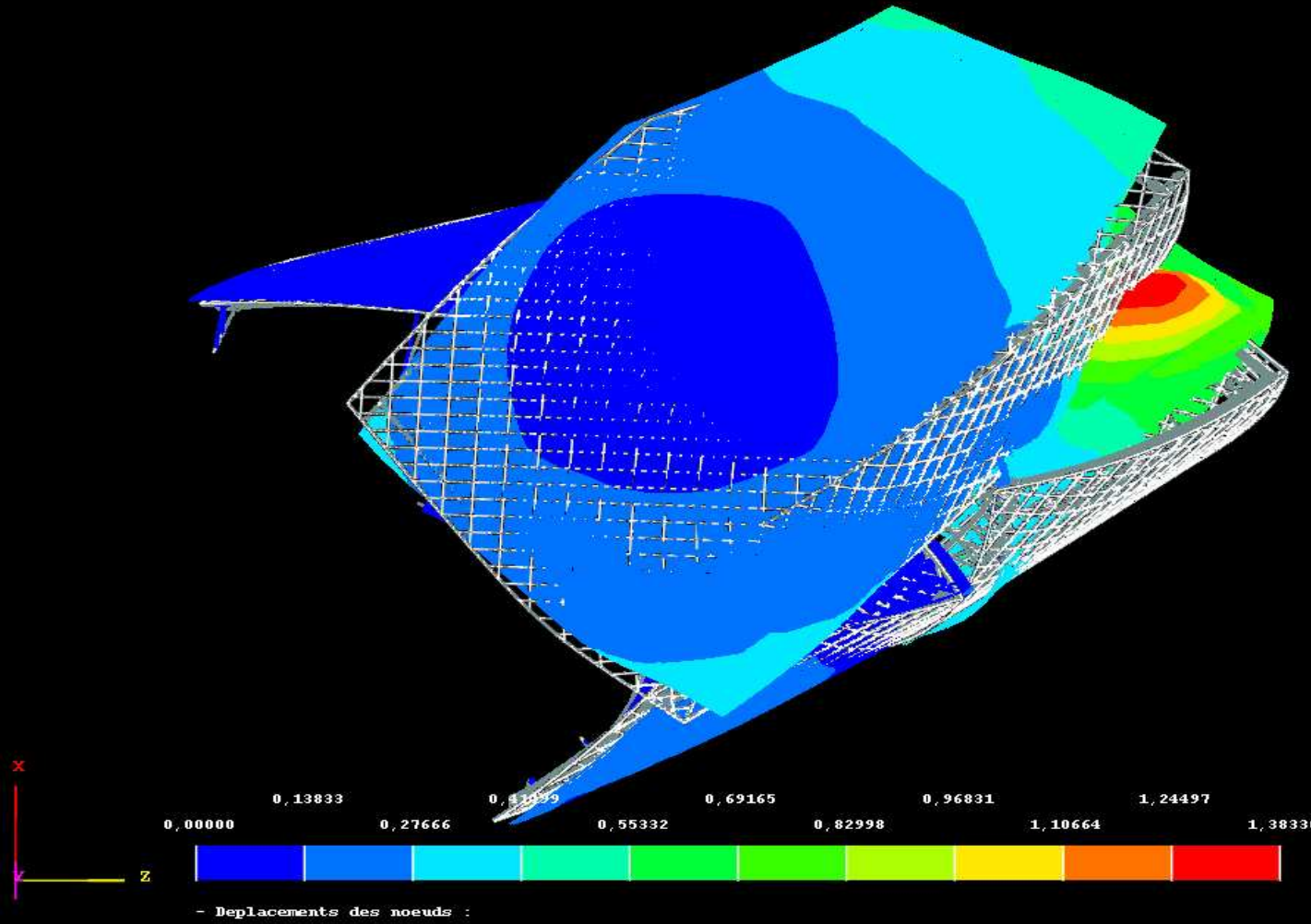


Bloc Est + verrières

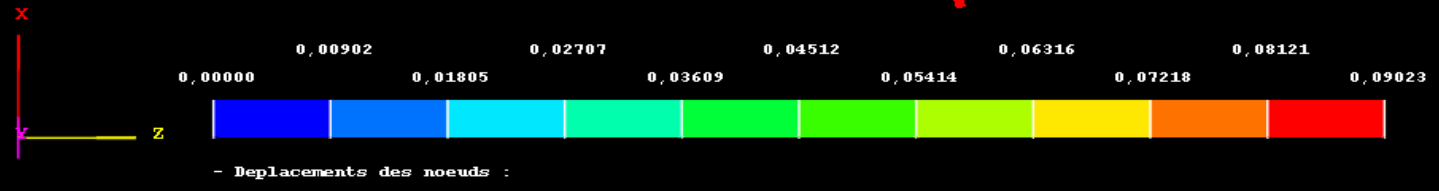
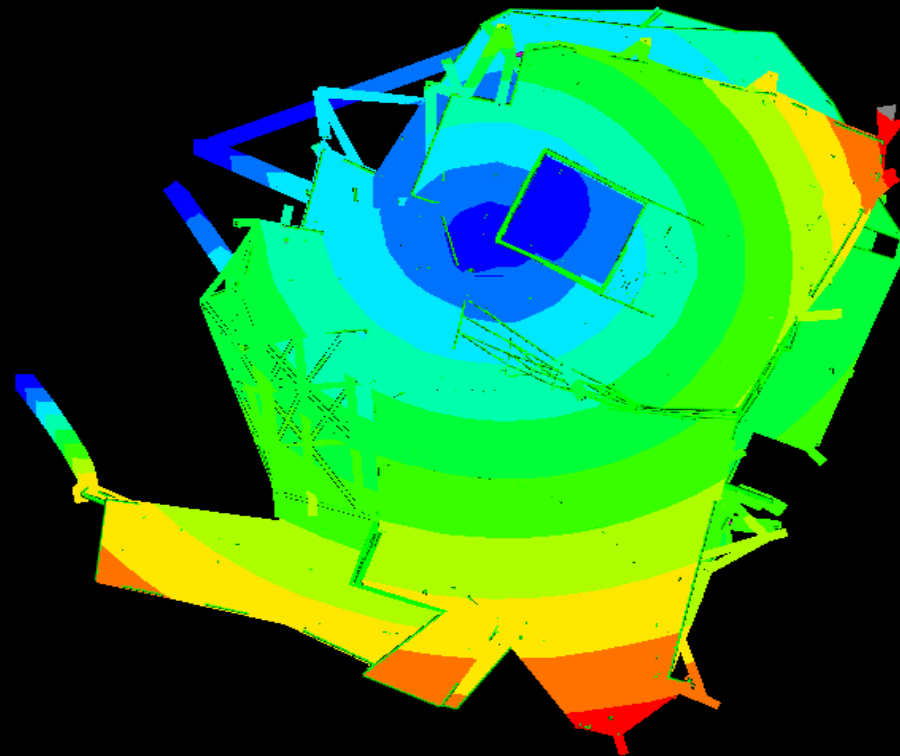


ANALYSE MODALE DU BLOC EST

MODE PROPRE NUMERO 1  
FREQ : 1.341 HZ, MGEN : 207.059 T

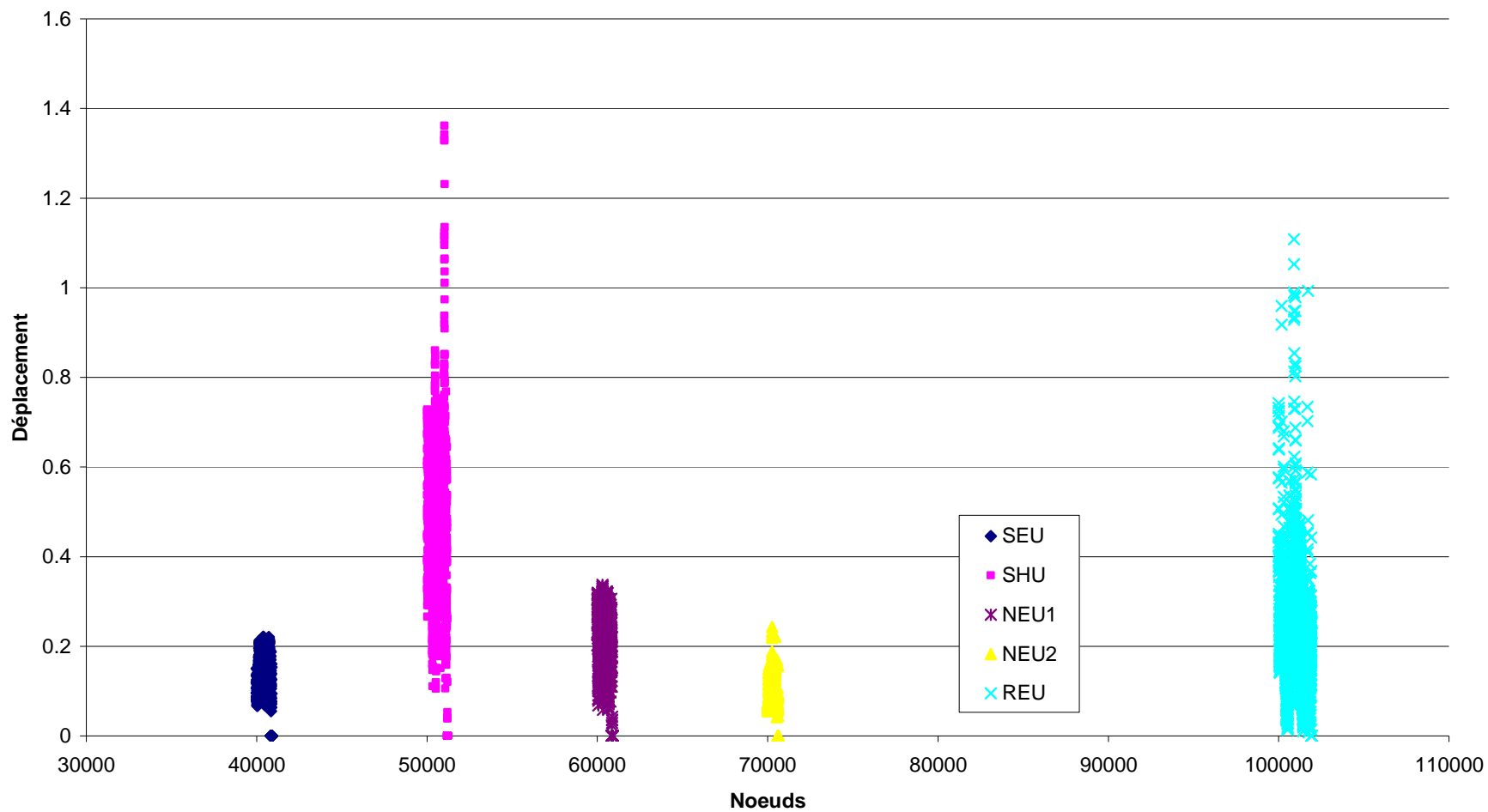


MODE PROPRE NUMERO 1  
FREQ : 1.341 HZ, MGEN : 207.059 T



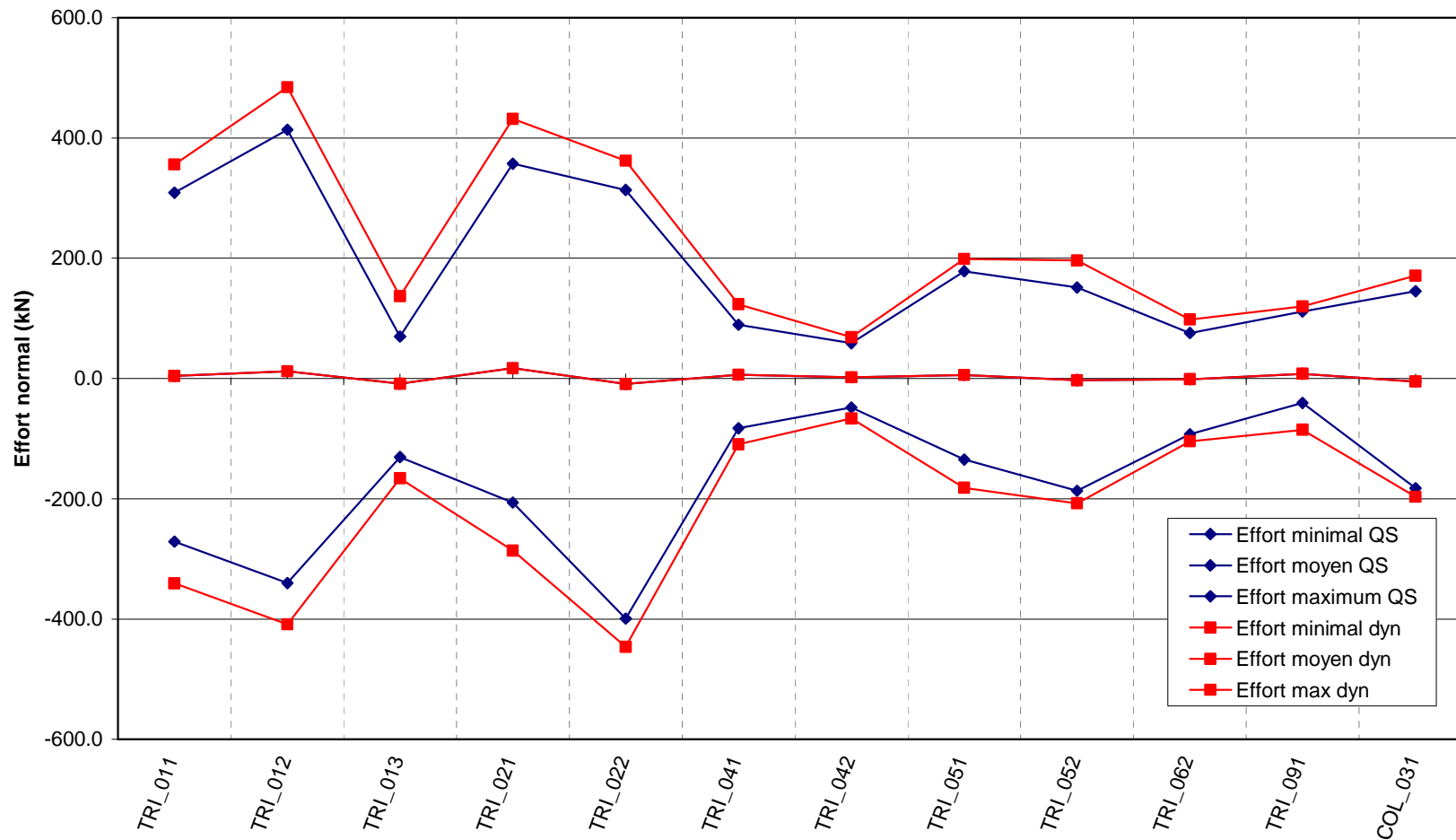
## Exemple de résultats : verrière SHU sur bloc Est

Déplacement absolu mode propre n°1



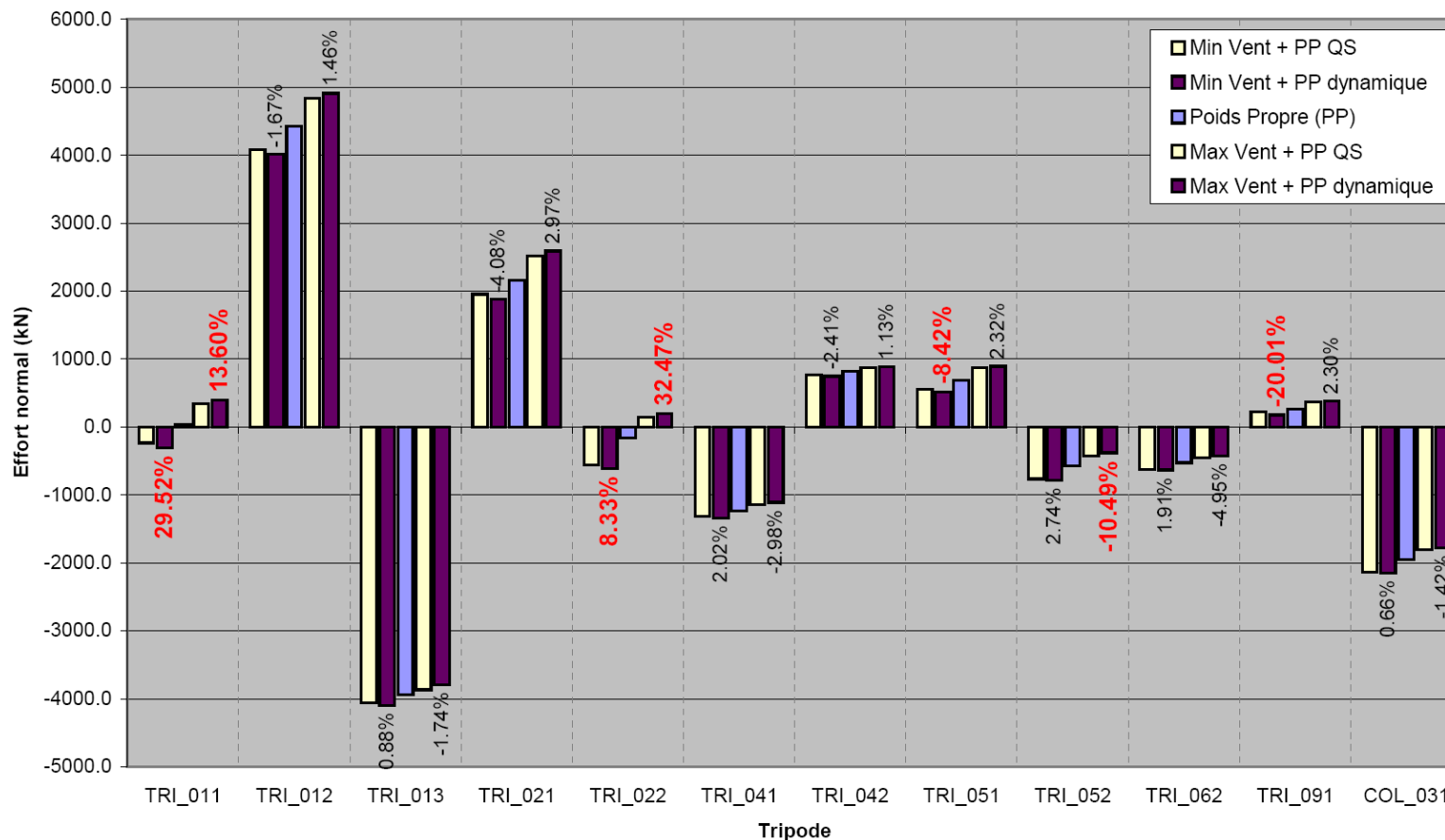
## Exemple de résultats : verrière SHU sur bloc Est

Enveloppe efforts normaux dans les tripodes Toutes Incidences Confondues  
 Comparaison cas quasi-statique et cas dynamique sur la moyenne des 12 enregistrements



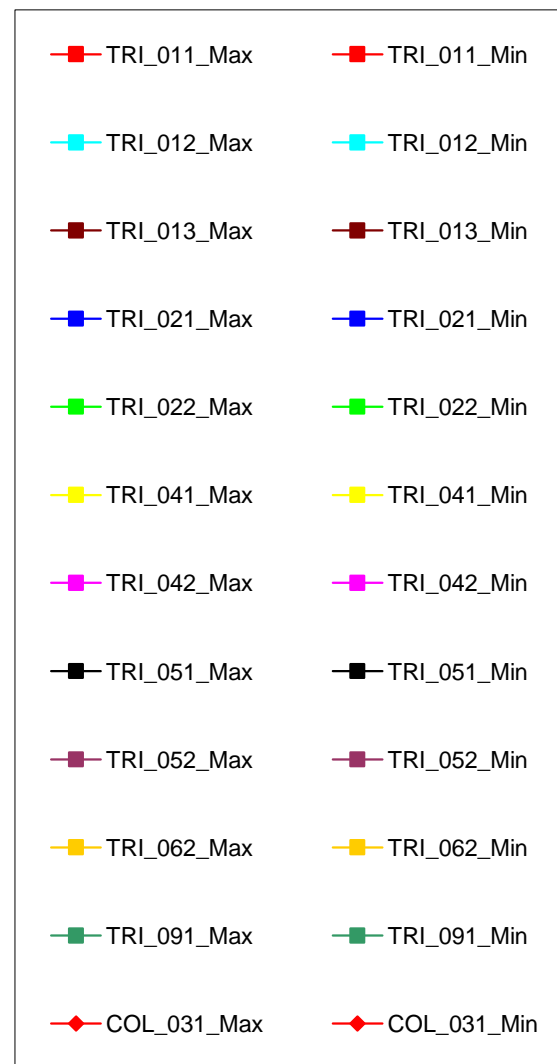
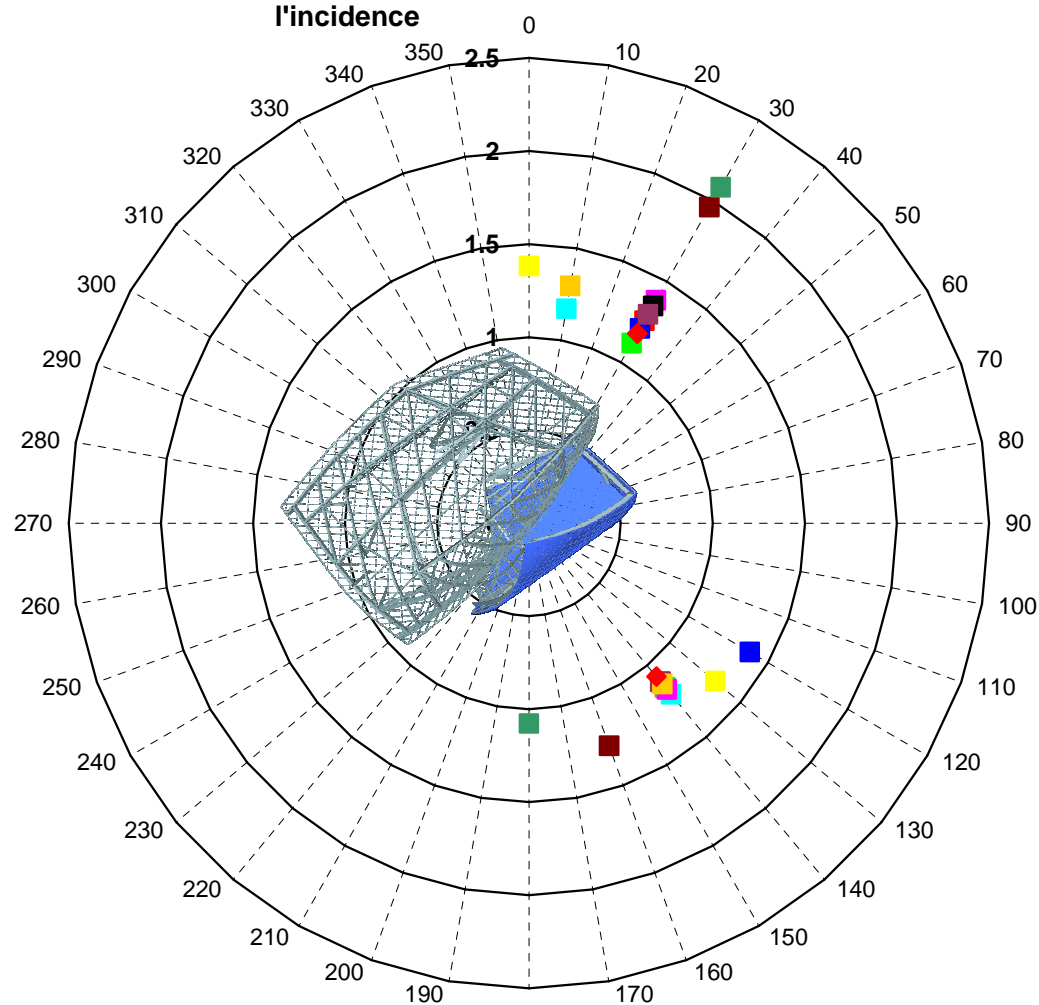
## Exemple de résultats : verrière SHU sur bloc Est

Effort normal dans les tripodes et variation relative entre cas statique et cas dynamique



## Exemple de résultats : verrière SHU sur bloc Est

Distribution des amplifications dynamiques dimensionnantes en fonction de l'incidence



## Conclusions

- Effets dus aux turbulences peuvent être importants, surtout si vent rasant.
- Ces effets doivent être ramenés aux autres charges sur la structure, comme les charges permanentes.

