

Amortissement d'ondes sismiques dans une tour à l'aide d'un pendule

*De quelle façon peut-on utiliser un oscillateur à masse
accordée dans l'architecture pour éviter qu'une tour ne
s'écroule?*

Présentation
de la tour
Taipei 101

Contraintes
géographique
Les solutions
apportées

Modélisation

Modèle
retenu

Manipulations

Présentation
des
différentes
manipulations

Première
maquette

Seconde
maquette

Comparaison
des résultats

Conclusion

Annexes

- ① Présentation de la tour Taipei 101
- ② Modélisation
- ③ Manipulations
- ④ Conclusions

Contraintes géographiques



Figure 1: Taipei 101

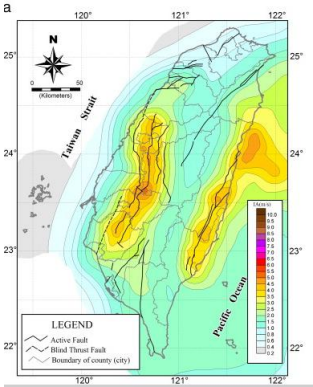


Figure 2: Taiwan: une zone sensible aux séismes

Les solutions apportées

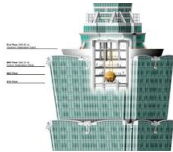


Figure 3: Positionnement du pendule dans la tour

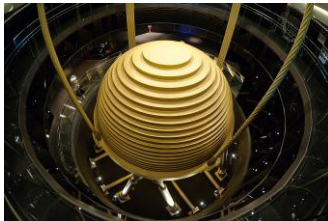


Figure 4: TMD

Le TMD en chiffres :

- sphère d'acier de 660T (0,24% du poids total de la tour);
- entre le 91^{eme} et le 87^{eme} étage;
- amortit entre 40% et 50% des mouvements;
- amplitude maximum : 1,5m.

Modèle retenu

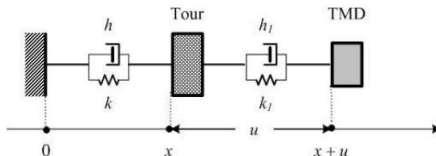


Figure 5: Modélisation du TMD

$$m\ddot{x} + m_1(\ddot{x} + \ddot{u}) = -kx + f_0(t)$$

- $\ddot{x}(t)$: élongation linéaire de la tour;
- $\ddot{u}(t)$: élongation linéaire du TMD;
- h, h_1 : coefficients de frottement;
- k, k_1 : constantes de raideur;
- ω_0 : pulsation propre de résonance de la tour;
- ω_1 : pulsation propre de résonance du TMD

Présentation des différentes manipulations

Objectifs :

- Fréquence de résonance;
- Amortissement;
- Effet du pendule selon différents paramètres.

Manipulations :

- Tâtonnement puis wobulation et mode propre;
- Réponse à un choc et/ou arrêt du GBF;
- Réitération avec le pendule.

Première maquette

- 1m × 15cm × 15cm.
- contreplaqué;
- montants de tiroirs;
- plastique;
- câble puis tige filetée et deux équerres;
- capteur : accéléromètre.

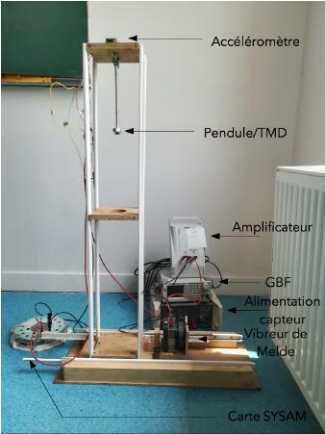


Figure 6: Première tour et montage permettant de l'exploiter

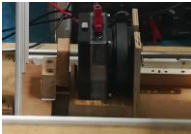


Figure 7: Liaison tour/vibreux

Résultats expérimentaux

sans pendule

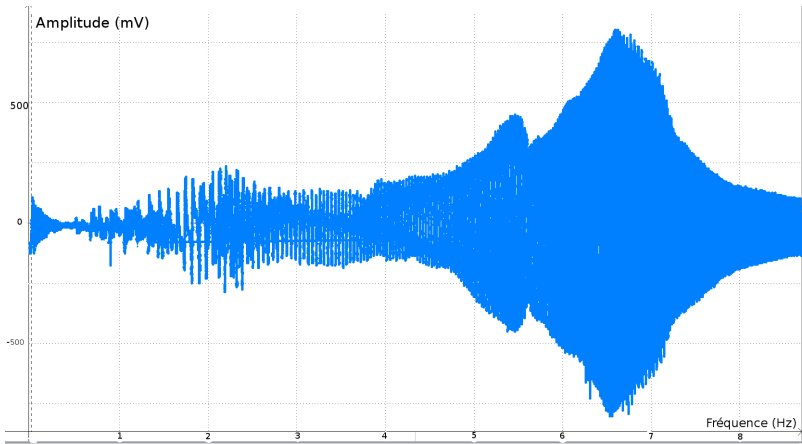


Figure 8: Réponse de la tour à une wobulation

Résultats expérimentaux

sans pendule

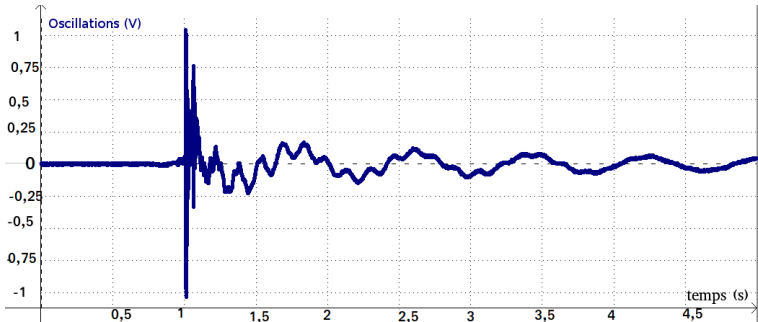


Figure 9: Amorti libre

Résultats expérimentaux

sans pendule

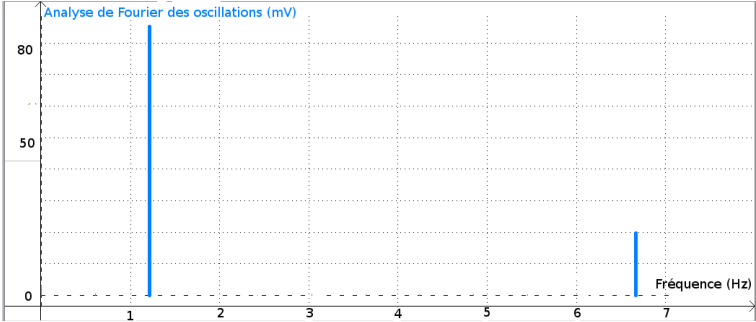


Figure 10: Analyse de Fourier de la mesure précédente

Résultats expérimentaux

avec pendule

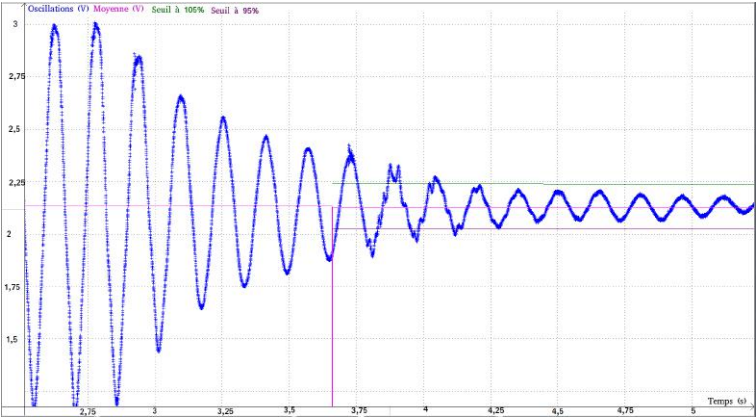


Figure 11: Amorti libre

Seconde maquette

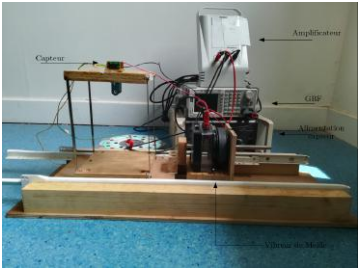


Figure 12: Montage deuxième maquette

- 20cm × 15cm × 15cm.
- Même structure de base, on change les montants par des réglets 20cm;
- capteur : accéléromètre.

Résultats expérimentaux

sans pendule

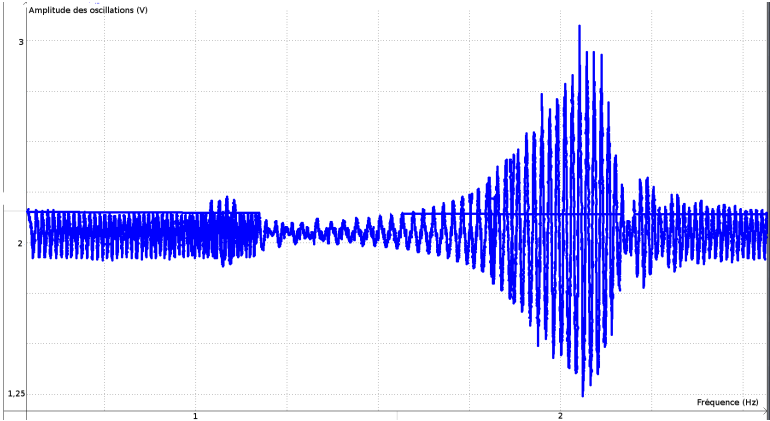


Figure 13: Réponse à une wobulation de la deuxième tour

Résultats expérimentaux

sans pendule

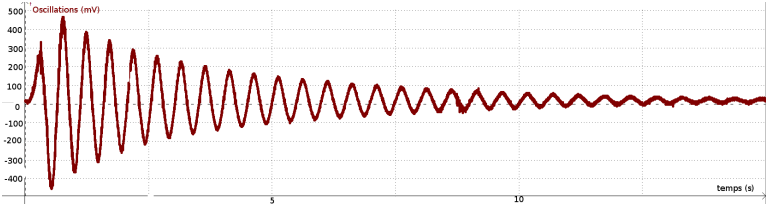


Figure 14: Amorti libre

Résultats expérimentaux

sans pendule

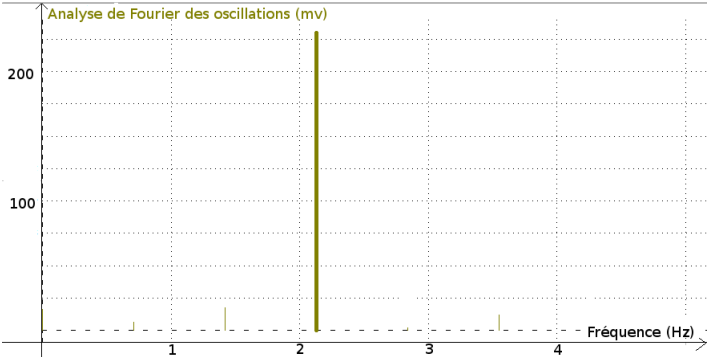


Figure 15: Analyse de Fourier du précédent signal

Résultats expérimentaux

avec pendule

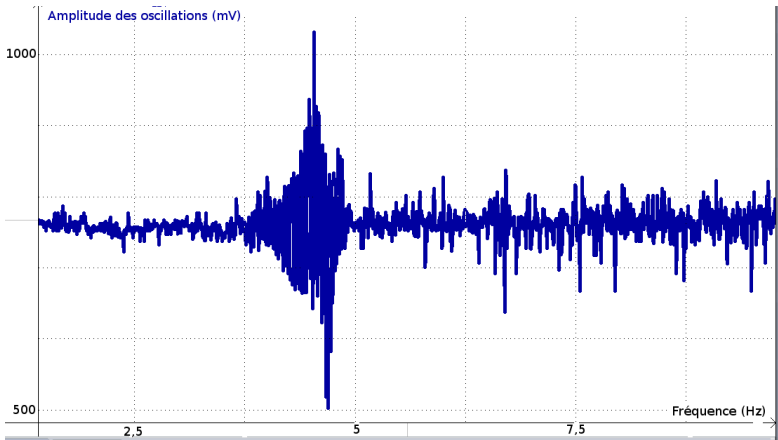


Figure 16: Réponse de la tour 2 à une wobulation

Résultats expérimentaux

avec pendule

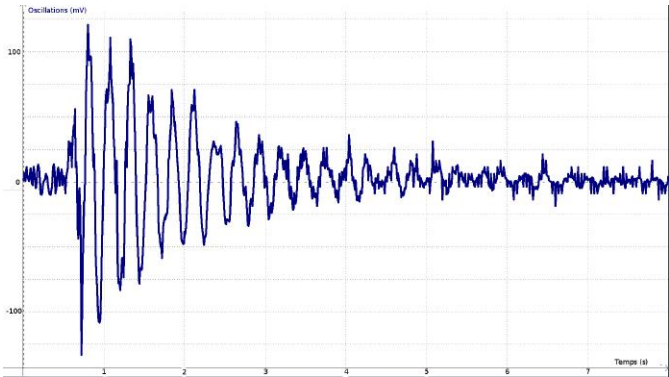


Figure 17: Amorti libre

Résultats expérimentaux

avec pendule

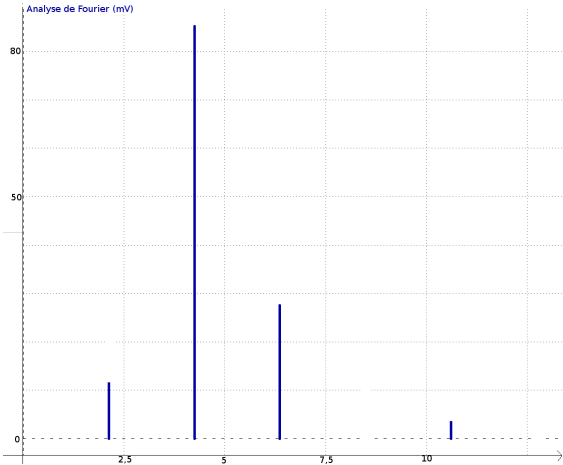


Figure 18: Analyse de Fourier du dernier signal

Comparaison des résultats

	temps d'amortissement	fréquence	amplitude maximale
Tour 1 sans pendule	$2,7s \pm 0,2$	$6,47Hz \pm 0,4$	7cm
Tour 1 avec pendule	$2,4s \pm 0,3$	$6,53Hz \pm 0,3$	7cm
Tour 2 sans pendule	$10,3s \pm 0,5$	$2,17Hz \pm 0,2$	5cm
Tour 2 avec pendule	$4,57s \pm 0,6$	$4,34Hz \pm 0,3$	2cm

Figure 19: Tableau comparatif des deux tours avec et sans pendule

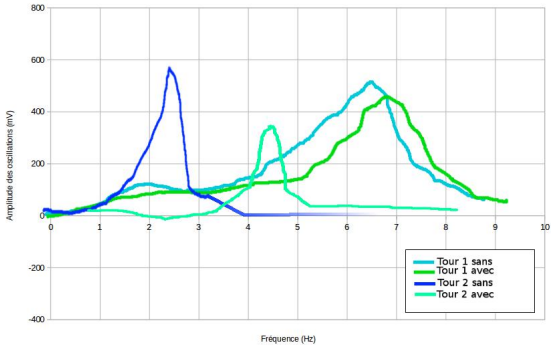


Figure 20: Allure des enveloppes

- Sortie de la plage de fréquences ?
- Retour à l'équilibre plus rapide ?
- Amplitude des oscillations plus petite ?
- Discussion sur la validité du modèle

Annexe 1

Calcul de la constante de raideur de la tour

- Première idée : $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$
Résultats (montants tour 2) : $k = 3,4 N.m^{-1}$ d'où
 $\omega_{0,tour} = \sqrt{\frac{4 \times k}{4m + m_{tour}}} = 0,2 rad.s^{-1}$
Conclusion : mauvaise méthode...
- Deuxième idée : coefficient de torsion
 $\omega_0 = \frac{c}{J} = 0,2 rad.s^{-1}$ où $J = \frac{1}{3} m h^2$
Par le premier théorème de König :
 $\vec{L}(0) = \vec{L}^* + \vec{OG} \wedge m \vec{v}(G) = m (OG)^2 \dot{\theta}$
D'où $\omega_{0,tour} = \sqrt{\frac{4 \times c}{4J + J_{tour}}} = 0,13 rad.s^{-1}$
Conclusion : toujours pas satisfaisant...
- Autre piste :
en réalité déformation en "S" donc plus complexe.

Deux types principaux :

- Piezoélectrique :
fonctionne avec un cristal, qui génère un potentiel quand soumis à une contrainte mécanique.
- Capacitif :
composé de deux conducteurs avec une paroi commune mobile qui change les valeurs des C.

$$C_i = \frac{\epsilon_0 \times S}{x_i}$$

- Présentation de la tour Taipei 101
 - Contraintes géographiques
 - Les solutions apportées
- Modélisation
 - Modèle retenu
- Manipulations
 - Présentation des différentes manipulations
 - Première maquette
 - Seconde maquette
 - Comparaison des résultats

```
1 def enveloppe(l):
2     enve=[[ ,]]
3     n=len(l)
4     for k in range(n):
5         if l[k][0]>l[k+1][0] AND l[k][0]>l[k-1][0]
6             enve=enve+[[l[k][0],l[k][1]]]
7     return enve
```

Figure 21: Code python utilisé



Figure 22: Premier "jet",
abandonné car tapait dans les
montants

Annexe 4

Pendules



Figure 23: Second jet



Figure 24: Arrangement pour
tour 2