

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

La tour Taipei 101 est une des plus hautes tours du monde et se situe dans un pays à haut risque sismique, il était donc nécessaire de mettre en place une méthode permettant la durabilité du projet. On trouve aujourd'hui dans la tour un pendule servant de système anti-résonnant.

Lors d'un séisme, le mouvement du sol se propage à la tour par une interface commune: il y a interaction entre ces deux milieux. Sans amortissement de ces ondes mécaniques, le bâtiment peut être amené à rompre.

Positionnement thématique (phase 2)

PHYSIQUE (Mécanique).

Mots-clés (phase 2)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Tour</i>	<i>Tower</i>
<i>Résonance</i>	<i>Resonance</i>
<i>Ondes sinusoïdales</i>	<i>Sinusoidal wave</i>
<i>Amortisseur à masse accordée</i>	<i>Tuned Mass Damper</i>
<i>Couplage d'oscillateurs</i>	<i>Oscillator coupling</i>

Bibliographie commentée

Dans notre figure d'urbanisation actuelle, les immeubles ont la cote et on les construit de plus en plus proches des nuages, défiant la gravité et autres exigences environnementales. Taipei 101, livré en 2004, est le quatrième plus haut gratte-ciel au monde. Il surplombe la ville de Taipei à Taiwan de ses quelques 510 mètres. Lors de sa conception, les architectes et ingénieurs ont dû faire face à des contraintes multiples pour assurer la solidité de la structure : dans un premier temps les bourrasques de vent qui, sur une telle surface ne sont pas négligeables et dans un second temps, plus rare mais néanmoins bien plus destructeur, les séismes[3]. Taiwan est en effet proche d'une faille sous marine, ce qui en fait une île à forte activité sismique. Le 6 février 2018, un tremblement de terre détruit six bâtiments, en 2016, c'est dix et c'est 1999 qu'un séisme de 7,6 sur l'échelle de Richter fait s'écrouler 18 000 maisons. C'est le neuvième séisme le plus dévastateur de l'histoire.[1]

Il a donc fallu mettre en place un système pour permettre d'insensibiliser la tour à ces ondes sismiques. Dans mon travail, je vais parler uniquement de comment amortir les ondes sismiques. Je laisse donc de côté l'utilisation de l'architecture pour renforcer un bâtiment, même si cette tour se répartit sur neuf étages en forme de pagode, charpente locale qui a déjà fait ses preuves pour ce genre de contraintes.[2]

Les ingénieurs ont alors choisi de mettre en place un amortisseur à masse accordée (souvent

appelé Tuned Mass Damper ou TMD, ou AMA). Il s'agit d'un pendule de 726 T (0,24% de la masse totale du building!) qui se balance au niveau du quatre-vingt-sixième étage[3]. On dit que ce pendule est "accordé" car les câbles et vérins auxquels la masse est reliée peuvent voir leur longueur, coefficients de frottement ou raideur et autres paramètres modifiés pour optimiser le système. Cela permet de choisir une fréquence pour laquelle les deux systèmes tour et pendule oscilleront avec un déphasage qui permettra de dissiper les énergies mécaniques[4].

Maintenant, pour pouvoir avoir une idée des échanges d'énergies qui opèrent au sein de l'AMA et aussi, entre autres, faire des calculs de fréquence de résonance, il a fallu modéliser le système {tour, TMD}. On peut représenter cet ensemble par deux oscillateurs unidimensionnels couplés et mis en mouvement par une force extérieure, ici les ondes sismiques[5][6]. Ces deux oscillateurs sont composés chacun d'un ressort (partie oscillateur) et d'une force de frottement fluide (partie amortisseur). Grâce à la mise en équation du système, on peut obtenir une formule pour calculer la fréquence de résonance, premier point important pour la manipulation.

Forte de cette modélisation, papier, j'ai voulu réaliser une maquette pour observer les phénomènes de résonance et d'amortissement[7]. J'ai choisi de représenter une tour carrée à deux étages en contreplaqué avec des montants en plastique souple. Je l'ai fixée sur un mécanisme de tiroir. N'ayant pas d'installation TAMARIS[2] à portée de main pour simuler le séisme, j'y ai attaché à l'horizontale un vibreur de Melde amplifié pour qu'il fasse coulisser la tour d'avant en arrière. D'où l'intérêt des montants de tiroir. Enfin, pour observer les mouvements de la tour, j'ai collé un accéléromètre sur le dernier étage[8].

Les buts des premières manipulations étaient de trouver une fréquence de résonance expérimentale de la tour à vide à l'issue d'un choc ou par wobulation, en plus de mesurer le temps d'amortissement sans pendule. Ensuite, un pendule a été mis en place sous l'étage du haut et différents paramètres (longueur, masse...) ont été testés pour améliorer le système d'amortissement, c'est à dire la vitesse de retour à l'équilibre. L'on pourra aussi réaliser des tests en soufflerie pour vérifier si le système est aussi à l'épreuve des rafales de vent.

Problématique retenue

Pour éviter que le bâtiment rompe sous l'effet de contraintes oscillatoires, on introduit un amortisseur à masse accordée. On cherchera à savoir comment il fonctionne et de quelles façons on peut l'utiliser dans l'architecture pour éviter qu'une tour s'écroule.

Objectifs du TIPE

Je me propose de :

1. comprendre l'action du TMD à travers des *modélisations*
2. réaliser la *maquette* d'une tour dont on obtiendra la *fréquence de résonance* de façon théorique et expérimentale;
3. *coupler à un pendule* cette tour qui tiendra lieu d'amortisseur à masse accordée :
 - a) permettre au système {tour+pendule} d'*amortir ses vibrations au plus vite* ;
 - b) pour éviter que l'amplitude des mouvements soit trop importante, ce qui pourrait engendrer

la casse, on veillera à ce que la *fréquence de résonance du système {tour+pendule}* soit hors des *fréquences classiques d'une onde provenant d'un tremblement de terre*.

Abstract

In order to avoid buildings crumbling in seismic areas, we have to address different issues such as oscillations amplitude, shock absorption time and resonance frequency. As in Taipei 101 tower, I chose to use a pendulum to answer such problematics. To witness its effects, I made two models of tower but the second one, because of its simplicity, worked better. After finding the right length and mass, I clearly saw a drop in the first two issues and that the resonance frequency of the whole system drifted to larger ones, showing that my work was on the right path.

Références bibliographiques (phase 2)

- [1] JACQUES MAZEAU : Petite encyclopédie des grandes catastrophes : *Acropole, 2006*
- [2] Y. PIGENET : Des bâtiments qui résistent aux séismes : *2005*,
<http://www.savoirs.essonne.fr/thematiques/la-terre/geophysique/des-batiments-qui-resistent-aux-seismes/>
- [3] DENNIS POON : Structural Design of Taipei 101, the World's Tallest Building : *2004*,
<http://global.ctbuh.org/resources/papers/download/1650-structural-design-of-taipei-101-the-worlds-tallest-building.pdf>
- [4] JEROME J. CONNOR : Introduction to Structural Motion Control : *Prentice Hall, 2002*
- [5] J.-P. PEREZ : Mécanique, Fondements et applications : *Masson, 1997*
- [6] SUJET MINES PHYSIQUE 2 MP : Grette-ciels et Tours : *2007*,
http://www.prepamag.fr/concours/pdf/enonces.pdf/2007/MP_PHYSIQUE_MINES_2_2007.enonce.pdf
- [7] SUJET OLYMPIADES DE PHYSIQUE : Passive Tuned Mass Damper, un sujet qui secoue pas mal (Comment faire de la physique à moindre coût) : *2015/2016*,
http://www.odpf.org/images/archives_docs/23eme/memoires/EquipeQ/memoire.pdf
- [8] GO TRONIC SARL : Notice de l'accéléromètre ACCM2G : <https://www.gotronic.fr/pj-541.pdf>

DOT

- [1] [Octobre 2017] : Après plusieurs idées de sujets, le choix se porte définitivement sur celui-ci.
- [2] [20 octobre 2017] : Le TMD et la tour forment un système d'oscillateurs ! Je trouve les premiers documents à ce sujet.
- [3] [27 novembre 2017] : Finalisation de la première maquette.
- [4] [30 novembre 2017] : Abandon de l'idée du pointage, décision de partir sur un accéléromètre.
- [5] [Janvier 2018] : Premières expérimentations avec un pendule. Le câble utilisé en temps que tel tape contre les montants.
- [6] [Février 2018] : Nouveau pendule ayant un mouvement plan. Pourtant, même en faisant varier la masse et la longueur, il n'a aucun effet.
- [7] [Mars 2018] : Mise en place de la seconde maquette. Les effets du pendule sont ceux attendus.

