

## Réduction des oscillations de bâtiments par la mise en place d'amortisseur à masse accordée

Lors de nos recherches pour le TIPE en rapport avec de grandes constructions, nous avons été marqués par la présence de masse pendulaire au sommet de certains buildings. Ce système qui permettrait de réduire les oscillations d'une tour nous est apparu assez surprenant, nous donnant envie d'en comprendre le fonctionnement.

Alors que des gratte-ciels de plus en plus haut sont construits partout dans le monde, la prise en compte des contraintes extérieures doit être intégrée au cœur du processus de conception. En effet, avec la hauteur, ces perturbations se révèlent menaçantes pour ces superstructures dont on ne peut envisager l'écroulement.

**Ce TIPE fait l'objet d'un travail de groupe.**

**Liste des membres du groupe :**

- *RICHARD Maxence*

### Positionnement thématique (ETAPE 1)

*SCIENCES INDUSTRIELLES (Génie Mécanique), PHYSIQUE (Physique de la Matière), INFORMATIQUE (Informatique pratique).*

### Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Gratte-ciel</i>	<i>Skyscraper</i>
<i>Module d'Young</i>	<i>Young's modulus</i>
<i>Modélisation viscoélastique</i>	<i>Viscoelastic modeling</i>
<i>Oscillateur harmonique amorti</i>	<i>Tuned mass damper</i>
<i>Méthode d'Euler</i>	<i>Euler's method</i>

### Bibliographie commentée

L'édification de gratte-ciels de plus en plus hauts dans les cœurs économiques des villes témoigne de deux dynamiques actuelles. Il y a à la fois un enjeu économique, un tel bâtiment regroupe de nombreux domaines d'activités (hôtellerie, commerces, appartements ou bureaux) et peut être en même temps une vitrine pour un grand groupe ou un symbole de puissance. En même temps, les contraintes géographiques liées à la volonté de construire au cœur des places d'activités économiques comme les quartiers d'affaires des grandes métropoles entraînent cette quête de hauteur pour optimiser l'espace disponible au sol [1].

Ces constructions d'exception nécessitent de relever de nombreux défis technologiques. Notamment la nécessité de surmonter les contraintes naturelles extérieures. On peut citer d'abord le vent et les

tempêtes, particulièrement à haute altitude. Pour cela, des designs aérodynamiques ont été imaginés pour améliorer l'écoulement du vent sur les parois de la structure [2]. Un autre défi majeur est lié aux séismes, réputés pour leur caractère destructeur ainsi que pour la complexité, voire l'impossibilité de prévoir leur arrivée. Cela nécessite une étude de résistance des bâtiments en amont de leur construction, à la fois en modélisant ce que subit la structure et sa réponse à la perturbation, pour pouvoir réfléchir à la conception de systèmes parasismiques [3,4].

Des méthodes actives et passives sont employées pour réduire l'effet des perturbations sur la tour. Plus précisément on cherche à :

Réduire l'accélération ressentie par les occupants

Dissiper l'énergie cinétique due aux mouvements de la tour pour atténuer les déplacements et réduire la durée d'oscillation du bâtiment

Éviter les résonances dues à une perturbation périodique (vent ou séisme par exemple) qui peuvent être particulièrement destructrices

Une des méthodes utilisées est l'emploi des AMA, acronyme d'amortisseurs à masse accordée ou TMD -tuned mass damper- dans leur appellation anglaise. Ce sont des masses auxiliaires placées généralement dans les étages supérieurs des grandes tours, qui oscillent lors des mouvements du bâtiment. Elles récupèrent ainsi de l'énergie cinétique qu'elles dissipent ensuite à travers des amortisseurs, permettant de réduire les oscillations de la tour. Cette masse est donc reliée au bâtiment par un système de ressorts amortisseurs et sa fréquence est choisie de manière à ce qu'elle oscille idéalement en opposition de phase avec la tour, augmentant son efficacité [2,5].

Une première modélisation de ces AMA présentée dans [6] permet une étude théorique de l'effet qu'a ce système dans la protection du bâtiment. Une approche fréquentielle révèle son utilité face à une excitation sinusoïdale. On peut alors optimiser le système pour augmenter son efficacité face à ce type de perturbation [2,5].

Ce travail autour de l'amortisseur suppose d'avoir modélisé en préalable le bâtiment ; en effet une étude précise de la structure et des matériaux utilisés est indispensable pour obtenir des résultats s'approchant au mieux de la réalité. Néanmoins, les modèles possibles pour chacun des éléments du bâtiment sont nombreux. Par exemple, la modélisation des matériaux peut aller d'un modèle simple utilisant seulement le module d'Young, jusqu'à un modèle viscoélastique bien plus complexe prenant en compte la dissipation de l'énergie dans les matériaux [7,8].

Différents approches sont de même possible pour modéliser la structure du bâtiment: l'édifice peut aussi bien être vu comme une unique console verticale que comme la mise en série et en parallèle d'un certain nombre de ces systèmes élémentaires. On peut ensuite améliorer le système en prenant en compte la présence de poutres transversales par exemple [3]. Cependant la fidélité du modèle allant de pair avec la complexité de sa résolution, il faut savoir trouver le compromis entre une

bonne modélisation de la structure et des matériaux et la possibilité de résoudre sans trop de difficultés le problème, que ce soit mathématiquement ou numériquement.

## Problématique retenue

Comment modéliser l'action d'un amortisseur à masse accordée sur un bâtiment ? Peut-on optimiser les caractéristiques d'un tel système pour améliorer son efficacité face à différentes perturbations ?

## Objectifs du TIPE

Visualiser et mesurer, avec une maquette, l'impact d'un amortisseur harmonique accordé sur une structure soumise à des contraintes extérieures.

Étudier les propriétés physiques de la structure et des matériaux pour dresser un modèle théorique du système expérimental.

Mettre en équation le système par analyse dynamique.

Rechercher des modèles permettant la généralisation de l'étude à un bâtiment réel.

## Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] CLARISSE DIDELON : Une course vers le ciel: mondialisation et diffusion spatio temporelle : *halshs-00598437*
- [2] IOANNIS KOURAKIS : Structural Systems and Tuned Mass Dampers of Super-Tall Buildings : Case Study of Taipei 101 : <http://hdl.handle.net/1721.1/38947>
- [3] ARCELOR MITTAL : Constructions parasismiques en acier : [https://constructalia.arcelormittal.com/files/Earthquake\\_EN--30417e866429d8b43c667cbab068084c.pdf](https://constructalia.arcelormittal.com/files/Earthquake_EN--30417e866429d8b43c667cbab068084c.pdf)
- [4] ANDRÉ PLUMIER : Conception parasismique dans le contexte de l'Eurocode 8, Chapitre 2 : Réponse élastique : <https://orbi.uliege.be/handle/2268/61649>
- [5] CONNOR, JEROME J. : Structural Motion Engineering, chapitre 4 : Intro to structural motion control : [https://engineering.purdue.edu/~ce573/Documents/Intro%20to%20Structural%20Motion%20Control\\_Chapter4.pdf](https://engineering.purdue.edu/~ce573/Documents/Intro%20to%20Structural%20Motion%20Control_Chapter4.pdf)
- [6] CONCOURS COMMUN MINES-PONTS : Gratte-ciels et tours : *sujet PHYSIQUE 2 MP 2007*
- [7] STEFANO BONELLI : Modèles Réhologiques et Lois de Comportement - Aide-mémoire : *hal-02608379*
- [8] JEAN-LOUIS BRETONNET : Détermination du module d'Young d'une poutre : *BUP n°936, volume 105, juillet-aout-septembre 2011, pages 873-880*

## DOT

- [1] *Septembre : Recherche du sujet et découverte de l'existence des amortisseurs à masse accordée en particulier avec l'exemple du gratte-ciel Taipei 101 à Taïwan.*
- [2] *La fabrication d'une maquette permettant les expériences et une première modélisation avec matlab sont réalisées entre début octobre et fin novembre.*

- [3] Des mesures sont effectuées en décembre sur la maquette. Les optimisations inspirées du sujet du CCMP sont mises en œuvre expérimentalement suivies des premières comparaisons entre le système simulé avec matlab et le système réel.
- [4] Recherches sur le module d'Young et sur les modèles viscoélastiques qui va permettre en février d'aboutir à une mise en équation du système. Modèle qui continuera à évoluer jusqu'en avril.
- [5] Mise en place d'une méthode numérique pour intégrer les équations trouvées. Puis détermination des constantes de notre maquette pour pouvoir la comparer au modèle.
- [6] Confrontation des résultats de l'expérience avec la modélisation numérique obtenue avec python qui valide l'approche envisagée.
- [7] Une optimisation des différents paramètres du système est réalisée grâce à la modélisation fin avril et début mai.
- [8] Transposition infructueuse des résultats à un bâtiment réel. Cela révèle les limites d'application du modèle