
Projet de MSMS Tuned Mass Damper du Taipei 101

By : Yutai ZHAO
Link to Github

Table des matières

1	Contexte	3
2	Résumé du projet	4
3	Introduction à TMD	5
4	Travail préliminaire et Modélisation	7
4.1	Rappel - Élément fini	7
4.2	Simplification du modèle	11
4.3	Abaqus	11
4.4	Les données du TMD	12
4.5	Modélisation	14
5	Simulations et Analyse	14
5.1	Simulations	14
5.2	Résultats	15
5.3	Analyse	17
5.4	Conclusion	17
6	Référence	17

1 Contexte

Taiwan, une île aussi connue sous le nom de Formose, ce qui signifie "belle île" en portugais. Ce nom est donné par les marins portugais au XVI^e siècle, grâce à ses paysages magnifiques.

Cependant, en raison de sa position géographique, Taiwan est souvent affecté par des tremblements de terre et des typhons. En effet, il est situé sur la ceinture sismique du Pacifique, avec une activité sismique fréquente : en moyenne, environ 100 tremblements de terre se produisent chaque jour, et il y a environ 2,8 séismes de magnitude supérieure à 6 chaque année. De plus, Taiwan se trouve sur la trajectoire des typhons du nord-ouest du Pacifique, avec en moyenne 3 à 5 typhons touchant l'île chaque année.



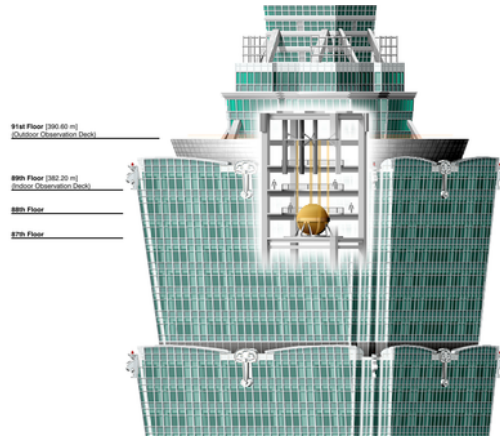
FIGURE 1 – Taiwan

Taipei 101 est un gratte-ciel localisé à Taiwan, haut de 508 m et comptant 101 étages, il était le plus grand gratte-ciel du monde de 2004 à 2010.



FIGURE 2 – Taipei 101

La tour est conçue pour résister aux typhons et aux tremblements de terre, pour ce faire, une boule d'acier de 660 kilo tonnes est suspendue du 91e jusqu'au 87e étage de la tour et sert d'amortisseur harmonique, elle permet d'assurer la stabilité de la tour.



(a) TMD dans la tour



(b) TMD en photo

FIGURE 3 – TMD

2 Résumé du projet

Dans ce projet, nous nous intéresserons à cet amortisseur, appelé TMD. L'idée initiale est de faire une modélisation 100% réaliste de l'amortisseur, avec les données du Ministère de l'Intérieur de Taïwan. Mais au cours de la recherche des données et de la manipulation d'Abaqus, j'ai rencontré deux problèmes essentiels : 1. Certaines informations très détaillées ne sont pas données (eg. les distances entre les petites poutres). 2. Le maillage du modèle dépasse 1000 nœuds, ce qui atteint la limite de la version étudiante. De plus, la version étudiante limite aussi la possibilité d'exploiter la géométrie pour la transférer à un autre logiciel. Je suis ainsi amené à simplifier le modèle en gardant au maximum les caractéristiques de la structure réelle. Étant donné que ces travaux préliminaires prennent un temps considérable, nous allons dédier une section pour présenter ces préparations. Dans ce projet, nous allons étudier l'effet du TMD lorsqu'une pression est appliquée à la structure.

3 Introduction à TMD

L'Amortisseur harmonique appelé Tuned Mass Damper, que l'on notera TMD est composé de 3 éléments essentiels :

- Une masse, comme une boule très lourde
- Une ou des câbles qui suspendent cette masse, forme un pendule
- Des amortisseurs qui relient la masse avec le bâtiment

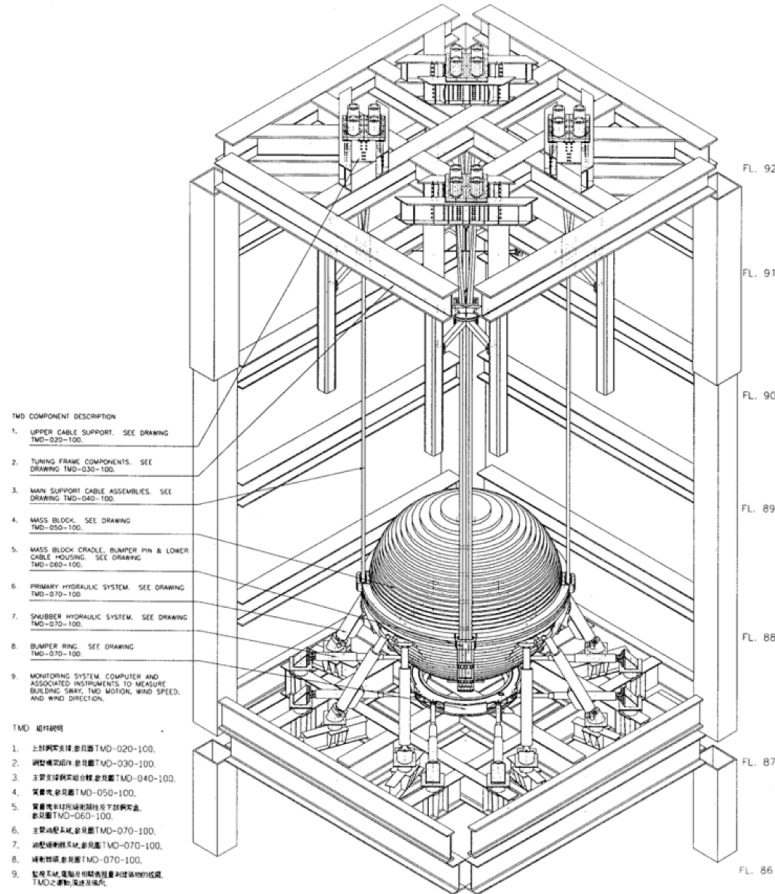


FIGURE 4 – Structure de TMD

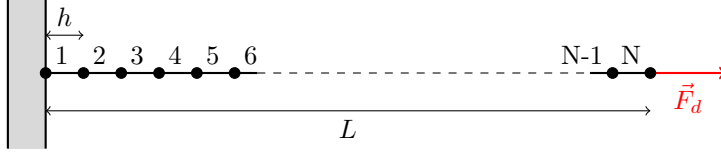
Dans le cas de Taipei 101, ces trois éléments sont effectivement présents : une boule qui pèse 660 kilotonnes, suspendue par huit câbles et liée à huit primary viscous dampers(PVD).

Mais en plus de cela, pour éviter que l'amplitude de la vibration de la boule ne devienne excessive sous l'effet des vents forts ou des séismes, un anneau est placé en dessous de la boule et une tige est attachée sous la boule. Si l'amplitude d'oscillation de la boule dépasse 1,0 m, la tige située sous la boule entrera en contact avec l'anneau. Cet anneau est lié à huit snubber dampers afin de limiter le mouvement de la boule.

4 Travail préliminaire et Modélisation

4.1 Rappel - Élément fini

Pour étudier le TMD, nous allons discrétiser la structure en utilisant la technique de l'élément fini. Étant donné la complexité du problème en 3D, nous allons présenter un exemple très simple en 1D, illustrant l'application de l'élément fini ainsi que le système final à résoudre. Cela permet de faire un rappel théorique, en établissant un lien entre le cours de MSMS et les notations utilisées dans le cours d'IMMC.



Maintenant, nous discrétisons la barre à N éléments, qui a $n = N + 1$ nœuds, et une distance identique $h = \frac{L}{N}$ entre chaque paire de nœuds voisins.

Approchons le déplacement admissible, noté $w(x)$, au sein d'un élément ayant 2 nœuds x_1, x_2 dont les déplacements nodaux sont d_1, d_2 . En supposant que le déplacement est linéaire, on a :

$$w(x) = \alpha_0 + \alpha_1 x$$

Ainsi :

$$w(x_1) = \alpha_0 + \alpha_1 x_1 = d_1$$

$$w(x_2) = \alpha_0 + \alpha_1 x_2 = d_2$$

En résolvant ce système, on a les valeurs de α_0, α_1 :

$$w(x) = \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} \cdot d_1 + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \cdot d_2$$

Sachant que la longueur d'un élément est $h = x_2 - x_1$, on a l'équivalence :

$$w(x) = \left(1 - \frac{x}{h}\right) \cdot d_1 + \frac{x}{h} \cdot d_2$$

Ensuite, dans le cas 1D, la déformation est simplement définie comme :

$$\epsilon = \frac{1}{2}(\nabla w(\vec{x}) + (\nabla w(\vec{x}))^T) = \frac{1}{2}\left(\frac{dw(x)}{dx} + \frac{dw(x)}{dx}\right) = \frac{dw(x)}{dx} = \frac{d_2 - d_1}{h}$$

En utilisant la loi de comportement, nous avons la contrainte :

$$\sigma = E \cdot \epsilon = E \cdot \frac{d_2 - d_1}{h}$$

Energie potentielle de l'élément correspondant à un déplacement admissible $w(x)$:

$$J(w) = \frac{1}{2} \cdot \int_{\Omega} \epsilon : E : \epsilon d\Omega - \int_{\Omega} f_d \cdot w d\Omega - \int_{\delta_2 \Omega} F_d \cdot w d\Gamma$$

Insérons l'approximation et appliquons-la au cas 1D, sachant que $f_d = 0$:

$$J(w) = \frac{1}{2} \cdot \int_{\Omega} \epsilon : E : \epsilon d\Omega - \int_{\delta_2 \Omega} F_d \cdot w d\Gamma$$

— Pour les éléments 1 à $n-1$:

$$J(w) = \frac{1}{2} \cdot \int_{x_1}^{x_2} E \epsilon^2 A dx$$

— Pour l'élément n :

$$J(w) = \frac{1}{2} \cdot \int_{x_1}^{x_2} E \epsilon^2 A dx - F_d \cdot w(x = x_2)$$

En effet, puisque F_d est sur le deuxième nœud x_2 du dernier élément N :

$$\int_{\delta_2 \Omega} F_d \cdot w d\Gamma = \int_{x_1}^{x_2} F_d \cdot w(x) \cdot \delta(x - x_2) dx = F_d \cdot \int_{x_1}^{x_2} w(x) \cdot \delta(x - x_2) dx$$

Où δ est la fonction delta de Dirac, ayant la propriété :

$$\int_{x_1}^{x_2} f(x) \cdot \delta(x - x_2) dx = f(x_2)$$

On a :

$$\int_{\delta_2 \Omega} F_d \cdot w d\Gamma = F_d \cdot \int_{\delta_2 \Omega} w d\Gamma = F_d \cdot w(x = x_2)$$

Sous forme matricielle, définir le vecteur des déplacements nodaux $\vec{d} = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \end{bmatrix}$, et la fonction de forme

$\mathbf{N} = \begin{bmatrix} \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} & \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \end{bmatrix}$. Donc $w(x) = \mathbf{N} \vec{d}$, $\epsilon = \mathbf{B} \vec{d}$, $\sigma = E \mathbf{B} \vec{d}$. Alors :

— Pour les éléments 1 à $n-1$:

$$J_{1 \dots n-1}(\vec{d}) = \frac{1}{2} \vec{d}^T \left[\int_{x_1}^{x_2} \mathbf{B}^T E \mathbf{B} \cdot A dx \right] \vec{d}$$

— Pour l'élément n :

$$J_n(\vec{d}) = \frac{1}{2} \vec{d}^T \left[\int_{x_1}^{x_2} \mathbf{B}^T E \mathbf{B} \cdot A dx \right] \vec{d} - F_d \cdot d_2$$

Voyons quelle est la matrice pour un élément linéaire 1D :

$$\mathbf{K} = \int_{x_1}^{x_2} \mathbf{B}^T E \mathbf{B} \cdot A dx$$

Rappelons que $\mathbf{B} = \frac{d\mathbf{N}}{dx} = \frac{1}{x_2 - x_1} \begin{bmatrix} -1 & 1 \end{bmatrix}$. D'où :

$$\mathbf{B}^T E \mathbf{B} A = \left(\frac{1}{x_2 - x_1} \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix} \right) E \left(\frac{1}{x_2 - x_1} [-1 \quad 1] \right) A$$

Cela devient

$$\mathbf{B}^T E \mathbf{B} A = \frac{EA}{(x_2 - x_1)^2} \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix} [-1 \quad 1] = \frac{EA}{(x_2 - x_1)^2} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} = \frac{EA}{h^2} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$$

En supposant que E et A sont constants. Ainsi :

$$\mathbf{K} = \int_{x_1}^{x_2} \mathbf{B}^T E \mathbf{B} \cdot A dx = \mathbf{B}^T E \mathbf{B} A \int_{x_1}^{x_2} dx = \mathbf{B}^T E \mathbf{B} A = \frac{EA}{h^2} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} (x_2 - x_1) = \frac{EA}{h^2} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} h$$

Appliquons le principe d'énergie potentielle minimale :

$$\frac{\partial J_{1..N-1}(\vec{d})}{\partial \vec{d}} = \mathbf{K} \vec{d} = 0$$

$$\frac{\partial J_N(\vec{d})}{\partial \vec{d}} = \mathbf{K} \vec{d} - \begin{bmatrix} 0 \\ F_d \end{bmatrix} = 0$$

En considérant la réaction, notée f_1 , au nœud x_1 au 1er élément, on a :

— Élément 1 :

$$\mathbf{K} \vec{d} = 0 + \begin{bmatrix} f_1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

— Élément 2 à $N - 1$:

$$\mathbf{K} \vec{d} = 0$$

— Élément N :

$$\mathbf{K} \vec{d} = \begin{bmatrix} 0 \\ F_d \end{bmatrix}$$

Assemblage

La barre de longueur L contient N éléments finis. Un élément fini a 2 nœuds et la longueur d'un l'élément est h , le nombre total de nœuds est n . Considérons les deux nœuds voisins d'un élément.

Nous travaillons en 1 dimension (x) :

Ainsi, la matrice de rigidité élémentaire pour un élément e donné est :

$$K^e = \frac{EA}{h} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$$

La taille du système de la barre est $(DOF \times n) \times (DOF \times n) = (1 \times n) \times (1 \times n)$, donc la matrice

de rigidité globale de la barre s'écrit :

$$K = \frac{EA}{h} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 2 & \cdot & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdot & \cdot & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \end{bmatrix}_{n \times n}$$

Déplacements :

$$u = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \cdot \\ u_{n-1} \\ u_n \end{bmatrix}_{n \times 1}$$

Forces nodales :

$$f = \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \cdot \\ f_{n-1} \\ f_n \end{bmatrix}_{n \times 1}$$

Après avoir considéré les conditions limites, le déplacement du premier noeud du premier élément est bloqué, il est donc égal à 0, et on sollicite une force F_d sur le second noeud du dernier élément, donc :

$$\frac{EA}{h} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 2 & \cdot & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdot & \cdot & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \end{bmatrix}_{n \times n} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ u_2 \\ \cdot \\ u_{n-1} \\ u_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1 \\ 0 \\ \cdot \\ 0 \\ F_d \end{bmatrix}$$

Élimination directe des DOF

Nous pouvons simplement réduire le système en éliminant la ligne et la colonne correspondantes où $u_1 = 0$. Ainsi :

$$\frac{EA}{h} \cdot \begin{bmatrix} 2 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & \cdot & \cdot & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cdot & \cdot & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \end{bmatrix}_{(n-1) \times (n-1)} \cdot \begin{bmatrix} u_2 \\ \cdot \\ u_{n-1} \\ u_n \end{bmatrix}_{(n-1) \times 1} = \begin{bmatrix} 0 \\ \cdot \\ 0 \\ F_d \end{bmatrix}_{(n-1) \times 1}$$

4.2 Simplification du modèle

Revenons à notre modèle de TMD. En raison de la limite de la version étudiante d'Abaqus, nous devons simplifier notre modèle, et voici la géométrie finale :

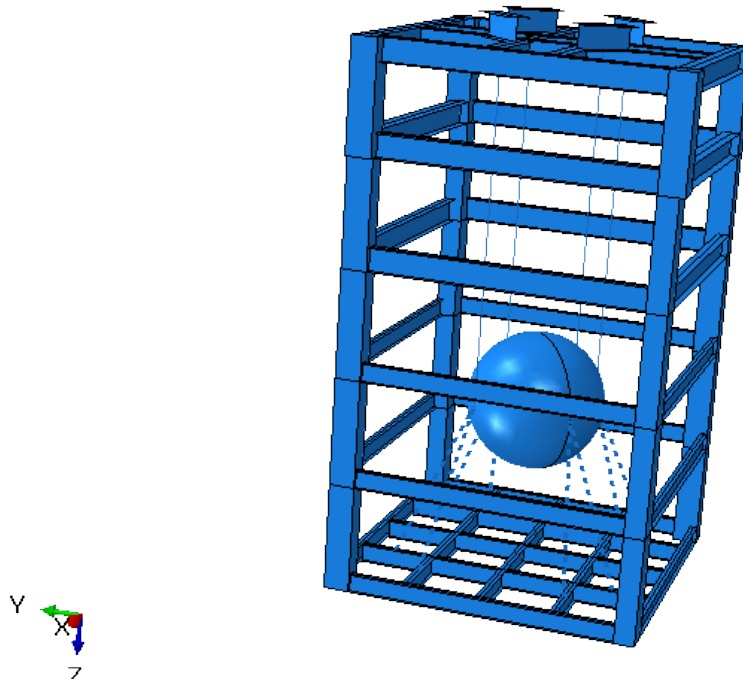


FIGURE 6 – Modèle simplifié

Nous pouvons consulter Fig.4 pour faire une comparaison avec la géométrie initiale.

4.3 Abaqus

La version étudiante d'Abaqus non seulement limite le nombre de nœuds à 1000, mais il est aussi impossible d'exploiter la géométrie construite pour travailler ensuite dans un autre logiciel.

Cependant, une structure plus complète et ressemblant au TMD réel est disponible sur GitHub. La version initiale avec des parties non assemblées est aussi fournie. Le modèle est ainsi simplifié en conservant au maximum ses caractéristiques principales :

- Tous les colonnes
- Les grands poutres
- La boule et les cables
- Les primary viscous dampers, modélisés par des connectors.

Ces éléments ci-dessous sont alors négligés :

- Les petites poutres de renforcement à l'étage 92 et 87.
- Les snubber dampers et l'anneau, le tige associés

Ainsi, en réalisant le maillage, nous obtenons environ 950 nœuds, avec des éléments triangulaires sur les poutres. De plus, nous maximisons l'aire des triangles, ce qui entraîne la présence de triangles très aplatis. Ce n'est pas idéal, mais nous n'avons pas d'autre choix, sinon le maillage dépasserait 1000 nœuds. Enfin, les unités utilisées sont : kg pour la masse, N pour la force et mm pour la longueur.

4.4 Les données du TMD

Voici des informations essentielles pour la modélisation du TMD, qui peuvent être trouvées dans les rapports du Ministère de l'Intérieur de Taïwan. Nous pouvons consulter la Fig. 6 pour voir les éléments correspondants.

Elements lateraux							
Elements	Propriété	Etage 87	Etage 88	Etage 89	Etage 90	Etage 91	Etage 92
Pilars (口)	Taille (mm)	1000x800x4200	1000x800x4200	1000x800x4200	1000x800x4200	1000x800x3450	N/A
	Type	SM570M	SM570M	SM570M	SM570M	SM570M	N/A
Poutres laterales (H)	Taille (mm)	700x300x10500	700x300x10500	700x300x10500	900x500x10500	900x700x10500	900x700x10500
	Type	SN490B	SN490B	SN490B	SM570M	SM570M	SM570M
Element	Diametre (mm)	Poid (N)					
Boule	5500	660 000 000 x 9.81					
Element	Longeur(mm)						
Cable	12000(11500) + 2750						

FIGURE 7 – Données

Cependant, on peut remarquer qu'il manque certaines données nécessaires pour la modélisation. Les paragraphes ci-dessous présentent donc des éléments qui ne sont pas fournis dans les documents et qui sont conçus selon des choix personnels.

Les poutres médiales : Les mêmes poutres que les poutres latérales sont utilisées pour les poutres médiales. La seule modification concerne la longueur des poutres.

Les poutres médiales de l'étage 87 sont six : trois verticales et trois horizontales, disposées de manière uniforme. Les positions des quatre poutres médiales de l'étage 92, ainsi que celles des quatre petites poutres de support, sont un choix personnel, car elles ne sont pas précisées dans les documents.

Les primary viscous dampers (PVD) : Les PVD sont modélisés à l'aide des éléments connecteurs, établissant une liaison entre la boule et les milieux des 1er et 3eme poutres médiales du 87eme étage. Bien que leur comportement soit théoriquement uniaxial, cette contrainte n'est pas imposée dans le modèle, l'objectif étant de se concentrer sur leur effet d'amortissement. La relation force-vitesse est donnée par le Ministère de l'Intérieur selon l'équation $F = CV^2$, où le coefficient d'amortissement est fixé à $1000kN/(m/s)^2$.

La pendule : La longueur des câbles est donnée $L_{cables} = 14250mm$, pour une période propre $f = 6.8s$. Mais en simulant avec Abaqus (Structure sans TMD), on observe une période propre $f \approx 5.1s$ dans notre cas simplifié, qui représente une différence importante de 1.7s. Alors la meilleure solution c'est de modifier directement la longueur des câbles, mais cela représente une différence importante de 1,7 s. Donc, pour garder la même longueur des câbles, la meilleure solution est de

modifier directement leur longueur. Cependant, pour conserver la même géométrie, une méthode "astucieuse" consiste à modifier les propriétés du matériau, en effet :

$$L_{cables} = \frac{9.81 \cdot T^2}{4\pi^2} \quad \text{et} \quad T = \frac{1}{f} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

où : T la période propre, f la fréquence propre, m la masse, k la raideur.

Nous souhaitons modifier la masse m afin que la période propre passe d'une valeur observée T_{obs} à une valeur cible T_{cible} , sans avoir besoin de modifier la raideur k . Ainsi :

$$\frac{T_{cible}}{T_{obs}} = \sqrt{\frac{m_{nouveau}}{m_{ancien}}}$$

$$\left(\frac{T_{cible}}{T_{obs}}\right)^2 = \frac{m_{nouveau}}{m_{ancien}}$$

D'où l'expression de la nouvelle masse :

$$m_{nouveau} = \left(\frac{T_{cible}}{T_{obs}}\right)^2 m_{ancien}$$

$$m_{nouveau} = \left(\frac{6.8}{5.1}\right)^2 m_{ancien}$$

$$m_{nouveau} \approx 1.777 m_{ancien}$$

Étant donné que la masse est donnée par :

$$m = \rho V$$

où ρ est la densité et V est le volume (supposé constant), nous pouvons écrire :

$$\rho_{nouveau} = \left(\frac{T_{cible}}{T_{obs}}\right)^2 \rho_{ancien}$$

En remplaçant $\rho_{ancien} = 7.85 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$:

$$\rho_{nouveau} = 1.777 \times 7.85 \times 10^{-6}$$

$$\rho_{nouveau} \approx 1.396 \times 10^{-5} \text{ kg/mm}^3$$

Pour obtenir une période propre cible de 6.8 s sans modifier la longueur équivalente du pendule, il est nécessaire de multiplier la masse initiale par 1.777. Cela peut être réalisé en ajustant la densité du matériau de la structure de :

$$\rho_{ancien} = 7.85 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3 \quad \text{à} \quad \rho_{nouveau} \approx 1.4 \times 10^{-5} \text{ kg/mm}^3$$

En refaisant la simulation, on observe une période propre de 7.1 s, donc on obtient 0.3s de différence par rapport à 1.7s de différence d'avant. Enfin la boule possède un poids de $660,000 \times 9.81 = 6,474,600 \text{ N}$.

4.5 Modélisation

Toute la structure, à l'exception de la boule et des câbles, est assemblée. Les éléments de la structure partagent donc les mêmes propriétés d'élasticité, à savoir celles du SM570M et celles de plasticité ne sont pas prises en compte. La boule est reliée aux câbles, et ces derniers sont connectés aux poutres de support.

On applique une pression surfacique de 1 N sur l'un des côtés de la structure (c'est-à-dire sur les poutres latérales), et on bloque le déplacement ainsi que la rotation aux quatre coins de l'étage 87 de la structure. Cette pression est en réalité irréaliste, car trop élevée, mais elle permet de mieux observer les résultats.

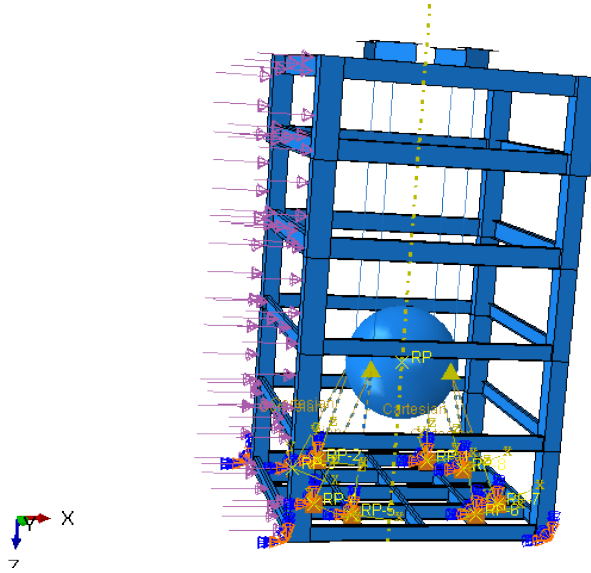


FIGURE 8 – Modèle avec les charges et conditions aux limites

5 Simulations et Analyse

5.1 Simulations

Trois expériences ont été réalisées : un modèle sans TMD, un modèle avec TMD en intégralité, et un modèle avec TMD sans primary viscous dampers (PVD).

La simulation a au total quatre étapes : 1.Étape initiale. 2.Étape statique, où le poids de la boule est appliqué. 3.Étape statique, où la pression surfacique est appliquée. 4.Étape dynamique, d'une durée de 10 secondes, où la structure est en mouvement, sans aucune force extérieure appliquée.

Nous nous intéressons au déplacement de ces trois modèles, mais en particulier à l'accélération. En effet, comme mentionné dans l'introduction du TMD, la réglementation taïwanaise évalue essentiellement l'accélération aux quatre coins du bâtiment sous l'effet du vent.

5.2 Résultats

On présente graphiquement quelques résultats de la simulation avec TMD.

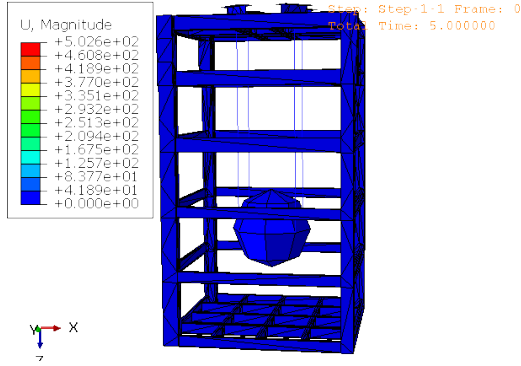


FIGURE 9 – Déplacement à l'étape 2

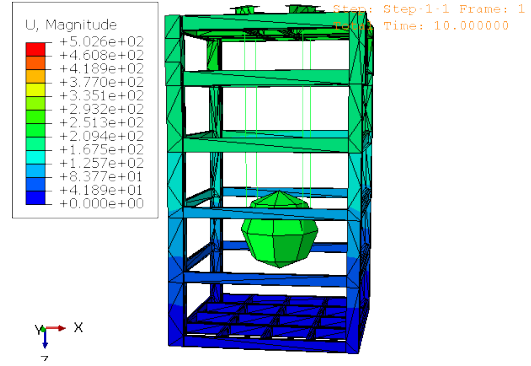


FIGURE 10 – Déplacement à l'étape 3

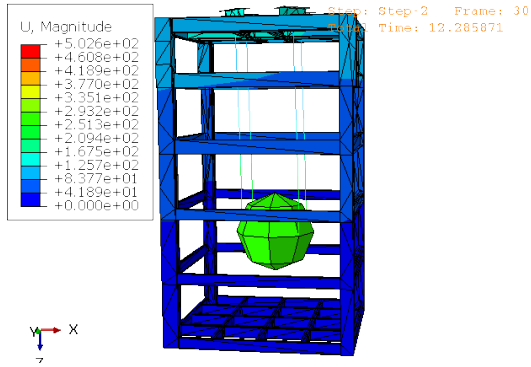


FIGURE 11 – Déplacement à l'étape 4, t=12

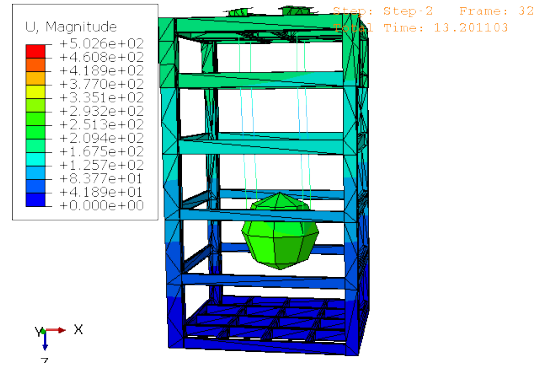


FIGURE 12 – Déplacement à l'étape 4, t=13

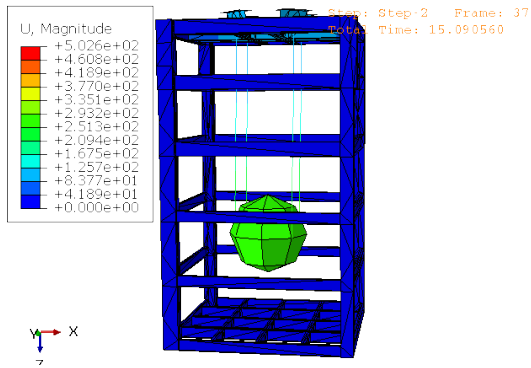


FIGURE 13 – Déplacement à l'étape 4, t=15

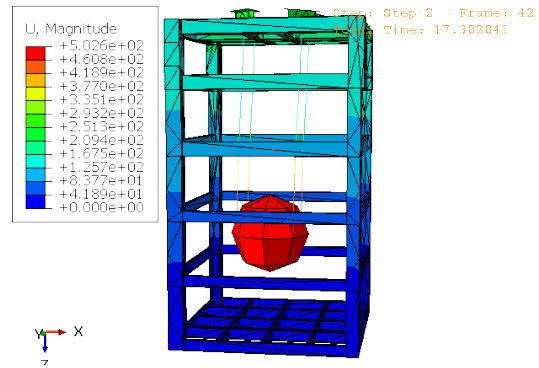


FIGURE 14 – Déplacement à l'étape 4, t=17

FIGURE 15 – Résultats de la simulation de la structure avec TMD

Ce qui nous intéresse à observer, ce sont les graphiques de déplacement et d'accélération. Les données sont collectées aux quatre coins de la structure, à l'étage 92, dans la direction \vec{x} , selon laquelle la force surfacique a été appliquée.

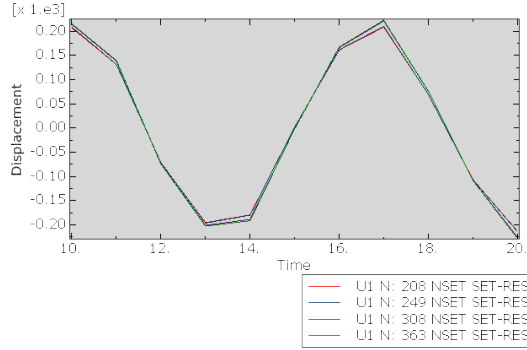


FIGURE 16 – Déplacement sans TMD

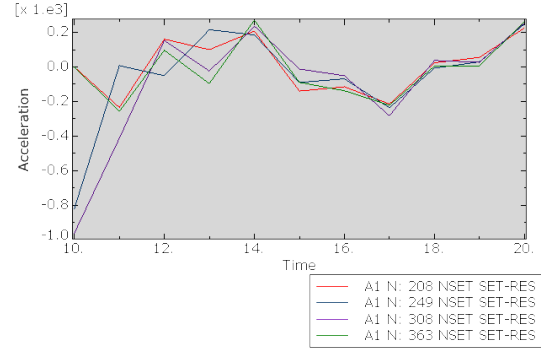


FIGURE 17 – Accélération sans TMD

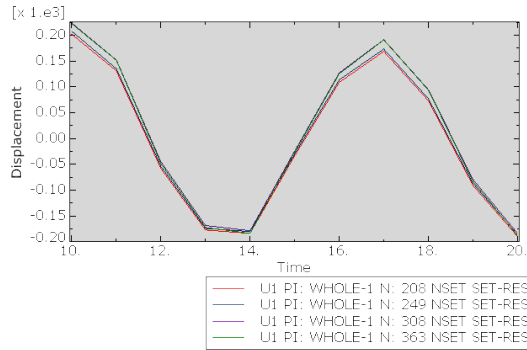


FIGURE 18 – Déplacement avec TMD sans PVD

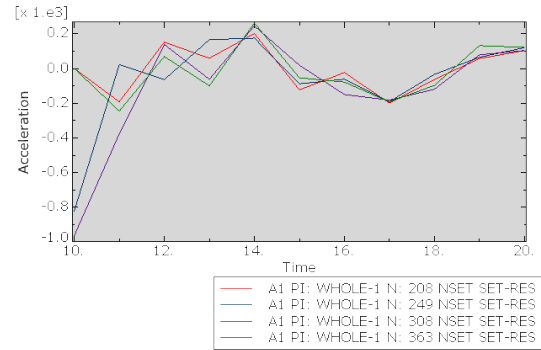


FIGURE 19 – Accélération avec TMD sans PVD

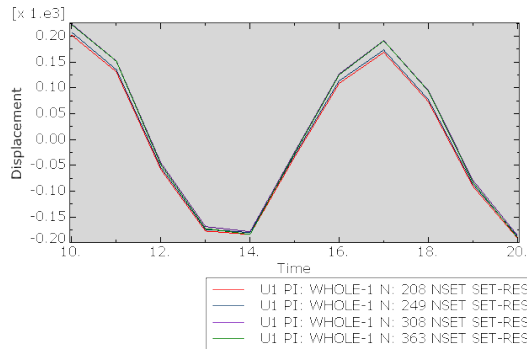


FIGURE 20 – Déplacement avec TMD

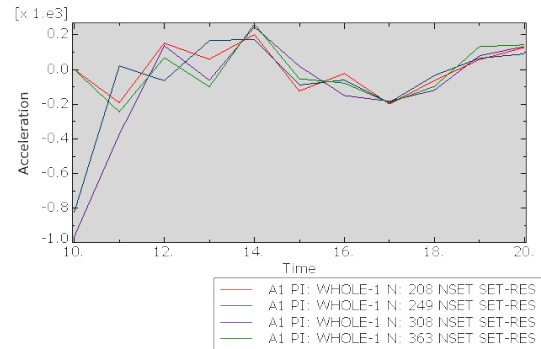


FIGURE 21 – Accélération avec TMD

FIGURE 22 – Le déplacement et l'accélération à l'étape dynamique(4)

5.3 Analyse

Les résultats obtenus montrent que les courbes de déplacement et d'accélération pour la structure équipée d'un TMD avec ou sans PVD sont très similaires. Cela indique que le PVD n'a pas un impact significatif sur la diminution des vibrations de la structure. Ensuite, en comparant les réponses de la structure avec TMD (Fig. 20, 21) et sans TMD (Fig. 16, 17), on observe que, dans les 2 cas, les courbes présentent une tendance similaire dans les premières secondes. Mais après cette phase, les courbes de la structure équipée du TMD montrent des variations moins importantes, indiquant une atténuation des vibrations.

En effet au temps $t=17s$, avec TMD, les déplacements des 3 premiers nœuds (208, 249, 363) ne dépassent pas 150 mm alors que sans TMD tous les nœuds atteignent 200mm. Quand à l'accélération, entre $s=16s$ et $s=20s$, les courbes avec TMD ne dépassent pas $200mm/s^2$ ce qui n'est pas le cas sans TMD. De plus, à $t=20s$, l'accélération des quatre nœuds avec TMD diminue jusqu'à environ $100mm/s^2$, tandis que celle des nœuds sans TMD dépasse encore $200mm/s^2$. Cette différence montre une réduction d'environ 50% de l'accélération grâce au TMD.

5.4 Conclusion

Cette étude montre une réduction des vibrations du bâtiment grâce au TMD. Il y a cependant un écart avec la réalité, dû aux nombreuses simplifications du modèle. L'effet du TMD n'est d'ailleurs pas aussi optimal que je l'avais imaginé : les courbes présentent tout de même une similitude importante lors des premières secondes.

6 Référence

Tous les rapports du Ministère de l'Intérieur de Taïwan sont fournis sur GitHub, présentons ici d'autres références.

Références

- [1] NTU CE Newsletter. *TMD de Taipei101* : <https://www.ntuce-newsletter.tw/vol.21/101damper-2.html>.
- [2] National Center for Research on Earthquake Engineering (NCREE). *Systèmes d'amortissement* : https://www.ncree.org/SafeHome/ncr05/pc2_5.htm.
- [3] Structures Explained. *Taipei 101 Structural Engineering* : <https://structures-explained.com/taipei-101-structural-engineering/>.
- [4] Wikipedia. *Taipei 101* : https://en.wikipedia.org/wiki/Taipei_101.
- [5] Wikipedia. *Amortisseur harmonique* : https://fr.wikipedia.org/wiki/Amortisseur_harmonique.
- [6] Wikipedia. *Fréquence et période propre* : https://fr.wikipedia.org/wiki/Frquence_propre.
- [7] Alex Y. Tuan et G. Q. Shang *Vibration Control in a 101-Storey Building Using a Tuned Mass Damper* : https://perso.crans.org/flotatin/documents/LP/Physique%20des%20ondes/Systmes%20coupls%20LP0B125/Vibration_Control_in_a_101-Storey_Building_Using_a.pdf.