

# Chapitre I

# Table des matières



<b>I - Chapitre 1 : Divers stratégies de contrôle des vibrations sismiques</b>	<b>3</b>
1. Les systèmes de contrôle passif .....	3
1.1. <i>Système d'isolation sismique</i> .....	4
1.2. <i>Amortisseur à masse accordée</i> .....	5
2. Systèmes de contrôle actif .....	5
2.1. <i>Système d'amortissement a masse actif AMD</i> .....	6
2.2. <i>Système de contreventement actif</i> .....	7
3. Systèmes de contrôle Semi-actif .....	7
3.1. <i>Amortisseurs à fluide contrôlable</i> .....	7
3.2. <i>Amortisseurs semi actifs à friction</i> .....	9

# Chapitre 1 : Divers stratégies de contrôle des vibrations sismiques



Les systèmes de contrôle passif	3
Systèmes de contrôle actif	5
Systèmes de contrôle Semi-actif	7

Les stratégies de contrôle des vibrations sismiques peuvent être classés en trois type, ce classement se base sur le mode de fonctionnement de chaque dispositif, ainsi les dispositifs fonctionnant sans apport d'énergie externe sont dénotés passifs, ceux nécessitant une énergie considérable sont dénotés actifs et ceux qui fonctionnent avec une énergie externe relativement faible sont noté semi-actifs, la figure ci-dessus schématise cette classification.

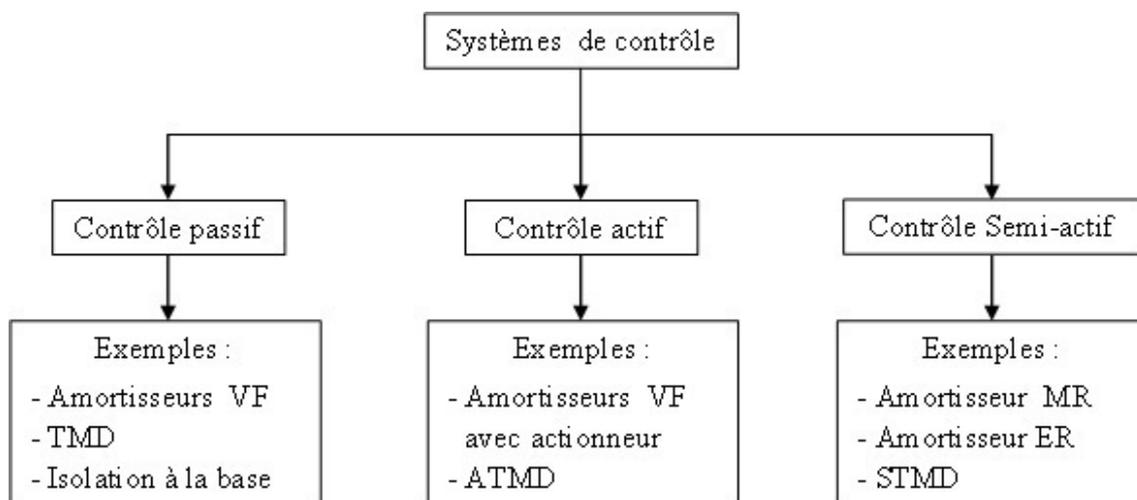


Figure 1.1 : schéma des stratégies de contrôle

## 1. Les systèmes de contrôle passif

Les techniques passives d'amortissement des vibrations structurales utilisent l'intégration ou l'ajout de



matériaux ou systèmes, possédant des propriétés d'amortissement, couplés à la structure de telle façon que les vibrations de la structure soient amorties passivement, c'est à dire, sans aucune intervention extérieure supplémentaire et sans apport d'énergie de l'extérieure. Principalement, il existe deux catégories de systèmes passifs : la première est l'isolation sismique et la deuxième est la dissipation d'énergie.

## 1.1. Système d'isolation sismique

Le principe de l'isolation sismique n'est pas nouveau : les premières expériences remontant au début de 20eme siècle. La première application de la technologie moderne de l'isolation sismique a été réalisée en 1969. Actuellement quelques milliers de bâtiments et de ponts à travers le monde sont munis de systèmes d'isolation sismique. Ces systèmes consistent à mettre, entre les fondations et la superstructure, des dispositifs qui ont une déformabilité horizontale très importante et une rigidité verticale très élevée. Ces dispositifs permettent à découpler le mouvement du sol de la structure dans le but de réduire les forces transmises à cette dernière. L'isolateur capte les déformations (inélastiques) et filtre les accélérations (hautes fréquences) de sorte que la superstructure isolée se déplace essentiellement selon un mode rigide subissant de faibles accélérations et presque pas de déformations. Par conséquent, les forces d'inertie transmises aux éléments de fondations sont limitées et demeurent en deçà de la capacité élastique de tels éléments. Ce comportement se traduit par la limitation des dommages subis par la superstructure et les éléments de fondation et par la préservation de la fonctionnalité de la structure après le séisme.

### Remarque

Il existe principalement trois type d'isolateur à la base qui sont répertoriés dans le tableau 1.1 suivant

Type d'isolateurs	solateur élastomère	solateur a coeur en plomb	isolateur a friction
Discription	un bloc en caoutchouc avec des caractéristique élastique élevés	un bloc en caoutchouc avec un coeur en plomb généralement ajouter pour éviter l'écrasement de l'isolateur sous le poid de la structures	une assiette curvé qui contient une boule en acier qui fait des mouvement de translation afin de permettre des grand déplacement de l'isolateur

Tableau 1.1 : différents type d'isolateur à la base

### Complément

Les systèmes d'isolations sismique sont composés, principalement par :

- un appui capable de transmettre les charges verticales mais ayant une faible rigidité horizontale : c'est le noyau de l'isolateur. La rigidité latérale de l'appui est le paramètre clé dans l'augmentation de la période et par conséquent dans la réduction des forces sismiques. De plus, la rigidité latérale de l'appui joue un rôle très important dans le déplacement sismique de l'ouvrage et son recentrage après le séisme (déplacement résiduel).

- dispositif de dissipation d'énergie : ce dispositif sert à contrôler la déformation de l'isolateur et par conséquent le déplacement absolu de la superstructure située au-dessus. Plusieurs dispositifs ont été mis au point avec une application plus au moins répandue.
- un système de retenue : le système d'isolation doit avoir une rigidité initiale élevée afin de minimiser les déplacements sous les charges de service tel que le freinage et le vent.

☞ *Exemple : L'effet de l'isolation à la base sur la protection des bâtiments lors des séismes.*

Cf. "Exemple d'une isolation à la base"

## 1.2. Amortisseur à masse accordée

Un amortisseur inertiel à masse (TMD, Tuned Mass Damper) consiste en une masse située à l'un des étages les plus élevés du bâtiment qu'il équipe et liée à celui-ci via un ressort et un mécanisme d'amortissement (visqueux ou viscoélastique). L'inertie créée par le mouvement de cette masse va se transmettre au bâtiment et réduire les vibrations induites par le séisme. Le mouvement de la masse s'effectue dans le sens opposé à celui de l'immeuble et avec la même fréquence. Ainsi, situé au plus haut de la construction, le mouvement pendulaire amortit la déformation et limite les dommages sur la structure. L'efficacité du système dépend de la valeur de la masse ajoutée (entre 1/300 et 1/100 de la masse du bâtiment, la réduction des oscillations est de 1/3), de la possibilité de déplacement du solide, du type de ressort employé et de la configuration du mécanisme amortisseur qui soutient la masse. Cependant, les contraintes d'espace empêchent l'emploi d'un TMD traditionnel qui nécessite souvent le sacrifice d'un étage entier. Ainsi, de nombreuses alternatives ont été mises en place pour employer les TMD : des systèmes à plusieurs pendules répartis sur plusieurs étages, à pendules inversés.

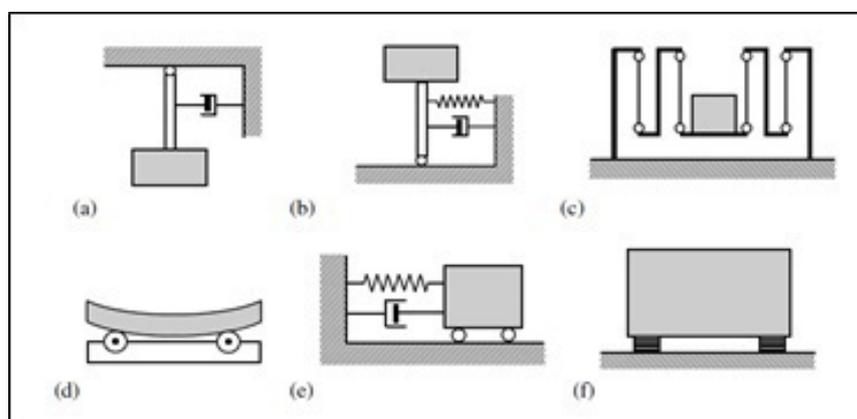


Figure 1.2 : Exemples des différents types de TMD a) pendule avec amortisseur, b) pendule inversé avec amortisseur et ressort, c) amortisseur à plusieurs étages, d) la masse basculant sur des appuis de rotation, e) glissant la masse avec ressort et amortisseur, et f) la masse sur des appuis en caoutchouc.

## 2. Systèmes de contrôle actif

Les systèmes de contrôles passif sont conçu pour réduire seulement un mode de vibration ce qui est

considéré comme un inconvénient, donc pour faire face à cette lacune, on passe aux amortisseurs actifs, qui peuvent amortir une bande large de fréquence. Donc, l'étude du contrôle actif des structures est une continuité logique de la technologie du contrôle passif. Un système de contrôle est dit actif si un ou plusieurs actionneurs appliquent des forces sur une structure selon un algorithme de contrôle et en utilisant pour leurs fonctionnement une source d'énergie externe. Ces forces peuvent être utilisées pour dissiper ou ajouter de l'énergie dans la structure à contrôler. Afin de mettre en place un tel système, il existe deux approches qui sont radicalement différentes : la première consiste à identifier la réponse de la structure, pour cela, elle nécessite la modélisation du comportement dynamique de la structure.

### ⚠ Attention

Il est important de ce rappelé qu'un système de contrôle actif repose toujours sur un algorithme de contrôle, ainsi il est impossible de faire fonctionner un système actif sans algorithme de contrôle. Les algorithmes jouent un rôle très important ainsi en se basant sur la réponse de la structure (*feedback*) ou sur l'enregistrement de l'excitation sismique (*feed-forward*) l'algorithme calcule la force nécessaire pour contrôler les vibrations et envoie un signal au dispositif de contrôle qui en utilisant une énergie externe reproduit cette force sur la structure. la figure 1.3 illustre le fonctionnement d'un système de contrôle actif.

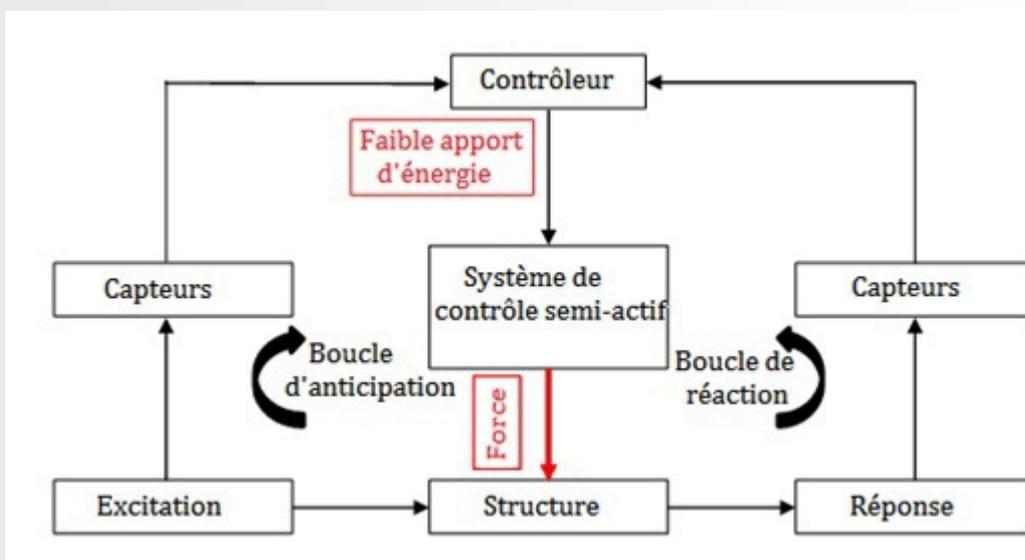


Figure 1.3 Mode de fonctionnement d'un système de contrôle actif

## 2.1. Système d'amortissement à masse actif AMD

Le principe d'amortisseur à masse accordée TMD a longtemps été connu comme étant un système de contrôle passif ayant la spécificité de contrôler uniquement la réponse des structures dans lesquelles le premier mode est dominant, afin de combler cette carence il y a eu plusieurs tentatives pour améliorer les performances du TMD au moyen d'un dispositif de contrôle actif ajouté au TMD. L'amélioration du TMD en un système actif a été abordée pour la première fois par Morison et Karnopp en 1973, Lund a étudié la faisabilité de cette approche en utilisant un actionneur associé à un amortisseur pneumatique, cette idée a été plus approfondie par Chang et Soong en 1980, qui ont appliqué la loi de

contrôle linéaire quadratique pour déterminer un algorithme approprié pour le TMD actif. La figure (1.18) montre une comparaison schématique entre le TMD et l'AMD. Un actionneur est installé entre le système primaire (la structure) et l'auxiliaire (TMD). Le mouvement du système auxiliaire peut être contrôlé par l'actionneur pour augmenter l'efficacité de contrôle

## 2.2. Système de contreventement actif

Un système de contreventement actif emploie les contreventements structuraux existants pour installer un dispositif de contrôle actif (actionneur). Il existe trois types de système de contreventement actif, la diagonale de contreventement, les contreventements en K et en X auxquelles on peut ajouter des actionneurs hydrauliques de contrôle par servovalve capable de produire une force de contrôle importante et qui seront monté sur le système de contreventement entre deux planchers adjacents.

## 3. Systèmes de contrôle Semi-actif

Les systèmes actifs précédents fournissent de très bonnes performances d'isolation, tout en respectant des performances de sécurité sur la déflexion dynamique. Cependant, comme tout système actif, il a les défauts de ses qualités, à savoir d'être actif, notamment les défauts de la consommation énergétique, de la relative complexité sur des structures à plusieurs degrés de libertés.

Un bon compromis entre la performance et les qualités [coût, simplicité, fiabilité] peut être, en principe, atteint par les systèmes semi-actifs, l'idée principale du contrôle semi-actif est très simple : elle consiste à changer, en temps réel, les caractéristiques des dispositifs passifs de dissipation d'énergie et ce changement ne nécessite qu'une source minimale d'énergie. Le concept de ce type de contrôle est introduit on modifiant la force d'amortissement du fluide en contrôlant l'ouverture de la valve d'un amortisseur conventionnel, par exemple, un amortisseur hydraulique muni d'une servovalve qui contrôle le débit d'huile à travers une restriction.

L'action de contrôle, pour une approche de type semi-actif, se réalise à travers le réglage, en temps réel, des paramètres mécaniques de dissipation réagit passivement avec le reste de la structure. La modalité de réglage de ces paramètres est déterminée, sur la base d'un choix d'algorithme de contrôle, en fonction de l'excitation et/ou de la réponse de la structure. Par conséquent, comme pour le contrôle actif, le système de contrôle semi-actif nécessite des capteurs, processeurs et actionneurs. L'énergie demandée de l'extérieure, par contre, est minimale par rapport à un système de contrôle actif : sert seulement à modifier les caractéristiques mécaniques des dispositifs de contrôle, et peut être fournie, par exemple, d'une simple batterie. Ce qui représente un grand avantage car on cas de séisme la source principale d'énergie peut cesser de fonctionner a tous moment, Les systèmes de contrôle semi-actif, donc, représentent une évolution des systèmes passifs, et par conséquent ils conservent les caractéristiques fondamentales de fiabilité, de sécurité et de simplicité.

### 3.1. Amortisseurs à fluide contrôlable

Les amortisseurs à fluide contrôlable, sont caractérisés par des fluides dont les propriétés peuvent

entre changer en la présence d'un champ électrique ou magnétique. Dans ces deux cas-là, les amortisseurs sont appelés, respectivement électro-rhéologique ER et magnéto-rhéologique MR.

- Les amortisseurs électro-rhéologiques (ER) sont généralement constitués d'un vérin hydraulique contenant des particules diélectriques micrométriques en suspension dans un liquide (généralement de l'huile). En présence d'un fort champ électrique, les particules se polarisent et deviennent alignés, offrant ainsi une résistance accrue à l'écoulement. En faisant varier le champ électrique, le comportement dynamique d'un amortisseur (ER) peut être modulé figure 1.4. Les amortisseurs électro-rhéologiques ont été étudiés pour le contrôle de la réponse sismique par plusieurs chercheurs. Comme le champ électrique appliqué augmente, le comportement des fluides électro-rhéologiques change d'un fluide visqueux à celui d'un solide élastique.

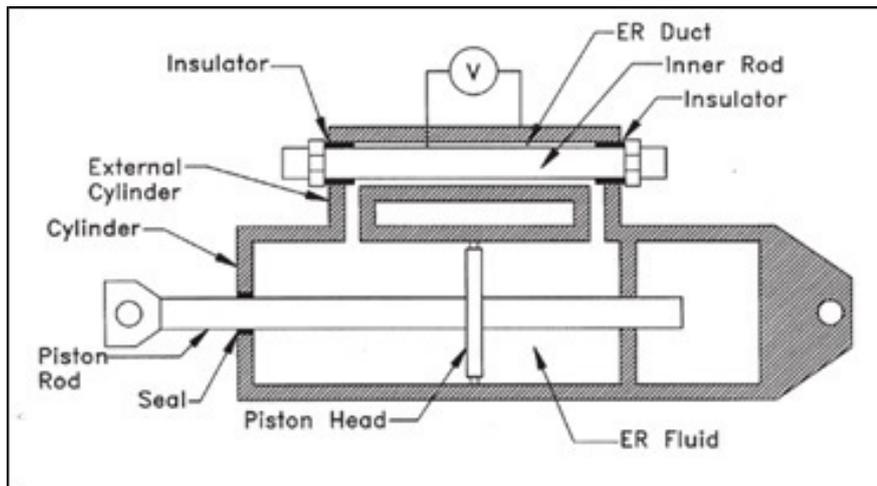


Figure 1.4 : Schéma d'un amortisseur électro-rhéologique.

- Les amortisseurs magnéto-rhéologique (MR) sont essentiellement des analogues des amortisseurs (ER). Sur le plan qualitatif, le comportement de ces deux types d'amortisseurs est très semblable, sauf que l'effet de commande est régi par l'application d'un champ électrique dans un cas, et par un champ magnétique dans l'autre. Les amortisseurs MR sont généralement constitués d'un vérin hydraulique contenant des particules magnétiques polarisables suspendues dans un fluide (généralement de l'huile) figure 1.5. Le comportement du fluide (MR) est contrôlé en soumettant le liquide à un champ magnétique. En l'absence d'un champ magnétique, le fluide MR circule librement alors que, en présence d'un champ magnétique, le fluide se comporte comme un semi-solide.

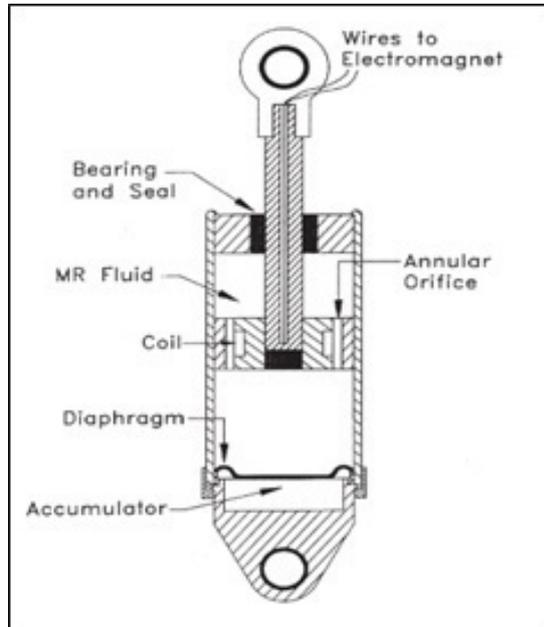


Figure 1.5: Schéma d'un amortisseurs magnéto-rhéologique

### 3.2. Amortisseurs semi actifs à friction

Le contrôle de la friction grâce à des activateurs piézo-électriques (PE) est une alternative aux systèmes magnétiques. Un cristal PE est un cristal dont la géométrie varie avec la tension électrique appliquée, comme le quartz par exemple. L'idée est de contrôler la déformation d'un actionneur grâce à un signal électrique. L'actionneur, sous l'action du champ électrique, va exercer une pression plus ou moins importante sur une surface de friction. La valeur de la force de frottement est ainsi asservie au signal électrique.

L'institut des sciences industrielles de l'université de Tokyo a effectué plusieurs tests afin d'évaluer l'efficacité de ce type de système pour le contrôle semi-actif. Le contrôle a été effectué sous trois modes : passif, c'est à dire sans contrôle électrique, semi-actif holding, c'est à dire avec un coefficient de frottement proportionnel au potentiel appliqué et semi-actif releasing, c'est à dire avec une force de frottement dont la valeur est inversement proportionnelle à la tension appliquée. Le mode releasing possède l'avantage de fournir une friction maximale lorsque le système électrique est détruit, un cas de figure très probable en cas de séisme grave, ce qui laisse toujours un niveau de protection minimal à la structure quelle que soit la situation.

\* \*  
\*

Il parait donc que les systèmes de contrôle des vibrations sismiques sont très important pour la protection des structures, ainsi il est important de connaître le coté mathématique de chaque système, cela un pour but principal l'implémentation de tels système dans des simulation numérique afin de comparé, testé et comprendre leurs fonctionnement, un approche mathématique des dispositifs de contrôles les plus réponsus sera présenter dans le 2eme chapitre de ce cours.