

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ IBN KHALDOUN DE TIARET



FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES
DÉPARTEMENT DE GÉNIE CIVIL

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master

Spécialité : travaux publics

Option : Voies et Ouvrages d'Art (VOA)

Présenté par :

BEKADDOUR Karima

BENYAMINA Maria

Sujet du mémoire

**Réponse dynamique des structures métalliques équipées
d'un dispositif de dissipation d'énergie.**

Soutenu publiquement le 14/07/2021 devant le jury composé de :

M. T. BENSATTALAH	MCA	Président
M. A. SAOULA	MCA	Rapporteur
M. M. ZIDOUR	Pr	Examineur
M. T. HASSAINE DAOUADJI	Pr	Examineur

PROMOTION : 2020-2021

REMERCIEMENTS

Au terme de nos efforts, voici notre ouvrage, nous le dédions :

➤ Moi, KARIMA, à ;

-Ma mère «KHADOUMA» qui me soutient encore,

-Mon père «DJILALI» pour m’avoir guidé durant toute ma vie scolaire,

-Mes frères mohammed, rachid et ma petite soeur wiam, fatima,

-La famille BEKADDOUR,

-La famille. BOUCHENTOUF,

-mon marié BENGHALEM MOHAMMED,

➤ Moi, MARIA à ;

- Ma mère « KHEIRA » à qui je souhaite du bonheur,

-Mon père « BENCHOHRA » que je voudrais rendre heureux,

-Mes frères abdelmalek, hichem, mohamed amine,

- la famille BENYAMINA,

-la famille BOUADOU,

-Nos amis, nos camarades de la promotion du ‘‘Génie Civil’’ 2020/2021.

Une spéciale dédicace à ceux qui m’ont inspiré depuis mon premier jour dans l’université à ma partenaire à celui qui m’a collaboré dans la réalisation de ce mémoire à toi MARIA, Cordialement.

Dédicace

Nous avons l'honneur de remercier avant tout,

-DIEU le Tout-Puissant qui nous a donné le courage et la volonté pour atteindre notre objectif.

-Tous les enseignants qui ont contribué à notre formation durant tous les cycles.

-Mr SAOULA Abdelkader pour l'encadrement, les conseils, la patience, la gentillesse, la disponibilité et pour l'aide précieuse.

-Aux membres du jury pour leurs efforts d'évaluer notre mémoire.

-L'ensemble des professeurs du département de Génie Civil qui ont contribué à notre formation d'ingénieur en Génie Civil.

-A tous ceux ou celles qui nous apportés leur soutien, toute notre sincère reconnaissance et nos remerciement les plus distingués.

Résumé:

L'objectif primordial de la conception parasismique est de fournir à une structure la résistance nécessaire pour supporter les forces latérales induites par les séismes, ceci sans dépasser les dommages de niveau acceptable. Plusieurs techniques qui visent à réduire les risques sismiques sont utilisées actuellement. Parmi ces techniques, l'incorporation de nouveaux concepts tels que les dissipateurs d'énergie et l'isolation à la base. L'objectif de ce travail est d'étudier l'influence des dispositifs de dissipation d'énergie (Amortisseur à fluide visqueux) sur le comportement dynamique des structures métalliques sous sollicitations sismiques présentant des caractéristiques dynamiques différentes. Une étude comparative et paramétrique est menée pour analyser l'influence de ce type d'amortissement sur le comportement dynamique de ce type de structure. L'effet de l'emplacement de ces dispositifs dans les structures sur leurs réponses dynamiques a été aussi étudié.

Mots clés : construction parasismique, dissipateur d'énergie, dynamique des structures, structures métalliques, amortisseur à fluide visqueux, réponse sismique.

Abstract:

The primary objective of earthquake-resistant design is to provide a structure with the resistance necessary to withstand the lateral forces induced by earthquakes, without exceeding the damage of an acceptable level. Several techniques aimed at reducing seismic risks are currently in use. Among these techniques, the incorporation of new concepts such as power sinks and insulation at the base. The objective of this work is to study the influence of energy dissipation devices (viscous fluid damper) on the dynamic behavior of metallic structures under seismic loads with different dynamic characteristics. A comparative and parametric study is carried out to analyze the influence of this type of damping on the dynamic behavior of this type of structure. The effect of the location of these devices in structures on their dynamic responses was also studied.

Keywords: Earthquake-resistant construction, energy dissipater, structural dynamics, metallic structures, viscous fluid damper, seismic response

الملخص:

الهدف الأساسي للتصميم المقاوم للزلازل هو تزويد الهيكل بالمقاومة اللازمة لتحمل القوى الجانبية التي تسببها الزلازل، دون تجاوز مستوى الضرر المقبول. هناك العديد من التقنيات التي تهدف إلى الحد من مخاطر الزلازل قيد الاستخدام حاليًا. من بين هذه التقنيات، دمج مفاهيم جديدة مثل أحواض الطاقة والعزل في القاعدة. الهدف من هذا العمل هو دراسة تأثير أجهزة تبديد الطاقة (المثبط السائل اللزج) على السلوك الديناميكي للهياكل المعدنية تحت الأحمال الزلزالية ذات الخصائص الديناميكية المختلفة. تم إجراء دراسة مقارنة ومعاملات لتحليل تأثير هذا النوع من التخميد على السلوك الديناميكي لهذا النوع من الهياكل. كما تمت دراسة تأثير موقع هذه الأجهزة في الهياكل على استجاباتها الديناميكية.

الكلمات الرئيسية: بناء مقاوم للزلازل، أجهزة تبديد الطاقة، ديناميكية الهياكل ، هياكل معدنية ، جهاز تخامد ذو سائل لزج، الاستجابة الزلزالية.

SOMMAIRE

Remerciements	i
Dédicace.....	ii
Résumés	iv
Sommaire	vii
Liste des figures	xi
Liste des tableaux	xv
Notations & symboles	xvi
Introduction Générale	2

Chapitre I: Dispositifs de réduction de la réponse sismique

I.1 Introduction :.....	05
I-2- Dispositif de contrôle passif :.....	07
I-2-1-Contrôle passif avec isolation à la base (les isolateurs sismiques) :	08
I-2-2-Dissipateurs d'énergie :	10
I-2-2-1 Dissipateurs d'énergie métalliques (hystérétiques) :	10
a- Le dispositif d'amortissement et de rigidité supplémentaire (ADAS) :.....	10
b- Amortisseur de plaques triangulaire (TADAS) :	11
c- Le dispositif EDU :.....	12
d- Dispositifs d'extrusion de plomb (LED) :.....	12
I-2-2-2- Amortisseurs hydraulique :.....	13
I-2-2-3- Amortisseurs viscoélastiques :.....	14
I-2-2-4- Les amortisseurs à fluide visqueux :	15
I-3- Oscillateurs de résonance :.....	16
I-4- amortisseurs à masse accordée :.....	18
I-4-1- amortisseurs à masse accordée TMD (Tuned Mass Damper) :	18
I-4-2- amortisseurs à liquide accordée TLD :.....	19
I-4-3- Comparaison entre les périphériques de dissipation d'énergie provisoires :.....	20
I-5-Masse active :	21
I-6- Conclusion :.....	22

Chapitre II : Les systèmes de protection et de dissipation d'énergie

II.1 Introduction :	24
II-2- Systèmes de protection sismique :	25
II-2-1- Systèmes de contrôle passif :	26
II-2-1-1- Systèmes d'isolation sismique:	26
II-2-1-2- Contrôle passif avec isolation à la base (les isolateurs sismiques):	27
II-2-1-3- Les systèmes à base d'élastomère (déformation):	28
a- L'élastomère fretté :	29
b- Systèmes d'isolation en élastomère fretté avec noyau de plomb (LRB) :	29
c- Systèmes d'isolation en élastomère fretté à amortissement élevé (HRB) :	30
II-2-2- Les systèmes à base de glissement:	31
II-2-2-1- Systèmes de pendule à friction :	31
II-2-2-2 Systèmes d'isolation à base de glissement avec élastomère confiné:	32
II-2-3- Les systèmes de déformation et glissement :	33
II-2-4- Systèmes de dissipation d'énergie passifs :	33
II-2-4-1- Amortisseurs métalliques (hystérétiques) :	35
II-2-4-2- Amortisseurs à friction :	37
II-2-4-2-1- L'amortisseur de frottement de Sumitomo:	37
II-2-4-2-2- L'amortisseur de Pall :	38
II-2-4-2-3- Amortisseur boulonné encoché (Slottedbolted damper) :	38
II-2-4-3- La contrainte de dissipation d'énergie (EDR) :	39
II-3-1- Systèmes actifs :	39
II-3-2- Les amortisseurs inertiels actifs (Active Mass Damper) :	40
II-3-3- Les systèmes à rigidité variables (Active Variable Stiffness System) :	41
II-4-1- Les systèmes hybrides :	42
II-4-1- Isolation de base hybride (Hybride Base Isolation):	42
II-4-1-2- Amortisseur à masse accordée hybride:	44
II-5-1- Système de contrôle semi actif:	45
II-6- Conclusion :	46

Chapitre III : Dissipateur d'énergie à fluide visqueux

III-1- Introduction :	48
III-2- Description du dissipateur d'énergie à fluide visqueux :	51
III-3- Composants :	53
III-4- Réponse dynamique du dissipateur d'énergie à fluide visqueux :	57
III-5- Le rapport d'amortissement effectif des structures avec amortisseurs visqueux linéaires:	60
III-6- Conclusion:	63

Chapitre IV: Modélisation des structures équipées d'un dissipateur d'énergie à fluide visqueux

IV-1- Introduction :	65
IV-2- Description générale du logiciel « ETABS » :	65
IV-3- Description de l'excitation sismique :	66
IV-4- Description du système de dissipation sur ETABS:	67
IV-4-1- Eléments LINK:	67
V -5- Modélisation avec le logiciel ETABS :	68
IV-6- Présentation du bâtiment étudié:	69
IV-7- Descente de charges:	72
IV-8- Conclusion:	74

Chapitre V: Résultats et discussions.

V-1- Introduction :	76
V-2- Effet du coefficient d'amortissement:	76
V-2-1- Sur le déplacement du dernier niveau:	76
V-2-2 - Sur l'accélération du dernier niveau:	78
V-2-3 - Sur l'effort tranchant à la base:	81
V-3- Comparaison d'une structure avec et sans dispositif de dissipation d'énergie:	83
V-3-1- Comparaison des déplacements:	83
V-3-1-1- Comparaison des déplacements des étages:	83
V-3-1-2- Comparaison des déplacements du dernier étage:	85
V-3-2- Comparaison des accélérations:	86
V-3-3- Comparaison des efforts tranchants à la base:	87
V-4- Conclusion :	89

Conclusion Générale & perspectives.....	91
Références bibliographiques.....	95

Liste des figures:

Figure 1.1 : Catégorisation des différents mécanismes de contrôle6

Figure 1.2 : Décalage des périodes par l'effet des appuis parasismiques.....8

Figure 1.3: Comportement d'une structure à base fixe et une structure avec Isolation parasismique9

Figure 1.4 : Deux types d'amortisseur métallique ADAS en forme X Whittaker et al.....10

Figure 1.5 : déformation du dispositif ADAS et sa boucle d'hystérésis..... 11

Figure 1.6 : Dispositif en forme de C (à gauche) et dispositif EDU (à droite).....12

Figure 1.7: Deux exemples des Dispositifs d'extrusion de plomb.....13

Figure 1.8 amortisseur hydraulique14

Figure 1.9 : Amortisseur viscoélastique en diagonal.....15

Figure 1.10 : Amortisseurs à fluide visqueux16

Figure 1.11: utilisation des amortisseurs en diagonale dans les bâtiments..... 16

Figure 1.12: Système de contreventement en acier avec amortisseurs visqueux Disposés horizontalement.....16

Figure 1.13 : Un TMD pendulaire de 800 tonnes dans un bâtiment de 508 m de hauteur(tour de Taipei 101).....19

Figure 1.14 Exemples des différents types de TMD.....19

Figure 1.15 : Exemples des différents types de TLD.....20

Figure 1.16: Schéma de comparaison entre l'amortisseur de masse actif (AMD) et l'amortisseur de masse accordée (TMD).....22

Figure 2.1 : Les catégories des systèmes de protection sismique.....25

Figure 2.2 : Schéma de contrôle passif.....26

Figure 2.3 : Les types des systèmes d'isolation sismique à base d'élastomère.....28

Figure 2.4. Schéma d'isolateur en élastomère fretté, de forme rectangulaire dans le plan.....29

Figure 2.5 Schéma d'isolateur élastomère avec noyau de plomb et de forme circulaire dans le plan.....30

Figure 2.6 : photo et schéma d'un isolateur en élastomère d'amortissement élevé (HDRB).....	31
Figure 2.7 : (a) palier de pendule à friction ; (b) Schéma de l'isolateur de Type pendule à friction simple.....	32
Figure 2.8 : Schéma de l'isolateur sismique.....	32
Figure 2.9 : Les systèmes de déformation et glissement.....	33
Figure 2.10 : Amortisseurs métalliques : (a) trois géométries typiques (Priestley, Seible, & Calvi, 1996); (b) assemblage « EDU » et hystérésis (Casarotti, 2004); (c) assemblage « ADAS» et hystérésis (Casarotti, 2004); (d) assemblage « TADAS » et hystérésis (Casarotti, 2004); (e) autre assemblage de types « T » (Priestley, Seible, & Calvi, 1996).....	36
Figure 2.11 : amortisseur à friction.....	37
Figure 2.12 : Configuration d'un système d'isolation mixte actif.....	40
Figure 2.13 : <i>système d'amortisseurs actif</i>	40
Figure 2.14 : L'amortisseur actif de Kajima : masse suspendues par câbles et activateur hydraulique.....	41
Figure 2.15 : Configuration d'un système à rigidité variable et schéma de fonctionnement....	41
Figure 2.16 : Le Nishikicho Building et son système de protection hybride basé sur un amortisseur inertiel passif couplé à deux masses actives (AMD).....	42
Figure 2.17 : Configuration de base d'un Amortisseur à mass accordée hybride a) ATMD actif +ATMD actif Li et al. [75] b) TMD passif +ATMD actif Cheng et al.....	43
Figure 2.18 Contrôle hybride d'une structure isolée à la base.....	44
Figure 2.19 : Le bâtiment de Sendagaya INTES.....	45
Figure 3.1 : Dispositifs amortisseurs fluide visqueux: amortisseur fluide visqueux de GERB, b) mur d'amortissement visqueux (VDW)	49
Figure 3.2 : Relation Force-Déplacement pour l'amortisseur visqueux fluide.....	51
Figure 3.3 : Dissipateurs visqueux, reliant les diagonales avec les poteaux en forme de V Inversé....	52

Figure 3.4 : Dissipateurs visqueux, situés sur la diagonale.....	52
Figure 3.6 : Schéma d'un amortisseur à fluide visqueux	54
Figure 3.7 : Section transversale longitudinale d'un amortisseur à fluide (a) Amortisseur avec un accumulateur (b) Amortisseur avec une tige de passage.....	58
Figure 3.8 : Relation vitesse-force d'amortissement	59
Figure 3.9 : Boucles d'hystérésis d'amortisseurs à comportement visqueux pur et Viscoélastique.....	60
Figure 3.10 : Déphasage de la vitesse par rapport au déplacement.....	61
Figure 3.11 : Réponse d'un dissipateur d'énergie à fluide visqueux linéaire pour différentes valeurs de la constante d'amortissement (C_D).....	62
Figure 3.12 : Réponse d'un dissipateur d'énergie à fluide visqueux non linéaire pour différentes valeurs de (λ) et la même valeur de (C_D)	62
Figure 4.1 : fenêtre de logiciel ETABS.....	66
Figure 4.2 : Accélérogramme utilisé.....	67
Figure 4.3 : le type de l'élément Link (Damper- Exponential).....	68
Figure 4.4 : Les caractéristiques non linéaires de dissipateur	68
Figure 4.3 : La structure étudiée sans dissipateurs d'énergie	69
Figure 4.4 : La structure étudiée avec dissipateurs d'énergie.....	70
Figure 4.5 : L'emplacement des dissipateurs d'énergie sens X.....	70
Figure 4.6 : L'emplacement des dissipateurs d'énergie sens Y.....	71
Figure 4.7 : Vue en plan de la structure.....	72
Figure 5.1 : Les déplacements du dernier niveau pour différents taux d'amortissement sens X...	76
Figure 5.2 : Effet de la variation d'amortissement sur le déplacement maximal du dernier niveau Sens X.....	77
Figure 5.3 : Les déplacements du dernier niveau pour différents taux d'amortissement sens Y.....	77
Figure 5.4 : Effet de la variation d'amortissement sur le déplacement maximal du dernier niveau Sens Y.....	78

Figure 5.5 : Les accélérations du dernier niveau pour différents taux d'amortissement sens X.	79
Figure 5.6 : Effet de la variation d'amortissement sur l'accélération maximal du dernier niveau Sens X.	79
Figure 5.7 : Les accélérations du dernier niveau pour différents taux d'amortissement sens Y.	80
Figure 5.8 : Effet de la variation d'amortissement sur l'accélération maximal du dernier niveau Sens X.	80
Figure 5.9 : Les efforts tranchants à la base pour différents taux d'amortissement sens X.	81
Figure 5.10 : Effet de la variation d'amortissement sur l'effort tranchant à la base Sens X.	81
Figure 5.11 : Les efforts tranchants à la base pour différents taux d'amortissement sens X.	82
Figure 5.12 : Effet de la variation d'amortissement sur l'effort tranchant à la base Sens Y.	82
Figure 5.13 : Les déplacements des niveaux pour une structure avec et sans dissipateurs sens X.	83
Figure 5.14 : Les déplacements des niveaux pour une structure avec et sans dissipateurs sens Y.	84
Figure 5.15 : Les déplacements du dernier niveau pour une structure avec et sans dissipateurs sens X.	85
Figure 5.16 : Les déplacements du dernier niveau pour une structure avec et sans dissipateurs sens Y.	85
Figure 5.17 : Les accélérations du dernier niveau pour une structure avec et sans dissipateurs sens X.	86
Figure 5.18 : Les accélérations du dernier niveau pour une structure avec et sans dissipateurs sens Y.	87
Figure 5.19 : Les efforts tranchants à la base pour une structure avec et sans dissipateurs sens X.	88
Figure 5.20 : Les efforts tranchants à la base pour une structure avec et sans dissipateurs sens Y.	88

Liste des tableaux:

Tableaux 1.1 : résumé de la construction, du comportement hystérétique, des avantages physiques et des inconvénients des dispositifs de dissipation énergétique passifs pour une demande de protection sismique (modifiée de symans et al 2008).....	20
Tableaux 3.1 : Résumé des critères d'emploi des amortisseurs visqueux non-linéaires.....	53
Tableau4.1: Charges sur plancher terrasse inaccessible.....	73
Tableau 4.2 : Charges sur plancher étage courant.....	73
Tableau 4.3 : Charges des murs de façade.....	73
Tableau4.4: Charges des murs intérieurs.....	74

Notations & symboles

TMD : Tuned Mass Damper.

ADAS : Added Damping and Stiffness.

TADAS : Triangular-plate Added Damping And Stiffness

EDU : Crescent moon-shaped steel Damper

LED : Lead Extrusion Devices

FVD : fluide viscous damper

TLD : tuned liquid damper

AMD : Active Mass Damper

AVS : Active Variable Stiffness System

LRB : Lead Rubber Bearing

HDRB : High Damping Rubber

EDR : Energy Dissipating Restraint

HMD : Hydride Mass Damper

ETABS : Extended Three Dimensional Analysis Building Systems

u : est le déplacement du système et de l'amortisseur

u_0 : est l'amplitude de la déplacement

w : est la fréquence d'excitation. La réponse de la force mesurée

P : La réponse de la force

K_1 : est la rigidité du stockage

C : le coefficient d'amortissement

K_2 : est la rigidité de la perte

F_D : Force d'amortissement de l'appareil

CD : Coefficient d'amortissement de l'appareil

x : Déplacement relatif entre les extrémités de l'appareil

\dot{x} : Vitesse relative entre les extrémités de l'appareil

λ : Paramètre de la vitesse (exposant), $0,25 < \lambda < 2,0$

x_0 : Amplitude de l'excitation

w : Fréquence de l'excitation

F_D : Force d'amortissement pour un dissipateur linéaire

1. Introduction:

Parmi les phénomènes naturels, le séisme est un événement qui peut conduire à des conséquences graves, en termes de dommages affectant les constructions, de pertes en vies humaines et de perturbations socio-économiques, ainsi que l'environnement. Il convient de noter que la majorité des pertes en vies humaines est due à des effondrements partiels ou d'ensemble des bâtiments.

La puissance publique s'est préoccupée de prévenir le risque sismique par la mise en ouvre d'un cadre législatif et réglementaire, et en particulier par l'élaboration de Plans de Prévention des Risques Sismiques pilotée par le Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie.

Les risques naturels résultent du croisement d'un aléa (intensité et fréquence d'un phénomène naturel) et des enjeux (exposition à l'aléa, vulnérabilité de l'élément exposé, capacité de résilience). De façon générale, pour réduire le risque deux pistes sont possibles : réduire la probabilité d'un événement ou réduire sa gravité.

Les fortes excitations sismiques surtout celles de source proche tels que : Northridge en 1994, de Kobe en 1995, ont argumentés l'importance capitale de la protection des bâtiments contre la nature catastrophique des séismes. En outre, des vibrations de faible niveau, soit pour le confort humain, soit pour la protection d'équipements de haute précision sont nécessaires dans certains cas.

Pour une protection parasismique, de nouvelles technologies ont été développées parmi lesquelles on trouve les dispositifs de dissipation passives d'énergie. Les mécanismes de contrôle de vibration peuvent être classés en tant que systèmes de contrôle passif, actif, semi-actif et hybride

Les systèmes de dissipation passive d'énergie, se sont montrés comme des dispositifs pouvant être incorporés à la structure et absorbent une portion de l'énergie sismique ce qui leurs donnent un potentiel considérable dans la réduction des dommages occasionnés par un tremblement de terre. Plusieurs dispositifs peuvent être affiliés aux systèmes de contrôle passif. On peut cite les systèmes d'isolation à la base par appareils d'appuis, les amortisseurs hystérétiques et les amortisseurs à masse accordée ainsi que les dissipateurs viscoélastiques et à fluide visqueux



Figure 1: dissipateur d'énergie à fluide visqueux placé diagonalement.

Le but de ce travail est d'évaluer la contribution de dispositif de dissipation d'énergie de type à fluide visqueux dans la réduction des effets sismiques d'une structure durant les mouvements sismiques. Une étude comparative avec une structure traditionnelle sans ce dispositif et une autre avec amortisseurs à fluide visqueux est menée pour analyser l'influence de ce type de dissipation sur le comportement dynamique de la structure.

Ce mémoire s'articule autour de cinq chapitres, après une introduction générale dont laquelle la problématique est introduite:

- Le premier chapitre est consacré à un aperçu sur les dispositifs de réduction de la réponse sismique (Dispositifs de contrôle passif et actif)
- Un deuxième chapitre est dédié à la présentation des systèmes de protection et de dissipation d'énergie.
- Le troisième chapitre est consacré à la définition du fonctionnement des dissipateurs d'énergie à fluide visqueux.
- Des modélisations de structures avec et sans dissipateurs d'énergie à fluide visqueux font l'objet du chapitre quatre.
- Le dernier chapitre consacré à l'étude de cas, où une comparaison a été faite entre une structure sans dissipateurs d'énergie et une autre menée de ce type d'amortissement.
- En fin, on termine par une conclusion générale qui synthétise le travail.

Chapitre –I–

Dispositifs de réduction de la réponse sismique.

I-1- Introduction:

Dans la phase de conception des ouvrages, lorsque le chargement sismique est prépondérant, il est avantageux de chercher à réduire les sollicitations (quand cela est techniquement possible et autorisé) avant même de dimensionner les éléments de structure.

La construction parasismique a pour principal objectif de prévenir l'effondrement des bâtiments. Le génie parasismique reste à ce jour le seul espoir de limiter le nombre et l'ampleur des dégâts causés par les séismes dans les zones urbaines. Il consiste à concevoir des immeubles et des maisons capables de se déformer, voire de s'endommager, sans s'effondrer, notamment en y intégrant un ou plusieurs dispositifs destinés à limiter la réponse du bâtiment à l'oscillation du sol.

Les méthodes innovantes de contrôle sont devenues, dans les dernières années, d'actualité importante. Elles permettent de projeter des structures pour résister, sans dégâts appréciables, à des actions dynamiques. Parallèlement on exige, pendant la construction, de protéger les structures par des systèmes de protection efficaces et en même temps fiables, en réduisant la réponse dynamique, à savoir réduire le déplacement, la vitesse et l'accélération qu'elles pourraient subir.

Parmi ces méthodes innovantes de contrôle, on peut distinguer quatre approches différentes:

1. Système de contrôle passif
2. Système de contrôle actif
3. Système de contrôle semi-actif
4. Système de contrôle hybride [1]

On peut les schématiser dans le diagramme suivant:

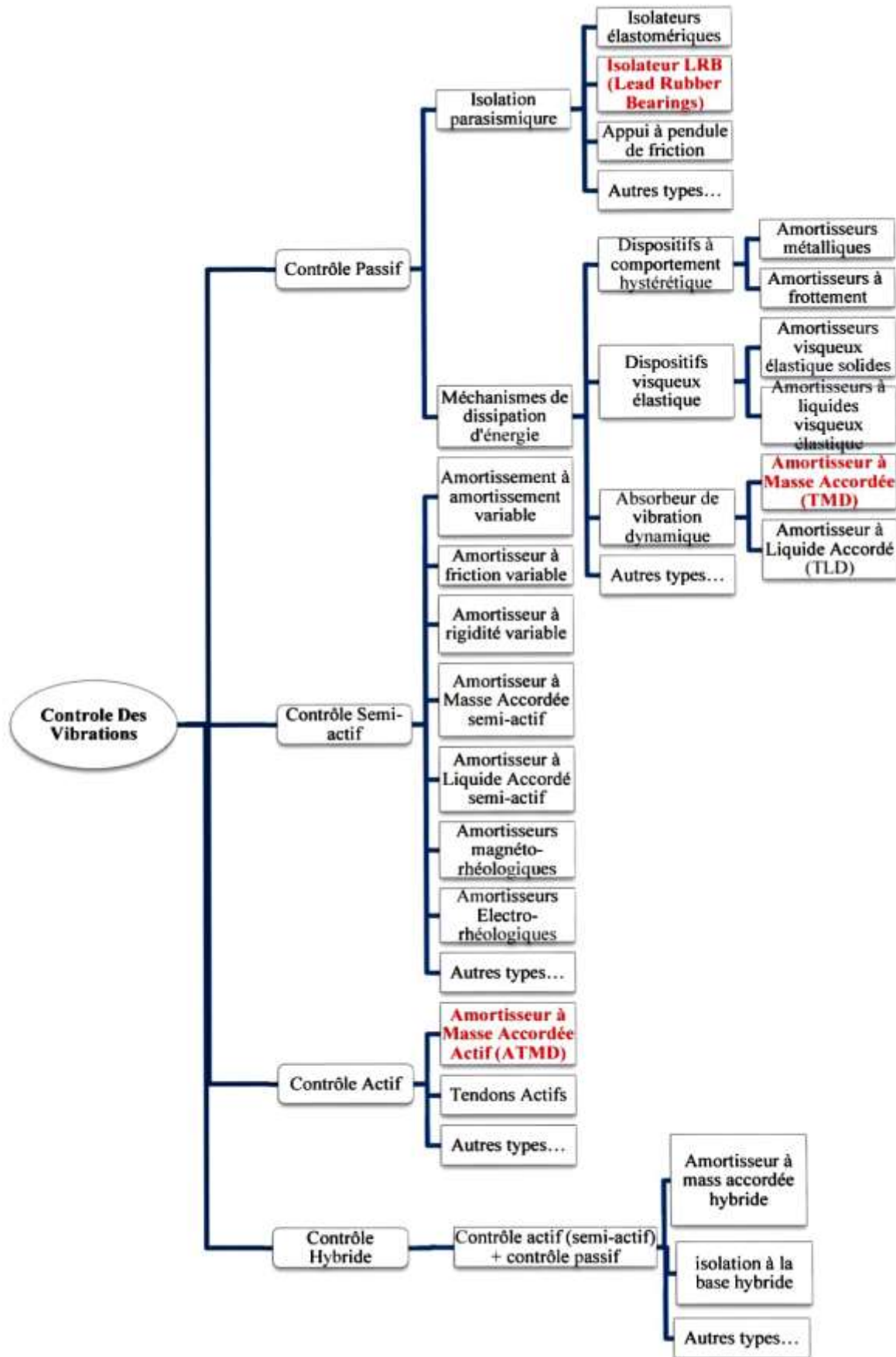


Figure 1.1 : Catégorisation des différents mécanismes de contrôle. [2]

I-2- Dispositif de contrôle passif :

Le séisme génère des mouvements du sol qui imposent des forces d'inertie latérales sur les bâtiments ou les structures. Ces derniers vont répondre de façon dynamique (vibrer).

L'amplitude de la vibration de la construction (ou structure) dépend essentiellement de quatre Paramètres :

- les caractéristiques du mouvement du sol dans le bâtiment (ou structure) site.
- la masse de la construction (ou structure).
- la rigidité de la construction (ou structure).
- l'amortissement de l'immeuble (ou structure).

Les systèmes passifs permettent de réduire considérablement la réponse du bâtiment aux sollicitations extérieures grâce à leurs propriétés dynamiques intrinsèques. Ces systèmes peuvent dissiper l'énergie de façon directe par friction par exemple ou de façon indirecte en contrebalançant les vibrations.

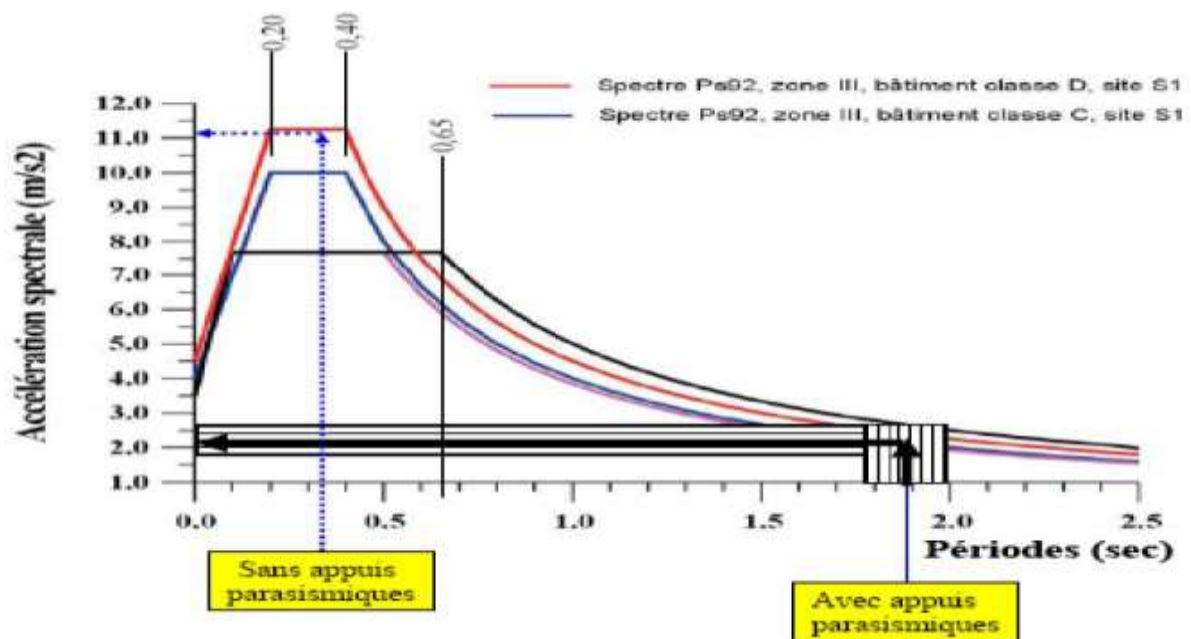
Les techniques passives d'amortissement des vibrations structurales utilisent l'intégration ou l'ajout de matériaux ou systèmes, possédant des propriétés d'amortissement, couplés à la structure de telle façon que les vibrations de la structure soient amorties passivement, c'est à dire, sans aucune intervention extérieure supplémentaire et sans apport d'énergie de l'extérieur. Ces systèmes sont conçus pour dissiper une grande partie de l'énergie indésirable induite par le séisme. Le contrôle passif consiste à superposer à la structure un dispositif qui modifie la rigidité ou l'amortissement du système structural. [3]

Les systèmes de contrôle passif utilisent des dispositifs assez simples qui réduisent la réponse dynamique par des moyens entièrement mécaniques. Les systèmes passifs les plus courants sont :

- les isolateurs sismiques.
- les dissipateurs d'énergie.
- les oscillateurs résonnants connus également comme systèmes inertiels couplés (Tuned Mass Damper - TMD). [4]

I-2-1 Contrôle passif avec isolation à la base (les isolateurs sismiques) :

L'isolation parasismique repose sur le principe que si la période de vibration est augmentée suffisamment pour s'éloigner de la période d'excitation prédominante du séisme, les accélérations transmises à la structure (et par conséquent les forces d'inertie) sont considérablement réduites. En revanche, l'augmentation de la période engendre des déplacements plus importants concentrés au niveau de l'isolateur. Dès lors l'incorporation aux unités d'isolation ou l'usage d'un dispositif parallèle et externe d'un dispositif de dissipation d'énergie (amortissement) est requise afin de contrôler les déplacements et réaliser un compromis satisfaisant entre la réduction de la force et l'accroissement du déplacement. (Figure 1.2).



Les isolateurs parasismiques sont des dispositifs permettant une isolation partielle entre la fondation et la superstructure, ils ne laissent passer que des efforts déterminés par leurs propres caractéristiques. Ils doivent permettre des déplacements horizontaux importants grâce à leur faible rigidité horizontale devant celle de la structure, par ailleurs ils présentent une grande rigidité verticale avec une capacité de supporter les charges gravitaires de la structure

pendant et hors séisme. La structure qui repose sur des appuis parasismiques s'appelle une structure isolée. [9]

Grâce à leur grande rigidité verticale, les appuis parasismiques n'isolent pas la structure vis-à-vis les secousses verticales. Par conséquent, les accélérations verticales transmises à la construction ne sont pas filtrées. Elles sont sensiblement égales à celles du sol, cela veut dire que l'action sismique verticale passe intégralement dans le bâtiment. Le balancement de la superstructure est par conséquent réduit [5] Figure (1.3) [6]

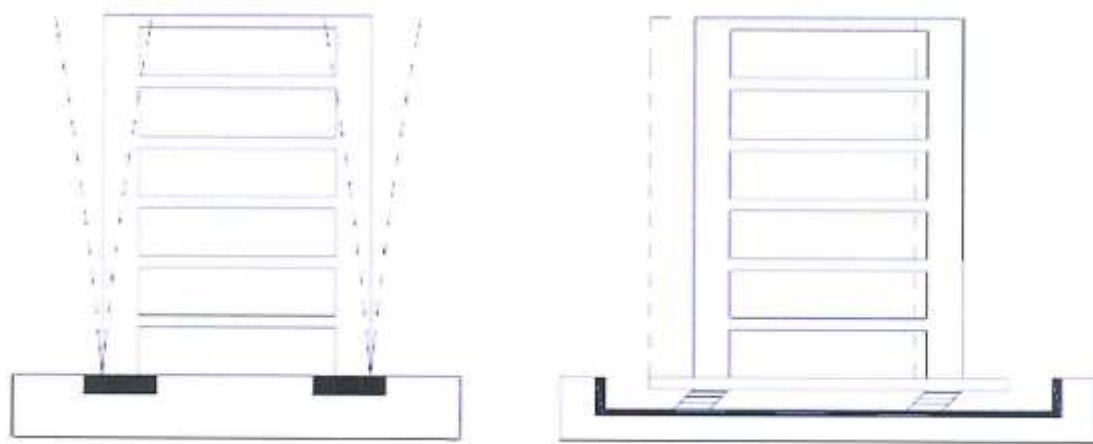


Figure 1.3 : Comportement d'une structure à base fixe et une structure avec isolation parasismique. [6]

Les caractéristiques essentielles d'un système d'isolation sont :

- Un appui capable de transmettre les charges verticales (une rigidité verticale très élevée) avec une faible rigidité horizontale (dans la direction isolée) : 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 de des forces sismique.
- Un mécanisme de dissipation d'énergie (amortisseur sismique): ce mécanisme peut être soit incorporé à l'appui soit installé en parallèle. Le but est de contrôler la déformation de l'isolateur et par conséquent le déplacement absolu de la superstructure située au-dessus.
- Un système de retenue (fusible) : 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.

Bien que plusieurs systèmes d'appuis à roulement aient été proposés, il n'existe que très peu de réalisations de ce type en raison des inconvénients qu'ils comportent, dont les principaux sont le grippage après une période prolongée sans sollicitation et leur faible amortissement. [9].

I-2-2-Dissipateurs d'énergie :

I-2-2-1 Dissipateurs d'énergie métalliques (hystérétiques) :

a) Le dispositif d'amortissement et de rigidité supplémentaire (ADAS) :

Le dispositif d'amortissement et de rigidité supplémentaire (Added Damping and Stiffness (ADAS)) se compose d'une série de plaques d'acier en forme de X (Figure1.4). Les éléments d'ADAS sont conçus pour absorber l'énergie par la déformation plastique de flexion des plaques.

Ces dispositifs montrent un comportement hystérétique stable ; ils sont peu sensibles aux effets thermiques, et extrêmement fiables. La pertinence de tels éléments d'amortissement pour les structures existantes d'adaptation [4]

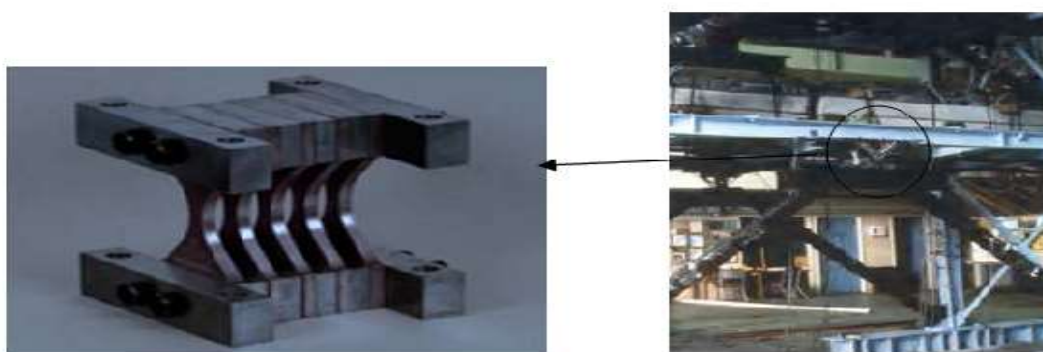


Figure : 1.4 Deux types d'amortisseur métallique ADAS en forme X Whittaker et al. [2]

Ulérieure aussi bien que les nouvelles constructions est confirmée et préconisée par plusieurs auteurs. Ils peuvent être montés par Contreventement diagonal ou en chevron. Ils sont reliés aux poutres de sorte que les déplacements entre étages peuvent provoquer des déplacements horizontaux relatifs, qui mènent à la dissipation d'énergie par la plastification d'un large volume d'acier. Les principales caractéristiques qui affectent le comportement d'un

dispositif d'ADAS sont sa rigidité élastique, sa limite d'élasticité, et son déplacement plastique. Les ADAS sont faciles à construire et relativement peu coûteux [4]

b) Amortisseur de plaques triangulaire (TADAS) :

Le deuxième type des amortisseurs de plaques métalliques qui sont couramment employés est l'amortisseur de plaques triangulaires (Triangular-plate Added Damping And Stiffness (TADAS)) qui a été initialement développé en Nouvelle-Zélande. Le dissipateur TADAS constitué de plaques triangulaires d'acier disposées en parallèle.

Ces plaques sont ourdées en bas et boulonnées en haut comme le montre la figure (1.5). En raison de leurs formes, les plaques en métal dans ces dispositifs éprouvent des contraintes de flexion uniformes sur leur longueur. Pendant des déformations cycliques, les plaques sont soumises au mécanisme par hystérésis et la plastification de ces plaques consomme une partie substantielle de l'énergie de vibration structurale. D'ailleurs, la rigidité additionnelle présentée par les éléments métalliques augmente la force latérale du bâtiment, avec la réduction conséquente des déformations et des dommages dans les éléments de la structure. [4]

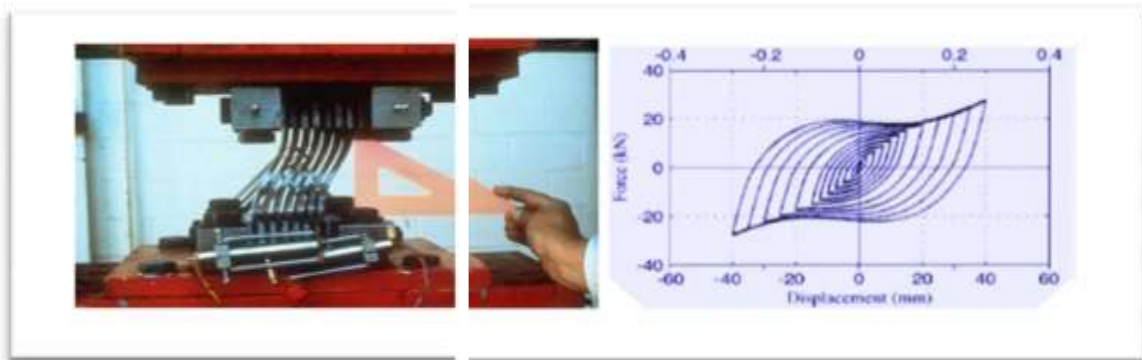


Figure 1.5 : déformation du dispositif ADAS et sa boucle d'hystérésis [12].

c) Le dispositif EDU :

Le dispositif EDU est un dispositif multi-composé constitué avec des dissipateurs d'énergie élémentaires en forme de C, ils sont combinés de telle manière qu'ils sont forcés de déformer anti-symétriquement, c.-à-d. pour chacun en compression, un autre est en traction; leur combinaison avec la symétrie radiale permet le comportement uniforme sous charge sismique agissant dans n'importe quelle direction. Il absorbe beaucoup plus d'énergie que n'importe quel autre système. Il montre des propriétés d'auto-recentrage pour des effets thermiques et de petits tremblements de terre. En outre, il a de faibles coûts



Figure 1.6 : Dispositif en forme de C (à gauche) et dispositif EDU (à droite).

d) Dispositifs d'extrusion de plomb (LED) :

Le premier dispositif est constitué d'un tube à parois épaisses et d'un axe coaxial avec un piston. Il y a une constriction dans le tube entre les têtes de piston et l'espace entre les têtes de piston est rempli avec du plomb. L'axe central s'étend au-delà d'une extrémité du tube. Quand l'excitation externe s'est produite, le piston se déplace le long du tube et le plomb est forcé pour expulser dans les deux sens par l'orifice formé par la constriction du tube.

Le deuxième type de LED est similaire au premier, sauf que l'orifice d'extrusion est constitué par un gonflement sur l'axe central plutôt que par une constriction dans le tube. L'axe (la tige) est soutenu par un appui qui sert également à maintenir le plomb en place; Pendant que l'axe se déplace, le plomb doit expulser à travers l'orifice formé par le gonflement et le tube. Semblable à la plupart des dispositifs de frottement, le comportement hystérétique de LED est rectangulaire.

Les caractéristiques principales de ces dispositifs sont leur comportement hystérétique rectangulaire, leur relation effort-déformation stable et qui n'est pas affectée par le nombre de cycles de chargement; il n'est influencé par aucun facteur environnemental ; la fatigue n'est pas un problème majeur, la vitesse de déformation a un effet mineur et les effets de vieillissement sont insignifiants. Ils ont une longue vie et ne doivent pas être remplacés ou réparés après une excitation sismique puisque le plomb dans l'amortisseur revient à son état non déformé après l'excitation.

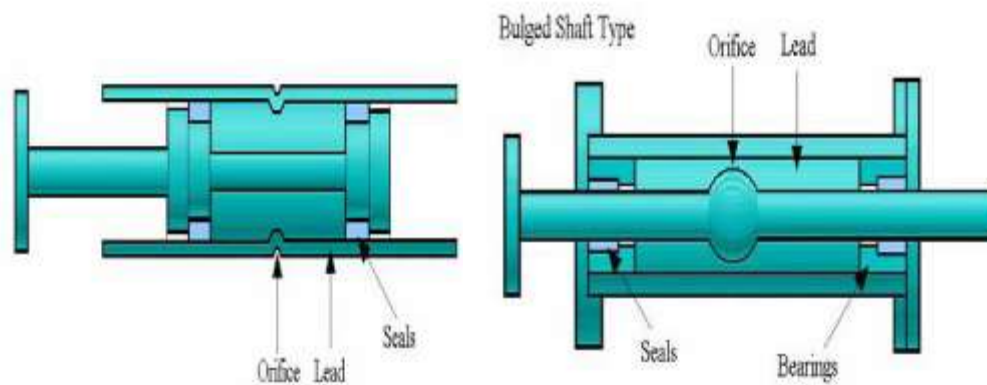


Figure : 1.7: Deux exemples des Dispositifs d'extrusion de plomb [4]

I-2-2-2- Amortisseurs hydraulique :

ces systèmes sont constitués de tube cylindrique dans lequel une pièce mobile sépare le volume du cylindre en deux chambres isolées l'un de l'autre (figure 1.8). la tige est polongée dans un fluide très dense comme l'huke hydraulique, le bitume ou la pâte silicone, pour permettre le déplacement de longue durée et pour absorber une grande quantité d'énergie provoquée par le mouvement sismsique, Ils permettent à la superstructure de prendre sa postion initiale après un séisme sans dommages.

L'inconvénient de ces amortisseurs est l'influence de la température du fluide sur la sa densité

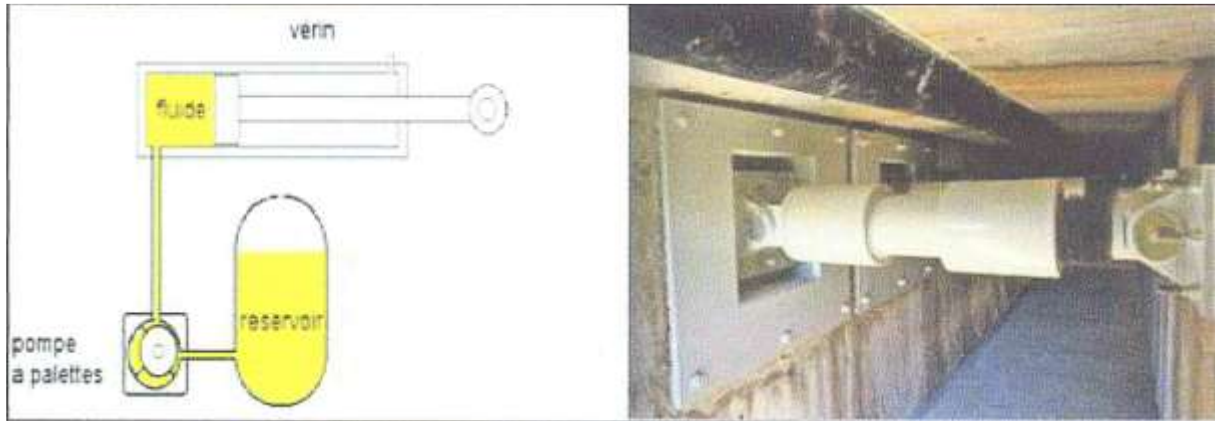


Figure : 1.8: Amortisseurs hydraulique. [6]

I-2-2-3- Amortisseurs viscoélastiques :

Les amortisseurs viscoélastiques (VE) se composent des matériaux viscoélastiques avec un taux amortissement élevé pour dissiper l'énergie par déformation. De tels matériaux comprennent le caoutchouc et/ou les polymères. Un amortisseur viscoélastique typique est constitué de couches d'un matériau viscoélastique collé sur des plaques d'acier, comme le montre la Figure (1.9). Les composants de l'amortisseur sont montés sur une structure en tant qu'élément de liaison ou de contreventement diagonal.

Une déformation se produit et l'énergie est dissipée lorsque la vibration structurelle induit un mouvement relatif entre les plaques d'acier extérieures et la plaque centrale. Contrairement aux autres dispositifs, tels que les TLD qui se comportent non linéairement, les amortisseurs VE offrent un avantage en ce sens qu'ils se comportent généralement linéairement car ils utilisent des matériaux viscoélastiques linéaires, ce qui simplifie le processus d'analyse et de conception. Le comportement linéaire permet également aux amortisseurs viscoélastiques d'absorber l'énergie de vibration causée par les séismes et les vents.

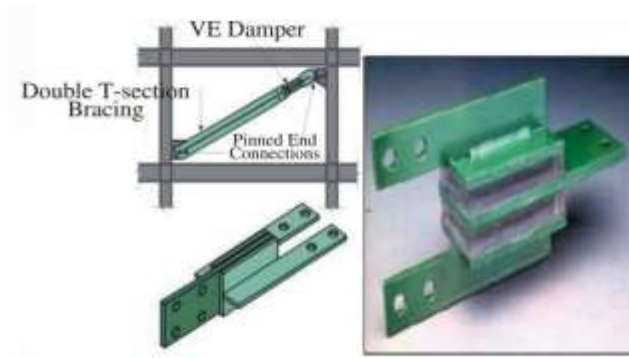


Figure 1.9 : Amortisseur viscoélastique en diagonal [2]

I-2-2-4- Les amortisseurs à fluide visqueux :

Les amortisseurs à fluide visqueux ont été initialement utilisés dans l'industrie militaire et l'industrie aéronautique. Ils ont été conçus pour être utilisés dans des structures à la fin des années 1980 et au début des années 1990. Les FVD sont généralement composés d'une tête de piston avec des orifices contenus dans un cylindre rempli d'un fluide hautement visqueux, généralement un composé de silicone ou un type d'huile similaire. L'énergie est dissipée dans l'amortisseur par l'orifice du fluide lorsque la tête du piston se déplace à travers le fluide. Le fluide dans le cylindre est presque incompressible, et lorsque l'amortisseur est soumis à une force de compression, le volume de fluide à l'intérieur du cylindre est réduit en fonction de la force de compression. Le volume de fluide à l'intérieur du cylindre est réduit en raison du mouvement de la surface de la tige du piston. Le mouvement de la tige du piston entraîne une diminution du volume, ce qui entraîne une force de rappel. Cette force indésirable est évitée en utilisant un accumulateur. Un accumulateur fonctionne en collectant le volume de fluide déplacé par la tige de piston et le stocke dans la zone d'appoint. Dans la zone d'appoint, lorsque la tige recule, le vide qui a été créé va aspirer le fluide.

Un accumulateur qui a été créé va aspirer le fluide. Un amortisseur avec un accumulateur est illustré dans la figure (1.11) [12]

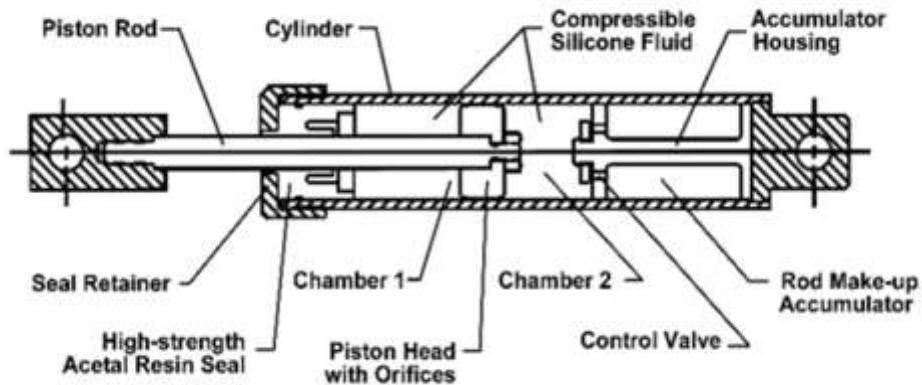


Figure 1.10 : Amortisseurs à fluide visqueux [2].



Figure 1.11 : utilisation des amortisseurs en diagonale dans les bâtiments



Figure 1.12: Système de contreventement en acier avec amortisseurs visqueux disposés horizontalement [16]

I-3- Oscillateurs de résonance :

Les bâtiments sont considérés comme des oscillateurs multiples : plusieurs masses reliées entre elles et au sol par des ressorts et des amortisseurs, modélisés par des barres ou par éléments finis. Les bâtiments de grande hauteur sont conçus pour ne pas rentrer en résonance, ce qui provoquerait une amplification des amplitudes de balancement. Un

oscillateur de résonance est composé d'une ou plusieurs masses additionnelles, généralement placées sur le dernier niveau de la structure ou à proximité, avec certaines propriétés dynamiques, qui vise à réduire la réponse de la structure sous charges dynamiques.

La fréquence de ce système est choisie de manière à ressembler à l'un des modes naturels des systèmes. On suppose que cet appareil doit réagir et être efficace pour les petites excitations. Le principe de fonctionnement d'un système d'oscillateur est basé sur le fait que sa fréquence correspond à l'une des fréquences naturelles de la structure, il s'oppose toujours au mouvement de la structure et permet donc de diminuer les vibrations de la structure.

Il est admis qu'un tel système peut être efficace dans la réduction de la réponse des structures soumises à des excitations de type harmonique et aussi à lutter contre les forces de vent. Malheureusement, son extrapolation à l'effet produit par les charges sismique est complexe. L'inclusion d'une ou plusieurs masses additionnelles, avec des propriétés dynamiques connues dans un bâtiment, peut réduire considérablement sa réponse sismique. Den Hartog a été l'un des premiers chercheurs intéressés par les systèmes avec oscillateurs de résonance et a montré qu'à l'aide de certains paramètres dynamiques du système couplé structure-oscillateur, il est possible d'obtenir des réductions importantes de la réponse. Dans un système à deux degrés de liberté, si la période de la charge coïncide avec la période de vibration du deuxième niveau, le mouvement du premier niveau est égal à zéro et le second est soumis à une force d'intensité égale à la force d'excitation et de sens contraire. Dans la République d'Arménie, des chercheurs comme Korencv, Khachian Reznikov ont étudié analytiquement et expérimentalement des bâtiments de différents degrés de liberté, avec un étage supplémentaire, soumis à des événements sismiques avec différentes caractéristiques dynamiques, où les résultats ont donnés des réductions de la réponse égales à la moitié obtenue sans ce système (Jara, M. 1994).

Paniagua, est un des chercheurs qui ont étudié des modèles mathématiques d'un système à deux degrés de liberté, tel qu'un réservoir d'eau avec une masse supplémentaire. La plus grande réduction de la réponse a été trouvée pour les excitations correspondant à des enregistrements dans la zone molle de la vallée de Mexico.

En règle générale, la masse et l'amortissement de l'étage supplémentaire diffèrent considérablement du reste de la structure. Cela rend l'analyse plus laborieuse en raison de

l'absence de modes de vibration classique. Ces dispositifs semblent être un moyen efficace pour ajouter de l'amortissement à une structure et donc de contrôler sa réponse dynamique. Comparé à d'autres systèmes de contrôle des vibrations, on constate deux avantages: d'une part son impact sur la conception de la structure est minime, car une structure dans laquelle ces moyens sont utilisés ne nécessite pas de procédure de conception spéciale et d'autre part ils sont faciles à concevoir et à construire, et ne nécessitent pas de techniques spéciales.

Ces dispositifs ne sont efficaces que pour le contrôle de la réponse de l'un des modes de la structure. Plusieurs masses sont nécessaires pour contrôler la réponse de plusieurs modes et leur efficacité est limitée par l'ampleur de la masse maximale qui peut être placée sur la structure. [26]

I-4- amortisseurs à masse accordée :

I-4-1- amortisseurs à masse accordée TMD (Tuned Mass Damper) :

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. Les configurations à plusieurs TMD associés en parallèle offrent de meilleurs résultats à masses égales que les TMD simples. La configuration en parallèle combine plusieurs pendules avec des fréquences propres différentes et qui se situent autour de la fréquence de contrôle.



Figure 1.13. Un TMD pendulaire de 800 tonnes dans un bâtiment de 508 m de hauteur (tour de Taipei 101)

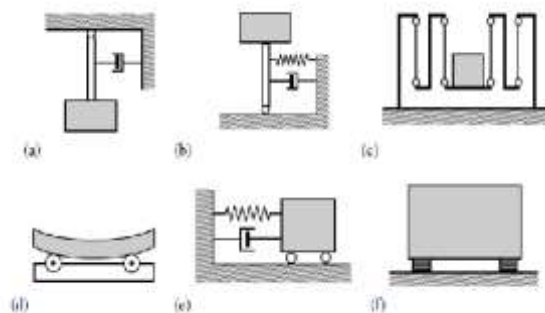


Figure 1.14 : Exemples des différents types de TMD. [25]

I-4-2- amortisseurs à liquide accordée TLD :

Ici, le mouvement d'un liquide atténue les oscillations du bâtiment. Comme le mouvement pendulaire créé par le mouvement d'un solide, les déformations sont atténuées par un mouvement opposé de même période. Le système peut réduire la réponse de la structure de 1/2 à 1/3 suivant la masse de liquide employée. L'un des facteurs de succès de ce type de système est qu'il n'y a pas besoin d'un ajout considérable de masse à la construction, les réservoirs d'eau, souvent situés sur le toit, pouvant servir de source. Les TLD exploitent l'inertie créée par le mouvement du liquide et ses impacts sur son contenant. Sous certaines configurations, les TLD utilisent la viscosité du liquide et les effets de vagues pour atténuer les vibrations (cas des amortisseurs à faible volume). Dans ce dernier cas, l'utilisation de la

masse de liquide employée n'est pas optimisée et crée une contrainte économique supplémentaire.

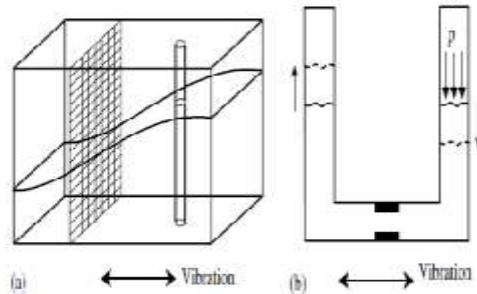


Figure 1.15 : Exemples des différents types de TLD. [25]

I-4-3- Comparaison entre les périphériques de dissipation d'énergie provisoires :

Tableaux (1.1) : résumé de la construction, du comportement hystérétique, des avantages physiques et des inconvénients des dispositifs de dissipation énergétique passifs pour une demande de protection sismique (modifiée de symans et al 2008).[15]

	Amortisseur visqueux	Amortisseur De viscoélastique	Amortisseur métallique	Amortisseur de friction
Construction de base				
Comportement hystérés métallique				
Modèle physique idéalisé			Modèle physique idéalisé Non disponible	
Avantages	- active à base déplacement - force de restauration	-activé à basse déplacements -fournit une force de	-comportement style hystérétique -fiabilité à long	-grande dissipation énergétique par cycle -insensibilité à la

	<p>minimale</p> <ul style="list-style-type: none"> - pour l'amortisseur linéaire, la modélisation de l'amortisseur est simplifiée - propriétés en grande partie fréquence et indépendante - record éprouvé de performance dans les applications militaires 	<p>restauration</p> <ul style="list-style-type: none"> -comportement linéaire la modélisation de l'amortisseur est simplifiée 	<p>terme</p> <ul style="list-style-type: none"> -insensibilité à la température ambiante -matériaux et comportement familiers à l'ingénierie pratiquante 	<p>température ambiante</p>
<p>inconvénient s</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Fuite d'étanchéité possible (freebilvooc pures) 	<ul style="list-style-type: none"> -capacité limitée de déformation -les propriétés sont la fréquence et la température dépendante 	<ul style="list-style-type: none"> -l'appareil endommagé après le card-car, peut nécessiter un remplacement -comportement non linéaire ; peut nécessiter une analyse non-linéaire 	<ul style="list-style-type: none"> -les condition d'interface coulissantes peuvent change avec le temps (préoccupation de la fiabilité) -comportement frottement non linéaire ; peut exciter des modes analyse non linéaire

I-5-Masse active :

Dans les systèmes « Active Mass Damper »(AMD), la force de contrôle est générée intégralement par un actionneur (hydraulique ou électrique) reliant la masse mobile au reste de la structure. Un amortisseur de masse active (AMD) est l'une des catégories des amortisseurs les plus efficaces. Il est utile pour diverses applications, car il n'a pas besoin d'un Chapitre 01 Dispositifs de réduction de la réponse sismique 30 point fixe. Le système se compose d'une masse auxiliaire installé dans un bâtiment et d'un actionneur qui exploite la masse et produit une force de contrôle. [24]

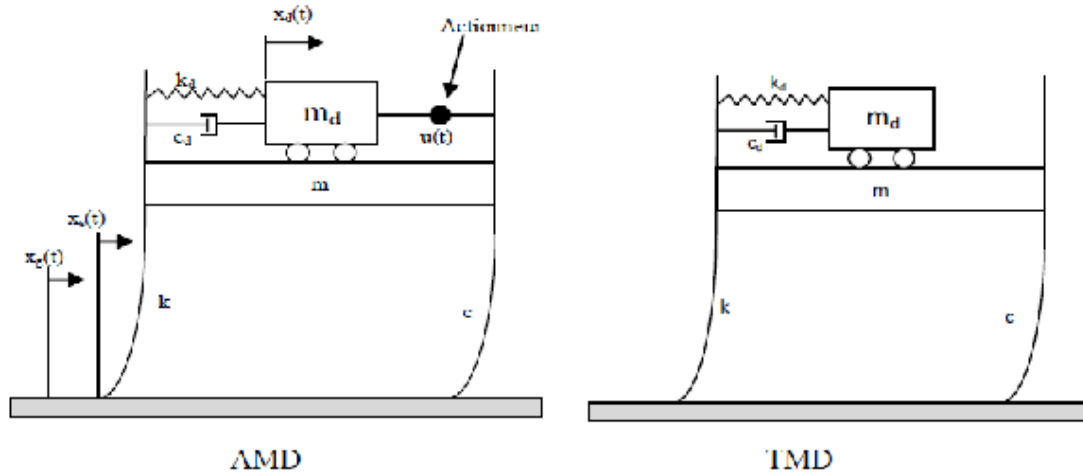


Figure 1.16 : Schéma de comparaison entre l'amortisseur de masse actif (AMD) et l'amortisseur de masse accordée (TMD) [24]

I-6-Conclusion :

Dans ce chapitre les différents types de dispositifs utilisés dans l'isolation sismique ont été passés en revue. Nous avons présenté leur principe de base ainsi que leurs avantages et inconvénients. Les systèmes d'isolation passive, étant plus simples, sont de loin ceux qui sont utilisés couramment dans les applications réelles.

Chapitre –II–

Les systèmes de protection et de dissipation d'énergie

II-1- Introduction:

Dans la conception parasismique conventionnelle, la performance acceptable d'une structure pendant un événement sismique est fondée sur la résistance de la force latérale qui est capable d'absorber et de dissiper l'énergie d'une manière stable pour un grand nombre de cycles. La dissipation de l'énergie se produit dans les régions des rotules plastiques spécialement dans les poutres et les poteaux, qui font aussi partie du système de chargement par gravité. Les rotules plastiques sont des régions de désordre concentrées du portique, ce qui est souvent un dommage irréparable. Ces caractéristiques de conception sont acceptables pour leurs considérations économiques tant que l'effondrement structurel est empêché et que la sécurité des personnes est assurée.

Ces dernières années, de sérieux efforts ont été faits pour développer le concept de dissipation d'énergie ou d'amortissement supplémentaire, et un certain nombre de ces appareils ont été installés dans les structures dans diverses parties du monde

Un nombre important de progrès pour améliorer les performances en réponse sismique et le contrôle des dommages aux bâtiments, ponts et autres structures ont été développés, et d'autres sont à venir dans un proche avenir. Ces avancées peuvent être divisées en quatre groupes:

- Les systèmes passifs tels que l'isolation à la base et les dispositifs de dissipation d'énergie.
- Les systèmes actifs, qui nécessitent la participation active des dispositifs mécaniques, dont les caractéristiques sont à changer au cours de la réponse sismique basée sur les mesures d'intervention.
- Les systèmes hybrides, qui combinent des systèmes passifs et actifs, de telle manière que la sécurité du bâtiment ne soit pas compromise, même si le système actif échoue.
- Les systèmes semi actifs, qui nécessitent des capteurs et actionneurs, et exigent une faible source d'énergie pour modifier les propriétés mécaniques des dispositifs de dissipation d'énergie passifs [4]

II-2- Systèmes de protection sismique :

Les systèmes de protection sismique actuellement utilisés vont des dispositifs de contrôle passif relativement simple aux systèmes complètement actifs. Les systèmes passifs sont, peut-être, les plus connus et ils incluent les systèmes d'isolation sismique et les systèmes mécaniques de dissipation d'énergie. Le système d'isolation sismique est plus développé, avec des progrès continus sur les appareils, les applications et les spécifications de conception

Comme précédemment noté, les systèmes de protection sismique peuvent être classés en quatre catégories comme le montre la figure (2.1) : [32]

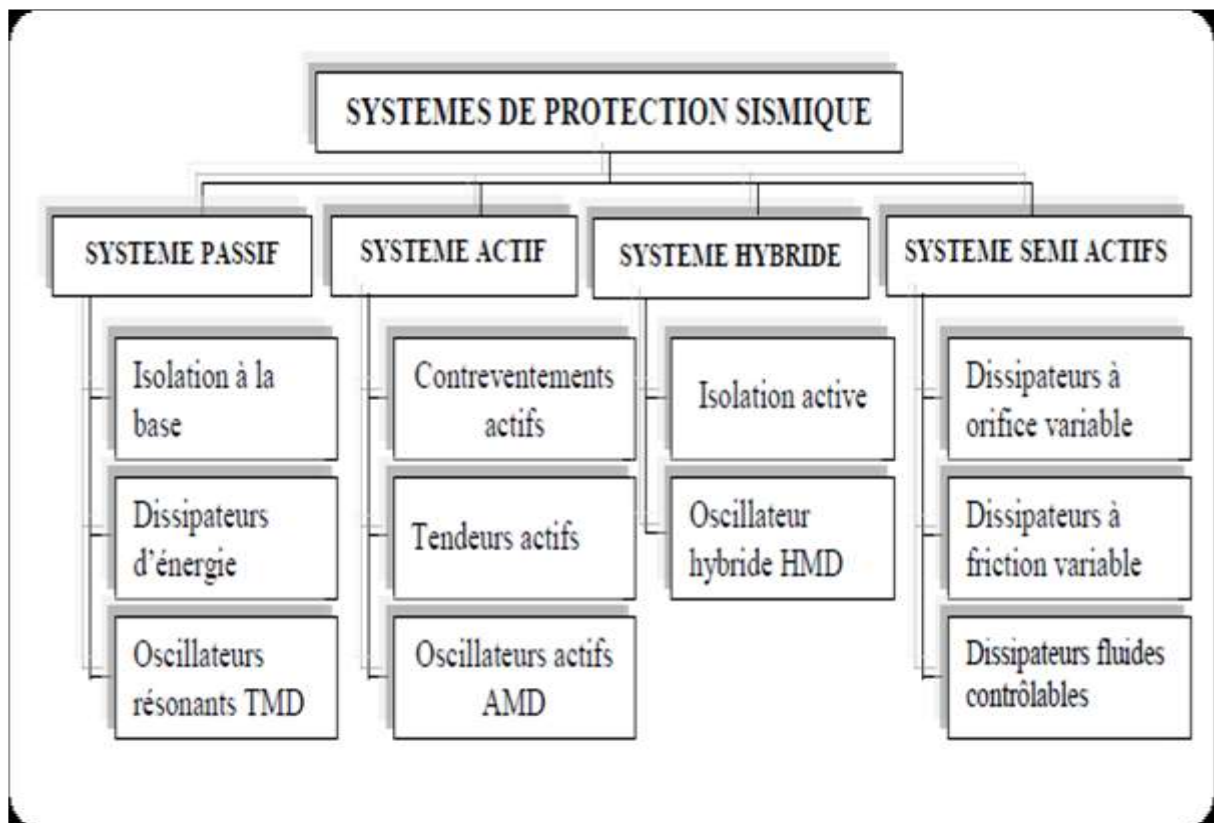


Figure 2.1 : Les catégories des systèmes de protection sismique [32]

II-2-1- 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 amortissant, 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. [34]

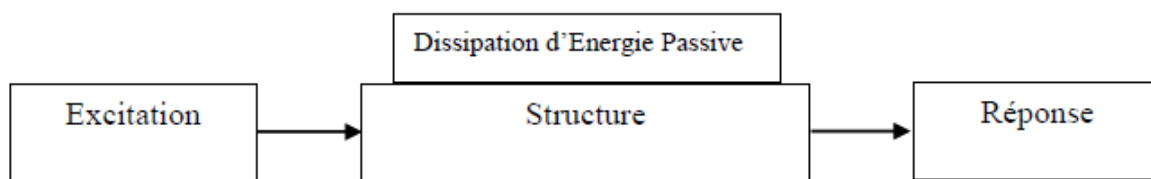


Figure 2. 2. Schéma de contrôle passif. [33]

II-2-1-1- Systèmes d'isolation sismique :

Le principe de l'isolation sismique n'est pas nouveau : les premières expériences remontant au début de 20^{ème} 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.

L'isolation à la base repose sur le principe que si la période de vibration est augmentée suffisamment pour s'éloigner de la période d'excitation prédominante du tremblement de terre, les accélérations transmises à la structure (et par conséquent les forces d'inertie) sont considérablement réduites. En revanche, l'augmentation de la période engendre des déplacements plus importants concentrés au niveau de l'isolateur. Dès lors l'incorporation d'un dispositif de dissipation d'énergie à l'isolateur est requise afin de contrôler les déplacements et de réaliser un compromis satisfaisant entre la réduction de la force et l'accroissement du déplacement.

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.

Les systèmes d'isolation sismique sont largement utilisés dans le monde dont l'application a été plus au moins répandue et une revue exhaustive de ces systèmes dépasse le cadre de ce travail. Néanmoins, on peut grossièrement classer les systèmes d'isolation sismiques en deux catégories [11]

II-2-1-2- Contrôle passif avec isolation à la base (les isolateurs sismiques) :

L'isolation sismique est une stratégie de conception fondée sur l'idée qu'il est possible de séparer la structure du mouvement du sol en introduisant des éléments souples entre la structure et les fondations. Les isolateurs permettent de réduire sensiblement la rigidité structurelle du système, offrant une période fondamentale de la structure isolée beaucoup plus grande que celle de la même structure sans isolateurs [32].

Il existe essentiellement deux types de système d'isolation : les isolateurs en élastomère et les isolateurs glissants.

Les isolateurs en élastomère sont constitués d'une gamme en caoutchouc ou en caoutchouc néoprène renforcé de plaques minces en acier. La flexibilité latérale importante dans l'élastomère permet le mouvement latéral des extrémités de l'isolateur, les plaques de renforcement permettent d'éviter un gonflement de l'élastomère et de fournir une rigidité verticale élevée. Il existe trois types d'isolateurs qui sont largement utilisés : l'isolateur d'amortissement bas et l'isolateur d'amortissement élevé (LDR et HBDR), l'isolateur de base en élastomère avec barreau de plomb (LRB) et l'isolateur en pendule de friction (FPS) [32,10].

Ils existent plusieurs types d'isolation parasismique. Selon leur mode de fonctionnement, ils peuvent être classés en plusieurs catégories: [10]

II-2-1-3- Les systèmes à base d'élastomère (déformation):

Il existe trois types d'isolateurs en élastomère :

- l'élastomère fretté
- l'élastomère fretté avec noyau de plomb
- l'élastomère fretté à amortissement élevé

Tous les trois peuvent prendre une forme rectangulaire ou circulaire dans le plan, et sont composés de couches successives d'élastomère et de plaques minces en acier appelées frettes.

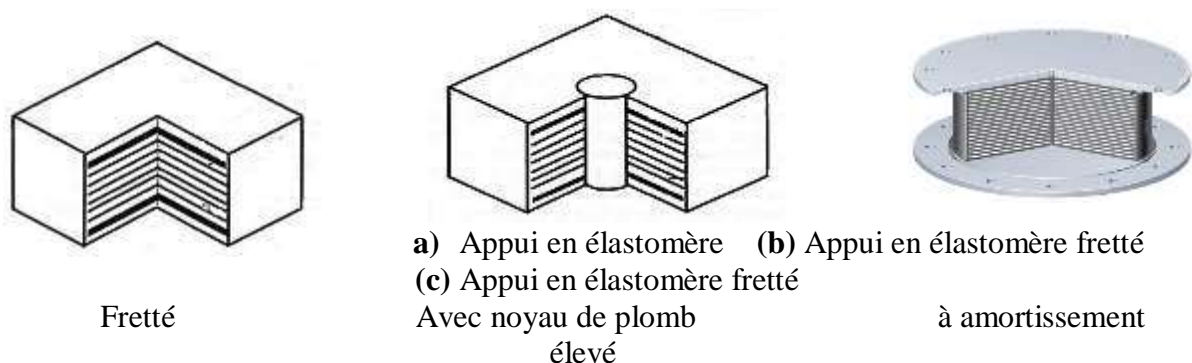


Figure 2.3 : Les types des systèmes d'isolation sismique à base d'élastomère

Tous les trois peuvent prendre une forme rectangulaire ou circulaire dans le plan, et sont composés de couches successives d'élastomère et de plaques minces en acier appelées frettes [7].

a) L'élastomère fretté :

D'isolateurs sismiques est représenté par la figure (2.4). Cependant, ces appuis possèdent un comportement pratiquement linéaire et élastique, ce qui ne leur confère que très peu de dissipation d'énergie et donc qu'un faible taux d'amortissement visqueux équivalent (moins de 5 %). Cet isolateur est donc en général jumelé à un amortisseur pour compenser son faible amortissement. Par conséquent, dans la majorité des cas ce sont les deux autres types 17 d'isolateurs sismiques en élastomère qui sont employés puisqu'ils apportent une dissipation d'énergie plus conséquente, Ce sont donc les isolateurs en élastomère fretté à amortissement élevé et ceux à noyau de plomb.

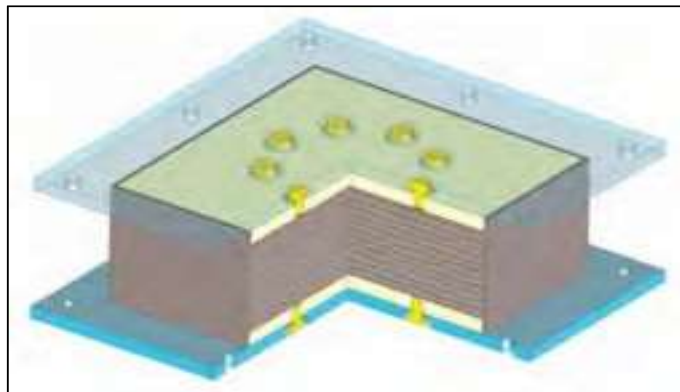


Figure 2.4. Schéma d'isolateur en élastomère fretté, de forme rectangulaire dans le plan

b) Systèmes d'isolation en élastomère fretté avec noyau de plomb (LRB) :

L'isolateur en élastomère fretté à noyau de plomb (Lead Rubber Bearing : LRB) est géométriquement identique à l'isolateur en élastomère fretté, mais possède un noyau de plomb en son centre (figure 2.5). Il a été inventé en 1975 en Nouvelle-Zélande par W. H. Robinson, Les plaques du sommet et du rebord de l'isolateur sont généralement connectées aux plaques de fin de l'isolateur au moyen de boulons fraisés afin de s'assurer de l'isolement du noyau de plomb. Le noyau de plomb est généralement coupé plus long que la hauteur de l'isolateur en élastomère. Il a donc un volume initial plus grand que l'espace disponible à son

emplacement. Le noyau est donc comprimé à l'intérieur de l'isolateur entre les cales d'acier et les plaques de fin en acier situées à ses deux extrémités. Afin de tenir dans l'isolateur, le noyau s'élargit en venant à son tour comprimer les couches de caoutchouc. Sous de telles conditions de confinement, le noyau de plomb permet alors une excellente capacité de dissipation d'énergie.

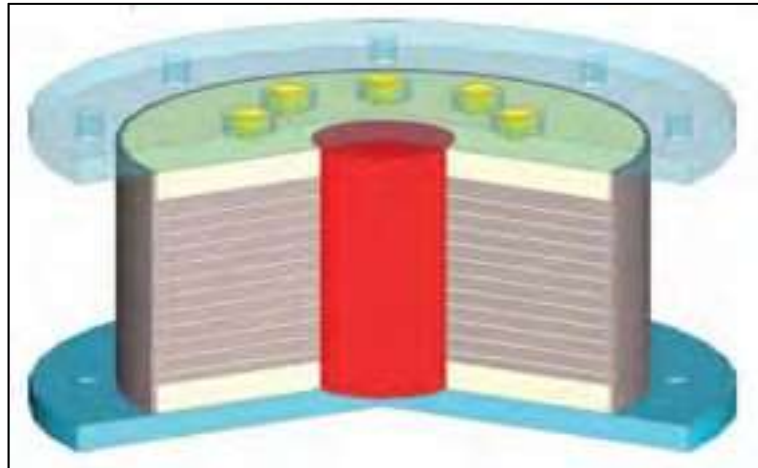


Figure 2.5 Schéma d'isolateur élastomère avec noyau de plomb et de forme circulaire dans le plan

c) Systèmes d'isolation en élastomère fretté à amortissement élevé (HDRB) :

L'ajout d'additifs dans le caoutchouc lors de sa fabrication. Un amortissement typique d'environ 10 % est ainsi obtenu. Cet isolateur peut donc à la fois augmenter la période de la structure afin de la protéger et mieux contrôler les déplacements qu'elle subit grâce à l'énergie dissipée dans l'élastomère. [8]

Le terme HDRB est appliqué aux appuis en élastomères où l'élastomère utilisé fournit une quantité d'amortissement significative, habituellement à partir de 8% à 15% de l'amortissement critique. Un isolateur en élastomère d'amortissement élevé (figure 2.6) est constitué de plusieurs couches en caoutchouc avec des propriétés d'amortissement élevées séparées par des plaques en acier afin d'augmenter la rigidité verticale. Il est verticalement rigide capable de soutenir les charges verticales de pesanteur tout en étant latéralement flexible, capable de permettre des grands déplacements horizontaux. Au moyen de ses possibilités de flexibilité et d'absorption d'énergie, le système HDRB reflète et absorbe partiellement une partie de l'énergie du tremblement de terre avant que cette énergie ne puisse

être transmise à la structure. Ces appareils peuvent donc résister à des déformations en cisaillement très grandes, beaucoup plus élevées que les élastomères simples.

L'élastomère à amortissement élevé a un comportement non-linéaire sous les forces latérales, ce comportement non-linéaire est obtenu par l'ajout de composants chimiques qui changent les propriétés du matériau

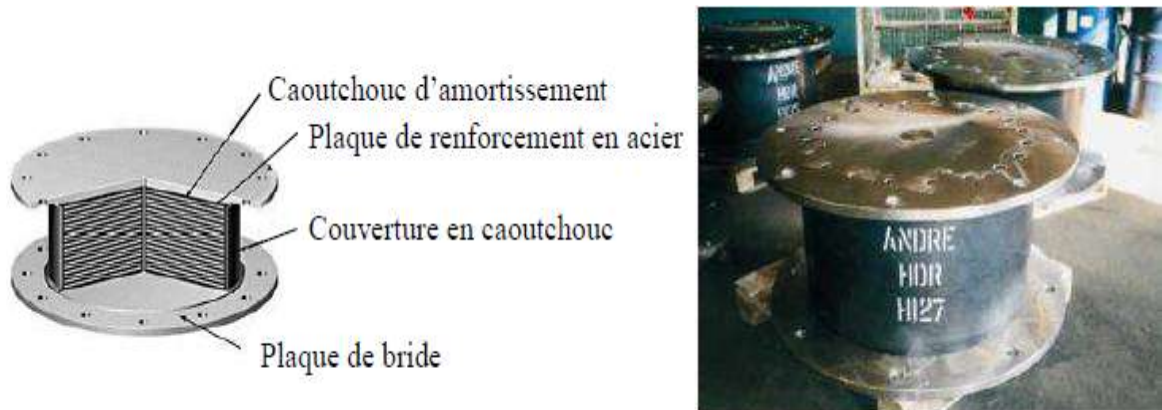


Figure 2.6 : photo et schéma d'un isolateur en élastomère d'amortissement élevé (HDRB) [34]

II-2-2- Les systèmes à base de glissement :

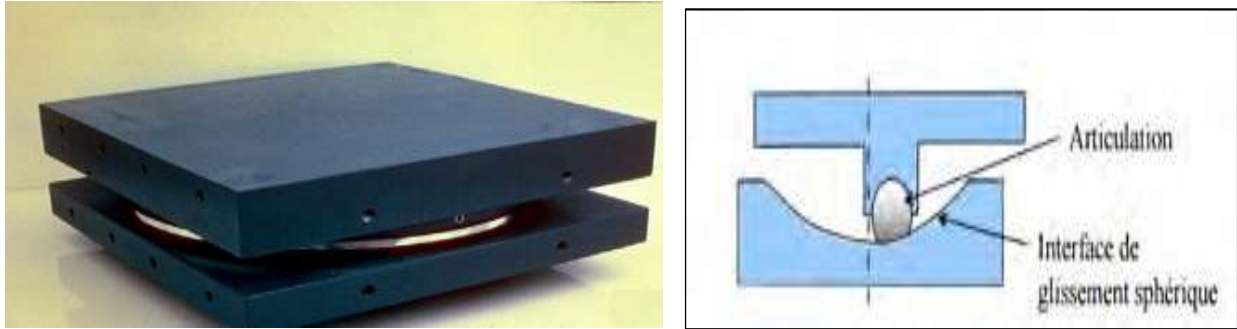
Les isolateurs sismiques à base de glissement fonctionnent en apportant un découplage des mouvements de la structure isolée de ceux subis par les éléments de fondation. Ce découplage est effectué par interface de glissement qui permet également la dissipation d'énergie sismique, réalisée par friction

Parmi les systèmes à base de glissement il y a :

- le système, bien connu, de pendule à friction;
- un système local, utilisant de l'élastomère confiné

II-2-2-1- Systèmes de pendule à friction :

Le système de pendule à friction simple, illustré par la figure 2.7, ci-après, utilise une interface de glissement sphérique via une articulation. Ce système génère un mouvement global de la structure proche de celui d'un pendule. L'énergie dissipée par friction ainsi que la période d'isolation sont en fonction du coefficient de frottement de l'interface de glissement et de rapport poids / rayon de courbure exclusivement, les caractéristiques clés de ce type d'isolateur.



(a)

(b)

Figure 2.7 : (a) palier de pendule à friction [9] ; (b) Schéma de l'isolateur de type pendule à friction simple

II-2-2-2 Systèmes d'isolation à base de glissement avec élastomère confiné :

Un système d'isolation à base de glissement avec élastomère confiné est composé d'un appui en élastomère confiné muni d'une interface de glissement et de ressorts en acier (figure 2.8). Il a été développé au Québec. Le système de recentrage (ressorts en acier) possède un comportement élastique et apporte la rigidité post-élastique (tangente) du système. L'interface de glissement est une interface acier inoxydable - Téflon et permet la dissipation d'énergie de cet isolateur. Sous un poids donné, cette interface contrôle la force de friction constituant ainsi le siège de dissipation d'énergie et la résistance caractéristique initiale du système (Guizani, 2003). La rigidité post-élastique (K_d) et la résistance caractéristique initiale (Q_d) sont définies plus loin.

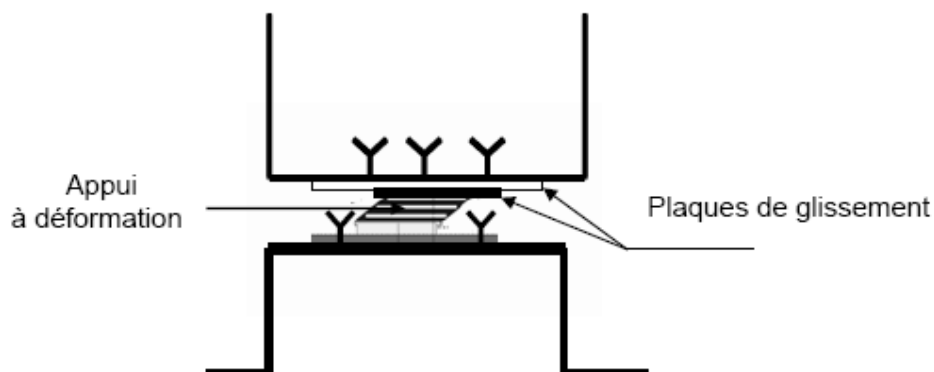


Figure 2.8 : Schéma de l'isolateur sismique [8]

II-2-3- Les systèmes de déformation et glissement :

Il s'agit d'un dispositif combinant les deux types d'appuis mentionnés, il est constitué par l'association des plaques de glissement et des appuis à déformation (voir Fig2.9). Dans un premier temps, les isolateurs se déforment latéralement grâce à la distorsion de l'élastomère. Lorsque la force nécessaire à l'accroissement de la distorsion devient supérieure à la force de frottement entre les plaques, ce qui ne se produit que lors des séismes de très forte intensité, le glissement commence. Pendant un séisme violent, il peut se produire plusieurs glissements.

Ce système entraîne une réduction à la fois des accélérations et des déplacements de la superstructure et conduit ainsi à une diminution importante des efforts tranchants à sa base. Ceci est particulièrement avantageux dans le cas des constructions sur fondations profondes plus sensibles au cisaillement que les fondations superficielles.

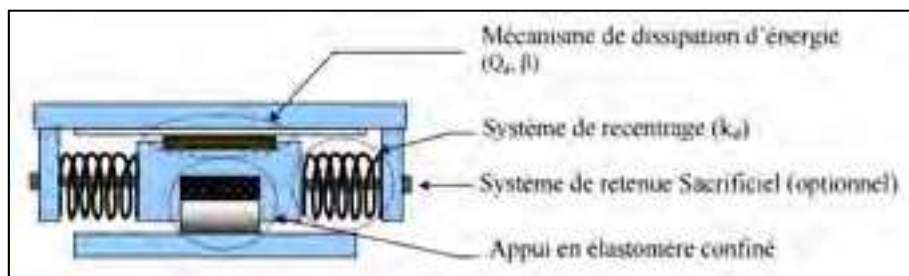


Figure 2.9 : Les systèmes de déformation et glissement

II-2-4- Systèmes de dissipation d'énergie passifs :

Les systèmes de dissipation d'énergie passifs utilisent des dispositifs mécaniques pour dissiper une partie de l'énergie d'entrée structurelle, réduisant ainsi la réponse structurelle et les dommages structurels possibles. Ces dispositifs sont utilisés pour atténuer les vibrations structurelles face à des excitations sismiques. Les systèmes passifs typiques sont les amortisseurs de masse accordée (TMD- Tuned Mass Damper), les amortisseurs de liquide accordé (TLD- Tuned Liquide Damper), les dispositifs de friction, les dispositifs d'amortissement métalliques, les amortisseurs visqueux élastiques et les amortisseurs à fluide visqueux. Les systèmes de dissipation passifs ne nécessitent aucune source d'énergie externe ni des dispositifs de mesure de la réponse structurelle

Cependant, la capacité de contrôle des systèmes passifs est limitée. Certains systèmes, comme les TMD et les TLD, ne sont efficaces que dans une bande de fréquences étroite étant

donné qu'ils sont réglés sur la fréquence dominante de la structure. De tels amortisseurs peuvent être utilisés pour s'opposer à des vibrations de structure sous des excitations dynamiques dans lesquelles le premier mode domine la réponse, mais ils n'ont pas la capacité de contrôler la réponse sismique dans laquelle les modes supérieurs sont significatifs.

Les structures équipées de systèmes de contrôle passifs sont incapables de s'adapter à l'excitation et à la réponse structurelle. Les systèmes passifs dépendent du mouvement relatif de la structure pour entraîner le mécanisme de dissipation de l'énergie, et l'énergie dissipée peut seulement être liée à la réponse structurelle locale (où le dispositif passif est installé) [4]

Les techniques passives d'amortissement des vibrations structurales utilisent l'intégration ou l'ajout de matériaux ou systèmes, possédant des propriétés amortissant, 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 trois catégories de systèmes passifs : la première est l'isolation sismique et le deuxième est la dissipation d'énergie est le troisième est l'amortisseur à masse accordé. La figure (2.10) présente un schéma descriptif de cette technique.

Les systèmes passifs de dissipation d'énergie ont le même principe de base que les isolateurs sismiques lorsqu'ils sont incorporés dans la structure : ils peuvent absorber une portion de l'énergie d'excitation extérieure. En plus, ils peuvent réduire substantiellement le mouvement différentiel entre les éléments de la structure et par conséquent réduire les dégâts de cette dernière. Ces dernières années, des efforts sérieux ont amélioré le concept des systèmes de dissipation d'énergie, et plusieurs appareils ont été installés dans des structures partout dans le monde. En général, ils sont caractérisés par leur capacité de dissiper l'énergie de vibration de la structure ou de la convertir en un autre mode de vibration ou en une autre forme d'énergie. Les principaux systèmes sont :

- amortisseurs métalliques (hystérétiques)
- amortisseurs à friction
- amortisseurs viscoélastiques
- amortisseurs à fluide visqueux [11]

II-2-4-1- Amortisseurs métalliques (hystérétiques) :

Un des mécanismes les plus efficaces de dissipation de l'énergie de déformation induite dans les structures pendant une sollicitation sismique est par la déformation plastique des métaux, plusieurs des systèmes fonctionnant d'après ce principe sont faits en acier doux (Soong & Dargush, 1997; Soong & Spencer Jr, 2002). Dans les structures conventionnelles, la conception parasismique dépend souvent de la déformation plastique des éléments structuraux comme les poutres et les colonnes pour dissiper l'énergie, alors que dans le système décrit ici, on utilise un amortisseur métallique séparé qui ne sert pas d'élément structural en service mais qui dissipe l'énergie des sollicitations sismiques. Il s'agit d'un concept qui a d'abord été introduit dans les années 1970 (Soong & Dargush, 1997).

Pour éviter les problèmes de fatigue et pour pouvoir atteindre des niveaux de déformation élevée, on utilise pour les amortisseurs des aciers doux à ductilité élevée, on conçoit des éléments à section variable de façon que la contrainte soit égale sur chaque section, et on conçoit les connexions de façon à éviter les concentrations de contraintes, particulièrement aux soudures. Il existe trois géométries typiques d'amortisseurs en acier, qui assurent un comportement stable: la poutre de flexion à moment constant, qu'on désigne type 18 « U », la poutre en porte à faux, qui a souvent une forme évasée, conique par exemple, qu'on désigne type « T », et la poutre de torsion, qu'on désigne type « E ». Le choix du type de géométrie dépend de l'endroit et de l'espace disponible, de la manière qu'il est possible de faire la connexion avec les éléments du pont, et du niveau de déformation qui lui sera imposé. Pour l'isolation sismique de la structure du tablier, le niveau de déformation demandé est en effet élevé et peut se produire dans n'importe quelle direction. C'est pourquoi on crée des amortisseurs qui sont des assemblages de plusieurs amortisseurs de types U, T ou E. Par exemple le système « EDU », aussi appelé « Crescent moon-shaped steel damper » dans la littérature anglophone et illustré sur la Figure (2.10) (b), est un assemblage de poutres de types U. Les systèmes « ADAS », pour « added damping and stiffness »,

Ainsi que « TADAS » (d), pour « triangular added damping and stiffness », sont des assemblages de poutres de types T. Ces deux systèmes diffèrent de par leur géométrie et leurs conditions aux extrémités : le système ADAS a une forme de X car ses deux extrémités sont fixes, alors que le système TADAS a une forme triangulaire car une seule de ses extrémités est fixe alors que l'autre est une rotule. De cette façon, tous deux permettent une distribution de contraintes constante sur toute leur hauteur lorsque fléchis. On remarque sur les courbes d'hystérésis des systèmes ADAS et TADAS que la rigidité augmente sous les grandes

déformations, ce qui serait dû aux effets couplés des réponses axiales et latérales, effets qui doivent être considérés lors de la conception de tels systèmes (Christopoulos & Filiatrault, 2006). Un autre exemple d'assemblage de poutres de types T est illustré sur la Figure (2.10).

Tel que mentionné précédemment, la dissipation d'énergie de cet amortisseur est créée par la déformation plastique de l'acier. Une grande partie de l'énergie dissipée est transformée en chaleur (Soong & Dargush, 1997), et une petite partie est absorbée pendant les changements de phases associées à l'écrouissage et à la fatigue (Skinner, Robinson, & McVerry, 1993). Pour simplifier la modélisation de tels systèmes, on fait souvent la simplification supposant que la dissipation d'énergie dépend uniquement de l'amplitude de la déformation, et la quantité d'énergie dissipée correspond alors à l'aire à l'intérieur de la courbe d'hystérésis. Soong & Dargush (1997) proposent des modèles incluant l'effet de la vitesse et citent des auteurs qui ont formulé d'autres modèles. Skinner et al. (1993) proposent deux méthodes approximatives pour modéliser la relation force-déplacement des amortisseurs métalliques.

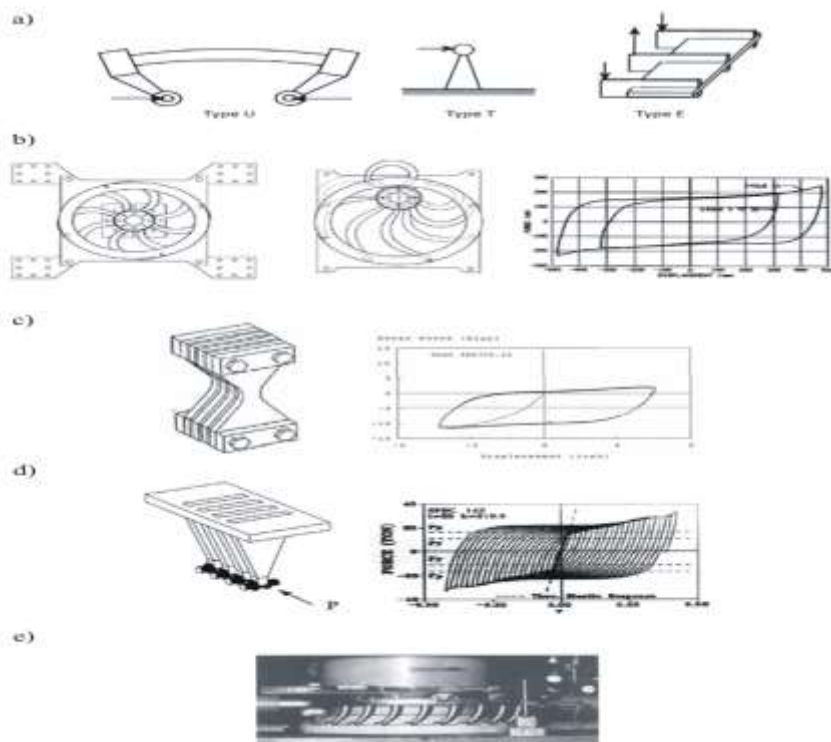


Figure 2.10: Amortisseurs métalliques : (a) trois géométries typiques (Priestley, Seible, & Calvi, 1996); (b) assemblage « EDU » et hystérésis (Casarotti, 2004); (c) assemblage « ADAS » et hystérésis (Casarotti, 2004); (d) assemblage « TADAS » et hystérésis (Casarotti, 2004); (e) autre assemblage de types « T » (Priestley, Seible, & Calvi, 1996) [21]

II-2-4-2- Amortisseurs à friction :

Plusieurs dispositifs de friction ont été proposés et développés pour la dissipation d'énergie dans les structures. La plupart de ces dispositifs produisent des boucles d'hystérésis rectangulaires. Le comportement des amortisseurs de frottement est semblable à celui du frottement de Coulomb. Généralement, ces dispositifs ont des caractéristiques de bon fonctionnement, et leur comportement est relativement moins affecté par la fréquence de charge, le nombre de cycles de charge, ou la variation de la température. En outre, ces dispositifs ont de haute résistance à la fatigue. Les dispositifs diffèrent dans leur complexité mécanique et dans les matières employées pour les surfaces de glissement. Plusieurs types d'amortisseur de friction sont disponibles. On se limite à citer :

- L'amortisseur de frottement de Sumitomo.
- L'amortisseur de Pall.
- L'amortisseur boulonné encoché (Slotted bolted damper) et
- La contrainte de dissipation d'énergie (Energy Dissipating Restraint. EDR)

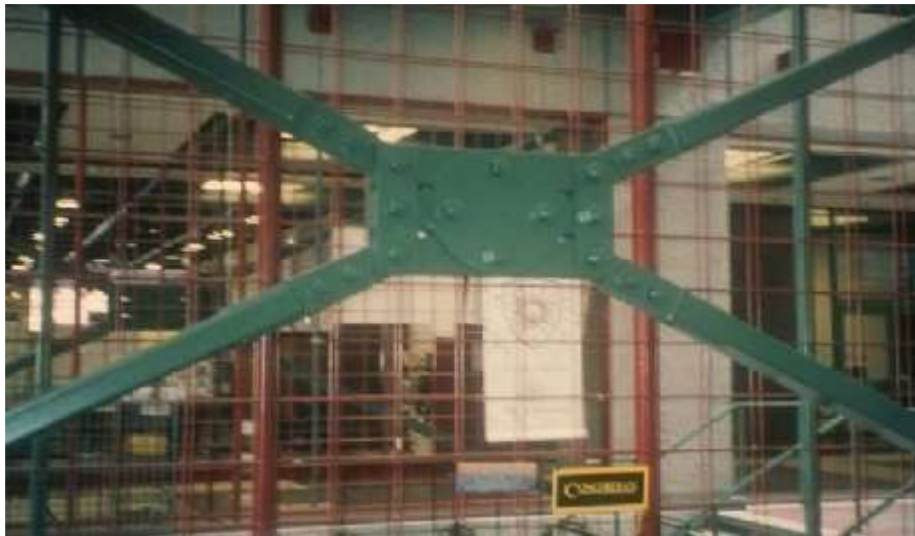


Figure 2.11: amortisseur à friction

II-2-4-2-1- L'amortisseur de frottement de Sumitomo :

L'amortisseur de frottement de Sumitomo a été développé par les industries métallurgiques de Sumitomo au Japon. Pendant des années, l'amortisseur de frottement de Sumitomo était fabriqué pour des applications ferroviaires, mais il est maintenant tendu aux structures montre la construction d'un amortisseur de frottement typique de Sumitomo. Le dispositif se compose des plaquettes de cuivre, imbibées du Graphite en contact avec

le cylindre en acier du dispositif. La charge sur la surface de contact est développée par une série de cales qui agissent sous la compression des ressorts de rondelle de Belleville. Le graphite sert à lubrifier la surface de glissement et d'assurer un coefficient de frottement stable et un fonctionnement silencieux.

II-2-4-2-2- L'amortisseur de Pall :

Un exemple des amortisseurs qui emploie également le Frottement de Coulomb pour absorber l'énergie lors d'un événement séismique est le dispositif de frottement proposé par Pall et Marsh (1982) et Pall et al. (1987). C'est un dispositif qui peut être situé à l'intersection des contreventements en croix dans le cadre comme le montre la figure. 2.8 Une fois la charge séismique est appliquée, le croisillon de tension induit un glissement au niveau du frottement. Par conséquent, les quatre liens forcent le croisillon de compression à glisser. De cette manière, l'énergie est absorbée dans les deux croisillons quoiqu'ils soient conçus pour être efficaces dans la traction seulement. Filiatrault et Cherry (1987) et d'Aiken et al. (1988) montrent l'efficacité de ces dispositifs en prouvant une augmentation importante de la capacité de dissipation d'énergie et en réduisant le déplacement inter étage par rapport aux cadres de résistance de moment sans de tels dispositifs.

Filiatrault et Cherry (1990) ont développé une méthode de conception pour estimer la répartition des charges optimales de glissement pour les amortisseurs de frottement de Pall. Le critère de conception est de réduire au minimum un index relatif d'exécution dérivé utilisant des concepts d'énergie. Le dispositif a été utilisé dans plusieurs bâtiments au Canada, l'Inde, les Etats-Unis et la Chine.

II-2-4-2-3- Amortisseur boulonné encoché (Slottedbolted damper) :

Fitzgerald et al. (1989) ont proposé un dispositif de frottement qui permet au glissement d'avoir lieu dans les raccords boulonnés encochés.

L'amortisseur boulonné encoché se compose de plaques d'acier qui sont boulonnées ensemble avec une force de fixation spécifique. La force de fixation est telle que le

glissement peut se produire à une force de frottement prédéterminée. L'interface glissante se compose seulement

de l'acier. Une amélioration a été présentée par Grigorian et Popov (1993) qui ont examiné un raccordement boulonné encoché semblable à celui de Fitzgerald, excepté que l'interface de glissement s'est composée du laiton et de l'acier, une telle interface a présenté une caractéristiques de friction plus stable que l'interface en acier. Des essais de simulateur de tremblement de terre d'un modèle à trois étages d'acier avec le raccordement encoché ont été effectués par Grigorian et Popov (1993) qui ont montré l'efficacité du dispositif en réduisant la réponse.

II-2-4-3- La contrainte de dissipation d'énergie (EDR) :

Fluor Daniel, a développé et testé un type unique de dispositif de frottement, appelé la contrainte de dissipation d'énergie (Energy Dissipating Restraint (EDR)). L'EDR est caractérisé par des possibilités d'auto-centrage et la charge de glissement est proportionnelle au déplacement. Ainsi c'est le seul dispositif de friction qui produit des boucles d'hystérésis non-rectangulaires et il est activé même par de petites excitations.

Ce dispositif inclut également un ressort interne et des cales encastrées dans un cylindre en acier . L'EDR utilise des cales de compression en acier et des cales de frottement en bronze afin de transformer la force axiale de ressort en pression normale agissant vers

L'extérieur sur la paroi de cylindre. La surface de frottement est formée par l'interface entre les bords en bronze et le cylindre en acier, La composition de l'interface est d'importance primordiale pour assurer la longévité du dispositif. Des arrêts internes sont assurés dans le cylindre afin de créer les lacunes de tennis on et de compression. Il convient de mentionner que la longueur du ressort interne peut être changée lors du fonctionnement, offrant une force de frottement à glissement variable.[23]

II-3-1- Systèmes actifs :

Contrôle actif de structures En ce qui concerne le contrôle vibratoire, en général, plusieurs mécanismes de contrôle actif sont envisagés comme, par exemple, des diagonales actives (« active braces » ou « active tendons ») , et des amortisseurs actifs à masse accordée (« active tuned mass dampers ») . Comme déjà mentionné, le contrôle actif peut difficilement être envisagé comme une solution fiable et réaliste de protection parasismique des bâtiments en

raison de la quantité de puissance nécessaire pour le fonctionnement des actionneurs et du risque de perdre la source de puissance lors d'un séisme majeur. Néanmoins, ici, nous allons nous intéresser aux systèmes de contrôle actif comme un préambule aux systèmes de contrôle semi-actif. Nous nous intéressons aux systèmes d'isolation mixtes combinant des appuis passifs et des actionneurs se situant entre la fondation et la superstructure. Ces systèmes peuvent appliquer des forces seulement à la base (second radier) comme schématiquement sur la Figure (2.12).

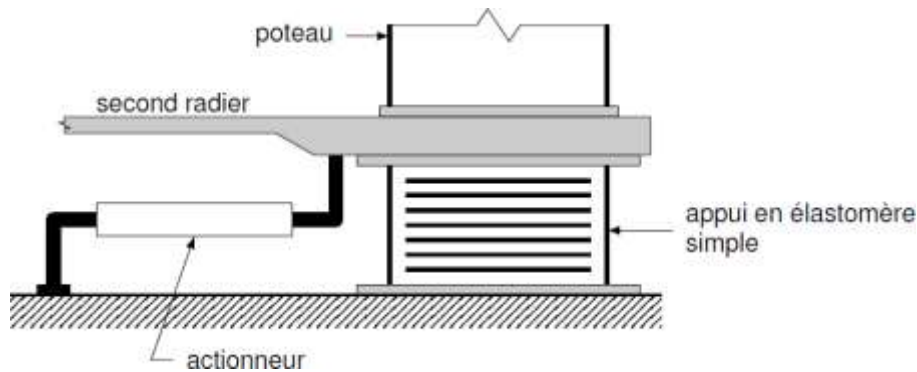


Figure 2.12 : Configuration d'un système d'isolation mixte actif [13]

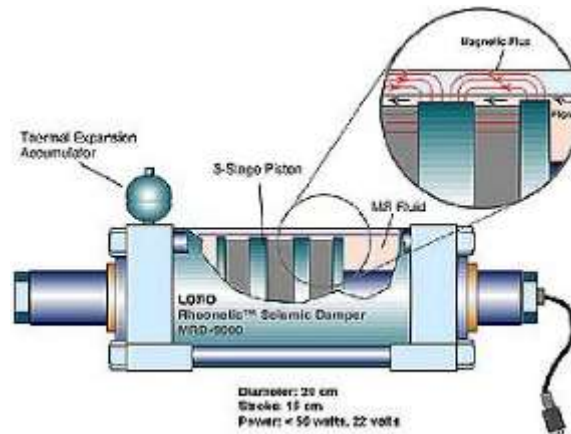


Figure2.13 : système d'amortisseurs actif [16]

II-3-2- Les amortisseurs inertiels actifs (Active Mass Damper) :

Avec les mêmes propriétés dynamiques que les amortisseurs inertiels passifs, les systèmes inertiels actifs appliquent une force de contrôle sur la structure calculée en fonction des accélérations du bâtiment. Le déclencheur meut une masse secondaire après l'analyse du mouvement de la structure effectuée par un ordinateur grâce aux informations fournies par les différents capteurs répartis aux différents étages. La force de contrôle, mieux contrôlée et

adaptée à la situation, permet l'installation d'une masse plus légère que celle d'un système passif mais les coûts d'opération et de maintenance rendent ces systèmes au final beaucoup plus onéreux. Les modes de support de la masse sont identiques à ceux des systèmes passifs : pendules, porteurs à caoutchouc laminés ou encore roulements linéaires. Ces systèmes réduisent entre 1/3 et 1/2 les réponses structurales aux contraintes ventueuses.

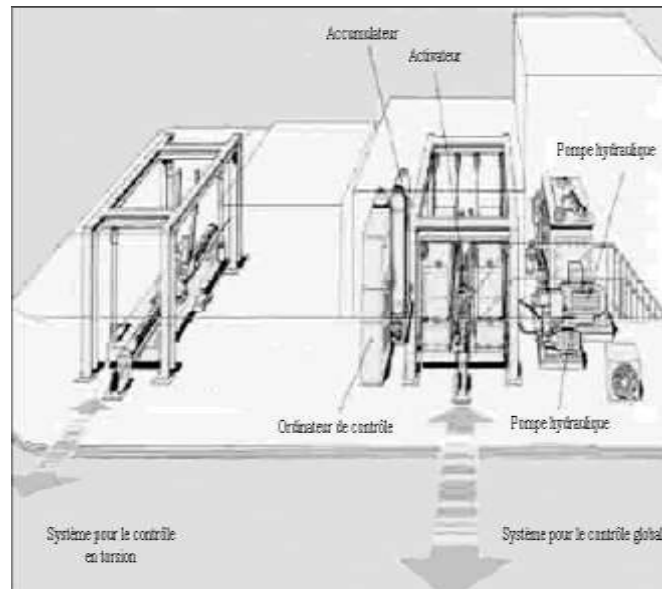


Figure 2.14 : L'amortisseur actif de Kajima : masse suspendues par câbles et activateur hydraulique

II-3-3- Les systèmes à rigidité variables (Active Variable Stiffness System) :

Les AVS sont des systèmes développés depuis le début des années 1990 pour protéger les immeubles contre les tremblements de terre violents. Le système consiste en un ensemble de bras assemblés en V inversés dont les extrémités sont reliées aux bords du bâtiment pour atténuer les mouvements transversaux. Fig1.9 Configuration d'un système à rigidité variable et schéma de fonctionnement KAM.

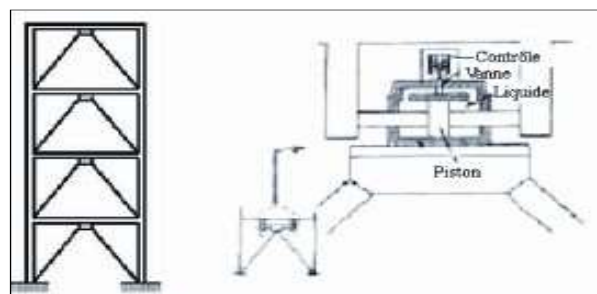


Figure 2.15: Configuration d'un système à rigidité variable et schéma de fonctionnement

II-4-1- Les systèmes hybrides :

Les systèmes hybrides ont été mis au point au début des années 1990 pour pallier le principal défaut des systèmes passifs, à savoir le temps de réponse trop important dans les cas d'un séisme d'intensité conséquente et celui des systèmes actifs à savoir la consommation en énergie (et le risque de défaillance en cas de destruction des systèmes d'alimentation). Le principe est de partir d'un TMD (amortisseur inertiel), par exemple, et de lui adjoindre une masse supplémentaire via un câble, un amortisseur et un activateur. Les déplacements du TMD sont ainsi amplifiés par ceux de la masse active supplémentaire. L'emploi à la fois d'une source active et d'une masse passive permet d'offrir un temps de réponse convenable et, en cas de défaillance des systèmes électriques, un degré de protection minimum avec le mode passif.

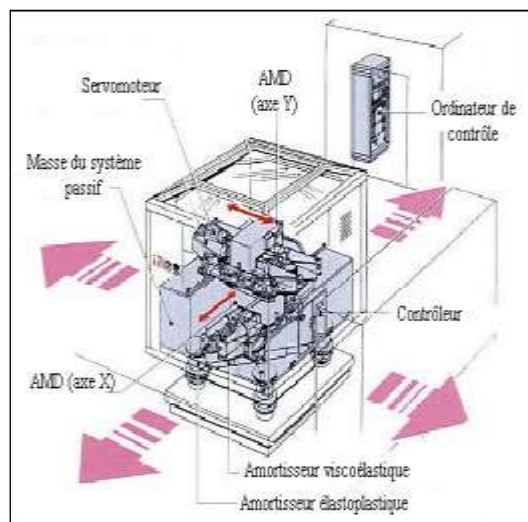


Figure 2.16 : Le Nishikicho Building et son système de protection hybride basé sur un amortisseur inertiel passif couplé à deux masses actives (AMD) [20]

La recherche dans le domaine des systèmes de contrôle hybride a essentiellement porté sur deux catégories de systèmes:

- des systèmes d'amortisseur de masse hybrides
- l'isolation de base hybride

II-4-1- Isolation de base hybride (Hybride Base Isolation) :

Une classe des systèmes de contrôle hybride a été étudiée par un certain nombre de chercheurs. Etant donné, un système d'isolation de base active, constitué d'un système d'isolation de base passive combiné avec un actionneur de contrôle pour compléter les effets du système d'isolation de base. Les systèmes d'isolation de base ont été mis en application à

travers le monde sur des structures de génie civil pendant plusieurs années en raison de leur simplicité, fiabilité et efficacité [17].

Un système hybride d'isolation à la base combinant un système d'isolation à la base et un système de contrôle actif a été proposé par Yang et al. [18]. Ce système, schématisé sur la figure 1.17 est composé d'un système de tendon actif installé sur la superstructure et d'un système d'isolation à la base. Des études théoriques ont été réalisées pour tel système hybride en tenant compte la non linéarité du système d'isolation. Plusieurs algorithmes de contrôle ont été utilisés comme la rétroaction directe des sorties, le contrôle en mode glissant et la conception de la surface de glissement Agrawal and Yang [19].

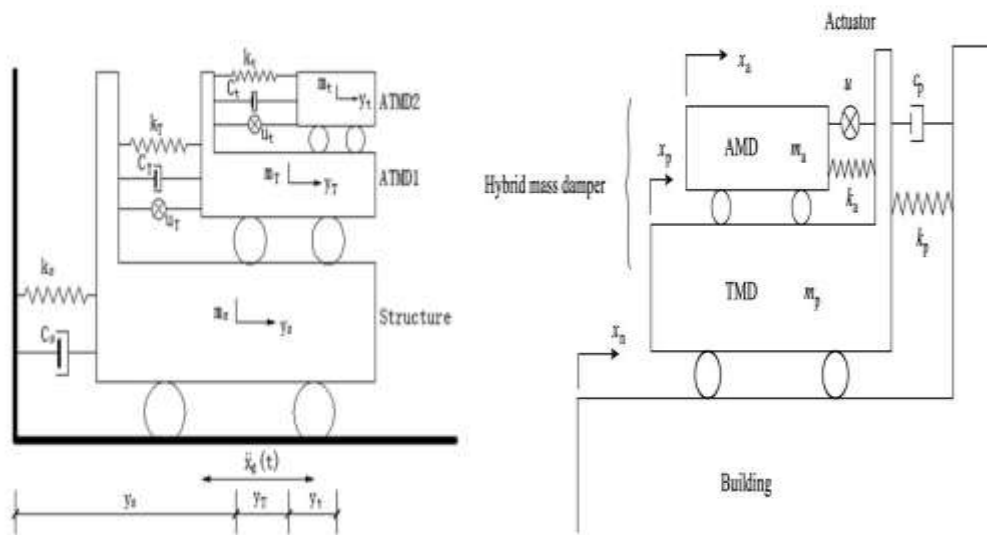


Figure 2.17 : Configuration de base d'un Amortisseur à mass accordée hybride a) ATMD actif +ATMD actif Li et al. [27] b) TMD passif +ATMD actif Cheng et al. [28]

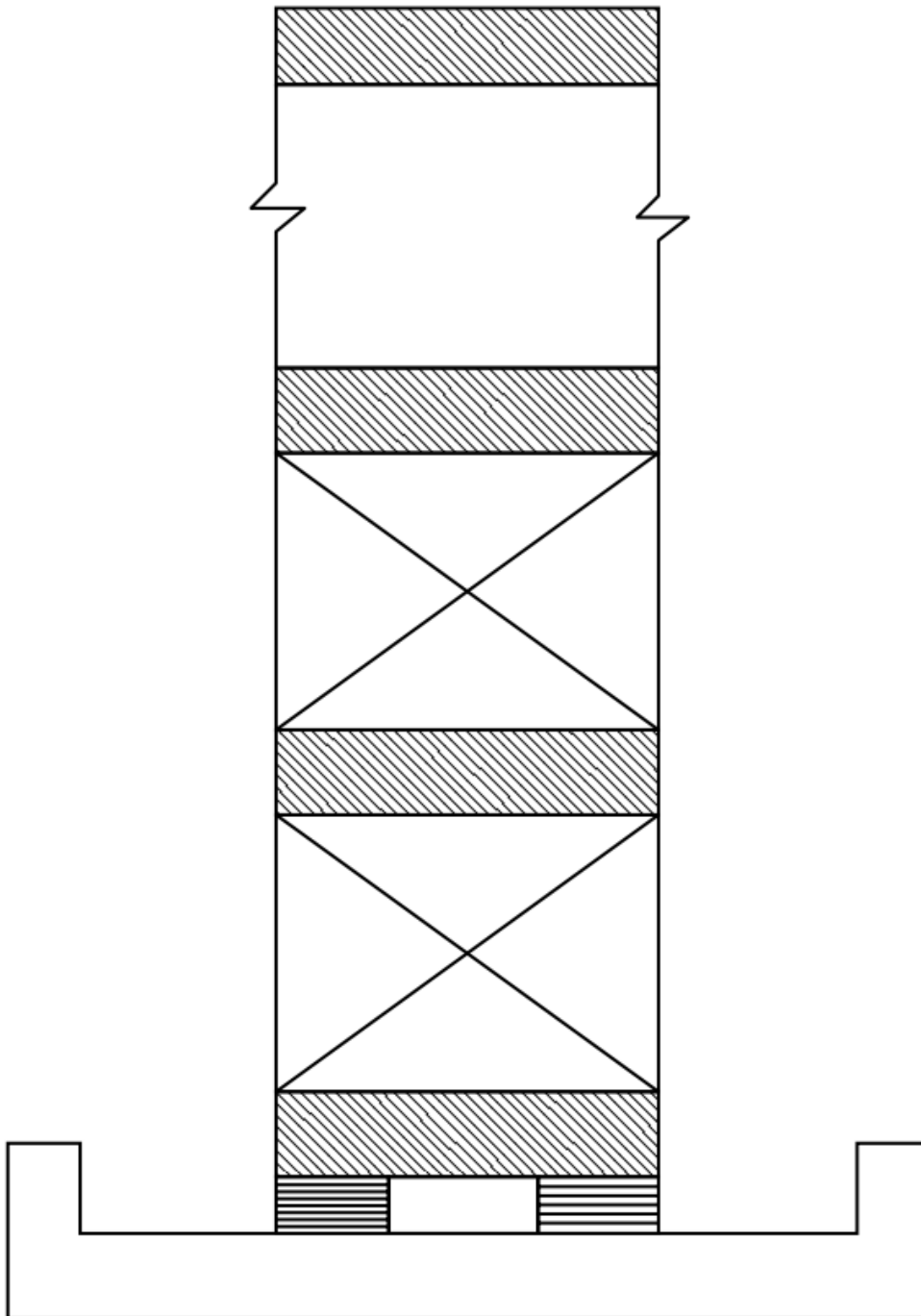


Figure 2.18 : Contrôle hybride d'une structure isolée à la base

II-4-1-2- Amortisseur à masse accordée hybride :

L'amortisseur de masse hybride (HMD) est le dispositif de contrôle le plus commun, utilisé dans les applications de génie civil à grande échelle. Il est une combinaison d'un amortisseur de masse accordée (TMD) et d'un actionneur de contrôle actif. La capacité de ce dispositif de

réduire les réponses structurelles se fonde principalement sur le mouvement normal du TMD. Et son efficacité dépend des forces de l'actionneur de contrôle. Les forces de l'actionneur de contrôle sont utilisées pour augmenter l'efficacité de l'HMD et d'augmenter sa fiabilité aux changements des caractéristiques dynamiques de la structure. Un système HMD typique exige moins d'énergie pour fonctionner qu'un amortisseur de masse entièrement actif

Un exemple réussi de l'exécution du système HMD est le bâtiment de Sendagaya INTES à Tokyo en 1991. Comme l'illustre la figure 2.19, le HMD a été installé au sommet du 11^{ème} étage et se compose de deux masses pour contrôler les mouvements transversaux et la torsion de la structure, alors que les actionneurs hydrauliques fournissent les possibilités de contrôle actif [4]

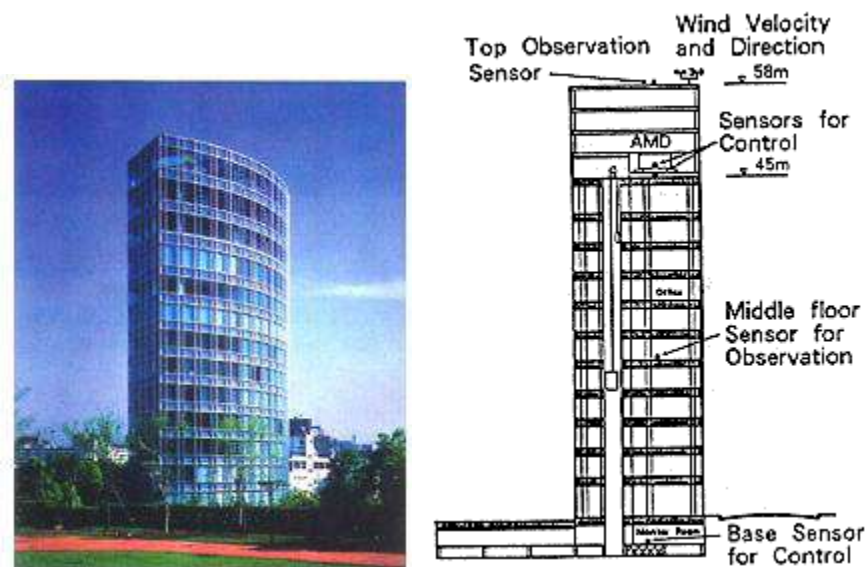


Figure 2.19 : Le bâtiment de Sendagaya INTES [31]

II-5-1- Système de contrôle semi actif :

Le système de contrôle semi actif est plus fiable et plus simple que le système de contrôle actif puisqu'il fonctionne comme des dispositifs passifs en cas de panne de courant. et plus efficace pour réduire la réponse structurelle que d'autre système de contrôle passif.

Cette technique convient pour être utilisée dans certains bâtiments ou équipements importants. Actuellement, il existe différents types d'amortisseurs semi actifs proposés pour contrôler les structures en génie civil. Ces dispositifs incluent, notamment, les amortisseurs à

orifice variable, les amortisseurs de friction variable et les amortisseurs à fluide contrôlable. Ces dispositifs sont brièvement décrits et illustrés dans ce qui suit [30].

Les systèmes de contrôle semi actif sont une classe des systèmes de contrôle actifs pour lesquels les besoins en énergie externe sont moins importants que les systèmes de contrôle actifs typiquement, les dispositifs semi-actifs de contrôle n'ajoutent pas l'énergie mécanique au système structural (y compris structure et l'actionneur de contrôle), mais peuvent avoir des propriétés mécaniques qui peuvent être réglées pour améliorer leur performance. Des changements des propriétés mécaniques du système sont basés sur la rétroaction des réponses mesurées et/ou de l'excitation ou sol. Puisque l'énergie est seulement utilisée comme moyen pour changer les propriétés du dispositif telles que l'amortissement ou la rigidité, et de ne pas produire une force de contrôle, les besoins d'énergie est très faible. Les avantages de cette classe des dispositifs incluent une meilleure performance que le contrôle passif, la polyvalence et l'adaptabilité des dispositifs actifs sans exigence d'énergie élevées, la stabilité intrinsèque et la fiabilité, puisqu'ils fonctionnent comme dispositifs passifs en cas de panne d'énergie. [29]

II-6-Conclusion :

Ce chapitre fournit une vue sur les différentes méthodologies passives et actives de control largement utilisé pour ces diverses application.les contrôles semi –actifs et hybrides des structures, les principes et fondements théoriques de cette discipline ainsi qu'une brève description des principaux systèmes d'isolation utilisées.

Chapitre –III –

Dissipateur d'énergie à fluide visqueux.

III-1- Introduction:

Dans les années 70, la première mise en place complète des amortisseurs fluides visqueux a été faite pour des ponts en Italie. Dans les années 80, des efforts importants ont été faits vers la conversion de cette technologie industrielle pour les structures de génie civil. Ces efforts ont mené au développement, l'analyse et la modélisation, le test et la mise en place complète des amortisseurs fluides visqueux. La conception des amortisseurs fluides visqueux est affichée sur la (figure 3.1). Une conception simple est réalisée avec dashpot classique, et la dissipation se produit en convertissant l'énergie cinétique en chaleur pendant le piston déplace et déformer un fluide épais et très visqueux. Cet amortisseur liquide visqueux (figure 3.1 a) a fabriqué à la première fois par le contrôle de vibration de GERB et utiliser comme composant des systèmes sismiques avec isolateurs à la base.

Le mouvement relatif d'un amortisseur piston dans l'amortisseur du boîtier provoque le fluide visqueux pour entrer et sortir dans les deux sens à trévers l'orifice, et l'énergie a absorbée par le frottement entre le fluide visqueux et l'orifice. Ce genre d'amortissement peut fournir la dissipation d'énergie et l'amortissement de mouvement dans les six degrés de liberté, donc dans n'importe quelle direction de vibration du fluide visqueux.

Le concept d'employer dans la superstructure une conception alternative du mur d'amortissement visqueux (VDW) (figure 3.1 .b), a élaboré par l'entreprise de construction Japonaise Sumitomo, le piston est simplement une plaque métallique provoquer pour se déplacer dans son plan dans un récipient rectangulaire en métallique étroit a rempli de fluide visqueux. Pour installer un VDW, le piston est fixé au plancher ci-dessus, et le récipient est fixé au plancher ci-dessous. Le mouvement des planchers déforme le fluide, ainsi le frottement entre la plaque intérieure et le fluide visqueux absorbe l'énergie.

Semblable aux amortisseurs VE, les amortisseurs fluides visqueux se comportent linéairement avec la température et sont liés à la fréquence. Des joints de haute résistance sont exigés pour empêcher le fluide visqueux de fuir. Le coût de cet amortissement relativement bas par contre son efficacité est haute.

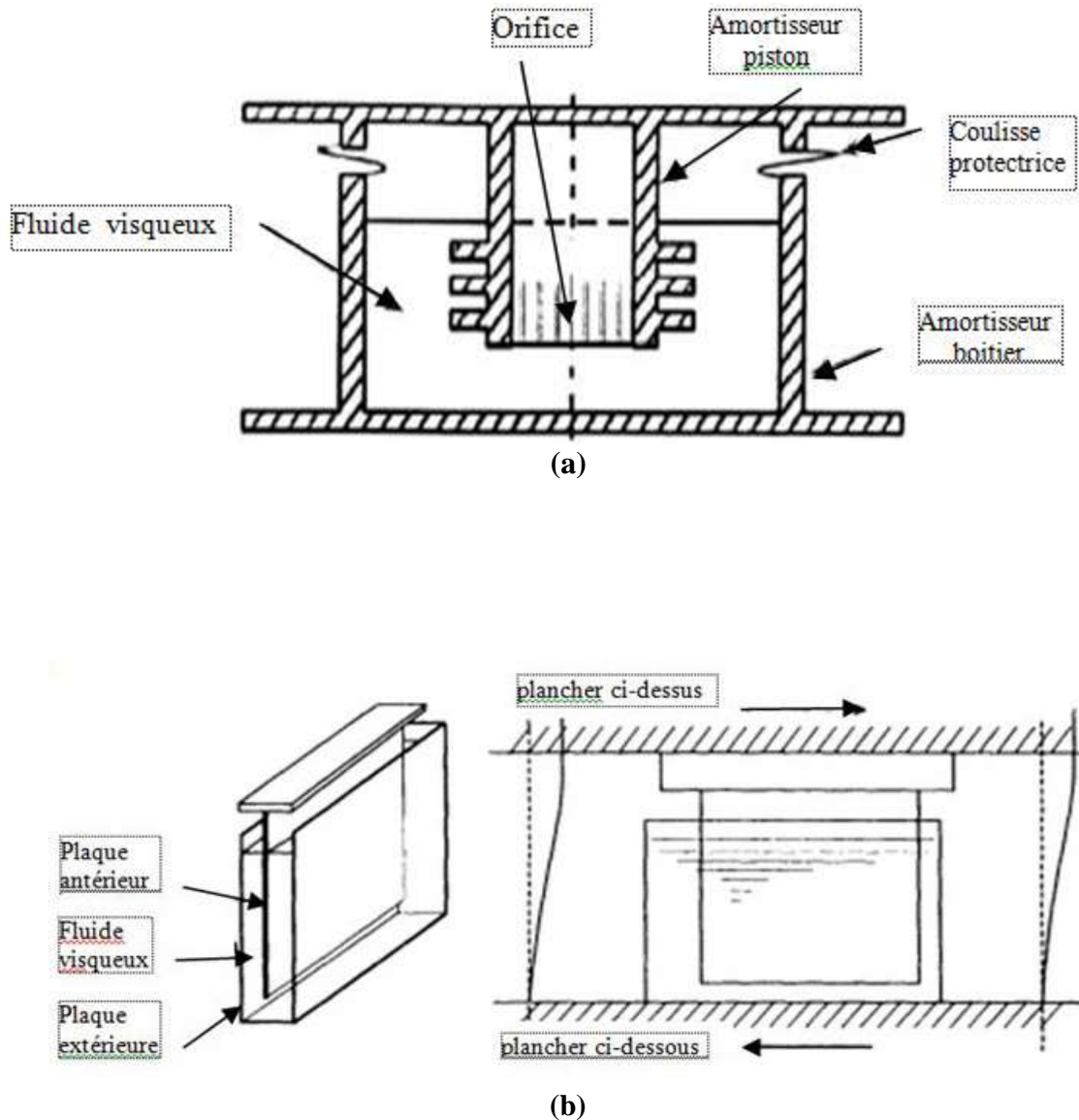


Figure 3.1 : Dispositifs amortisseurs fluide visqueux:

- a) amortisseur fluide visqueux de GERB, b) mur d'amortissement visqueux (VDW) [3]

les dispositifs de dissipation d'énergie à fluide visqueux (FVD) ont été largement utilisés dans le contrôle des vibrations de divers systèmes structurels et mécaniques. Comme un comportement visqueux pur peut être obtenu en forçant le fluide à travers des orifices (où la force de l'amortisseur est proportionnelle à la vitesse), un rôle spécial est joué par les amortisseurs visqueux fluides comme dispositifs de dissipation d'énergie passive (Pekcan et al., 1999, Soong et Dargush, 1997), et peut également être utilisé dans l'isolation de base (Makris, 1992). Il existe plusieurs équipements et systèmes mécaniques potentiels dont les

performances peuvent être grandement améliorées par l'utilisation du bon type/configuration d'amortisseurs à fluide visqueux. Les amortisseurs à fluide visqueux sont particulièrement intéressants pour améliorer les performances des structures car ils réduisent non seulement la demande de déformation mais aussi la demande de force.

L'objectif de l'utilisation de ces dissipateurs d'énergie est de donner à la structure un meilleur comportement lors d'un événement sismique, et veiller à ce que son comportement demeure dans l'intervalle linéaire et donc de limiter la déformation élastique et la formation des rotules plastiques, en prévention des dommages structuraux [36]. Constantinou et Symans (1993a) définissent la rigidité de stockage dans leur calcul de la force d'amortissement lorsque le mouvement de l'amortisseur est donné par la relation :

$$u = u_0 \sin (wt) \quad (3.1)$$

Où u est le déplacement du système et de l'amortisseur ; u_0 est l'amplitude de la déplacement ; et w est la fréquence d'excitation. La réponse de la force mesurée est : [36]

$$P = K_1 u + C \frac{du}{dt} \quad (3.2)$$

Où K_1 est la rigidité du stockage et C le coefficient d'amortissement donné par :

$$c = \frac{k_2}{w} \quad (3.3)$$

où le K_2 est la rigidité de la perte. Dans l'équation (3.2) le premier terme représente la force due à la rigidité de l'amortisseur, qui est en phase avec le mouvement, et le second terme représente la force due à la viscosité de l'amortisseur, qui est déphasée de 90° avec le mouvement. La figure 3.1 (a) représente la relation force-déplacement pour les deux termes de l'équation (3.2), tandis que la figure 3.1 (b) représente la force totale.

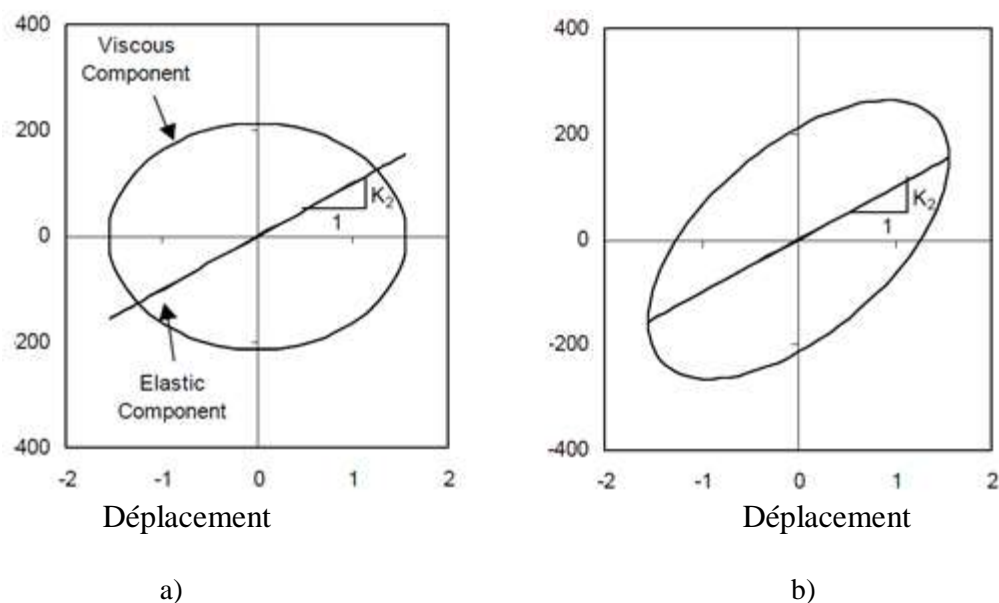


Figure 3.2 (a-b): Relation Force-Déplacement pour l'amortisseur visqueux fluide. [4]

III-2- Description du dissipateur d'énergie à fluide visqueux :

L'un des mécanismes les plus efficaces pour ajouter une capacité de dissipation d'énergie à une structure est l'utilisation de dispositifs à fluide visqueux, ce mécanisme dissipe l'énergie en transférant un fluide à travers un orifice, ce qui produit une pression d'amortissement

Depuis de nombreuses années, les dissipateurs à fluide visqueux sont utilisés dans de nombreuses applications, notamment le contrôle des vibrations dans les systèmes aérospatiaux et de défense aux États-Unis, où ils ont été évalués avec succès pendant plusieurs décennies. L'une des utilisations qui a été bien documentée a été faite par des institutions militaires pour examiner son utilisation dans des fusils de haut calibre. Fondamentalement, un amortisseur visqueux est comparable aux amortisseurs utilisés dans les automobiles, à la différence que ceux utilisés dans les structures fonctionnent sur une gamme de forces beaucoup plus grande et sont construits en acier inoxydable et autres matériaux extrêmement durables qui ont une durée de vie d'au moins 40 ans (Arroyo, 2004).

Dans le secteur de la construction, les amortisseurs à fluide visqueux sont utilisés pour réduire les charges dues à l'excitation sismique. Ces dispositifs sont placés stratégiquement sur la structure de manière à être activés lors d'un déplacement relatif entre deux étages adjacents du bâtiment excité. L'installation peut se faire de plusieurs manières

- 1) En plaçant les amortisseurs horizontalement, afin de relier de manière flexible le sommet des diagonales en forme de "V" inversé (voir figure 3.3), fixé à un étage inférieur, au niveau immédiatement supérieur.
- 2) Placer les volets comme une diagonale inclinée, reliant les deux joints poutre-colonne opposés de deux étages continus (voir figure 3.4).
- 3) Placer les volets horizontalement, à la base du bâtiment, en association avec le système d'isolation basale (voir figure 3.5).

Une autre caractéristique des amortisseurs à fluide visqueux qui les rend différents des autres dispositifs est que leur comportement ne dépend que de la vitesse et non du déplacement. Ce point sera examiné plus en détail dans la section suivante.

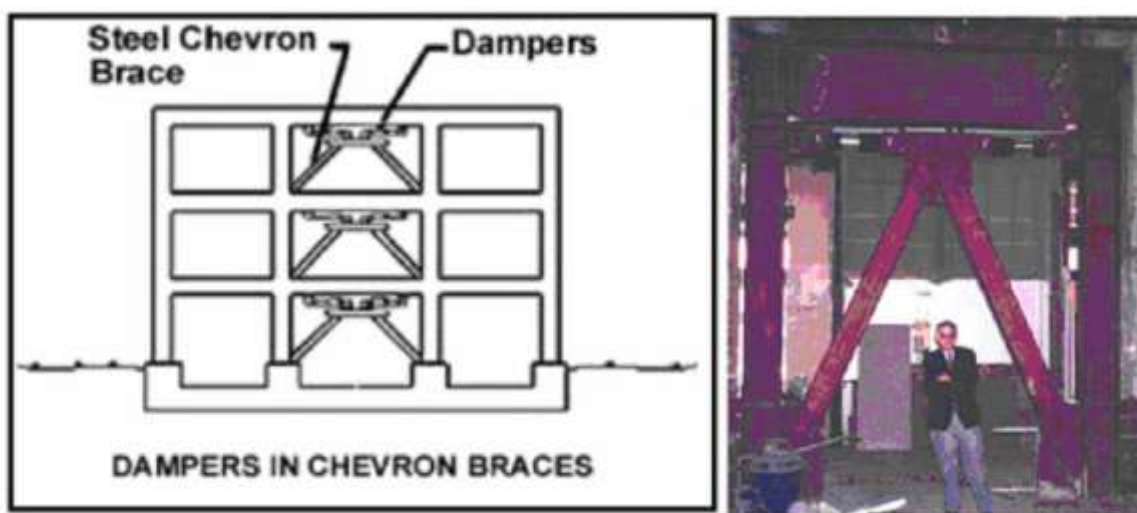


Figure 3.3 : Dissipateurs visqueux, reliant les diagonales avec les poteaux en forme de V Inversé

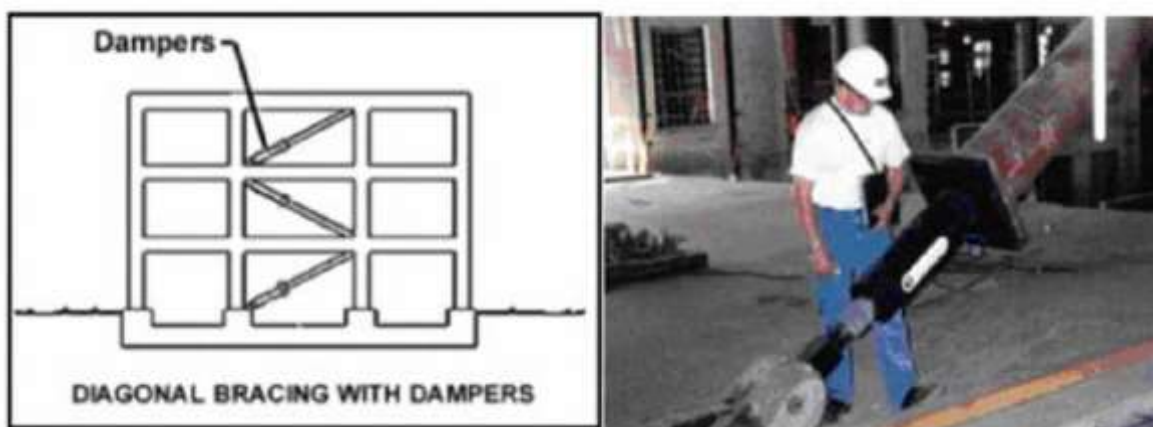


Figure 3.4 : Dissipateurs visqueux, situés sur la diagonale

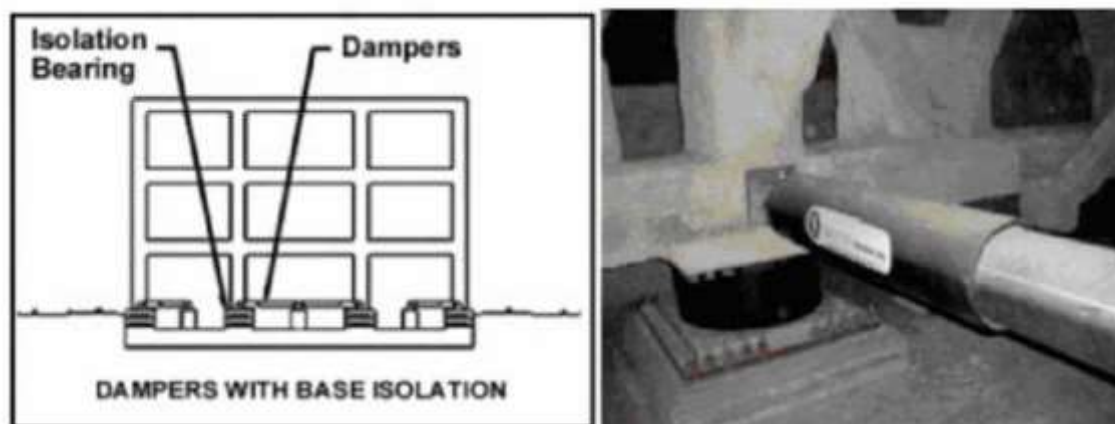


Figure 3.5 : Dissipateurs visqueux, situés à la base de l'ouvrage [37]

L'amortisseur visqueux est assimilable à un vérin hydraulique à double effet et à forte capacité de dissipation d'énergie. Il se constitue d'un cylindre creux rempli avec un fluide à base d'huile de silicone qui est forcé de s'écouler à travers de petits orifices [40].

La figure ci-dessous récapitule les différents critères à prendre en compte lors de leur emploi :

Tableaux 3.1. Résumé des critères d'emploi des amortisseurs visqueux non-linéaires [40]

Méthode de d'analyse	1- Dynamique linéaire 2- Dynamique non linéaire
Dispositions constructives	1- Eurocode2, Eurocode3, Eurocode8-2 2- Norme NF EN 15129, UBC, FEMA
Condition de maintenance	Très variable selon les technologies
Etat post-sismique	Ouvrage intacte
Domaines d'application	Sismicité élevé ou ouvrage a risque spécial

III-3- Composants :

La figure (1) montre une section transversale longitudinale d'un amortisseur visqueux à fluide typique. Il se compose d'un piston en acier inoxydable, avec une tête d'orifice en bronze, et d'un accumulateur autonome de déplacement du piston. L'amortisseur est rempli d'un fluide visqueux compressible qui est généralement ininflammable, non toxique, sans

danger pour l'environnement et thermiquement stable. La force de sortie de l'amortisseur est résistive ; elle agit donc dans une direction opposée à celle du mouvement d'entrée. Le moyen de dissipation de l'énergie est le transfert de chaleur, c'est-à-dire que l'énergie mécanique dissipée par l'amortisseur provoque un réchauffement du fluide et des pièces mécaniques de l'amortisseur, et cette énergie thermique est transférée à l'environnement (Constantinou et Symans, 1992). [35]

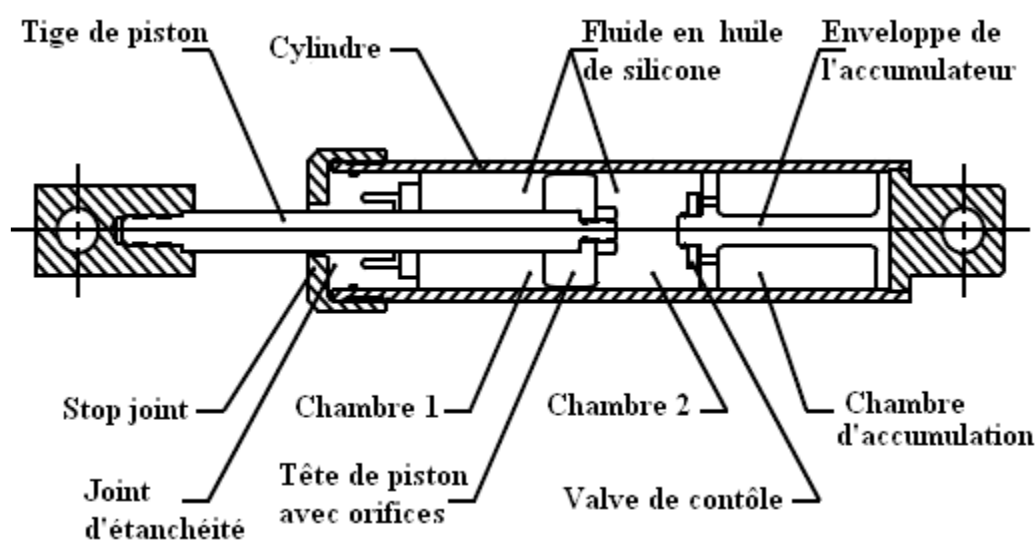


Figure 3.6 : Schéma d'un amortisseur à fluide visqueux [39]

Les descriptions des principales pièces sont les suivantes, en utilisant la figure1 comme référence :

Tige de piston - : Hautement polie sur son diamètre extérieur, la tige de piston coulisse à travers le joint et le dispositif de retenue du joint. L'extrémité externe de la tige de piston est fixée à l'une des deux chapes de montage. L'extrémité interne de la tige de piston est fixée à la tête du piston. En général, la tige de piston doit réagir à toutes les forces d'amortissement et fournir une interface d'étanchéité avec le joint. Comme la tige de piston est relativement mince et doit supporter les conditions de charge de la colonne, elle est normalement fabriquée en acier à haute résistance. Il est préférable d'utiliser de l'acier inoxydable pour la tige de piston, car tout type de rouille ou de corrosion à la surface de la tige peut provoquer une défaillance catastrophique du joint. En outre, la conception de la tige de piston doit être basée sur la déformation, plutôt que sur la contrainte, car la flexion élastique de la tige de piston pendant la compression de l'amortisseur peut provoquer un blocage ou une fuite du joint.

Cylindre - : Le cylindre de l'amortisseur contient le fluide et doit accepter la charge de l'appareil sous pression lorsque l'amortisseur fonctionne. Les cylindres sont généralement fabriqués à partir de tubes d'acier sans soudure. La construction soudée ou moulée n'est pas autorisée pour les cylindres de clapet, en raison des problèmes de résistance à la fatigue et de fissuration sous contrainte. Les cylindres sont normalement conçus pour une charge de pression d'épreuve minimale égale à 1,25 fois la pression interne prévue dans le cadre d'un événement sismique maximal crédible. Par définition, la charge de pression d'épreuve doit être supportée par le cylindre sans céder, sans dommage ou sans fuite de quelque type que ce soit.

Fluide - : Les amortisseurs utilisés dans les applications de génie civil nécessitent un fluide résistant au feu, non toxique, thermiquement stable et qui ne se dégrade pas avec le temps. Ce fluide doit être classé comme ininflammable et incombustible, avec un point d'éclair supérieur à 90° C. Actuellement, les seuls fluides possédant tous ces attributs sont de la famille des silicones. Les fluides silicones typiques ont un point d'éclair supérieur à 340° C, sont inertes, totalement non toxiques et thermiquement stables. Le fluide silicone typique utilisée dans un amortisseur est pratiquement identique au silicone utilisé dans les crèmes cosmétiques courantes pour les mains et le visage.

Joint - : Les joints utilisés dans un amortisseur de fluide doivent être capables d'une longue durée de vie, au moins 25 ans, sans nécessiter de remplacement périodique. Les matériaux des joints doivent être soigneusement choisis en fonction de cette durée de vie et de leur compatibilité avec le fluide de l'amortisseur. Comme les amortisseurs dans les structures sont souvent soumis à de longues périodes d'utilisation peu fréquente, les joints ne doivent pas présenter de collage à long terme ni permettre une fuite lente du fluide. La plupart des amortisseurs utilisent des joints dynamiques à l'interface de la tige du piston, et des joints statiques là où les embouts ou les dispositifs de retenue des joints sont fixés au cylindre. Pour les joints statiques, les joints toriques conventionnels en élastomère se sont avérés acceptables. Les joints dynamiques pour la tige du piston doivent être fabriqués à partir de polymères structurels à haute résistance, afin d'éliminer le collage ou la déformation par compression pendant de longues périodes d'inactivité. Les matériaux typiques des joints dynamiques sont le téflon, le nylon stabilisé et les membres de la famille des résines acétyles. Les joints dynamiques fabriqués à partir de polymères structurels ne vieillissent pas, ne se dégradent pas et ne se déforment pas avec le temps. En comparaison, les élastomères classiques devront être remplacés périodiquement s'ils sont utilisés comme joints dynamiques

dans un amortisseur.

Tête de piston - : La tête de piston est fixée à la tige de piston et divise effectivement le cylindre en deux chambres de pression. En tant que telle, la tête du piston sert à balayer le fluide à travers les orifices situés à l'intérieur, générant ainsi une pression d'amortissement. La tête du piston est généralement très bien ajustée à l'alésage du cylindre ; dans certains cas, la tête du piston peut même incorporer un joint à l'alésage du cylindre. Les têtes de piston sont relativement simples en apparence. Cependant, les passages d'orifice usinés ou intégrés dans la tête du piston ont généralement des formes très complexes, en fonction de l'équation de puissance d'amortissement choisie.

Retenue de joint - : Utilisée pour fermer les extrémités ouvertes du cylindre, elle est souvent appelée capuchon d'extrémité, plaque d'extrémité ou presse-étoupe. Il est préférable d'utiliser des filets de grand diamètre tournés sur la surface extérieure ou intérieure du cylindre pour engager le dispositif de retenue du joint. Les autres moyens de fixation, tels que les boulons multiples, les goujons ou les tiges d'ancrage du cylindre, doivent être évités car ils peuvent être excités à la résonance par les parties à haute fréquence des spectres transitoires des tremblements de terre ou de la réponse du bâtiment.

Accumulateur - : L'amortisseur simple illustré à la figure 4 utilise un accumulateur interne à tige en ligne. L'accumulateur est constitué d'un bloc de mousse plastique à cellules fermées, d'un piston accumulateur mobile (et pressurisé par un gaz) ou d'une vessie en caoutchouc. Le but de l'accumulateur est de permettre le déplacement volumétrique de la tige du piston lorsqu'elle entre ou sort de l'amortisseur pendant l'excitation. Un deuxième objectif est de compenser l'expansion et la contraction thermiques du fluide. L'amortisseur de la figure 4 utilise une vanne de contrôle pour mesurer la quantité de fluide déplacée dans l'accumulateur lorsque l'amortisseur est comprimé. Lorsque l'amortisseur s'étend, la vanne de contrôle s'ouvre pour permettre au fluide de l'accumulateur d'entrer librement dans les chambres de pression de l'amortisseur. Certains types d'amortisseurs utilisent ce qu'on appelle une "tige traversant", où la tige du piston traverse entièrement le cylindre de l'amortisseur. Ces amortisseurs n'ont pas besoin d'accumulateurs, mais nécessitent deux jeux de joints.

Orifices - : L'écoulement sous pression du fluide dans la tête du piston est contrôlé par des orifices. Ceux-ci peuvent consister en des passages modulaires complexes usinés, ou

alternativement, peuvent utiliser des trous percés, des billes à ressort, des poppets ou des bobines. Des orifices relativement complexes sont nécessaires si l'amortisseur doit produire une sortie dont l'exposant d'amortissement est inférieur à deux. En effet, un simple orifice percé suivra l'équation de Bernoulli, et la sortie de l'amortisseur sera limitée à une force variable avec le carré de la vitesse de l'amortisseur. Puisque l'amortissement " au carré de la vitesse " est d'une utilité limitée dans la dissipation de l'énergie sismique, des méthodes d'orifice plus robustes et sophistiquées sont généralement nécessaires. En fonction de l'équation d'amortissement souhaitée, les passages d'orifice peuvent utiliser des flux convergents ou divergents, des vortex peuvent être induits pour se former dans des zones spécifiques, ou les passages d'écoulement peuvent se plier ou se tordre radicalement [38]

III-4- Réponse dynamique du dissipateur d'énergie à fluide visqueux :

Comme un comportement visqueux pur peut être obtenu en forçant un fluide visqueux à travers des orifices (Soong et Constantinou, 1994), les amortisseurs visqueux fluides ont été largement appliqués à la conception de la protection sismique de structures importantes (Whittaker et Constantinou, 2000). Ces dispositifs ont été développés pour diverses applications dans le domaine militaire et l'industrie lourde. Plus récemment, ils ont joué un rôle important dans le contrôle structurel sismique après la guerre froide. Les amortisseurs visqueux ont été utilisés comme absorbeurs d'énergie non seulement dans les systèmes d'isolation sismique pour éviter une grande déformation du système, mais aussi dans les systèmes de dissipation d'énergie dans l'ensemble du bâtiment pour réduire sa réponse aux forces du vent ou aux charges sismiques.

La figure 2-1 présente deux coupes longitudinales typiques d'amortisseurs à fluide visqueux. Ils sont tous deux constitués d'un piston en acier inoxydable avec une tête à orifice et sont remplis d'un liquide visqueux, tel que de l'huile de silicone. L'un d'entre eux est équipé d'un accumulateur, tandis que l'autre est équipé d'une tige traversant. La différence de pression entre chaque côté de la tête du piston donne la force d'amortissement, et la constante d'amortissement de l'amortisseur peut être déterminée en ajustant la configuration de l'orifice de la tête du piston. Dans le cas d'un comportement visqueux pur, la force d'amortissement et la vitesse devraient rester en phase. Cependant, pour une configuration d'amortisseur illustrée à la figure 2-1(a), le volume de stockage du fluide change lorsque le piston commence à se déplacer. Ainsi, une force de rappel, qui est en phase avec le déplacement plutôt qu'avec la

vitesse, sera développée. La configuration d'un accumulateur ou d'une tige traversante est utilisée pour résoudre le problème. Cependant, pour les mouvements à haute fréquence, la valve de l'accumulateur peut fonctionner de manière imprécise, et la force de rappel se produira.

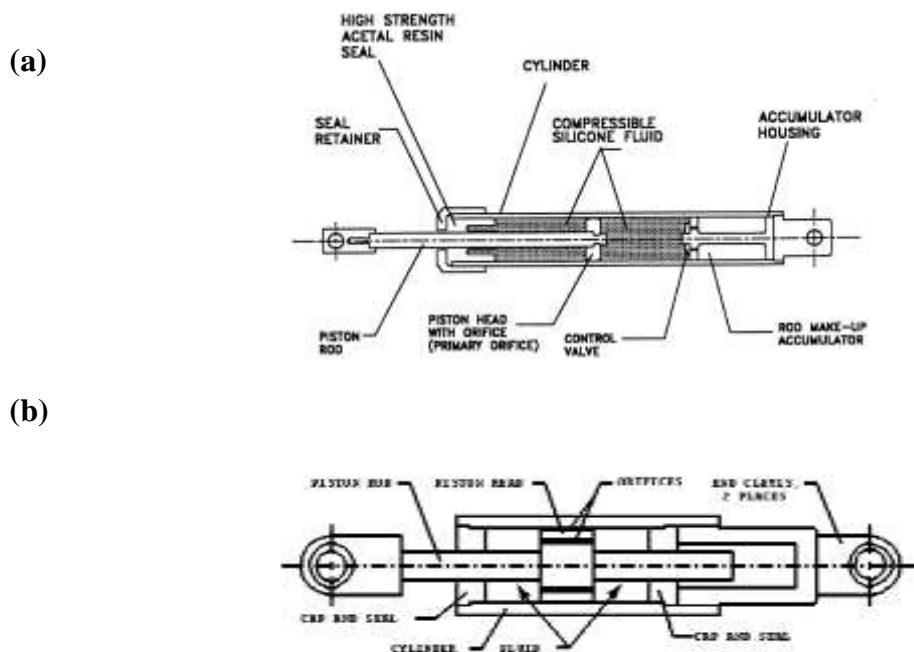


Figure 3.7 : 1Section transversale longitudinale d'un amortisseur à fluide (a) Amortisseur avec un accumulateur (b) Amortisseur avec une tige de passage (Seleemah et Constantinou, 1997) [36]

La force idéale produite par un amortisseur visqueux peut être exprimée comme suit :

$$F_D = C_D \cdot x^2 \quad (3.4)$$

$$E_D = \int |F_D| \, dx \quad (3.5)$$

Avec :

F_D : Force d'amortissement de l'appareil

C_D : Coefficient d'amortissement de l'appareil

x : Déplacement relatif entre les extrémités de l'appareil

\dot{x} : Vitesse relative entre les extrémités de l'appareil

λ : Paramètre de la vitesse (exposant), $0,25 < \lambda < 2,0$

Lorsque le paramètre λ prend la valeur unitaire ($\lambda = 1$), on obtient un dispositif avec une

force linéaire proportionnelle à la vitesse, d'où l'appellation "dissipateur visqueux linéaire." Quand le paramètre (λ) prend une valeur autre que l'unité ($\lambda \neq 1$), le dispositif sera appelé "dissipateur visqueux non linéaire."

La figure 3.7 montre la relation force-vitesse des trois types d'amortisseurs cités ci-dessus. On peut voir sur cette figure l'efficacité du dissipateur visqueux non linéaire ($\lambda < 1$) ; pour de petites vitesses relatives il peut développer une force d'amortissement plus grande que les autres types d'amortisseurs ($\lambda = 1$) et ($\lambda > 1$).

Pour les dissipateurs visqueux non linéaires utilisés dans la pratique, la valeur de (λ) est de l'ordre de 0,3 à 1,0. Les valeurs de (λ) plus communes dans la conception parasismique d'amortisseurs pour les bâtiments et les ponts, sont de l'ordre de 0,25 à 0,5.

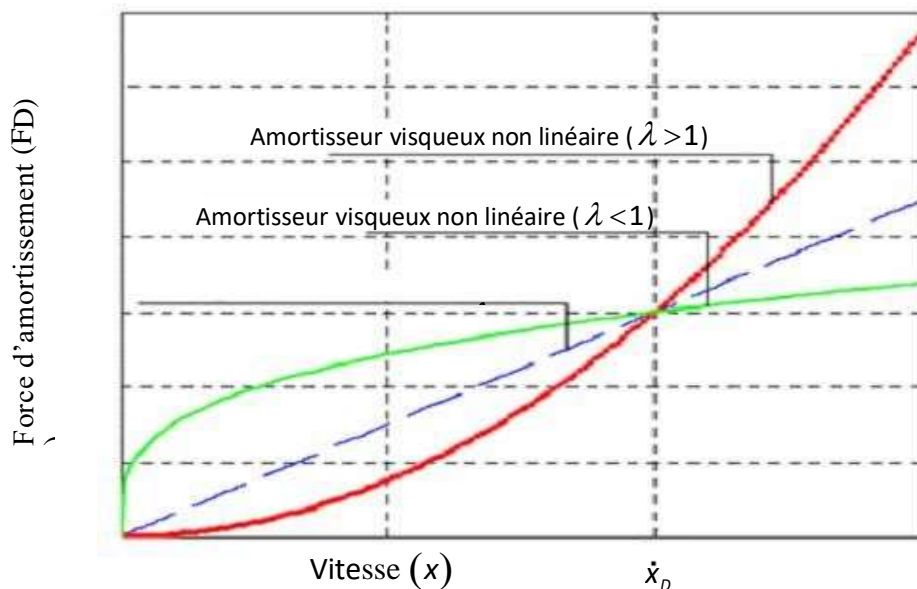


Figure 3.8 : Relation vitesse-force d'amortissement [37]

La figure 3.9(a) montre la boucle d'hystérésis d'un comportement visqueux linéaire pur. La boucle est une ellipse parfaite dans cette circonstance. L'absence de rigidité de stockage fait que la fréquence naturelle d'une structure incorporée avec l'amortisseur reste la même. Cet avantage simplifiera la procédure de conception d'une structure avec des dispositifs visqueux supplémentaires. Cependant, si l'amortisseur développe une force de rappel, la boucle sera modifiée de la figure 3.9(a) à la figure 3.9(b). En d'autres termes, elle passe d'un comportement visqueux à un comportement viscoélastique

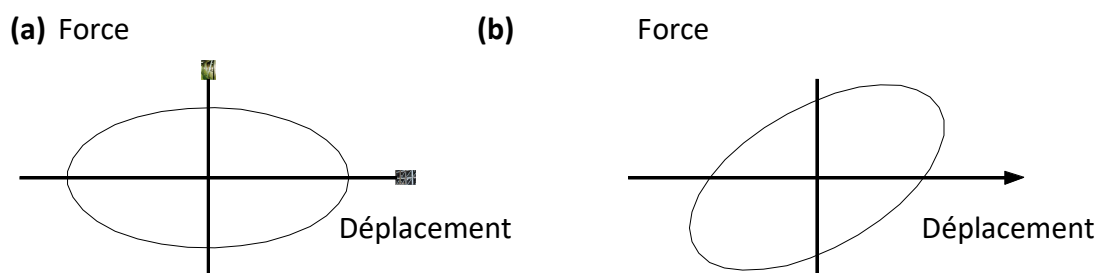


Figure 3.9 Boucles d'hystérésis d'amortisseurs à comportement visqueux pur et Viscoélastique [36]

III-5- Le rapport d'amortissement effectif des structures avec amortisseurs visqueux linéaires :

Le dissipateur d'énergie à fluide visqueux a la capacité unique de réduire les déplacements et de ne pas ajouter d'efforts à la structure, lorsque celle-ci est soumise à une excitation sismique. C'est parce que dans ce dispositif, la puissance de sortie varie seulement avec la vitesse, en donnant une réponse qui est intrinsèquement en déphasage avec les contraintes de la structure en flexion

Dans le cas d'autres dispositifs tels que les amortisseurs de friction (FPS), ou les dispositifs en élastomère (LRB) (visco-élastique), même s'ils sont efficaces pour ajouter l'amortissement à la structure, néanmoins des efforts seront également ajoutés, ce qui signifie que ces dispositifs d'amortissement diminuent la déformation dans une structure, mais au détriment des efforts accrus. Cela s'explique, par la force d'amortissement de ces dispositifs qui dépend d'autres paramètres que de la vitesse.

La réponse en déphasage, qui est unique aux dissipateurs à fluide visqueux, peut être facilement assimilée en considérant un bâtiment en mouvement latéral suite à une excitation sinusoïdale.

$$x(t) = x_0 \sin wt \quad (3.6)$$

$$\dot{x}(t) = x_0 w \cos wt \quad (3.7)$$

$$F_D = C_D \quad x_0 w \cos wt \quad (3.8)$$

Avec :

x_0 : Amplitude de l'excitation

w : Fréquence de l'excitation

F_D : Force d'amortissement pour un dissipateur linéaire

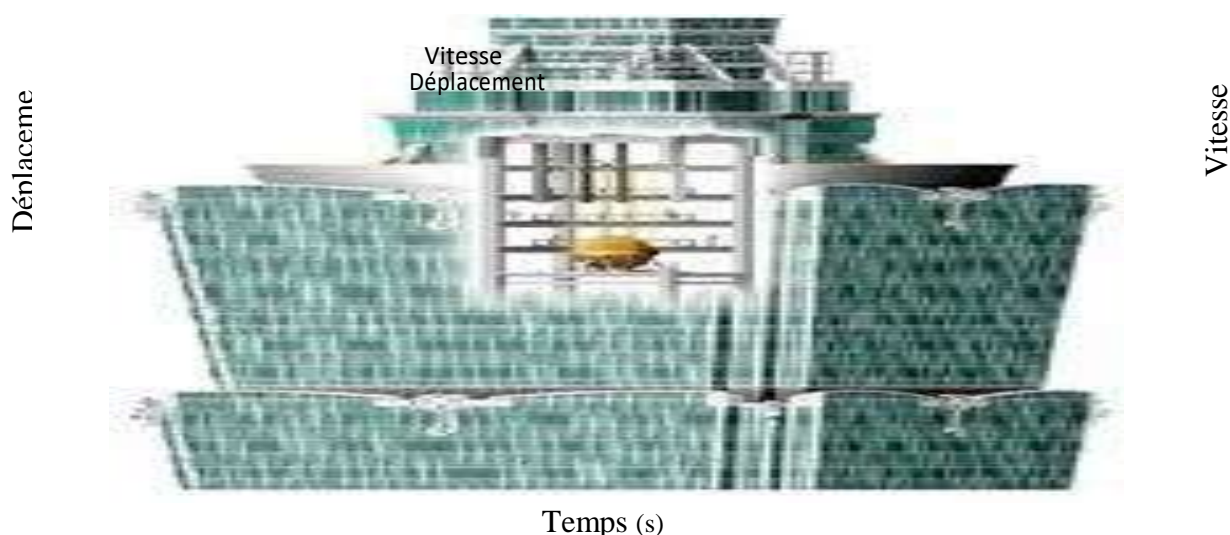


Figure 3.10 : Déphasage de la vitesse par rapport au déplacement.

L'effort dans les poteaux atteint son maximum lorsque le bâtiment est à sa position de flexion maximale (déplacement maximum) par rapport à sa position d'équilibre. C'est le moment où la structure commence à changer de direction. Si l'on ajoute un dispositif à fluide visqueux à la construction, la force d'amortissement dans le dispositif est réduite à zéro à ce point de déplacement maximum, car à ce moment la vitesse est nulle.

La force maximale d'amortissement se produit lorsque la vitesse est maximale, c'est à dire lorsque le déplacement des poteaux est égal à zéro (le temps où le bâtiment est au point d'équilibre), c'est aussi le moment où les efforts dans les poteaux sont au minimum. Cette réponse en déphasage est la plus importante caractéristique des dissipateurs à fluide visqueux.

Dans l'équation (3.4) les paramètres définissant la force d'amortissement (F_D) du dissipateur sont le coefficient (C_D), l'exposant (λ) et la vitesse relative (x). L'effet de la variation de ces paramètres sur les caractéristiques du régime de chargement du système, est illustré ci-dessous pour une excitation sinusoïdale (équation 3.6).

La figure (3.11) montre l'effet de la variation de (C_D). Par conséquent, à partir de l'équation 3.4, la force d'amortissement est linéaire avec (C_D), donc si (C_D) est le doublé, la force d'amortissement (F_D) sera doublée pour la même vitesse. La forme de la courbe de force-déplacement est elliptique.



Figure 3.11 : Réponse d'un dissipateur d'énergie à fluide visqueux linéaire pour différentes valeurs de la constante d'amortissement (C_D)

Dans la figure (3.12) le coefficient d'amortissement est constant et on fait varier l'exposant de la vitesse (λ) allant de 0,3 à 1,0 (intervalle de valeurs de λ utilisées dans la pratique pour les dissipateurs dans les structures). En réduisant (λ) de 1,0 à 0,3 la force d'amortissement (F_D) est réduite et va de sa forme elliptique à une forme plus rectangulaire.

$$T = 1 \quad C_D = 10 \quad \lambda = 0.3$$

$$T = 1 \quad C_D = 10 \quad \lambda = 0.65$$

$$T = 1 \quad C_D = 10 \quad \lambda = 1$$



Figure 3.12 : Réponse d'un dissipateur d'énergie à fluide visqueux non linéaire pour différentes valeurs de (λ) et la même valeur de (C_D) [4]

III-6- Conclusion :

Nous avons touché dans cette chapitre pour décrire cet dispositif L'amortissement visqueux se réfère à tous les types de mécanismes d'amortissement qui créent une force dissipative qui est fonction de la vitesse, ou du taux de variation du déplacement en supposant une relation entre la force et la vitesse, la force d'amortissement d'un amortisseur visqueux.

Chapitre –IV–

*Modélisation des structures équipées d'un dissipateur
d'énergie à fluide visqueux.*

IV-1- Introduction:

Le principal rôle des dissipateurs d'énergie à fluide visqueux est de dissiper l'énergie de déformation due à des sollicitations sismiques et dynamiques. Ce chapitre est dédié à la modélisation des structures équipées de ce mécanisme de dissipation d'énergie.

IV -2- Description générale du logiciel « ETABS » :

L'ETABS est un logiciel de calcul des structures conçu exclusivement pour le calcul des bâtiments dont le nom est issu de l'abréviation « Extended 3D Analysis of Building Systems ». Il permet de modéliser facilement et rapidement tous types de bâtiments grâce à une interface graphique unique. Il offre de nombreuses possibilités pour l'analyse statique et dynamique avec des compléments de conception et de vérification des structures, ainsi il facilite considérablement l'interprétation et l'exploitation des résultats et la mise en forme des notes de calcul et des rapports explicatifs.

ETABS, Version 2016 dispose d'une interface graphique intuitive et puissante associée à la modélisation inégalée, et les procédures de conception d'analyse, le tout intégré en utilisant une base de données commune. Bien que rapide et facile pour les structures simples, ETABS peut également gérer des modèles les plus importants et les plus complexes de construction, y compris un large éventail de comportements non-linéaires, ce qui en fait l'outil de choix pour les ingénieurs structurels dans l'industrie du bâtiment.

Datant de plus de 30 ans pour le développement initial d'ETABS, le prédécesseur d'ETABS, il a été clairement reconnu que les bâtiments constituaient une classe très particulière de structures. Les premières versions d'ETABS fournies entrée, de sortie et de la solution numérique des techniques qui prennent en considération les caractéristiques propres à la construction de structures de ce type, fournissant un outil qui a offert. D'importantes économies en temps et en précision accrue sur les programmes d'usage général.

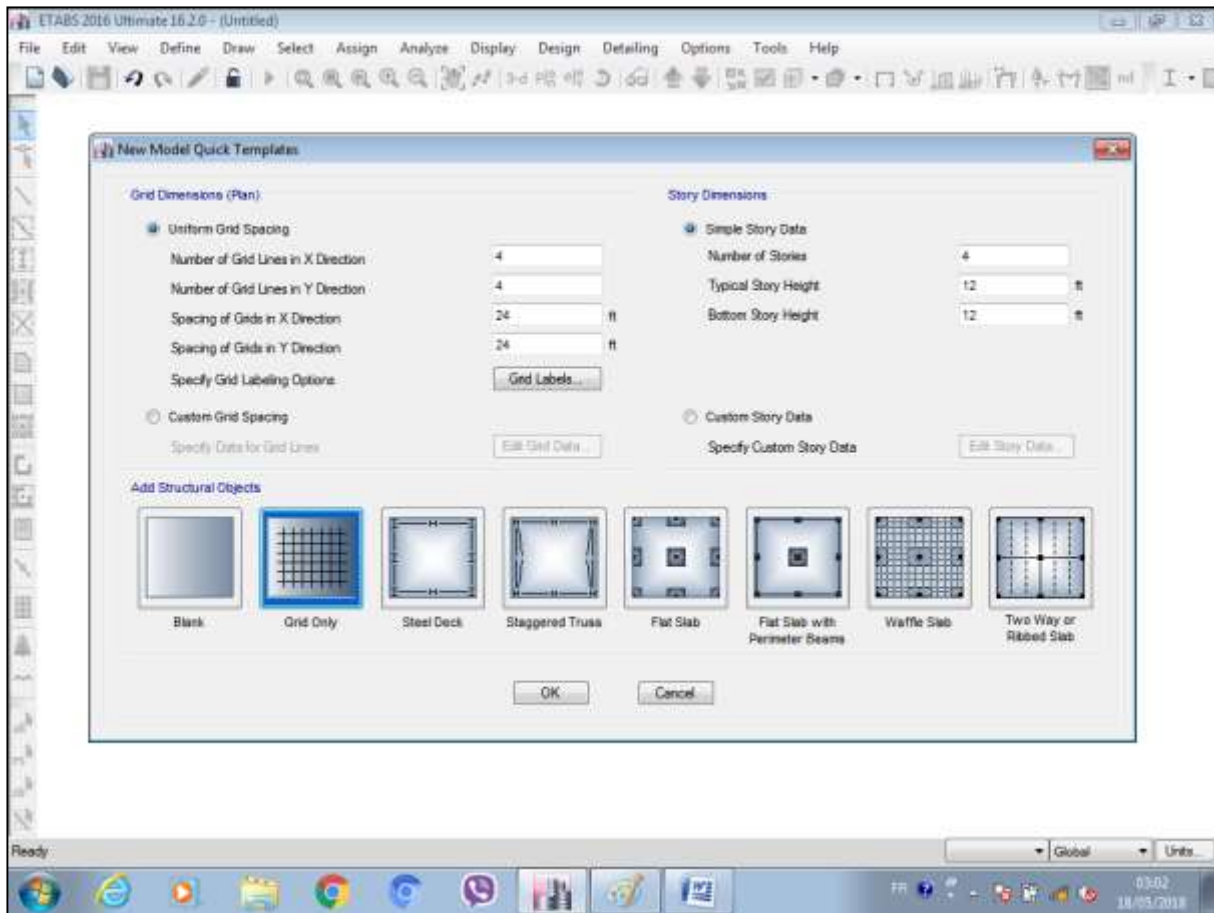


Figure 4.1 : fenêtre de logiciel ETABS.

IV-3- Description de l'excitation sismique :

Parmi les méthodes d'analyse dynamique, la méthode d'analyse par accélérogramme, qui est plus précise pour l'analyse du comportement des structures en fonction du temps. Pour cela, l'analyse dynamique des réponses par accélérogramme est utilisée pour les deux types de structure sans et avec dissipateurs d'énergie. L'excitation sismique considérée est celle du séisme de Boumerdès (21mai2003) enregistrées par la station de Dar Beidha avec des accélérations maximales de **(0.537 g)** pour la composante longitudinale et de **(0.501g)** pour la composante transversale pour les deux structures. L'Accélérogramme et le contenu fréquentiel de cette excitation est représenté sur la figures V.2.

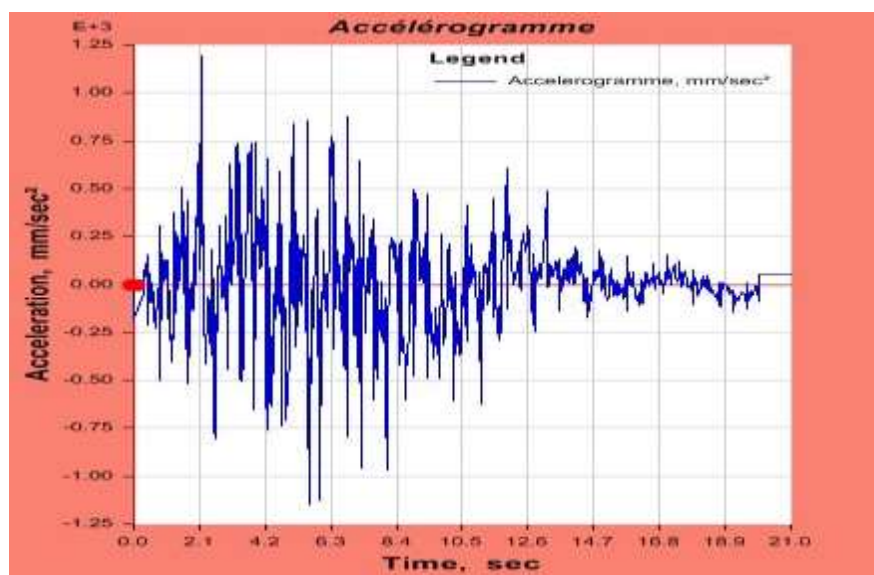


Figure 4.2 : Accélérogramme utilisé.

IV-4- Description du système de dissipation sur ETABS:

Les dernières versions de logiciel ETABS ont incorporé les éléments LINK, avec lesquels il est possible de modéliser les dispositifs de contrôle passif des structures, aussi bien les isolateurs à la base (LRB, FPS, etc...) que les dissipateurs d'énergie (amortisseurs visqueux fluides et amortisseurs viscoélastiques).

IV-4-1- Eléments LINK:

Dans le cadre de notre travail, nous utilisons ETABS pour la modélisation des dispositifs étant donné les avantages et les fonctions d'analyse tridimensionnelle, en plus des options d'application de divers types d'analyse (statique, modale, temporelle, etc.). La principale raison d'utilisation de ce programme comme un outil d'analyse de la réponse dynamique des structures, est qu'il a la possibilité d'inclure les dispositifs de dissipation d'énergie visqueux de type linéaire et non linéaire en très bonne forme. D'autre part la sortie de données peut être sous forme graphique, ce qui permet de visualiser facilement le comportement de la structure et les dispositifs. Les dissipateurs d'énergie type à fluides visqueux sont modélisés par les éléments LINK. Puis le type de Link est: Damper-Exponential. Les caractéristiques non linéaires de dissipateur sont introduites par la suite.

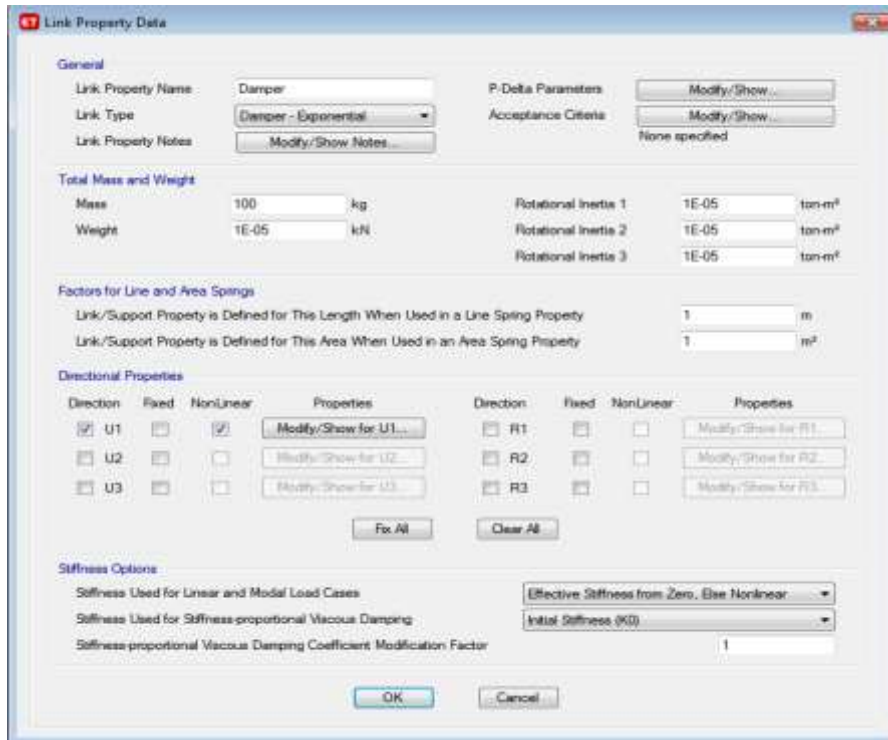


Figure 4.3 : le type de l'élément Link (Damper- Exponential).

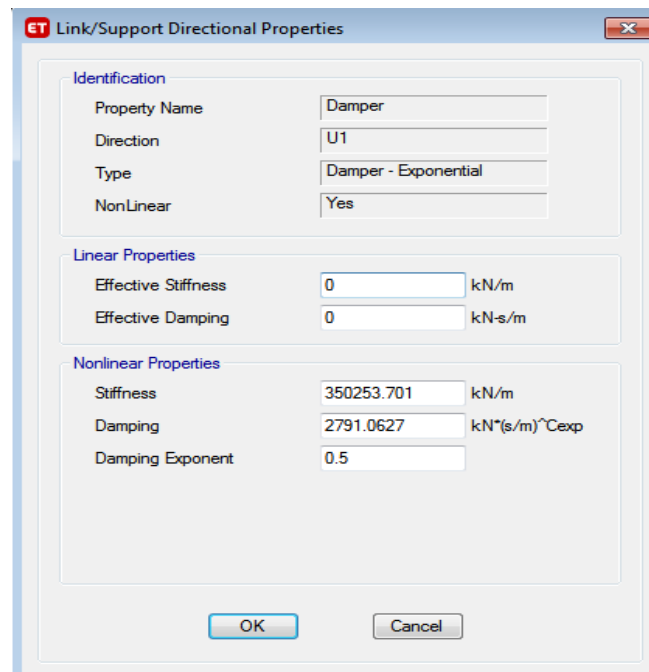


Figure 4.4 : Les caractéristiques non linéaires de dissipateur.

V -5- Modélisation avec le logiciel ETABS :

L'organigramme suivant résume la démarche de modélisation de la structure avec ETABS. Les détails de cette modélisation sont présentés ci-dessus :

- Initialisation du modèle (unités, grilles, niveaux).
- Définition des propriétés mécaniques des matériaux.
- Définition des paramètres de l'analyse (Les charges, combinaisons de chargements).
- Définition de la géométrie du modèle.
- Les conditions aux limites (Encastrement, éléments LinK, diaphragme....)
- Application des charges.
- Analyse de la structure & extraction des résultats

IV-6- Présentation du bâtiment étudié:

L'ouvrage à étudier est un bâtiment à usage d'habitation composé de dix niveaux (RDC + neuf étages) en charpente métallique .Cette structure est analysée avec et sans le système de dissipation d'énergie. Les différentes illustrations de la structure avec et sans dissipateurs d'énergie sont représentées dans les figures suivantes :

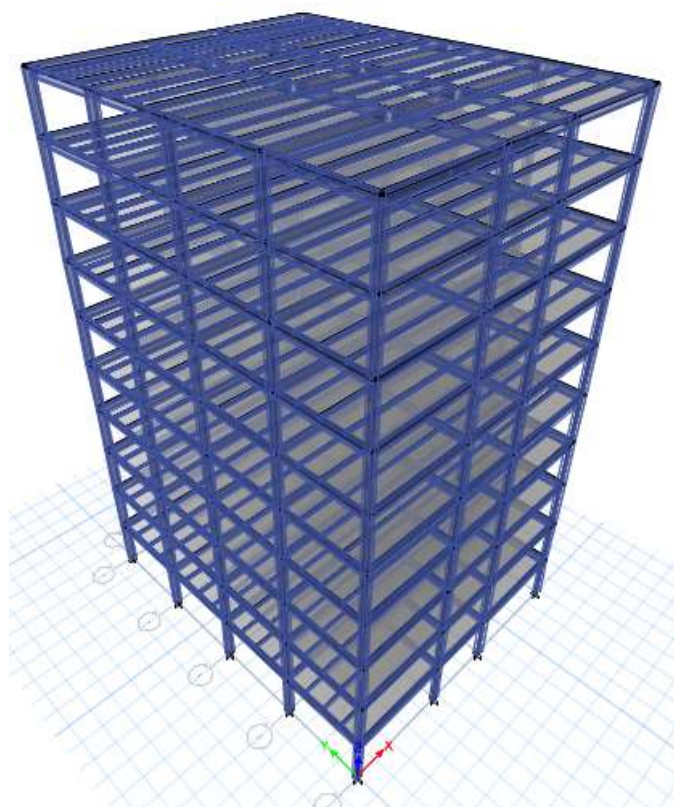


Figure 4.3 : La structure étudiée sans dissipateurs d'énergie

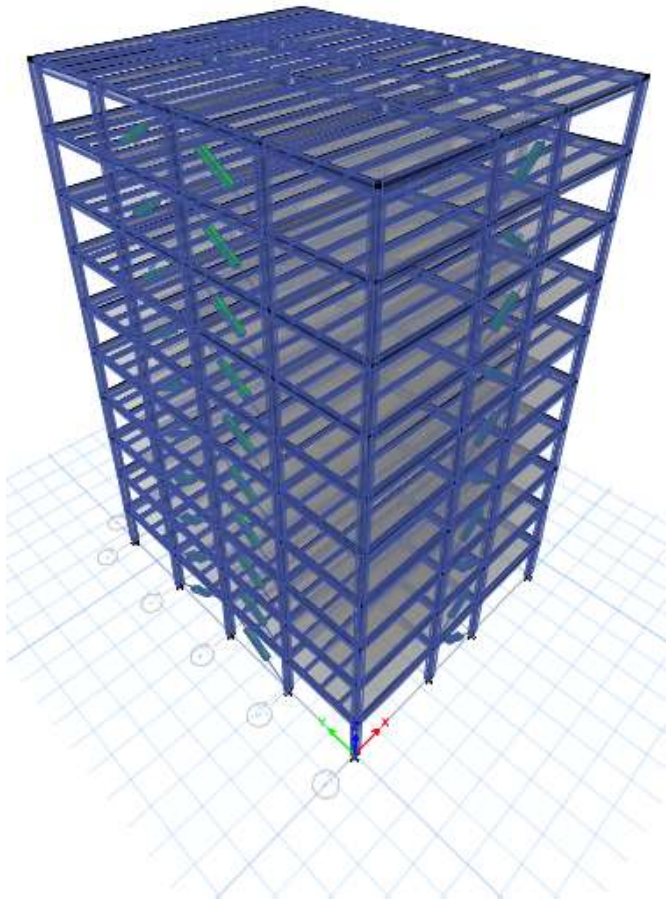


Figure 4.4 : La structure étudiée avec dissipateurs d'énergie

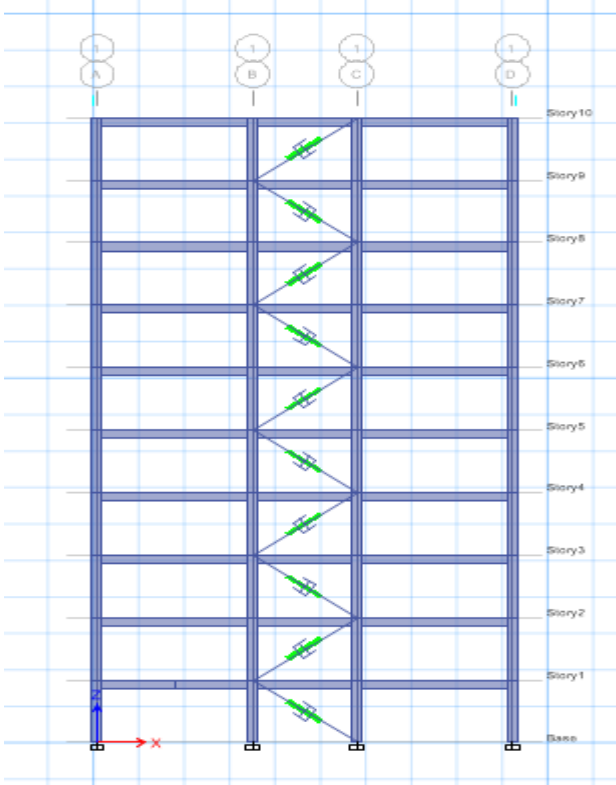


Figure 4.5 : L'emplacement des dissipateurs d'énergie sens X

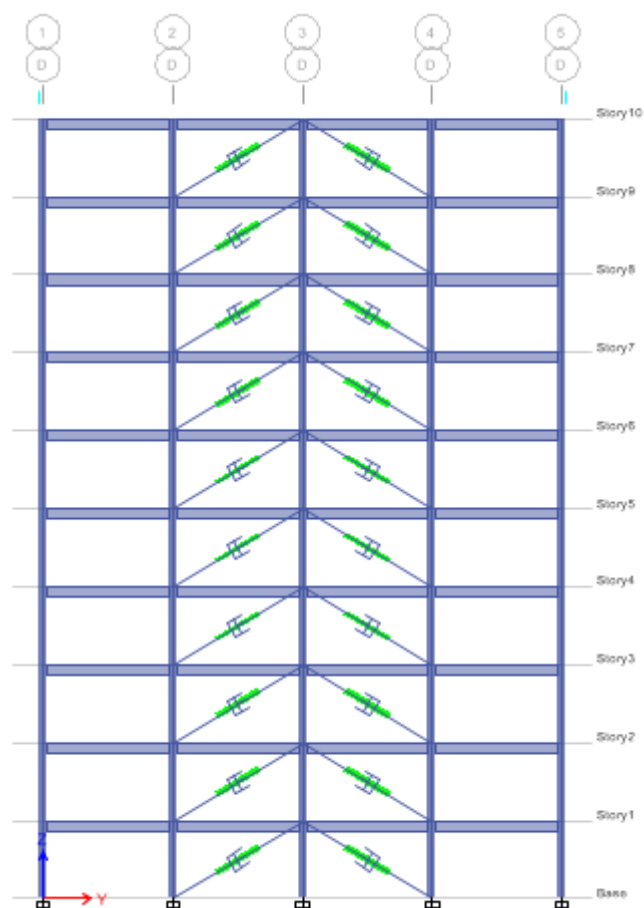


Figure 4.6 : L'emplacement des dissipateurs d'énergie sens Y

a) Caractéristiques géométriques :

- Les dimensions de l'ouvrage sont :
- Longueur totale du bâtiment : 20.00 m
- Largeur totale du bâtiment : 16.00 m
- Hauteur totale du bâtiment : 30 m
- Hauteur des étages : 3.00 m

b) Ossature et système constructif adopté :

- La stabilité de la structure est assurée par des portiques auto-stables + Les dissipateurs d'énergie.

c) Caractéristiques des matériaux :

- La masse volumique de l'acier : 7849.047 Kg/m³.
- Le module d'élasticité instantané E : 210000 MPa
- Le module de cisaillement G : 80769.23 MPa

a) Planchers terrasses inaccessible :

Tableau 4.1 : Charges sur plancher terrasse inaccessible.

Éléments d'étanchéité	Chargement [KN/m ²]
Gravillon roulé de protection (4cm)	0.8
Etanchéité multicouche (2cm)	0.12
Forme de pente (10cm)	2.20
Isolation thermique en liège (4cm)	0.16
Enduit en plâtre (2cm)	0.20
Plancher collaborant	2.18
Charge permanente G₁₀	5.66
Charge d'exploitation Q₁₀	1.00

b) Plancher d'étage courant (1er -9ème) étage :

Tableau 4.2 : Charges sur plancher étage courant.

Éléments de revêtement	Chargement [KN/m ²]
Carrelage (2cm)	0.40
Mortier de pose (2cm)	0.40
Lit de sable (3cm)	0.51
Cloison (10cm)	0.9
Plancher collaborant	2.18
Enduit en plâtre (2cm)	0.4
Charge permanente G_i	4.79
Charge d'exploitation Q_i	1.50

c) Murs de façade (extérieurs) :

Tableau 4.3 : Charges des murs de façade.

Enduit extérieur en ciment (2cm)	0,36 KN/m ²
Briques creuses (15cm)	1,30 KN/m ²
Briques creuses (10cm)	0,90 KN/m ²
Enduit intérieur en plâtre (2cm)	0,2 KN/m ²
Charge permanente G_{me}	2.76KN/m²

d) Murs intérieurs :

Tableau 4.4 : Charges des murs intérieurs.

Enduit en plâtre (2cm)	0,2 KN/m²
Briques creuses (10cm)	0,90 KN/m²
enduit en plâtre (2cm)	0,2KN/m²
Charge permanente G_{mi}	1.3 KN/m²

IV-8- Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons procédé à la modélisation de la structure avec et sans dissipateur d'énergie à fluide visqueux. Pour ce faire, le logiciel ETABS a été employé. Ce logiciel montre des avantages et des fonctions d'analyse tridimensionnelle, en plus des options d'application de divers types d'analyse (statique, modale, temporelle, etc.). La principale raison d'utilisation de ce programme est qu'il a la possibilité d'inclure les dispositifs de dissipation d'énergie visqueux de type linéaire et non linéaire en très bonne forme. Ces derniers ont été modélisés en utilisant les éléments LINK. Les structures modélisées vont faire l'objet d'une comparaison par la suite.

Chapitre –V–

Résultats et discussions.

V-1- Introduction :

Dans ce chapitre, les résultats de comparaison entre la structure sans dissipateurs d'énergie et celle équipées de ces dispositifs sont présentés. La comparaison entre les deux modèles comporte: les déplacements du dernier étage, les déplacements des étages, les accélérations du dernier étage et les efforts tranchants à la base. L'effet du coefficient d'amortissement sur les différentes réponses a été aussi présenté dans ce chapitre.

V-2- Effet du coefficient d'amortissement:

V-2-1- Sur le déplacement du dernier niveau:

On a pris le dernier niveau comme référence pour montrer l'effet de l'augmentation de l'amortissement sur le déplacement de la structure, étant donné que le déplacement maximal est celui du dernier niveau.

- **Sens X:**

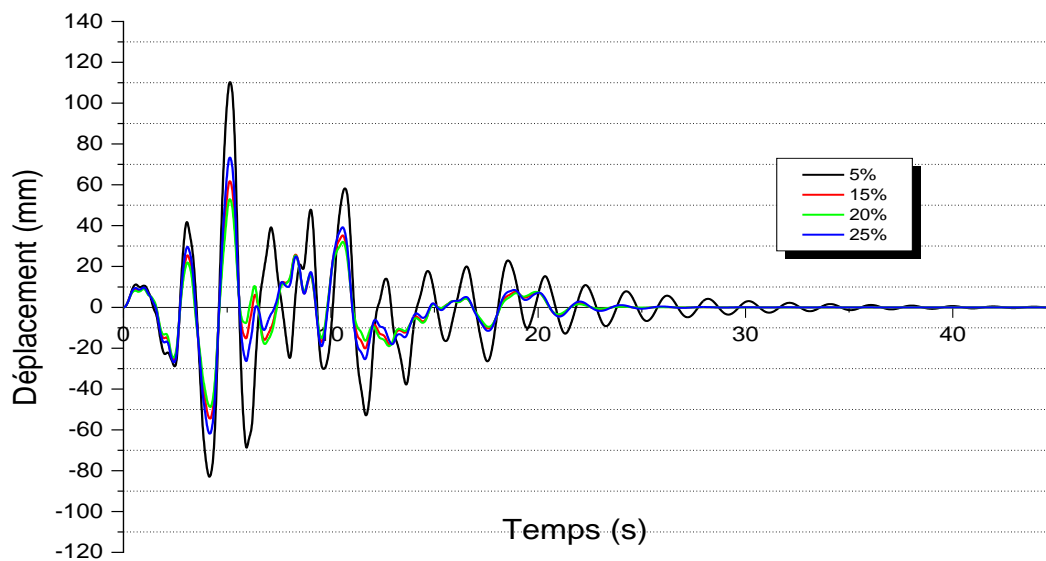


Figure 5.1 : Les déplacements du dernier niveau pour différents taux d'amortissement sens X.

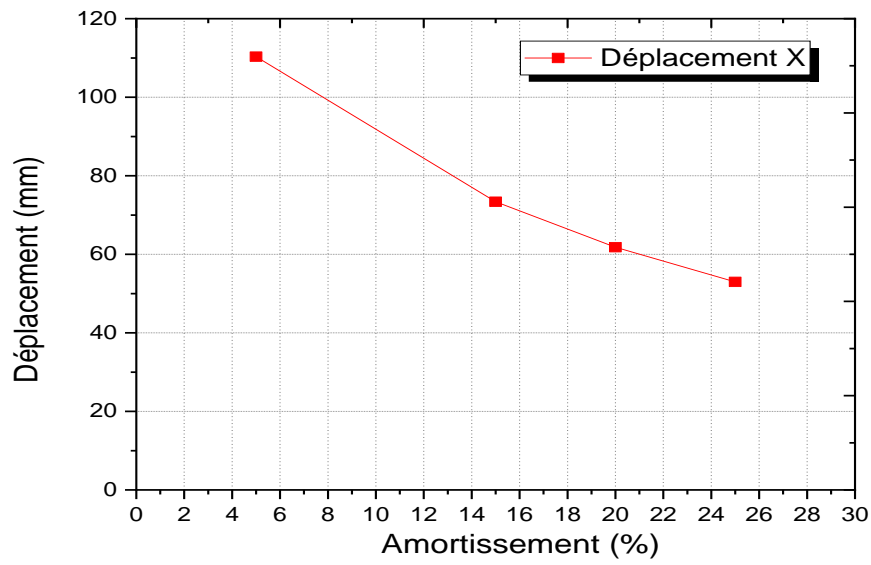


Figure 5.2: Effet de la variation d'amortissement sur le déplacement maximal du dernier niveau Sens X.

▪ **Sens Y:**

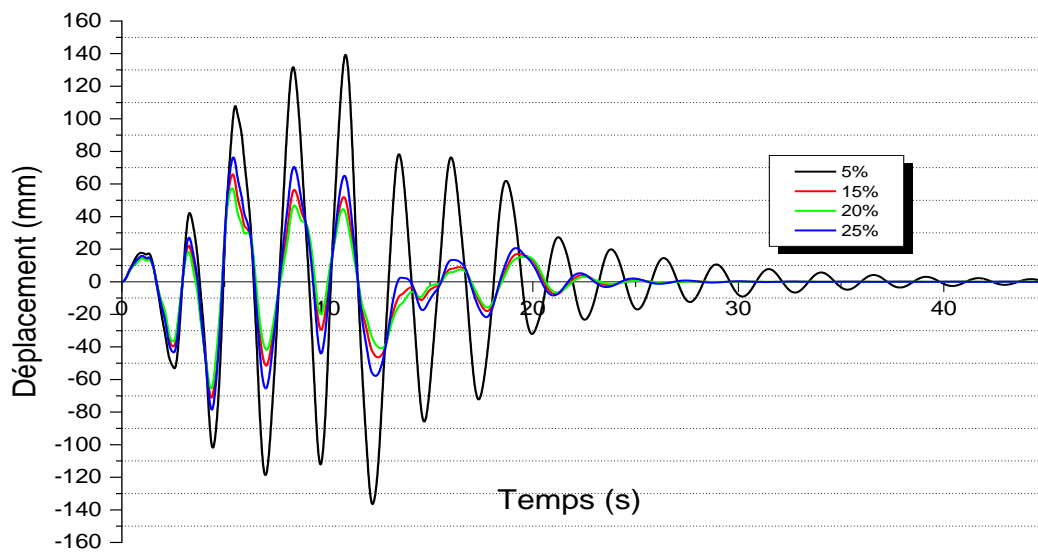


Figure 5.3 : Les déplacements du dernier niveau pour différents taux d'amortissement sens Y.

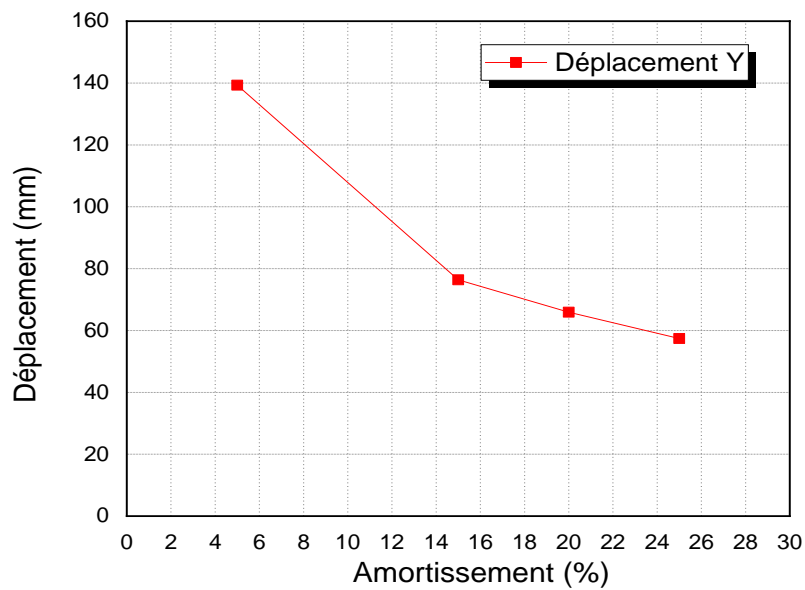


Figure 5.4: Effet de la variation d'amortissement sur le déplacement maximal du dernier niveau Sens Y.

Les figures 5.1-4 montrent une comparaison entre les déplacements de deux modèles dans les deux directions X et Y.

Nous constatons que lors de l'augmentation du coefficient d'amortissement de 5% à 25%, le déplacement se réduit d'une manière remarquable et dès qu'on augmente le taux d'amortissement le déplacement diminue encore et ce dans les deux sens. Ceci est bien illustré sur les figures 5.2 et 5.4.

Selon X, la diminution est de 51.97% par rapport à une structure munie d'un coefficient de 5% en passant à un amortissement de 25%, tandis que elle est de l'ordre de 58.80 selon Y.

V-2-2 - Sur l'accélération du dernier niveau:

Pour l'accélération, et même que le déplacement, on a pris le dernier niveau comme référence pour montrer l'effet de l'augmentation de l'amortissement sur l'accélération de la structure.

▪ Sens X:

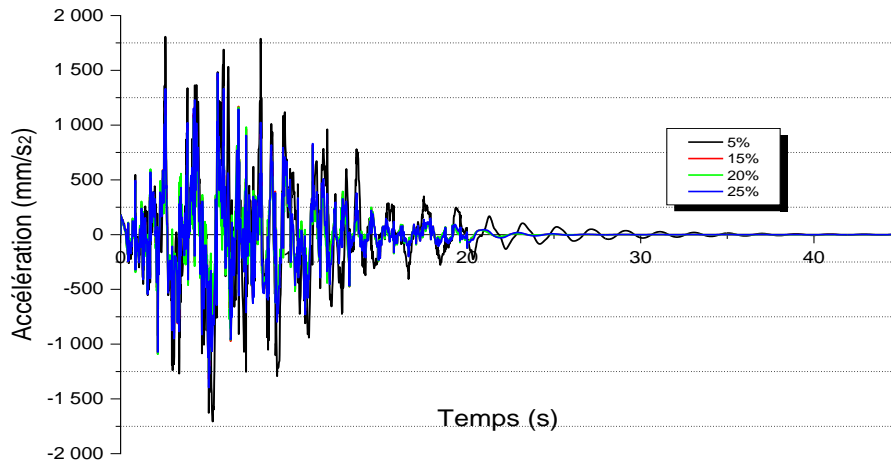


Figure 5.5 : Les accélérations du dernier niveau pour différents taux d'amortissement sens X.

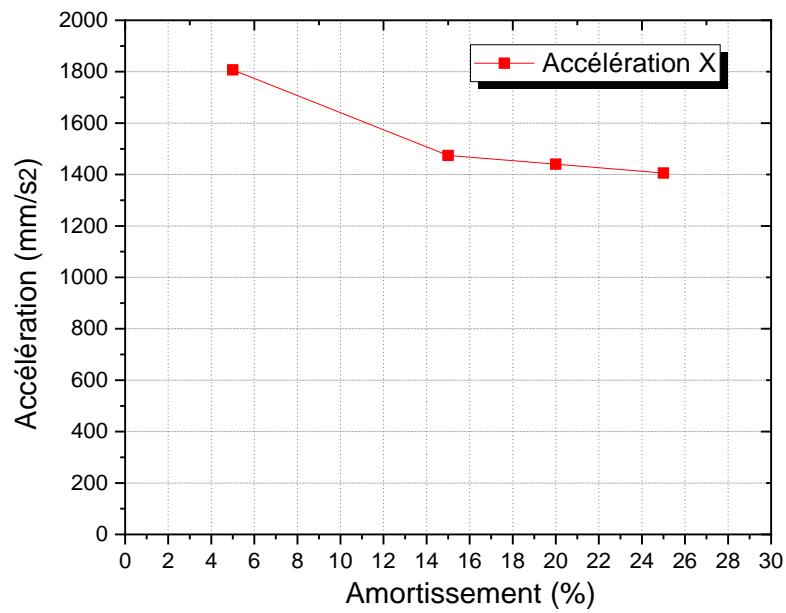


Figure 5.6: Effet de la variation d'amortissement sur l'accélération maximal du dernier niveau Sens X.

- **Sens Y:**

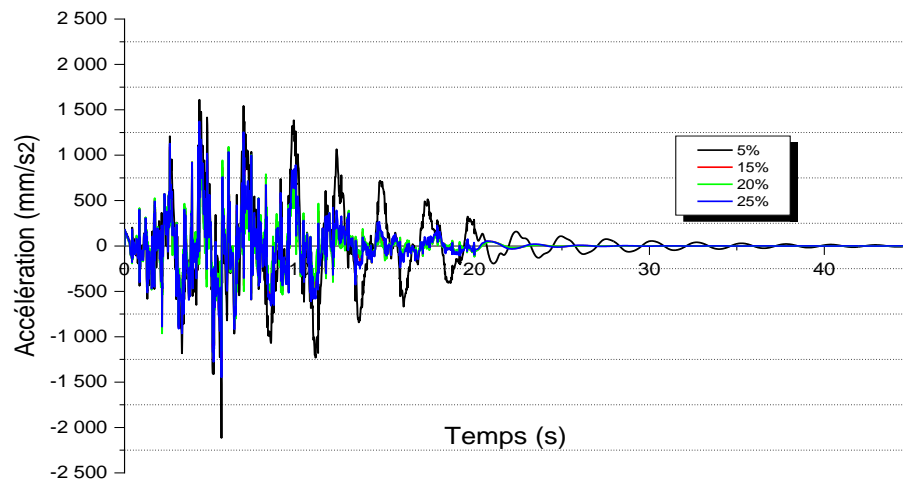


Figure 5.7 : Les accélérations du dernier niveau pour différents taux d'amortissement sens Y.

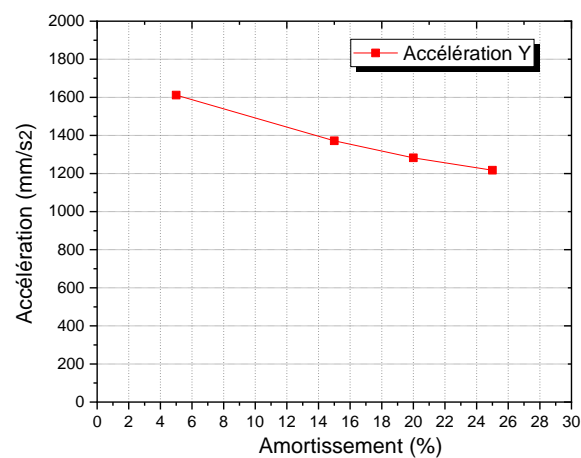


Figure 5.8: Effet de la variation d'amortissement sur l'accélération maximale du dernier niveau Sens X.

Les figures ci-dessus illustrent la variation des accélérations du dernier niveau de la structure pour les différentes valeurs d'amortissement. Ces figures nous montrent que les accélérations de la structure sont réduites en augmentant le taux d'amortissement, ainsi lorsqu'on augmente le taux d'amortissement l'accélération se réduit encore.

Selon X, la diminution est de 18.42% par rapport à une structure munie d'un coefficient de 5% en passant à un amortissement de 15%, de 20.31% pour 20% et 22.20% pour 25%. Alors que selon Y, la diminution est de 14.91% en passant à un amortissement de 15%, de 20.45% pour 20% et 24.48% pour 25%.

V-2-3 - Sur l'effort tranchant à la base:

Pour l'effort tranchants on se suffit de l'étudier à la base car il sera maximal à ce niveau, on va le déterminer dans les directions X et Y.

▪ Sens X:

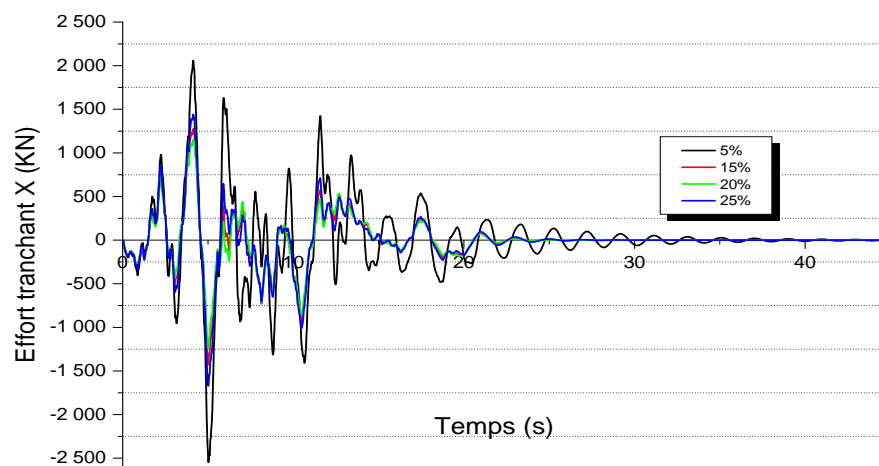


Figure 5.9 : Les efforts tranchants à la base pour différents taux d'amortissement sens X.

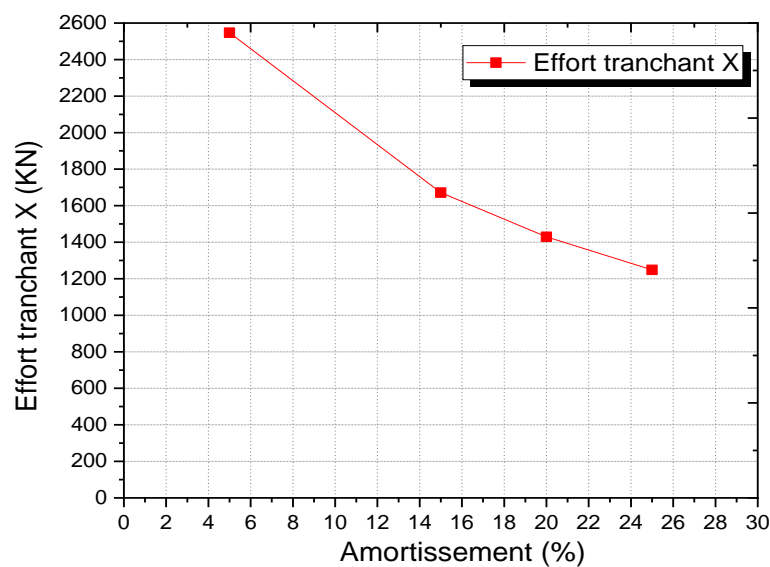


Figure 5.10: Effet de la variation d'amortissement sur l'effort tranchant à la base Sens X.

▪ **Sens Y:**

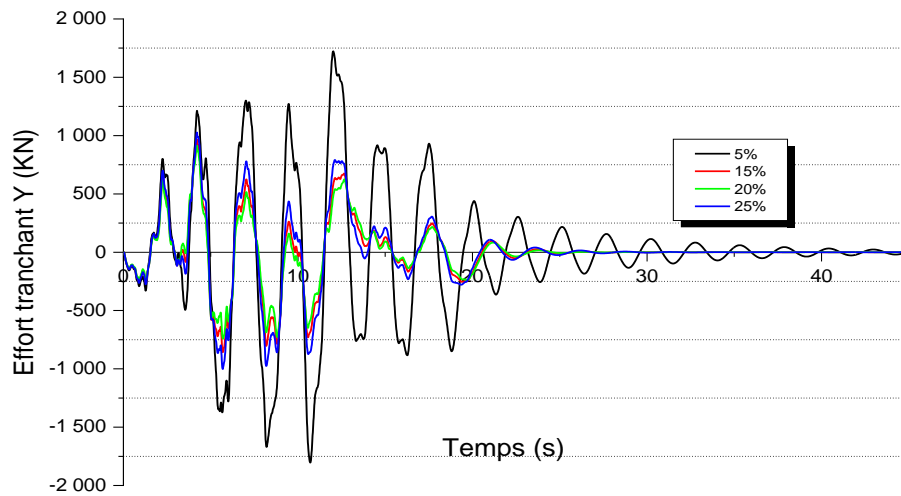


Figure 5.11 : Les efforts tranchants à la base pour différents taux d'amortissement sens X.

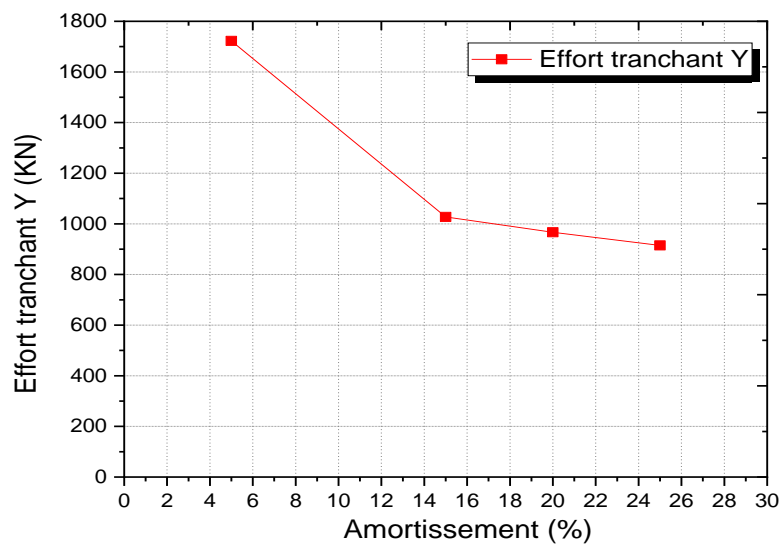


Figure 5.12: Effet de la variation d'amortissement sur l'effort tranchant à la base Sens Y.

Les figures 5.9 à 5.12 représentent la variation de l'effort tranchant à la base de la structure pour différents taux d'amortissement dans les deux sens. On remarque bien que les efforts tranchants à la base diminuent avec l'augmentation de l'amortissement de la structure. Selon X, la diminution est de 43.96% en passant d'un amortissement de 5% à 25%, tandis que elle est de l'ordre de 46.90 selon Y.

V-3- Comparaison d'une structure avec et sans dispositif de dissipation d'énergie:

Dans cette partie du chapitre, une comparaison entre la structure sans dissipateurs d'énergie et celle équipées de ces dispositifs est présenté. La comparaison entre les deux modèles comporte: les déplacements du dernier étage, les déplacements des étages, les accélérations du dernier étage et les efforts tranchants à la base.

V-3-1- Comparaison des déplacements:

V-3-1-1- Comparaison des déplacements des étages:

Les figures suivantes montrent une comparaison entre les déplacements des différents niveaux de deux modèles dans les deux directions X et Y.

- **Sens X:**

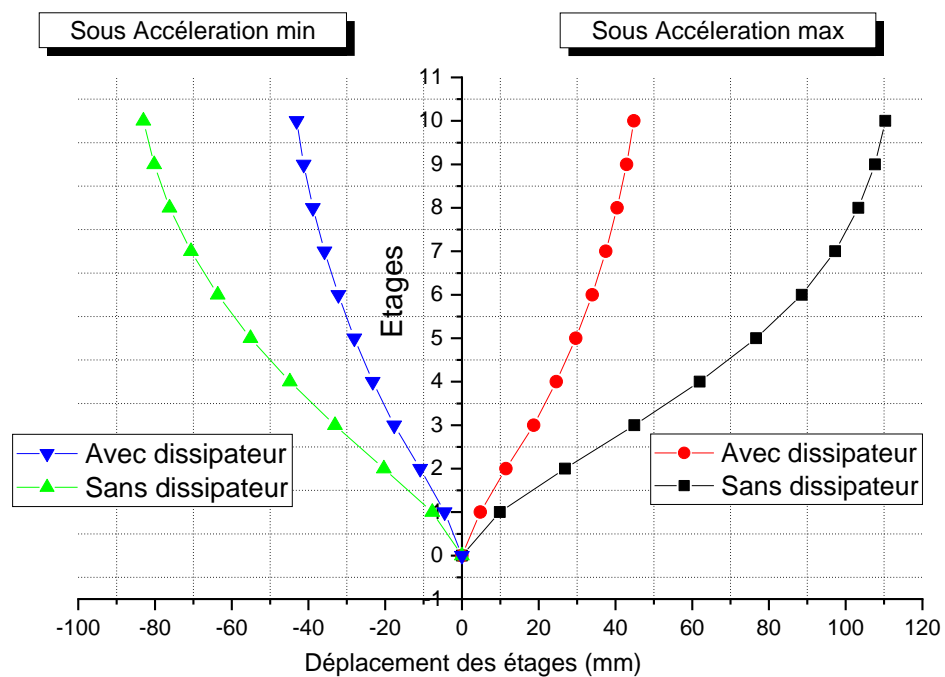


Figure 5.13 : Les déplacements des niveaux pour une structure avec et sans dissipateurs sens X.

- **Sens Y:**

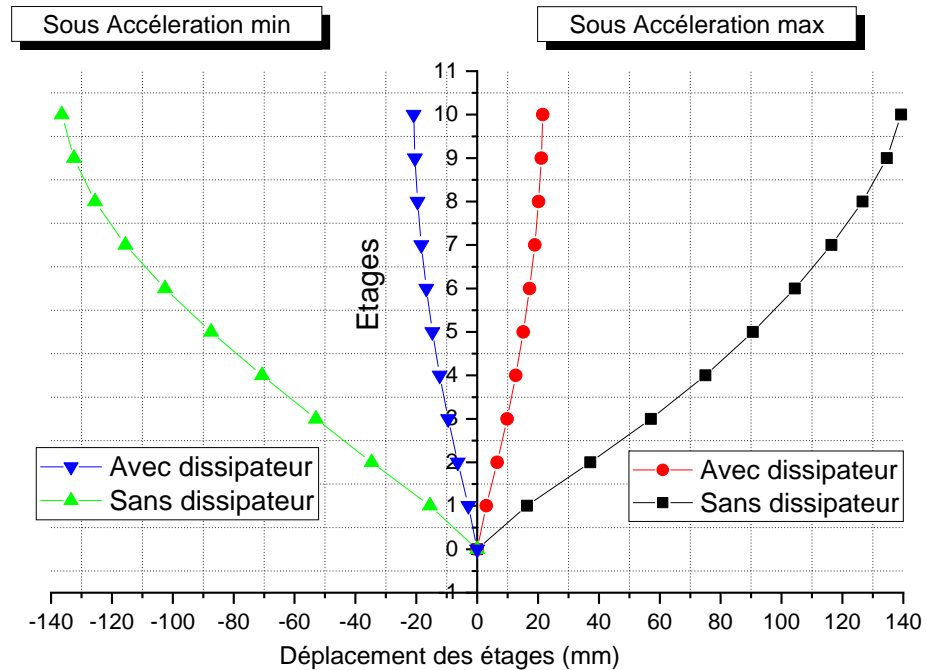


Figure 5.14 : Les déplacements des niveaux pour une structure avec et sans dissipateurs sens Y.

- D'après les figures ci-dessus on remarque que le déplacement maximal dans la direction X est égal à 110.31 mm pour la structure sans dissipateur et 44.78 mm pour la structure équipée de dispositifs d'amortissement à fluide visqueux. Suivant Y, 139.32 mm pour la structure sans dissipateurs et 21.54 mm pour la structure avec dissipateurs.
- La remarque tirée de cette comparaison est que les déplacements de la structure sans dissipateurs sont plus importants par rapport aux déplacements de la structure avec dissipateurs. Cette réduction importante des déplacements de la structure équipée de dispositifs d'amortissement à fluide visqueux est interprétée par l'augmentation de l'amortissement effectif de la structure du à la présence de ces dispositifs.
- la réduction de déplacements est bien remarquée selon Y qui est 84.53% (tandis que selon X est de 59.40%), ceci peut être interprété par le nombre de dispositifs d'amortissement à fluide visqueux installés dans la structure qui est plus grand suivant Y par rapport à X.

V-3-1-2- Comparaison des déplacements du dernier étage:

Les figures 5.15 et 5.16 présentent une comparaison entre le déplacement du dernier étage pour les deux modèles dans les directions X et Y :

- **Sens X:**

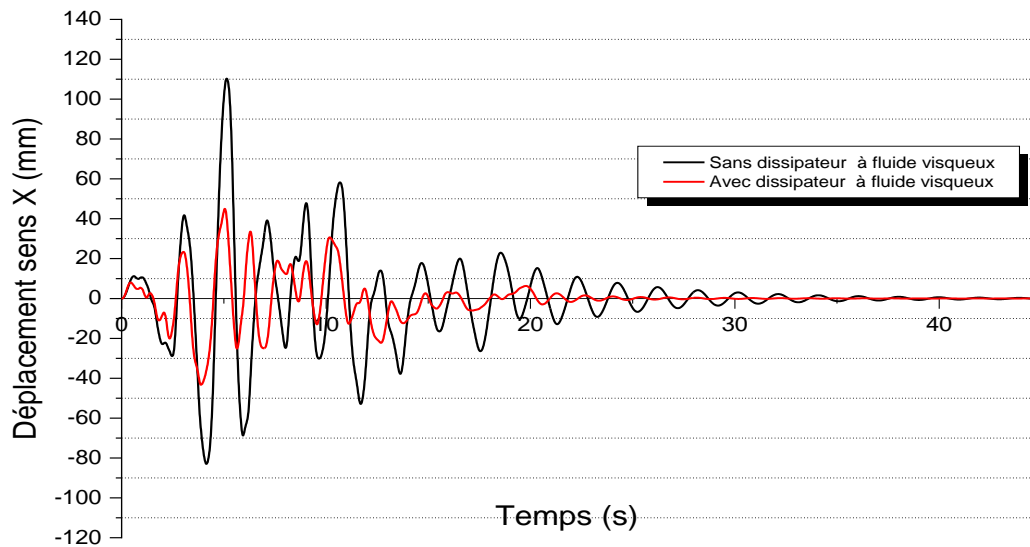


Figure 5.15 : Les déplacements du dernier niveau pour une structure avec et sans dissipateurs sens X.

- **Sens Y:**

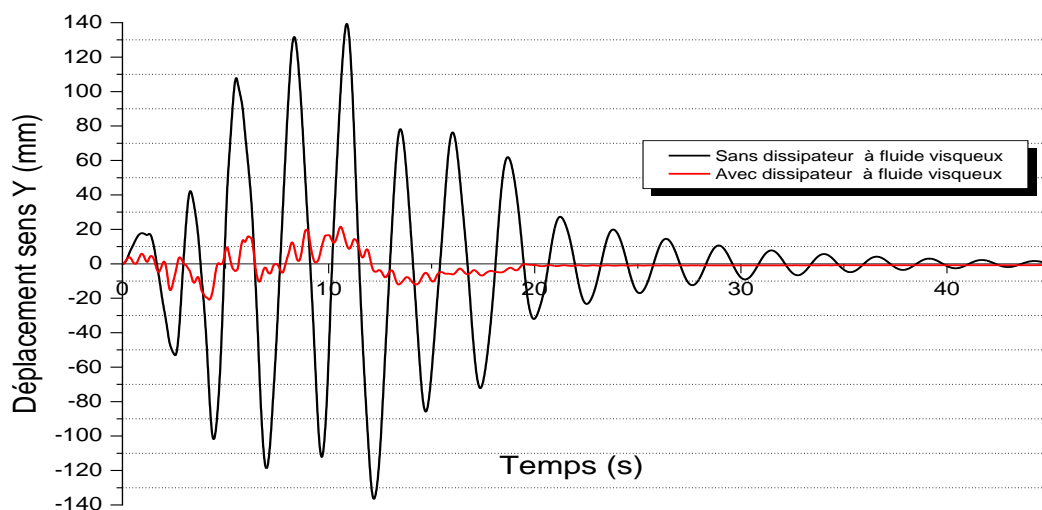


Figure 5.16 : Les déplacements du dernier niveau pour une structure avec et sans dissipateurs sens Y.

D'après les figures ci-dessus, nous remarquons que :

- Suivant X : Le plus grand déplacement pour la structure sans dispositif est de 110.31 mm à 5.14s et la pour structure avec dispositif est de 45.01mm à 5.05s. En termes de pourcentage, le déplacement diminue de 59% par rapport à la structure sans dispositif.
- Suivant Y: Le plus grand déplacement pour la structure sans dispositif est de 139.32 mm à 10.88s et la pour structure avec dispositif est de 21.54mm à 10.59s. Donc la diminution du déplacement est environ 84% par rapport à la structure sans dispositif.
- Les déplacements inter-étages dans le cas de structure avec dispositif d'amortissement sont négligeables par rapport la structure sans dispositif. Ce qui veut dire que la structure avec dispositif vibre comme un seul bloc rigide.
- la réduction de déplacement du dernier niveau est bien distinguée selon Y qui est 84% (tandis que selon X est de 59%), ceci est du toujours aux nombres des amortisseurs à fluide visqueux placés dans la structure.

V-3-2- Comparaison des accélérations:

Les figures ci-dessous montrent une comparaison entre les accélérations des derniers niveaux de deux modèles dans les deux directions X et Y.

- **Sens X:**

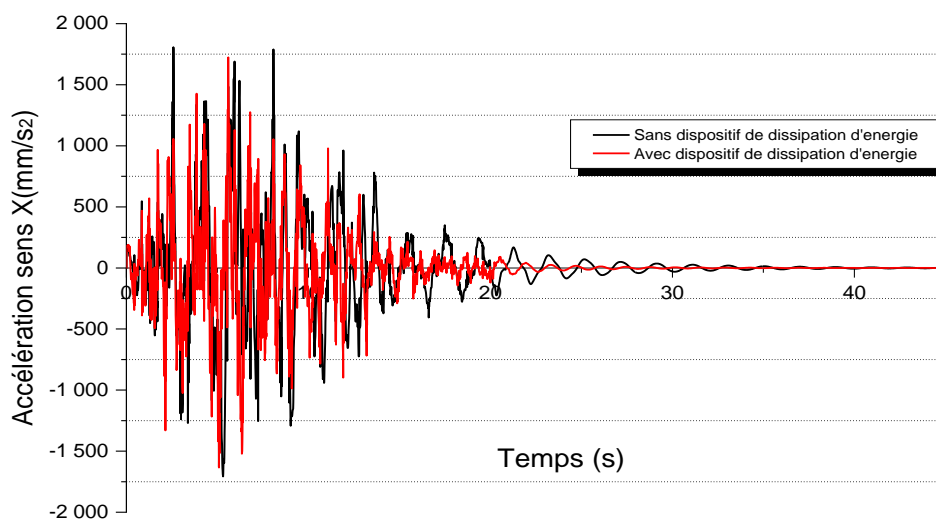


Figure 5.17 : Les accélérations du dernier niveau pour une structure avec et sans dissipateurs sens X.

- **Sens Y:**

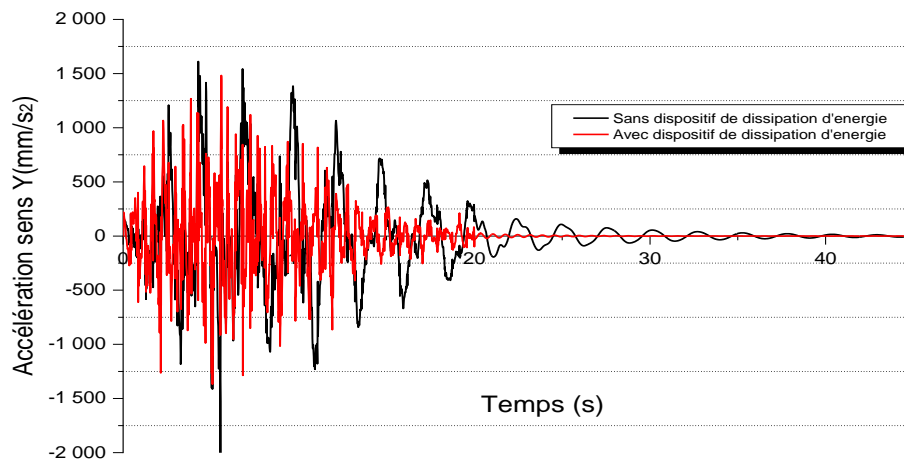


Figure 5.18 : Les accélérations du dernier niveau pour une structure avec et sans dissipateurs sens Y.

Les figures 5.17 et 5.18 montrent que :

- Dans la direction X, pour la structure sans dispositif, l'accélération maximale enregistrée à 2.58 secondes qui valent 1.807 m/sec^2 , pour celle avec dispositif est de 1.724 m/sec^2 à 5.60 secondes. Donc la réduction des accélérations est de l'ordre de 5.60%.
- Dans la direction Y, l'accélération maximale de la structure sans dispositif est de 1.612 m/sec^2 enregistrée à 4.28 secondes, et pour celle avec dispositif est de 1.483 m/sec^2 à 5.59 secondes. De ce fait, la réduction des accélérations par rapport toujours à celle sans dispositif d'amortissement est de l'ordre de 8.00%.
- La remarque tirée de cette comparaison est que les accélérations de la structure avec des dispositifs d'amortissement sont moins importantes par rapport aux accélérations de la structure sans dispositifs, ceci est dû à la dissipation d'énergie causée par la présence des amortisseurs à fluides visqueux.

V-3-3- Comparaison des efforts tranchants à la base:

Les figures 5.19 5.20 montrent une comparaison entre les efforts tranchant à la base pour les deux modèles dans les deux directions X et Y :

- **Sens X:**

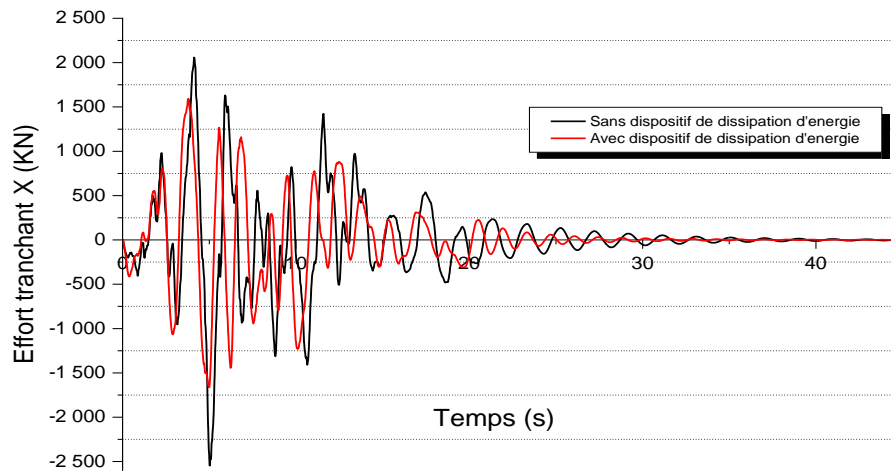


Figure 5.19 : Les efforts tranchants à la base pour une structure avec et sans dissipateurs sens X.

- **Sens Y:**

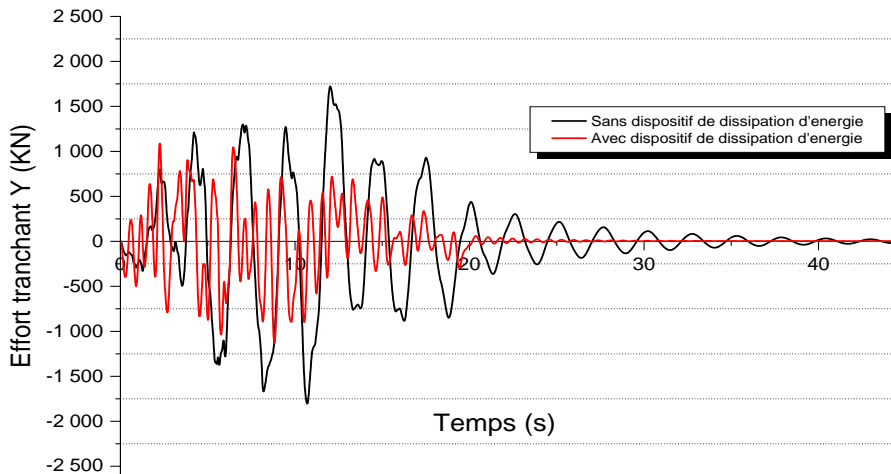


Figure 5.20 : Les efforts tranchants à la base pour une structure avec et sans dissipateurs sens Y.

D'après les figures, nous trouvons que :

- Le plus grand effort suivant X pour la structure sans dispositif d'amortissement est de 2058.14 KN à 4.13s, pour la structure avec dispositif est de 1591.72 KN à 3.78s. La réduction est estimée à 22.66%.

- Suivant Y, l'effort maximal pour la structure sans dispositif est de 1722.60 KN à 12.02s, pour la structure avec dispositif est de 1087.74 KN à 2.25s. En pourcentage, la réduction des efforts est estimée à 36.85%.
- La réduction de l'effort tranchant de la structure avec dispositif par rapport à celle d'une structure sans dispositif d'amortissement. Donc, les amortisseurs à fluides visqueux réduisent l'effort tranchant à la base. Ceci est dû à la réduction des accélérations transmises à la superstructure.

V-4- Conclusion

Après l'analyse comparative entre les deux modèles: sans et avec la présence des dissipateurs d'énergies à fluide visqueux, on récapitule les résultats suivants :

- Dès qu'on augmente le taux d'amortissement le déplacement diminue encore et ce dans les deux sens;
- Les accélérations de la structure sont réduites en augmentant le taux d'amortissement;
- Les efforts tranchants à la base diminuent avec l'augmentation de l'amortissement de la structure;
- Les déplacements de la structure sans dissipateurs sont plus importants par rapport aux déplacements de la structure avec dissipateurs.
- Les déplacements inter-étages dans le cas de structure avec dispositif d'amortissement sont négligeables par rapport la structure sans dispositif;
- Les accélérations de la structure avec des dispositifs d'amortissement sont moins importantes par rapport aux accélérations de la structure sans dispositifs,
- La réduction de l'effort tranchant de la structure avec dispositif par rapport à celle d'une structure sans dispositif d'amortissement.

Conclusion générale & perspectives

1- Conclusion générale :

La vulnérabilité sismique de notre pays a poussé les spécialistes à développer des concepts technologiques innovateurs pour une protection accrue des structures et des personnes. Cette tâche constitue un véritable challenge pour les chercheurs de génie civil vis-à-vis des effets préjudiciables générés lors de mouvements sismiques.

L'incorporation des « dispositifs de dissipation d'énergie » a pour objectif principal l'absorption d'une partie importante de l'énergie sismique et la diminution, autant que possible, des dégâts dans les éléments structuraux. Parmi les dispositifs de dissipation passive d'énergie, nous trouvons le dissipateur visqueux fluide. Ces dispositifs sont utilisés dans les nouveaux bâtiments ainsi que dans la réhabilitation des structures existantes. Le but est de minimiser les effets de ces excitations dynamiques par la réduction des différentes réponses à savoir les déplacements, les accélérations et les efforts tranchants à la base.

Dans ce travail, l'efficacité de l'amortisseur à fluide visqueux a été étudiée grâce à des études comparatives effectuées sur deux structures (dix niveaux): avec et sans dispositif d'amortissement, sous différentes excitations sismiques et pour différents taux d'amortissement et différents emplacements.

En premier lieu, quelques éléments de concepts ont été passés en revue, qui sont les dispositifs de contrôle passif et actives. En suite, on a parlé un peu de systèmes de protection et de dissipation d'énergie. Avant d'entamer les analyses numériques des structures isolées, on a exposé en détail les dissipateurs d'énergie à fluide visqueux. Ensuite, la modélisation avec et sans dissipateurs d'énergie a été faite afin de procéder à une étude comparative effectuée sur une structure à dix niveaux. Cette comparaison nous a permis de mettre en évidence l'effet de ce système de dissipation sur la réponse des structures. Cette structure a été dimensionnée selon les codes Algériens (D.T.R et RPA99). La modélisation des cas étudiée a été assurée par le logiciel ETABS.

L'investigation des résultats obtenus nous a permis d'émettre les conclusions suivantes :

- Lors de l'augmentation du coefficient d'amortissement, le déplacement se réduit d'une manière remarquable et dès qu'on augmente le taux d'amortissement le déplacement diminue encore et ce dans les deux sens;

- Les accélérations de la structure sont réduites en augmentant le taux d'amortissement;
- Les efforts tranchants à la base diminuent avec l'augmentation de l'amortissement de la structure;
- Les déplacements de la structure sans dissipateurs sont plus importants par rapport aux déplacements de la structure avec dissipateurs. Cette réduction est interprétée par l'augmentation de l'amortissement effectif de la structure du à la présence de ces dispositifs;
- Les déplacements inter-étages dans le cas de structure avec dispositif d'amortissement sont négligeables par rapport la structure sans dispositif;
- Les accélérations de la structure avec des dispositifs d'amortissement sont moins importantes par rapport aux accélérations de la structure sans dispositifs, ceci est dû à la dissipation d'énergie causée par la présence des amortisseurs à fluides visqueux.
- La réduction de l'effort tranchant de la structure avec dispositif par rapport à celle d'une structure sans dispositif d'amortissement. Donc, les amortisseurs à fluides visqueux réduisent l'effort tranchant à la base. Ceci est dû à la réduction des accélérations transmises à la superstructure.
- les systèmes de dissipations à fluide visqueux dissipent l'énergie en captant les déformations, ce qui permet de filtrer les accélérations. A cet effet, la structure se déplace comme un corps rigide provoquant des déplacements faibles et des efforts tranchants minimales;

D'après les résultats des analyses numériques, on conclut que l'ajout des amortisseurs à fluide visqueux réduit d'une manière significative la réponse de la structure en termes de déplacement, de vitesse, d'accélération et d'effort tranchant. En outre, ces dissipateurs sont plus efficaces pour les structures flexibles qui sont soumises aux excitations fortes.

2- Perspectives :

Dans notre étude, nous avons tenté de traiter l'influence de l'existence des amortisseurs à fluide visqueux sur la réponse dynamique et sismique d'une structure. Il serait aussi intéressant au future d'étudier les réponses dynamique de la structure en prenant en compte d'autres paramètres. Comme perspectives, d'autres travaux de recherche peuvent avoir lieu à savoir:

- Etude de la réponse dynamique en variant l'emplacement des dissipateurs dans la structure;
- Effet de l'assemblage de dissipateurs avec différents types d'appuis parasismiques sur le comportement d'une structure;
- Etude de l'influence de l'élancement des structures sur l'efficacité du système de dissipations.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] : Rais Souâd, Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magister en génie civil, Etude et Modélisation du Comportement Dynamique des structures équipées de dissipateurs d'énergie, 19 janvier 2012 p 7.
- [2] : Djedoui Nassim, Thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Génie Civil, Modélisation et analyse du contrôle hybride (actif-passif) des vibrations des bâtiments sous sollicitations sismiques en champ proche, 19 juin 2018 p5
- [3] : Moreschi L.M. (2000), "Seismic Design of Energy Dissipation Systems for Optimal Structural Performance", Virginia Polytechnic Institute and State University.
- [4] : DJELLOULI Lynda, Mémoire présenté e n vue de l'obtention du diplôme de Magister en génie civil, MODELISATION DE SYSTEME D'ISOLATIONPARASISMIQUE POUR LE CONTROLE DE LA REPONSE DYNAMIQUE DES STRUCTURES, 22/11/2012
- [5] : MILAN ZACEK « construire parasismique ». Edition parenthèses, 1996.
- [6] : Hafsi Djalila et Guemair karima, Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de master en travaux publics option voix et ouvrage d'art, effet de système d'isolation parasismique de base sur la réponse dynamique d'un structure, 18/06/2018.
- [7] : IKHLEF Boualem1, Enseignant Chercheur, Université Ahmed Draïa d'Adrar, Algérie, Modélisation des isolateurs sismiques à base d'élastomère utilisés dans les ponts ; revue de littérature, 04 Octobre 2019.
- [8] : Alexis Maret, mémoire présenté à l'école de technologie Supérieure comme exigence partielle à l'obtention de la maîtrise avec mémoire en génie de la CONSTRUCTION, Study of the thermodynamic behavior of seismic insulating supports under cyclic loading at low temperatures, 12 SEPTEMBRE 2016.
- [9] : MEGHOUCHE Djedjiga, Mémoire de Magister En vue de l'obtention du diplôme en Génie Civil, Effet des conditions de contact sur la réponse dynamique des structures.
- [10] : Trevor E Kelly, S.E. Holmes (2001). "Base isolation of structures" Consulting Group Ltd.

[11] : Chapitre 1 Les systèmes de contrôle passif et les lois de contrôle actif et semi-actif sur le web site : <https://art.torvergata.it/retrieve/handle/2108/461/5195/chapitre1.pdf>

[12] : Aiken I., (2006), “Energy Dissipation Devices”, 8 NCEE Tutorial on State of the Art Technologies

[13] : Duc-Chuan Vu. Contrôle sismique des structures, Thèse de doctorat de l'Université Paris-Saclay préparée à l'École Nationale Supérieure de Techniques Avancées, 12 décembre 2017.

[14] : Luis M. Moreschi, Dissertation submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Engineering Mechanics, Seismic Design of Energy Dissipation Systems for Optimal Structural Performance, July 2000.

[15] : Paolo Castaldo, Politecnico di Torino, Passive Energy Dissipation Devices,, November 2014, Disponible sur le site web : <https://www.researchgate.net/publication/299673235>.

[16] : Nabil OUALI, Effets des dispositifs d'amortissement sur les déplacements, vitesses et accélérations des structures, Université des sciences et de la technologie Houari Boumédiène à Alger - Magister en génie civil 2009, mémoire en ligne disponible sur le site : https://www.memoireonline.com/01/13/6828/m_Effets-des-dispositifs-d-amortissement-sur-les-deplacements-vitesses-et-accelerations-des-struct18.html

[17]: B.F. Spencer, Jr. and Michael K. Sain (1997). Controlling Buildings: “A New Frontier in Feedback”.

[18] : Yang, J., A. Danielians, and S. Liu, Aseismic hybrid control systems for building structures. Journal of Engineering Mechanics, 1991. 117(4): p. 836-853.

[19] : Agrawal, A. and J. Yang. Hybrid control of seismic response using nonlinear output feedback. in Analysis and Computation:. 1996. ASCE.

[20] : Kamal Bsaibes, Ingénieur de l'École Spéciale des Travaux Publics Paris, STRUCTURES SUR AMORTISSEURS PARASISMIQUES, Article July 2010.

[21]: Cassandra Dion, mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de maîtrise ès sciences appliquées (génie civil), étude numérique et expérimentation du comportement dynamique des ponts avec isolateurs et amortisseurs sismiques, janvier 2010.

- [22] : Romain Bellet, thèse pour obtenir le grade de docteur de l'université Aix-Marseille i, vers une nouvelle technique de contrôle passif du bruit : absorbeur dynamique non linéaire et pompage Energétique, 19 octobre 2010.
- [23] : Hamid Sirine, Mémoire Pour l'obtention Du Diplôme De Master En Génie Civil Spécialité : Construction métallique étude de La Non-Linéarité Des Amortisseurs A Fluide Visqueux Sur Le Comportement Des Bâtiments Sous Sollicitations sismique, 14 Juin2016
- [24] : Control of Civil Structures”, chapter 02. (2005).
- [25] : Hirokazu I. et al. (2005), “Vibration and shock handbook”; “chapter 29: Seismic Base Isolation and Vibration Control” , Kyoto University.
- [26] : Ahsan Kareem et al. (1999), “Mitigation of Motions of Tall Buildings with Specific Examples of Recent Applications.
- [27] : Li, C. and B. Cao, Hybrid active tuned mass dampers for structures under the ground acceleration. Structural Control and Health Monitoring, 2015. 22(4): p. 757-773.
- [28] : Cheng, F.Y., H. Jiang, and K. Lou, Smart Structures: Innovative Systems for Seismic Reponse Control2008: CRC Press.
- [29] : SMAÏL Tayeb , MIMOIRE DE MAGISTER , Evaluation de la reponse dynamique des bâtiments de grande hauteur munis de système de dissipation d'énergie .Blida, novembre 2012 , PAJE66
- [30] : Othman Ben Mekki (2007). “ Amortissement semi-actif des structures flexibles : Application au contrôle des grands ponts.
- [31]: B.F.Spencer, Jr, T.T.Soong (1999). “New applications and development of active, Semi-active and Hybrid Control Techniques for Seismic and Non-Seismic Vibration in USA”
- [32] : F. Naeim and J.M. Kelly (1999). “Design of seismic isolated structures: from theory to practice”, John Wiley ET Sons, New York.
- [33] : Benzina.F Contribution a l'étude des structures intelligentes. Tlemcen. Mémoire de magistère en Génie civil, Universite abou bekr belkaid, 2013.
- [34] : NAIT ZERRAD .I ; BENMOUNA .N; analyse de l'effet des systèmes de dissipation passive dans le contreventement des bâtiments ; mémoire du Diplôme de MASTER en Génie civil université Abou BekrBelkaid Tlemcen 2014.

[35] :] El-fetni Ali, mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de magister , analyse par critere de performance des structures équipées de dissipateurs d'énergie.

[36] : Réponse sismique de systèmes asymétriques linéaires et non linéaires avec amortisseurs visqueux fluides non linéaires Rakesh K. Goel ; Département d'ingénierie civile et environnementale ; California Polytechnic State University ; San Luis Obispo ; CA 93407 ; U.S.A.

[35] : Contrôle des vibrations de choc des structures à l'aide d'amortisseurs à fluide visqueux D. I. Narkhede & R. Sinha Institut indien de technologie de Bombay, Mumbai-400076, Inde

[36] : International Training Programs for Seismic Design of Building Structures Hosted by National Center for Research on Earthquake Engineering Sponsored by Department of International Programs, National Science Council, Seismic Design of Structures with Viscous Dampers Jenn-Shin Hwang1. Le 22 octobre 2014.

[37] : Adolfo castro bustamante, control de la respuesta dinámica de estructuras mediante el uso de disipadores de energía de fluido viscoso del tipo lineal tesis para optar al título de: ingeniero civil, juan pablo pardo verdugo valdivia-chile 2007.

[38] : Douglas p. Taylor, seismic protection with fluid viscous dampers for the torre mayor, a 57-story office tower in mexico city, mexico, 90 taylor drive north tonawanda, ny 14120-0748.

[39] : Elyes Mrabet, thèse, obtenir sur le site web https://www.researchgate.net/figure/6-Schema-dun-amortisseur-a-fluide-visqueux-19_fig4_315885310, , 2016

[40] : Kaczkowski.n développement des capacités de conception parasismique des ponts. Strasbourg : insa strasbourg, spécialité génie civil, 2012. P184.