Table des matières

Chapitre 1.

Introduction générale. 1

1.1. Introduction. 1

1.2. Présentation de l'ouvrage. 3

1.2.1. Règlements utilisés. 3

1.2.2. Mode de construction. 3

1.2.3. Acier de construction pour les éléments de structure. 3

1 .3.4. Le béton. 4

1.2.5. Pré-dimensionnement. 4

1.2.6. Dimensionnement des éléments. 8

1.2.7. Systèmes de contreventements. 9

Chapitre 2.

Généralité sur les systèmes dissipatifs passifs 11

2.1 Introduction 11

2.2. Contrôle passif avec dissipateurs 12

2.3. Amortisseur métallique 12

2.3.1. Le dispositif EDU 13

2.3.2. Dispositifs d'extrusion de plomb (LED) 13

2.3.3. Le dispositif d'amortissement et de rigidité supplémentaire (ADAS) 14

2.3.4. Amortisseur de plaques triangulaire (TADAS). 15

2.3.5. Entretoise à flambement empêché (buckling restrained brace - BRB).....16

2.4. Les amortisseurs à friction.....17

2.4.1. L'amortisseur de Sumitomo 17

2.4.2. L'amortisseur de Pall 18

2.4.3. Amortisseur boulonné encoché (Slotted-bolted damper) 18

2.4.4. La contrainte de dissipation d'énergie (EDR) 19

2.5. Amortisseur viscoélastique.....20

2.5.1. Amortisseur viscoélastique fluide.....21

2.5.2. Amortisseur viscoélastique solide 22

2.6. Amortisseur à fluide visqueux.....23

2.7. Conclusion.....24

Chapitre 3.

Généralité sur les amortisseurs à fluide visqueux…….…..….25

3.1. Introduction……25

3.2. Méthode statique non linéaire (du spectre de capacité)…….30

3.3. L'amortissement dans les structures ……30

3.3.1 Amortissement visqueux élastique 30

3.3.2 Amortissement hystérétique 31

3.3.3 Amortissement visqueux équivalent.....31

3.3. Identification des propriétés mécaniques des amortisseurs FVD……...……...32

3.4. Modèle analytique……..34

3.4.1. Amortisseur à fluide visqueux linéaire 36

3.5.2. Amortisseur à fluide visqueux non-linéaire 37

3.6. Contrôle passif par isolation à la base 40

3.6.1. Appareil d'appuis en élastomère fretté à amortissement faible (LDRB) 41

3.7.Coclusion 44

Chapitre 4.

L'impact de la non-linéarité des FVD sur un bâtiment métallique 45

4.1. Introduction 45

4.2. Description du dispositif dissipatif et des excitations sismiques. 45

4.3. Analyse des réponses temporelles pour la structure R+4. 47

4.3.1. Variation du déplacement et accélération en fonction du temps. 48

4.3.2. Variation de l'effort tranchant à la base en fonction du temps. 50

4.3.3. Variation des sollicitations en fonction du temps. 50

4.3.4. La variation du taux d'amortissement ξd en fonction du coefficient C_d 52

4.4. Analyse des réponses temporelles pour la structure R+6. 53

4.4.1. Variation du déplacement et accélération en fonction du temps. 54

4.4.2. Variation de l'effort tranchant à la base en fonction du temps. 55

4.4.3. Variation des sollicitations en fonction du temps. 56

4.4.4. La variation du taux d'amortissement ξd en fonction du coefficient C_d 58

4.5. Analyse des réponses temporelles pour la structure R+8. 59

4.5.1. Variation du déplacement et accélération en fonction du temps. 60

4.5.2. Variation de l'effort tranchant à la base en fonction du temps. 62

4.4.3. Variation des sollicitations en fonction du temps. 62

4.5.4. La variation du taux d'amortissement ξd en fonction du coefficient C_d 64

4.6. La variation du taux d'amortissement en fonction de α, Cd et la hauteur de la structure 65

4.7. Conclusion 67

Conclusion générale 68

Références bibliographiques

Liste des figures

Figure1.1 : Plancher collaborant en béton armé 5
Figure 1.2 : Légende pour les parois verticales 5
Figure 1.3 : Valeur de Cpepour les parois verticales 6
Figure 1.4 : Légende pour la terrasse 6
Figure 1.5 : Valeur de Cpe pour la terrasse 6
Figure 1. 6 : Représentation des résultats de la pression du vent direction V1 7
Figure 1.7 : Valeur de Cpepour les parois verticales V2 7
Figure 1. 8 : Représentation des résultats de la pression du vent direction V2 8
Figure 1.9Modèle 3D de la structure étudiée 10
Figure 2.1 : Poutre en mouvement libre 12
Figure 2.2 : Dispositif en forme de C (à gauche) et dispositif EDU (à droite) 13
Figure 2.3 : Deux exemples des Dispositifs d'extrusion de plomb 14
Figure 2.4 : Amortisseur ADAS 15
Figure 2.5 : Amortisseur TADAS 16
Figure 2.6 : Entretoise à flambement empêché (BRB) 16
Figure 2.7 : L'amortisseur de Sumitomo 17
Figure 2.8 : L'amortisseur de Pall et son installation 18
Figure 2.9 : Amortisseur boulonné encoché (Connection de Fitzgerald (1989) 19
Figure 2.10 : Vues extérieure et intérieure de la contrainte de dissipation d'énergie 20
Figure 2.11 : Boucle d'hystérésis d'un dispositif viscoélastique et visqueux 21
Figure 2.12 : Modèle de Maxwell 21
Figure 2.13 : a) amortisseur à fluide de récipient cylindrique, b) le mur d'amortissement visqueux 22
Figure 2.14 : Amortisseur visqueux élastique solide 23
Figure 3.1 : Courbe de dissipation d'énergie 26
Figure 3.2 : FVD utilisé dans la ligne ferroviaire Oued Tlilet-Tlemcen 27
Figure 3.3 : Différentes configurations de FVD 28
Figure3.4 : Coupe longitudinale d'un amortisseur à fluide visqueux 29
Figure 3.5 : Variation de la rigidité et du coefficient d'amortissement en fonction de la Fréquence 33
Figure 3.6 : Courbe force-déplacement d'un FVD : a) Visqueux pur, b) Viscoélastique 34

Figure 3.7 : Modèle de Maxwell 35
Figure 3.8 : Courbe force-vitesse pour un FVD en fonction de l'exposant α 38
Figure 3.9 : Courbe force-déplacement d'un FVD non-linéaire 39
Figure 3.10 : Comportement de la structure avec et sans le dispositif d'isolation sismique 41
Figure 3.11 : Hystérésis force-déformation d'un appuis LDRB 43
Figure 3.12 : Modèle analytique du LDRB 43
Figure 4.1 : Signale sismique de keddara EW 46
Figure 4.2 : Signale sismique de keddara NS 46
Figure 4.3 : Signale sismique de keddara V 46
Figure 4.4 : Le nœud le plus sollicité 47
Figure 4.5 : Le poteau le plus sollicité 48
Figure 4.6 : Réponse temporelle du déplacement 49
Figure 4.7 : Réponse temporelle de l'accélération 49
Figure 4.8: Réponse temporelle de l'effort tranchant à la base 50
Figure 4.9: Réponse temporelle de l'effort normal 51
Figure 4.10: Réponse temporelle de l'effort tranchant 51
Figure 4.11: Réponse temporelle du moment fléchissant 51
Figure 4.12 : Taux d'amortissement ξd en fonction du coefficientC_d 52
Figure 4.13 : Le nœud le plus sollicité 53
Figure 4.14 : Le poteau le plus sollicité 54
Figure 4.15 : Réponse temporelle du déplacement 55
Figure 4.16 : Réponse temporelle de l'accélération 55
Figure 4.17: Réponse temporelle de l'effort tranchant à la base 56
Figure 4.18: Réponse temporelle de l'effort normal 57
Figure 4.19: Réponse temporelle de l'effort tranchant 57
Figure 4.20: Réponse temporelle du moment fléchissant 57
Figure 4.21 : Taux d'amortissement ξ*d* en fonction du coefficientC_d 58
Figure 4.22 : Le nœud le plus sollicité 59
Figure 4.23 : Le poteau le plus sollicité 60
Figure 4.24 : Réponse temporelle du déplacement 61
Figure 4.25 : Réponse temporelle de l'accélération 61
Figure 4.26: Réponse temporelle de l'effort tranchant à la base 62
Figure 4.27: Réponse temporelle de l'effort normal 63
Figure 4.28: Réponse temporelle de l'effort tranchant 63

Figure 4.29: Réponse temporelle du moment fléchissant 63
Figure 4.30 : Taux d'amortissement ξd en fonction du coefficient Cd..... 64
Figure 4.31 : la variation du taux d'amortissement en fonction de α, Cd et la hauteur de la structure 66

Rapport-Gratuit.com

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Dimensions des profilés « poutres et solives » utilisés et leur caractéristique 9
Tableau 1.2 : Dimension des poteaux 9
Tableau 1.3 : dimension des contreventements 9
Figure 4.31 : la variation du taux d'amortissement en fonction de α, C_d et la hauteur de la structure 65

NOTATIONS & SYMBOLES

Les abréviations :

FVD : Fluide Viscous Damper

ADAS: Added Damping and Stiffness

TADAS: Triangular plate Added Damping and Stiffness

BRB: Buckling Restrained Brace

LED: Lead Extrusion Devices

EDR : EnergyDissipatingRestraint

Les symboles:

fy : Limite d'élasticité

E : Module de Young

ρ: poids volumique

C_d : Coefficient d'amortissement du dispositif FVD.

Cr : coefficient d'amortissement critique.

α : facteur de la non-linéaire de l'amortisseur FVD.

ξ_d: Taux d'amortissement

$\frac{d^r}{dt^r}$et$\frac{d^q}{dt^q}$Des dérivées fractionnaires de l'ordre r et q.

G : Module de cisaillement

Ʊ: Coefficient de poisson

fc_{28} : Résistance à la compression

G : charge permanente

Q : charge d'exploitation

S : la charge de la neige

P : poids propre

A : la section

h : hauteur

b : largeur

t : épaisseur

r : rayon

M : moment fléchissant

T : effort tranchant

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

N : effort normal

E_D : Energie dissipée par le système.

E_S : Energie maximale stockée (Elastique).

E_K : Energie cinétique.

E_h : Energie hystérétique.

E(t) : Energie totale.

Chapitre 1.

Introduction générale.

1.1. Introduction.

L'Algérie du Nord est caractérisée par une sismicité qui est causée par l'affrontement des plaques africaine et eurasiatique : Cette sismicité se matérialise généralement par des séismes modérés à faibles quoique parfois des séismes violents puissent se produire. Ces séismes génèrent bien souvent des catastrophes à savoir les séismes d'El Asnam du 10/10/1980, et de Boumerdes du 21/05/2003. S'il est vrai qu'avant la catastrophe d'El Asnam (10 octobre 1980, M=7.3), peu de choses étaient connues de la sismicité algérienne, les leçons données par ce séisme furent multiples et eurent un impact important. Ce séisme a permis de démontrer : que de violents séismes pouvaient se produire en Algérie du Nord, que cette la sismicité en Algérie du Nord était due au rapprochement de la plaque européenne avec la plaque africaine, l'importance de renforcer la surveillance sismique du territoire, de l'importance de l'application des normes de construction parasismiques, l'importance d'une stratégie de réduction du risque[6].

Plusieurs dispositifs peuvent être affiliés aux systèmes de contrôle passif. On peut citer 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.
Ces derniers commencent à être utilisés avec succès dans de nombreux nouveaux bâtiments à travers le monde ainsi que dans la réhabilitation des structures existantes.
L'amortisseur à fluide visqueux FVD (Fluide Viscous Damper) est un dispositif généralement constitué d'un piston avec des orifices en tête. Ce dernier est contenu dans un cylindre rempli

d'un fluide visqueux qui est généralement un composé de silicone ou d'un type d'huile similaire. L'énergie est dissipée dans l'amortisseur par le passage du fluide de part et d'autre de la tête du piston grâce aux orifices lorsque ce dernier se déplace à travers le fluide. Par conséquent, l'énergie cinétique du signal dynamique est convertie en chaleur.

En raison de la vulnérabilité sismique de notre pays, le développement des concepts technologiques innovateurs pour une protection accrue des structures et des personnes constitue un véritable challenge pour le chercheur de génie civil. Pour cela, on doit élaborer une méthode de protection des bâtiments contre cette catastrophe. L'utilisation de nouvelles techniques parasismiques devient donc une nécessité. Parmi ces techniques, on trouve la technique de l'application des amortisseurs à fluide visqueux non-linéaire sur les bâtiments métalliques. Pour cela, plusieurs analyses ont été conduites sur des bâtiments de R+4, R+6, R+8, afin de déterminé le facteur de la non-linéarité engendrant la réponse optimale de ces bâtiments.

Pour ce travail, la structure du mémoire est composée de 4 chapitres :

- Le premier chapitre : après une introduction générale, ce chapitre a été consacré à la présentation de l'ouvrage de la structure originale (R+12), qui est constitué du pré-dimensionnement, calcul neige et vent et le dimensionnement des éléments.
- Le deuxième chapitre porte sur les différents types des dispositifs dissipatifs.
- Le troisième chapitre se porte sur des généralités d'un seul type d'amortisseur qui est l'amortisseur à fluide visqueux (FVD).
- Dans le chapitre quatre plusieurs analyses ont été effectués pour connaitre l'impact de la non-linéarité des FVD sur un bâtiment métallique notamment pour savoir si le taux d'amortissement change en fonction de la hauteur en variant le coefficient de comportement non-linéaire α et le coefficient d'amortissement C_d

  Enfin on a terminé par une conclusion générale.

1.2. Présentation de l'ouvrage.

Le projet est un hôtel situé à Sidi Lakhdar wilaya de MOSTAGANEM, construit pour des intérêts économiques, il se caractérise par ces 12 étages, autrement dit hôtel de R+12, et une terrasse inaccessible, avec un système à portique en ossature métallique et avec des planchers mixtes, L'hôtel occupe une surface rectangulaire de 534.204 m² sur un terrain plat, qui appartient à la zone sismique II b.[3]

- Les données géométriques :

✓ Longueur totale : 23.70m

✓ Largeur totale : 22.92m

✓ Hauteur totale : 45.22m

✓ Hauteur de RDC et étages : H = 3.40m

✓ Hauteur 3ème étage : H3eme = 4.42m

1.2.1. Règlements utilisés.

L'utilisation des documents techniques est obligatoire dans la construction afin de données des justifications de la stabilité de la structure ainsi que sa sécurité et pour cela les normes Algériennes utilisées sont :

- Règlement Neige et Vent « RNV » version 2013.
- « DTR B.C2.2 » charge permanentes et charge d'exploitation.
- Règlement CCM 97 « calcul des structures en acier ».

1.2.2. Mode de construction.

Une bonne connaissance des matériaux utilisés en construction métallique est indispensable pour la réalisation d'une structure, dans le cadre de ce projet on a opté pour les matériaux suivants :

1.2.3. Acier de construction pour les éléments de structure.

Pour la réalisation de notre structure on a utilisé des aciers de construction laminés à chaud.

La nuance d'acier utilisée est de fe360, il utilisée pour toute structure de bâtiment.

✓ La résistance élastique limite Fy = 235 N/mm^2.

✓ La résistance ultime Fu = 355 N/mm^2.

✓ Le module d'élasticité longitudinal : E = 200 × 103 MPA.

Le module d'élasticité transversal : G = E/ 2 × (1 +ν) = 84 × 103 MPA.

✓ Le coefficient de Poisson ν = 0.3.

✓ Le poids volumique γ = 76.98 KN/m^3.

1.2.4. Le béton.

La composition d'un mètre cube du béton est la suivante :

- ✓ 350 kg de ciment CPA325.
- ✓ 400 L de sable Cg ≤ 5mm.
- ✓ 800 L de gravillons Cg ≤ 25 mm
- ✓ 175 L d'eau de gâchage.
- ✓ Résistance à la compression : f_c 28 = 25MPA.
- ✓ Module d'élasticité longitudinal : E = 32 x 10^6 KN/m^2
- ✓ Poids volumique : ρ= 25 KN/m^2
- ✓ Coefficient de poisson : ν = 0.2

1.2.5. Pré-dimensionnement.

Charge permanentes et Charge d'exploitations.

Les charges et les surcharges appliquées sur la structure sont données conformément aux règles DTR BC 2.2 (charges permanentes et charge d'exploitation) comme suit :

*Plancher terrasse inaccessible :

- ✓ Charges permanentes G = 6.887 KN/m^2
- ✓ Charges d'exploitations Q = 1.00 KN/m^2

*Plancher étage courant :

- ✓ Charges permanentes G = 5.847 KN/m^2
- ✓ Charges d'exploitations Q = 2.5 KN/m^2

Les planchers.

Le plancher sera mixte collaborant en béton armé de (8cm) d'épaisseur et repose sur un coffrage perdu (TN40) contient des connecteurs (goujons) qui assurent la liaison d'ensemble du plancher et le non glissement de la dalle pleine en fin un matelas des solives qui supportes le plancher et ses composantes.

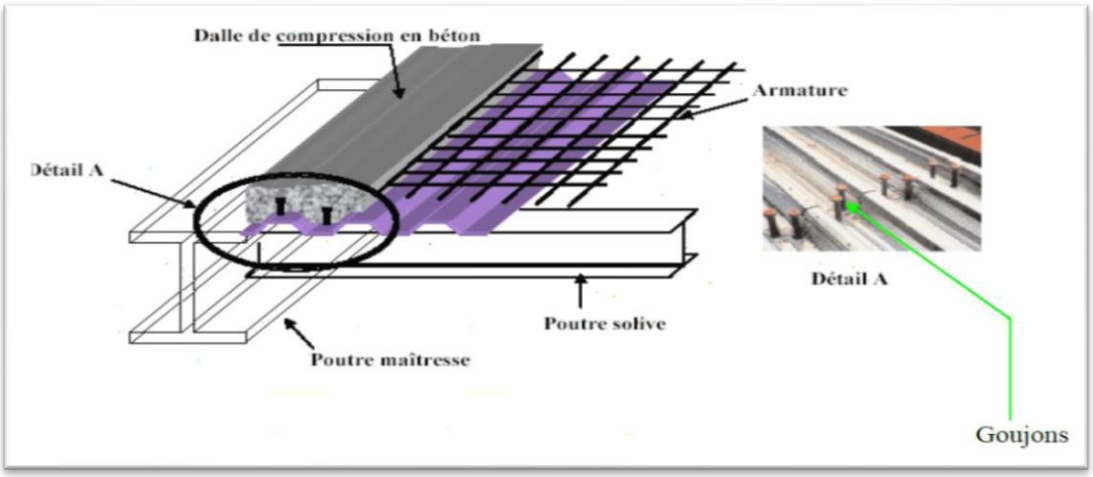


Figure1.1 : Plancher collaborant en béton armé. [3]

Charge climatiques.

- **Effet du vent.**

Cette partie a pour but de déterminer les différentes sollicitations climatiques produites par les charges du vent et de la neige, agissant sur l'ensemble de l'ouvrage et sur ses différentes parties, cette étude sera réalisée conformément au règlement neige et vent (RNV) version 2013 (Fig.1.2, 1.3).

a. La direction V1

- **Parois verticales**

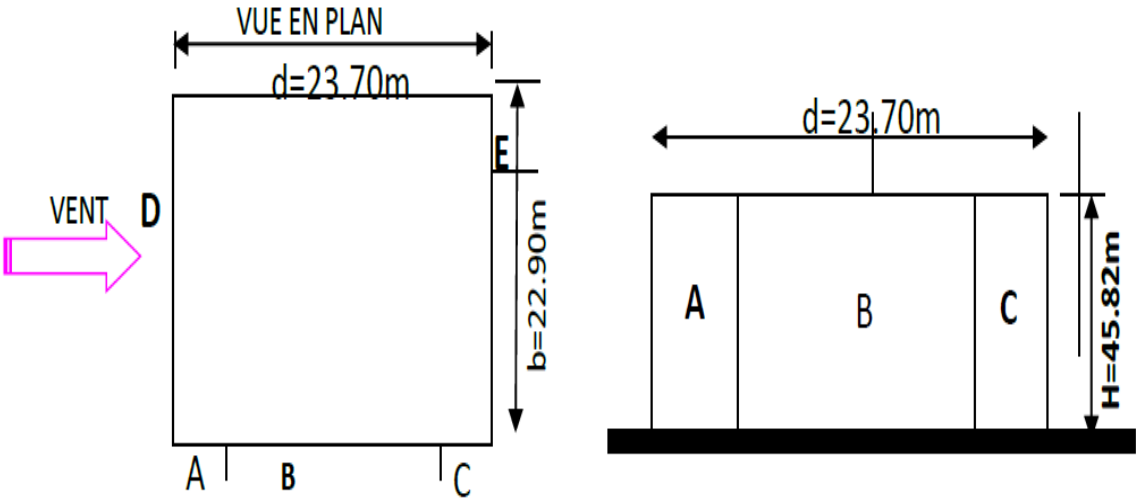


Figure 1.2 : Légende pour les parois verticales

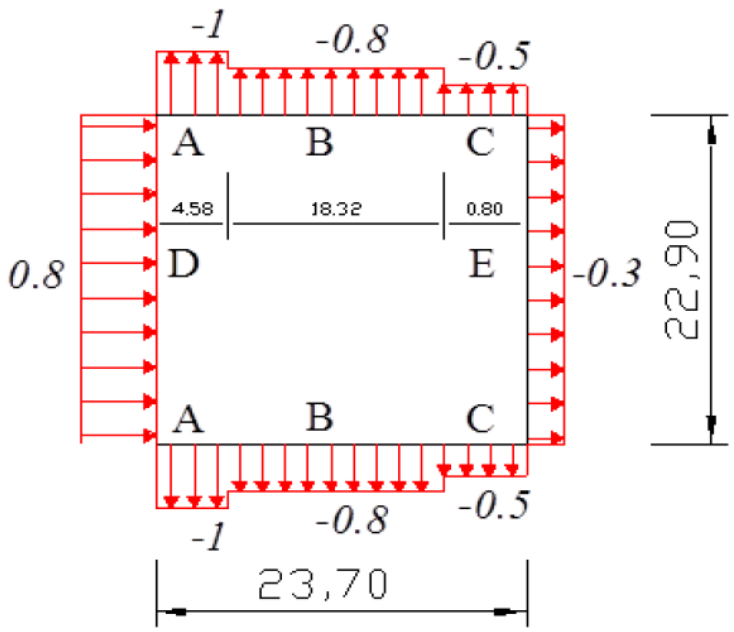


Figure 1.3 : Valeur de Cpe pour les parois verticales V1

- **Terrasse**

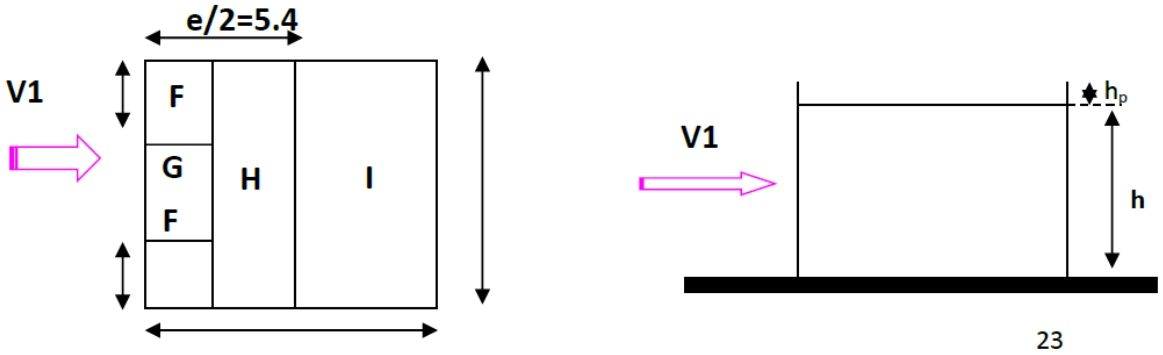


Figure 1.4 : Légende pour la terrasse.

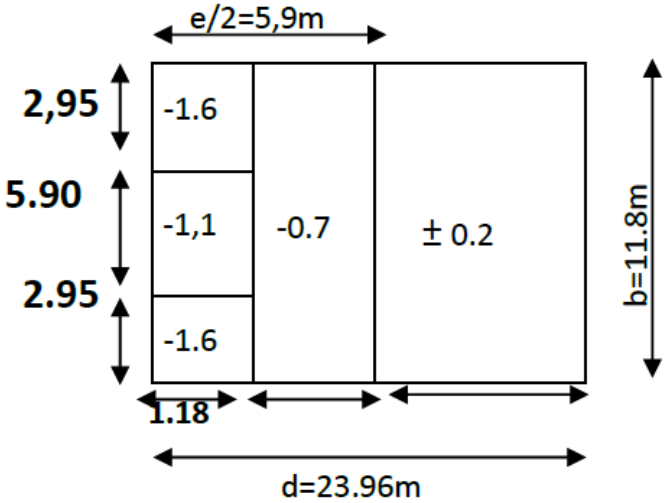


Figure 1.5 : Valeur de Cpe pour la terrasse

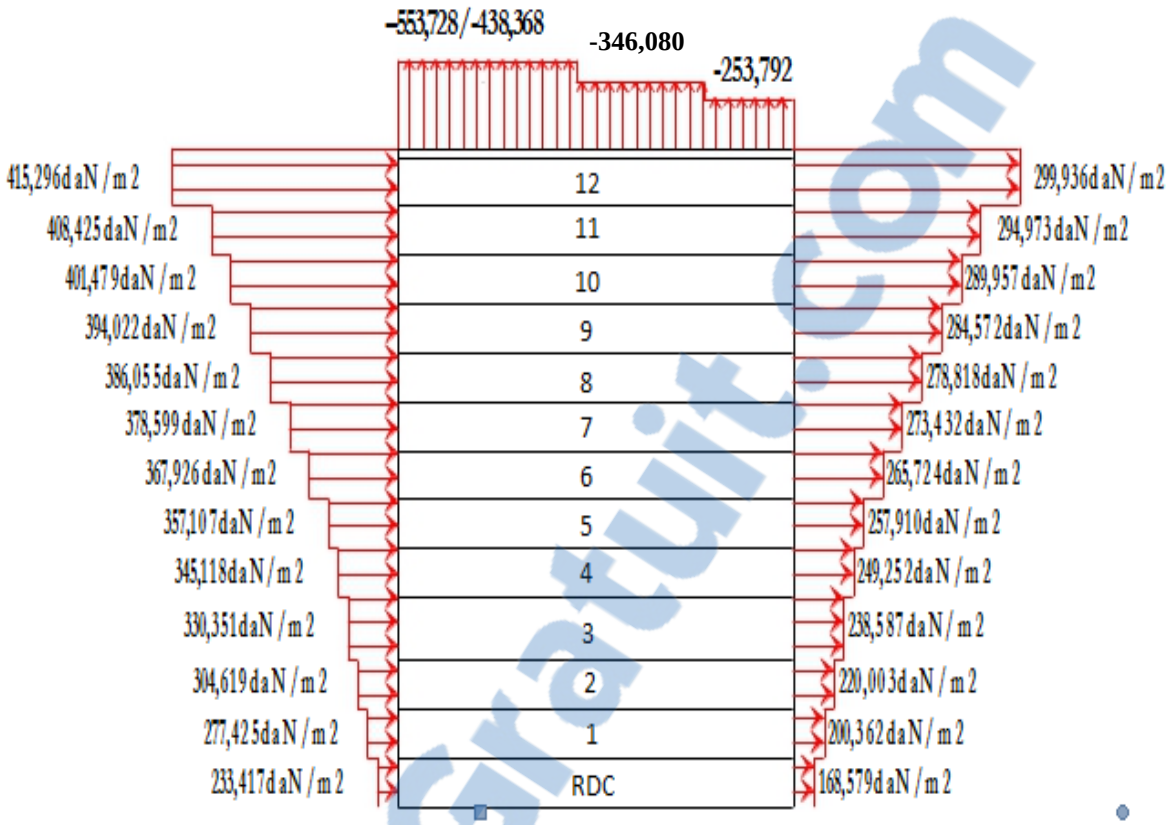


Figure 1. 6 : Représentation des résultats de la pression du vent direction V1.

b. La direction V2

➢ **Parois verticales**

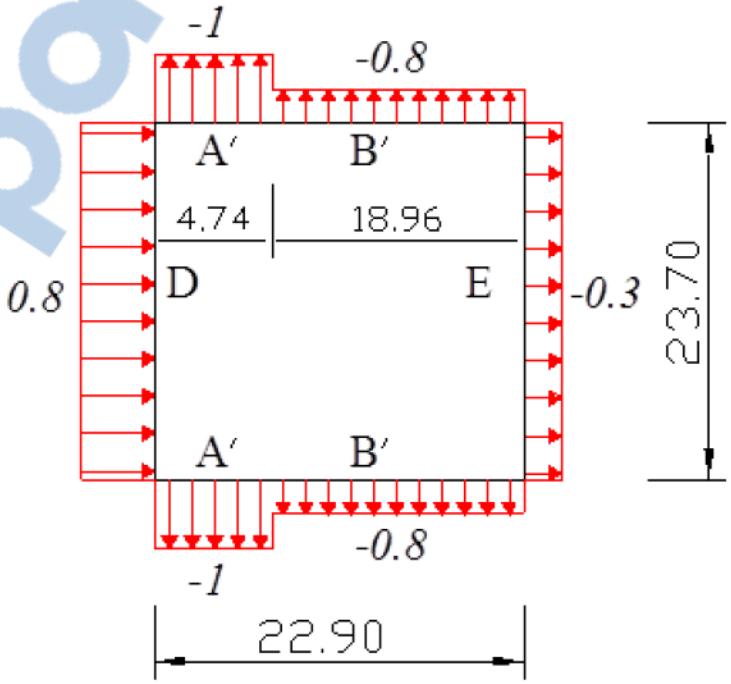


Figure 1.7 : Valeur de Cpe pour les parois verticales V2

Rapport-Gratuit.com

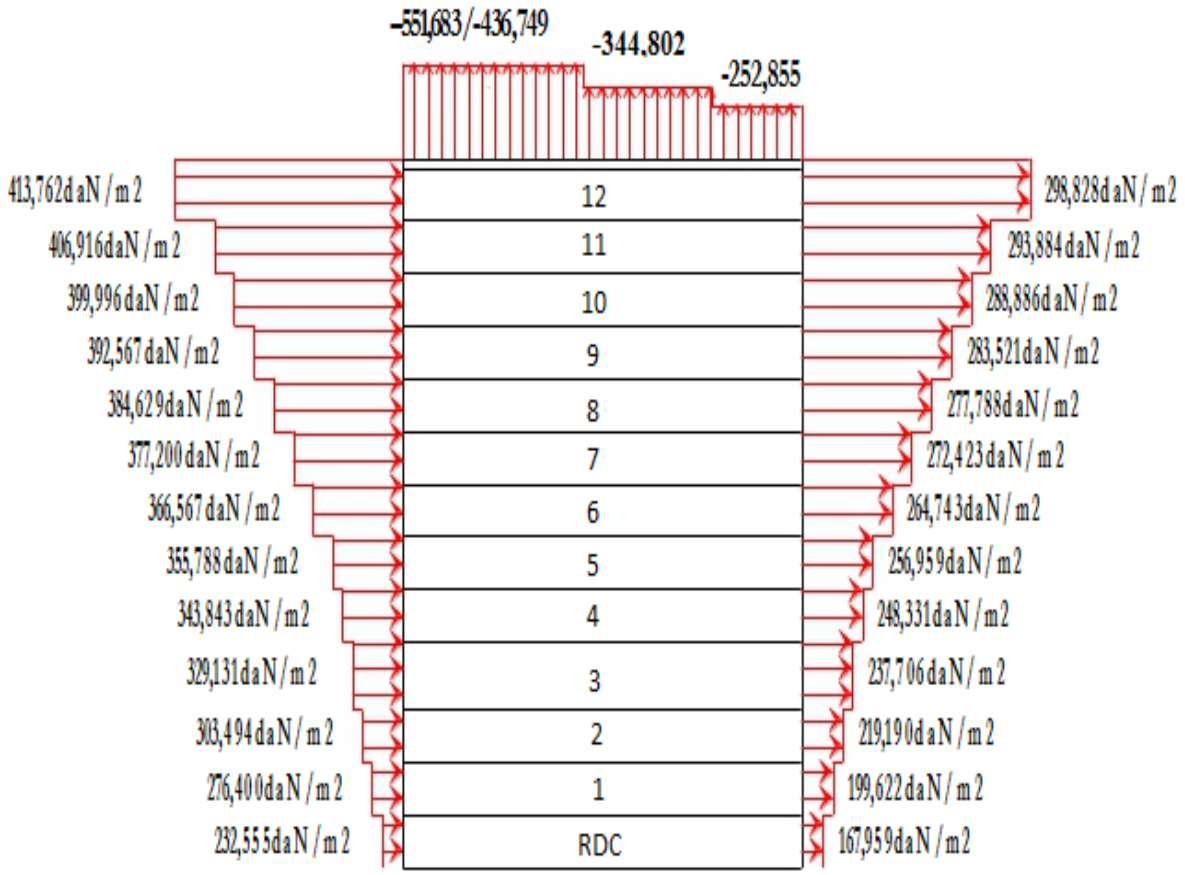


Figure 1. 8 : Représentation des résultats de la pression du vent direction V2.

- **Effet de la neige.**

Le règlement RNV 99 version 2013 s'applique à l'ensemble des constructions en Algérie situées à une altitude inférieure à 2000 mètres. Notre structure se trouve à une altitude environ de 400 m.

La charge de la neige S qui a été adopter et de : S = 12 daN/m^2

1.2.6. Dimensionnement des éléments.

Le dimensionnement des éléments principaux et secondaires a été fait suivent règle du CCM 97.

- Les résultats obtenus sont récapitules dans le tableau suivant :

Élément	profilé	P Kg/m	A cm²	h mm	b mm
Solive (4.90)	IPE200	22.4	28.5	200	100
Solive (6.00)	IPE240	330.7	39.1	240	120
P.P. Rive (8.70)	IPE400	66.3	84.5	400	180
p.p. rive (5.00)	IPE240	30.7	39.1	240	120
p.p.int (8.70)	IPE500	90.7	116	500	200
p.p.int (5.00)	IPE330	49.1	62.6	330	160

Tableau 1.1 : Dimensions des profilés « poutres et solives » utilisés et leur caractéristique

	RDC et 1 er	2 éme au 4éme	5éme au 7 ème	8 ème au 12 ème
Les types de poteaux	HE 320 M	HE 300 M	HE 240 M	HE 200 M

Tableau 1.2 : Dimension des poteaux.

1.2.7. Systèmes de contreventements.

Après dimensionnement et vérification du système de contreventement conventionnelle appliqué à la structure, le choix s'est porté sur des palées en X de sections en simples cornières de L 120 x 120 x 13.

profilé	G (Kg/m)	h=b (mm)	t (mm)	r_1 (mm)	r_2 (mm)	A (mm.10²)
L120x120x13	23.3	120	13	13	6.5	29.7

Tableau 1.3 : dimension des contreventements.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

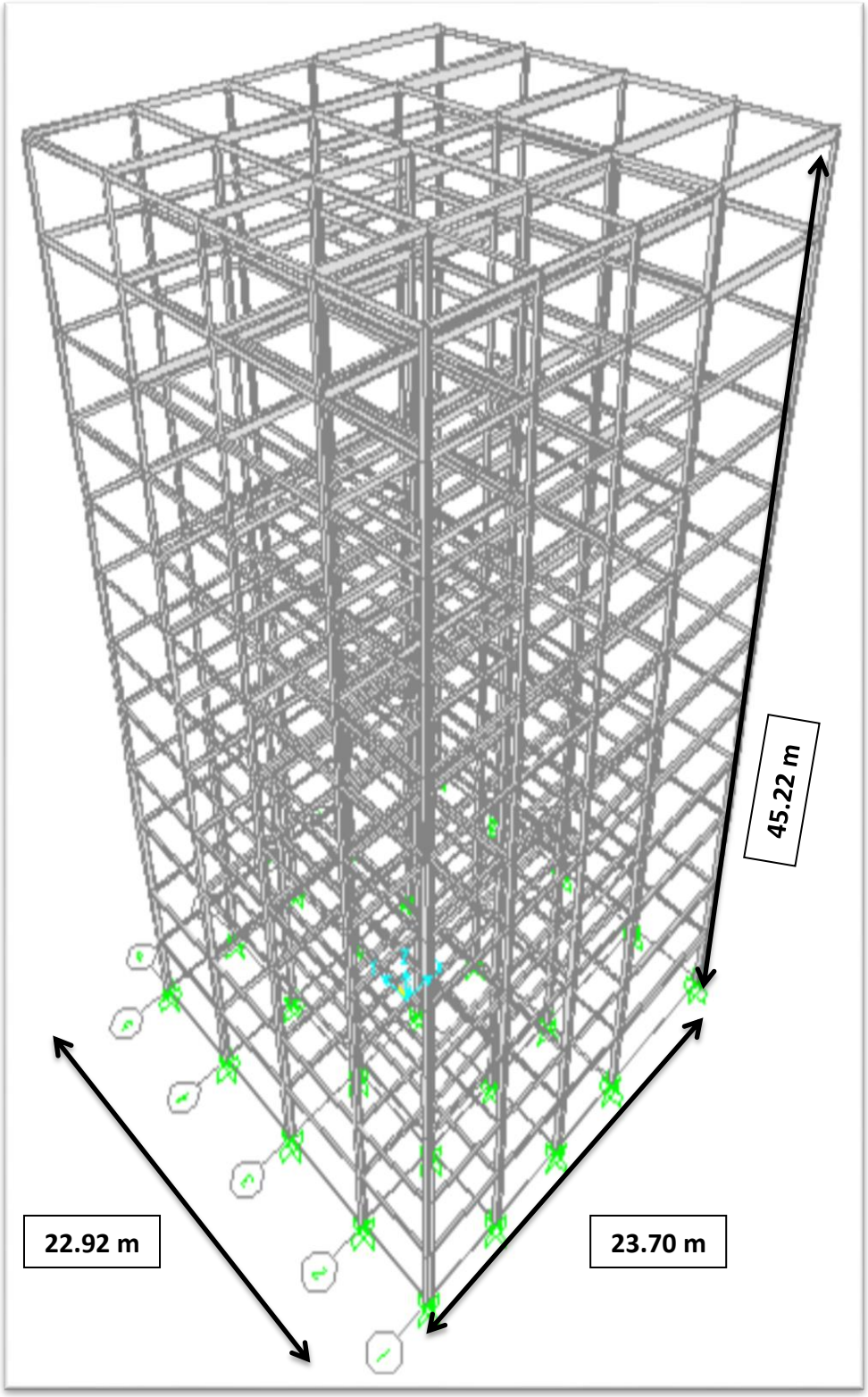


Figure 1.9 Modèle 3D de la structure étudiée.

Chapitre 2.

Généralité sur les systèmes dissipatifs passifs

2.1 Introduction

Le phénomène d'amortissement dans un système mécanique est déclenché par une dissipation d'énergie dans la structure vibrante.

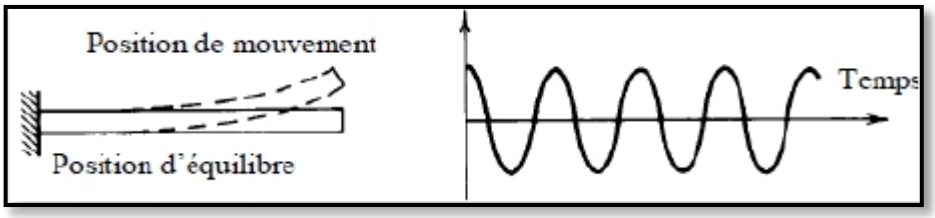
Le terme dissipation signifie que l'énergie mécanique se transforme en d'autres formes d'énergies ce qui résultera à une atténuation ou une suppression de cette dernière.

Le type d'énergie en fonction de laquelle l'énergie impulsive se transformera dépend du type de mécanisme, mais néanmoins dans la plupart des systèmes dynamiques, une part importante de celle-ci se transforme en chaleur, les vibrations dans un système mécanique résultent d'un transfert alternatif entre énergie cinétique et potentielle, sans dissipation, perdure (Fig. 2.1 a).

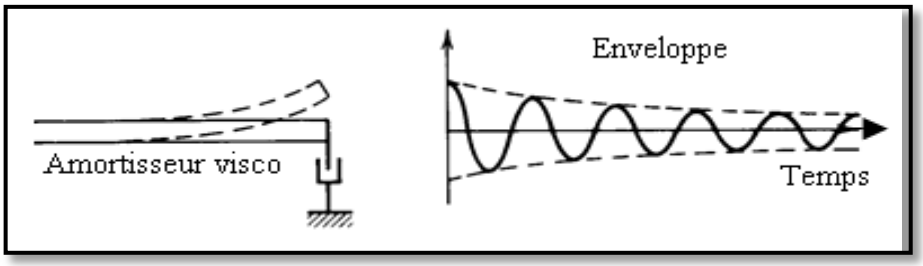
En présence de dissipation, et c'est le cas de tout système réel, les amplitudes du mouvement convergent jusqu'à l'équilibre dynamique dans le cas d'un système forcé, jusqu'à l'équilibre statique dans le cas d'un système libre.

La figure 2.1 montre l'allure des fonctions temporelles de l'amplitude de poutres non amorties et amorties par des dispositifs visqueux et à frottement [7], dans le cas d'un amortissement visqueux la force résistante est proportionnelle et opposée à la vitesse (Fig. 2.1 b), ainsi le mouvement d'amortissement pur prend théoriquement un temps infini pour disparaître totalement. Donc, l'amortissement visqueux crée une forme proportionnelle et opposée à a vitesse alors qu'un frottement sec crée une force constante mais change de signe à chaque demi-cycle et donc s'oppose à la vitesse.

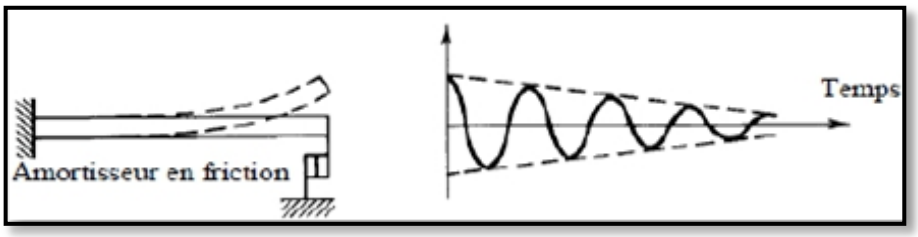
La décroissance des amplitudes est linéaire et l'amortissement peut être obtenu plus rapidement (Fig. 2.1c).



(a) Poutre non amortie.



(b) Poutre avec amortissement visqueux.



(c) Poutre avec amortissement sec.

Figure 2.1 : Poutre en mouvement libre [7]

2.2. Contrôle passif avec dissipateurs

Les dissipateurs d'énergie sont des systèmes conçus pour absorber l'essentiel de l'énergie sismique évitant ainsi la dissipation par des déformations inélastique dans les éléments de structures. Selon leur comportement, ils peuvent être classés comme : hystérétiques, viscoélastiques et à fluide visqueux.

Les dissipateurs hystérétiques sont basés sur la plastification de l'acier et le frottement entre les surfaces, ces dispositifs dépendent essentiellement des déplacements. Es dissipateurs viscoélastiques peuvent être viscoélastiques solides ou fluides et leur comportement dépend du déplacement et de la vitesse. Les dispositifs de dissipations à fluides visqueux ont un comportement qui dépend principalement de la vitesse

2.3. Amortisseur métallique

Les amortisseurs métalliques sont des dispositifs qui sont conçus pour fournir la dissipation d'énergie à un système structurel, ces amortisseurs utilisent le comportement hystérétique des métaux dans le domaine non élastique.

Les forces de résistance des amortisseurs, par conséquent, dépendent des caractéristiques non linéaires de contrainte déformation du matériau métallique. Les caractéristiques particulièrement souhaitables de ces systèmes sont leur comportement hystérétique stable, la propriété de fatigue de cycle bas, une fiabilité à long terme, et une bonne résistance aux facteurs environnementaux et de température.

En outre ces dispositifs sont relativement peu coûteux et leurs propriétés resteront stables au cours des longues vies de la structure. Les inconvénients de ces dispositifs sont leur nombre limité de cycles de fonctionnement et leur réponse non linéaire [8].

Parmi, les différents types de ces dispositifs il existe :

2.3.1. Le dispositif EDU

Le dispositif EDU est un dispositif multi-composé constitué avec des dissipateurs d'énergie élémentaires en forme de C (figure 2.2, droite), 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 [11].

Figure 2.2 : Dispositif en forme de C (à gauche) et dispositif EDU (à droite).

2.3.2. Dispositifs d'extrusion de plomb (LED)

L'extrusion du plomb a été identifiée comme un mécanisme efficace pour la dissipation d'énergie dans les années 70. L'amortisseur d'extraction de plomb (Lead Extrusion Devises (LED)) représente une autre classe des amortisseurs, qui utilise les propriétés de dissipation hystérétique du métal. Le processus d'extrusion consiste à forcer un piston de plomb à travers un trou ou un orifice, changeant ainsi sa forme. Les LED ont été appliquées à un certain nombre de structures.

Le premier dispositif est constitué d'un tube à parois épaisses et d'un axe coaxial avec un piston. Il y a une construction 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 [5].

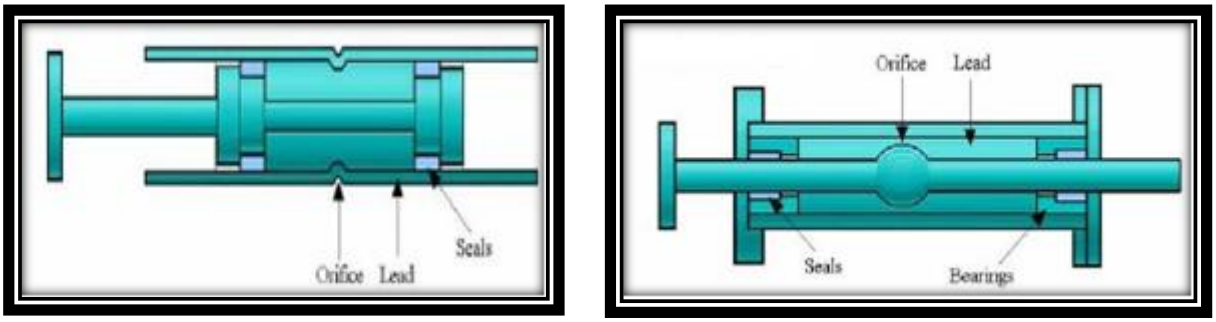


Figure 2.3 : Deux exemples des Dispositifs d'extrusion de plomb.

2.3.3. Le dispositif d'amortissement et de rigidité supplémentaire (ADAS)

Le dispositif d'amortissement et de rigidité supplémentaire (Added Damping and Stiffness), se compose d'une série de plaques d'acier en forme de X (Fig.2.4), 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 ultérieure 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 mène 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 couteux [10].

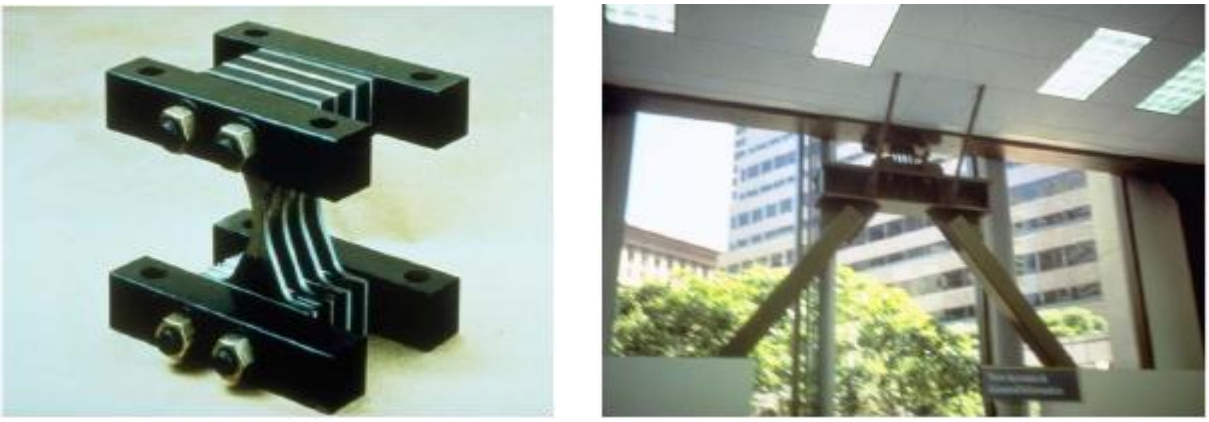


Figure 2.4 : Amortisseur ADAS [10]

2.3.4. 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 addes damping and stiffness) qui a été initialement développé en Nouvelle-Zélande.

Le dissipateur TADAS constitué de plaques triangulaires d'acier disposées en parallèle. Ces plaques sont soudées en bas et boulonnés en haut comme le montré la figure 2.5. En raison de leurs formes, les plaques en métal dans ces dispositifs éprouvent des contraintes de flexion uniformes sut 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 structurelle. D'ailleurs, la rigidité additionnelle présentée par les éléments métalliques augment la force latérale du bâtiment, avec la réduction conséquente de déformations et des dommages dans les éléments de la structure [8].

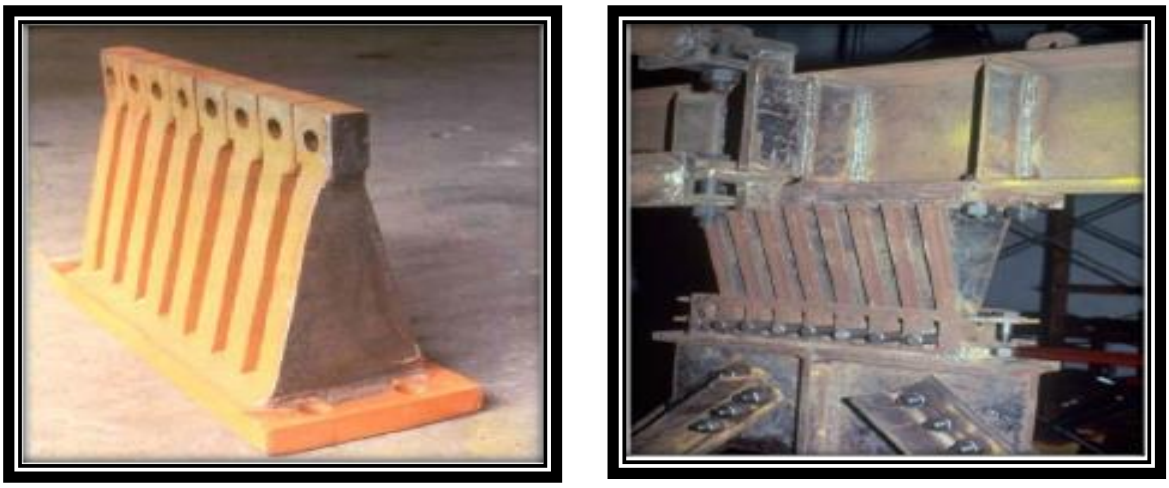


Figure 2.5 : Amortisseur TADAS

2.3.5. Entretoise à flambement empêché (buckling restrained brace - BRB)

L'amortisseur BRB (buckling restrained brace / entretoise à flambement empêché) se compose d'un noyau d'acier ductile, un mécanisme de dispositif de flambage et un mécanisme de décollement. Ils sont uniques en raison de la configuration des éléments de bretelles.

Elles se composent de deux grandes composantes : l'âme en acier qui résiste à des contraintes axiales et le boîtier en acier rempli de béton à l'extérieure qui résiste au flambage. Un revêtement spécial est appliqué sur l'entretoise pour l'empêcher de coller au béton. Il est supposé que seule l'âme en acier soit censée fournir la rigidité axiale du BRB.

Comme le montre la figure 2.6, l'âme en acier se compose de trois parties : une partie en matière plastique, la partie élastique, et la partie de connexion [17] [4].

Figure 2.6 : Entretoise à flambement empêché (BRB) [4]

2.4. Les 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 [5]. 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).

2.4.1. L'amortisseur 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 étendu aux structures. La figue 2.7 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 [11].

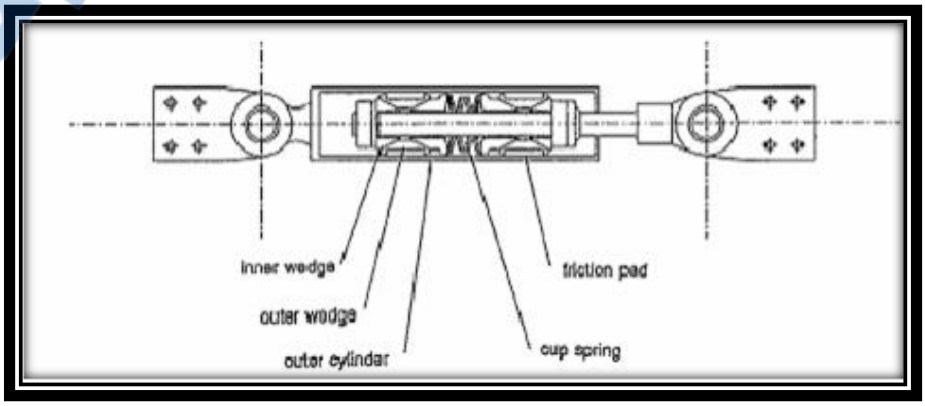


Figure 2.7 : L'amortisseur de Sumitomo [11]

2.4.2. 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. Le dispositif est conçu pour empêcher le glissement sous les charges de service normales. 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 [8].

Figure 2.8 : L'amortisseur de Pall et son installation [11]

2.4.3. Amortisseur boulonné encoché (Slotted-bolted damper)

Fitzgerald et al. (1989) ont proposé un dispositif de frottement qui permet au glissement d'avoir lieu dans les raccordements boulonnés encochés (figure 2.9).

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 caractéristique 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 [11].

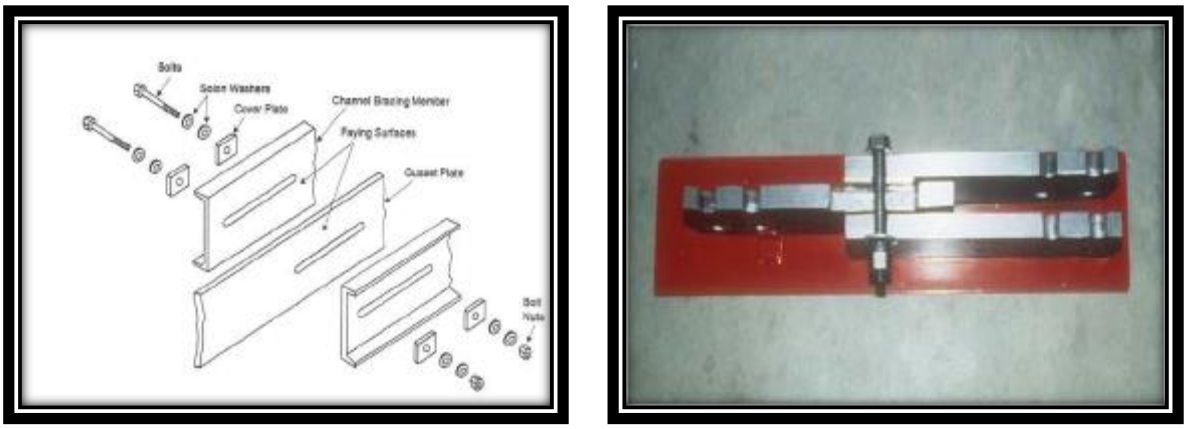


Figure 2.9 : Amortisseur boulonné encoché (Connection de Fitzgerald (1989) [11]

2.4.4. 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 (figure 2.10). 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 tension 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 [8].

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

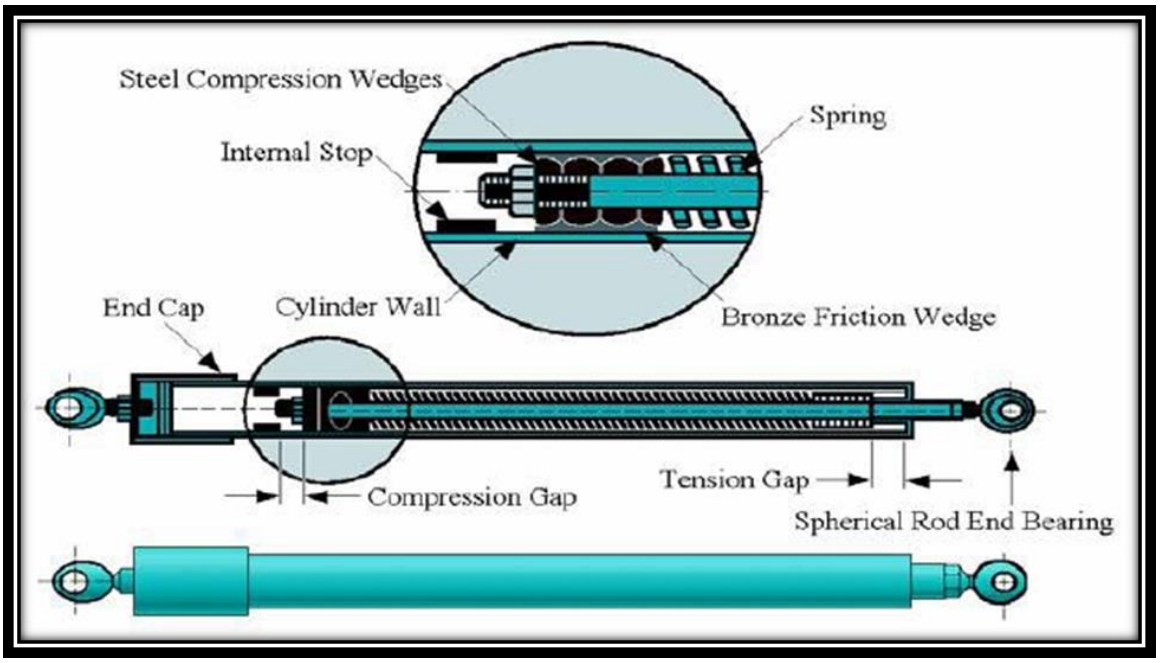
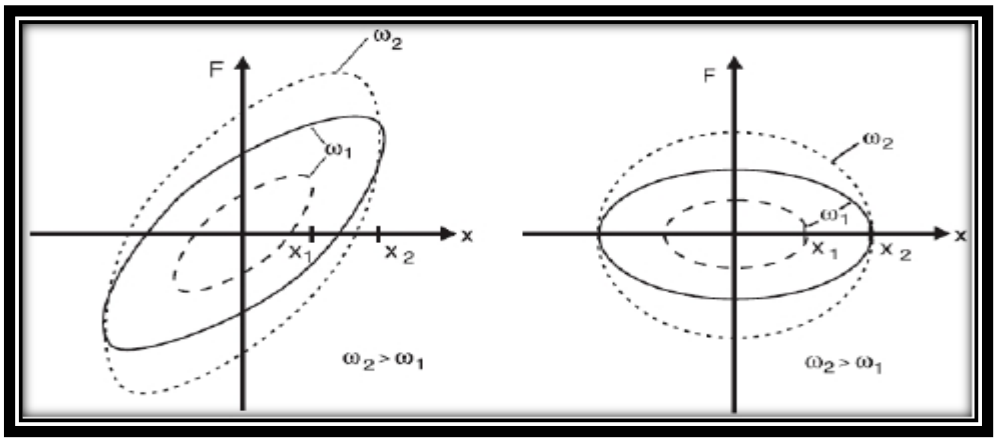


Figure 2.10 : Vues extérieure et intérieure de la contrainte de dissipation d'énergie [8]

2.5. Amortisseur viscoélastique.

L'application des matériaux viscoélastiques dans le contrôle des vibrations remonte aux années 1950, où ils ont été employés pour la première fois dans les avions pour limiter le phénomène de fatigue dans les fuselages. Son application dans le génie civil a commencé en 1969 où 10.000 amortisseurs viscoélastiques ont été installés dans chacune des tours jumelles du Word Trade Center(WTC) à New York pour résister aux charges du vent Par contre l'application antisismique de ce genre de dissipateurs a une origine plus récente, elle date des débuts des années 1990. Les amortisseurs VE sont caractérisés par une courbe force déplacement en fonction de la vitesse relative entre les deux extrémités du dissipateur, c'est à dire en fonction de la fréquence du mouvement (Fig. 2.11). Par ailleurs, la réponse de ce dispositif peut être exprimée en termes de déplacement relatif. Les systèmes VE présentent une rigidité et un coefficient d'amortissement dépendant eux aussi de la fréquence. De plus la force d'amortissement est proportionnelle à la vitesse, étant due à la viscosité [11]. Dans les dernières années beaucoup de recherches expérimentales et analytiques ont été réalisées sur des bâtiments métalliques pour évaluer les capacités de ces dispositifs à bien absorber les charges sismiques.

Ce qui a permis d'améliorer le rendement de ces systèmes pour être mieux adaptés aux structures développant des distorsions importantes. Ce type de dissipateurs comporte des amortisseurs viscoélastiques fluides et solides.



(a) viscoélastique solide ou fluide (b) Visqueux

Figure 2.11 : Boucle d'hystérésis d'un dispositif viscoélastique et visqueux [1]

2.5.1. Amortisseur viscoélastique fluide

Les dispositifs viscoélastiques fluides, qui fonctionnent en cisaillant les fluides viscoélastiques, ont des comportements qui ressemblent à ceux des dispositifs viscoélastiques solides, sauf que les amortisseurs viscoélastiques fluides ne montrent pas la rigidité quand les charges statiques sont appliquées. Ces dispositifs peuvent être modelés avec le modèle de Maxwell (Figure 2.12), qui se compose d'un ressort et d'un amortisseur. La réponse cyclique des dispositifs à fluide viscoélastique dépend généralement de la fréquence et de l'amplitude du mouvement et de la température de fonctionnement (y compris l'élévation de température due à l'excitation)

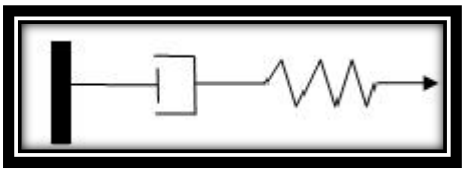
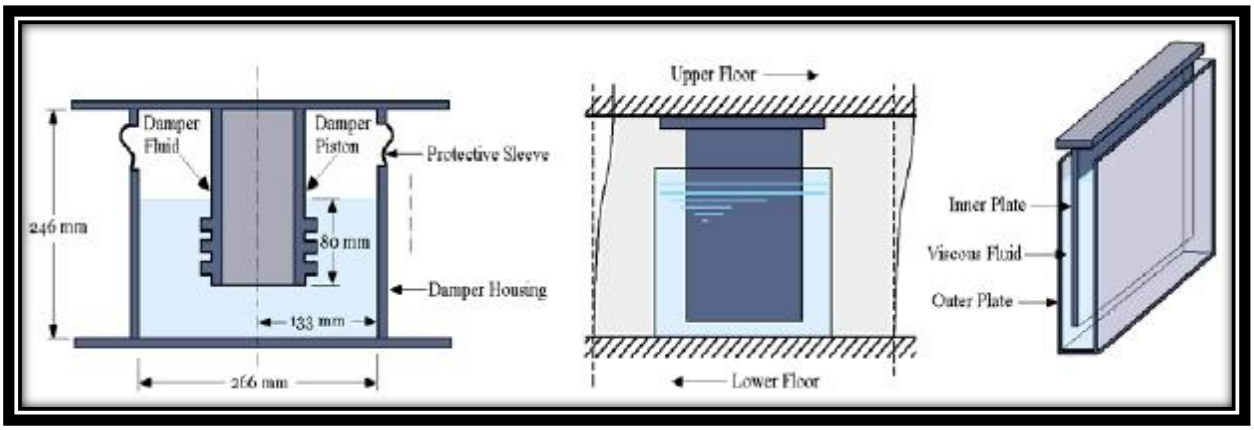


Figure 2.12 : Modèle de Maxwell

Différentes approches ont été développées ayant le même concept afin d'améliorer la réponse des bâtiments sous les charges séismiques et le vent. Une approche de conception des amortisseurs visqueux est d'absorber l'énergie par la transformation de l'énergie mécanique en chaleur pendant qu'un piston mobile déforme une substance épaisse et fortement visqueuse, telle qu'un gel de silicone. La figure (2.13a) illustre un tel amortisseur, qui a trouvé l'application en tant que composant dans les systèmes d'isolation sismique. Bien que ces dispositifs pourraient également être déployés dans la superstructure, une alternative, et peut- être plus efficace, le concept de construction comporte le développement du mur d'amortissement visqueux illustré dans la figure (2.13b). Le système de mur d'amortissement visqueux a été déve-

loppé par la société de construction de Sumitomo au Japon. Le dispositif se compose d'un récipient extérieur en acier fixé au plancher inférieur, rempli d'un fluide fortement visqueux. Une plaque en acier (mur) mobile à l'intérieur du récipient et pendu au plancher supérieur (figure.2.13 b).Les forces d'amortissement visqueux sont induites par la vitesse relative entre les deux planchers. Arima et al. (1988) ont effectué des essais expérimentaux sur un cadre en acier à grande échelle de 4 étages avec et sans les murs d'amortissement visqueux. Les résultats de cadre muni des murs visqueux ont indiqué des réductions de réponse de 66 à 80%. Un bâtiment en béton armé à 4 étages avec les murs d'amortissement visqueux a été construit à Tsukuba, Japon en 1987 et a été depuis contrôlé pour la réponse sismique. Des réductions dans les réponses d'accélération entre 33 à 75 % ont été observées lors de l'utilisation des murs d'amortisseur visqueux. Les murs d'amortissement visqueux installés dans le bâtiment de cadre en acier d'une hauteur de 78 m dans la ville de Shizuoka, Japon, ont fournis de 20 à 35% d'amortissement pour le bâtiment et ont réduits la réponse de 70 à 80.



a) b)

Figure 2.13 : a) amortisseur à fluide de récipient cylindrique

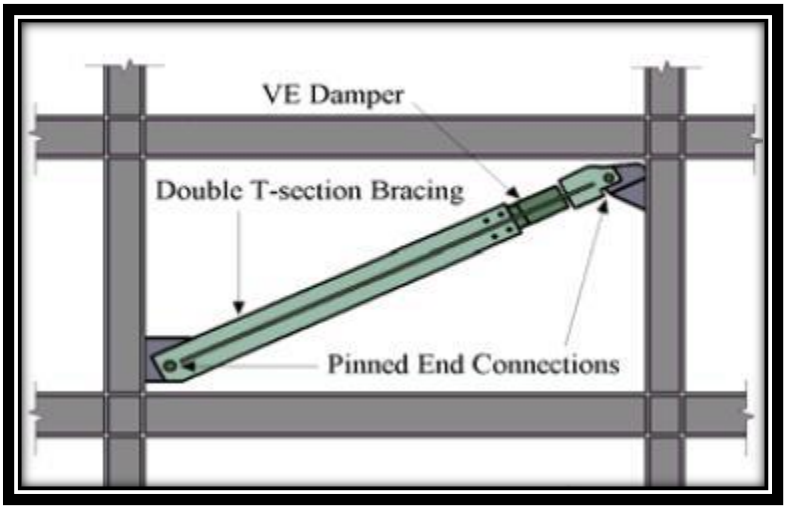
b) le mur d'amortissement visqueux

2.5.2. Amortisseur viscoélastique solide

Les dispositifs viscoélastiques solides se composent de couches contraintes de polymères acryliques et ils sont conçus tels qu'ils produisent des forces d'amortissement par des déformations de cisaillement dans les polymères. Les matières viscoélastiques employées dans l'application structurale absorbent l'énergie une fois soumises à la déformation de cisaillement. La figure 2.14, montre un dispositif viscoélastique solide typique qui se compose de deux couches de polymère serrées entre une plaque centrale et deux plaques externes. Une fois montée dans une structure, la déformation de cisaillement et par conséquent la dissipation

d'énergie aura lieu quand la vibration structurale induit un mouvement relatif entre les brides en acier externes et la plaque centrale.

Ces dispositifs montrent un comportement viscoélastique solide avec des propriétés mécaniques dépendantes de la fréquence, de la température et de l'amplitude du mouvement. En particulier, la dépendance de la température de ces dispositifs est une considération importante de conception et doit être explicitement modelée pour l'analyse dynamique des structures amortie visco-élastiquement, En raison de cette dépendance de la température, ces dispositifs ne peuvent pas être utiles dans les structures où le climat n'est pas contrôlé continuelle [5].



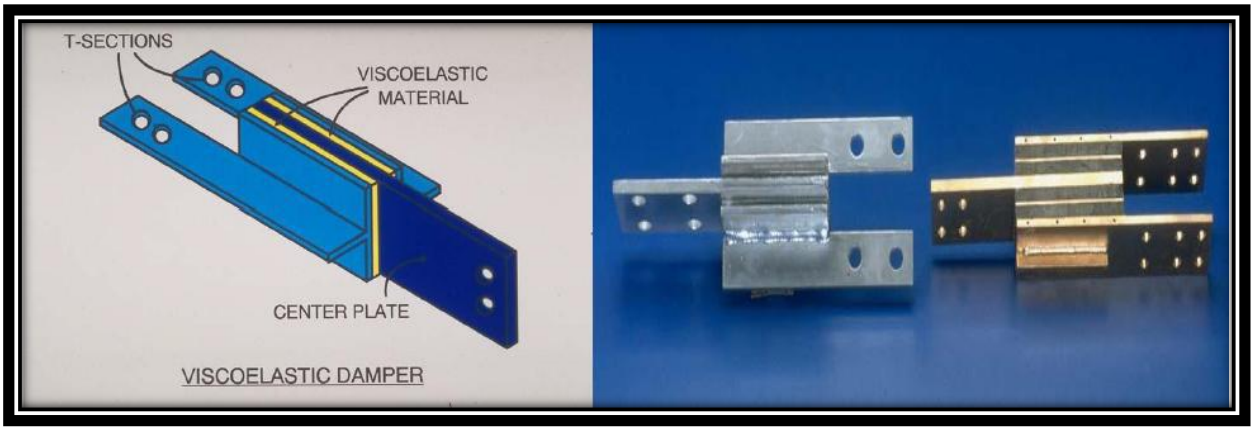


Figure 2.14 : Amortisseur visqueux élastique solide

2.6. Amortisseur à fluide visqueux

Les dispositifs à fluide visqueux sont largement utilisés dans plusieurs systèmes structuraux et mécaniques, afin de réduire les réponses aux vibrations et au choc. Ils sont utilisés dans les structures en tant que dispositifs de contrôle passifs, ces amortisseurs visqueux dissipent l'énergie par le déplacement d'un corps dans un fluide visqueux. Ce type d'amortisseur sera développé dans le chapitre 3.

2.7. Conclusion

Dans le second chapitre, on peut distinguer que Les systèmes d'isolation à la base sont caractérisés par une faible rigidité horizontale ce qui permet de décaler la période propre de la structure afin d'éviter la résonance avec les excitations. Par conséquent, pour un séisme qui produit des accélérations maximales à de hautes fréquences, l'allongement de la période de vibration réduit l'amplitude des accélérations transmises à la structure. On a évoqué le contrôle passif avec dissipateurs d'énergie, définir les dissipateurs hystérétiques, les amortisseurs métalliques et les amortisseurs à friction, également cité et donner une description des différents dispositifs d'amortissement, qu'ils soient ADAS, TADAS, BRB, LED, PALL, FRICTION, ainsi que l'amortisseur visqueux élastique solide, ce qui permet de mieux expliquer le comportement des amortisseurs. Dans le chapitre suivant, on définit c'est quoi un amortisseur à fluide visqueux et son domaine d'utilisation.

Chapitre 3.

Généralité sur les amortisseurs à fluide visqueux

3.1. Introduction

Le concept d'ajouter un système de dissipation à une structure a pour objectif d'aider la structure à mieux résister aux sollicitations dynamiques qui lui sont appliquées.

Le principe de base étant de supposer que la performance structurale peut être améliorée, si une partie de l'énergie d'entrée d'un événement comme le séisme était absorbée non pas par la structure elle-même, mais plutôt par les dispositifs d'amortissement supplémentaires. Cette approche de la dissipation de l'énergie sismique est clairement mise en évidence en considérant la conservation de l'énergie totale en fonction du temps selon la relation suivante [16].

$$E(t) = E_K(t) + E_S(t) + E_h(t) + E_D(t) \tag{3.1}$$

Où E est l'énergie dynamique absolue d'entrée. Elle représente le travail produit par l'effort tranchant à la base engendré par le mouvement du sol sous l'effet des forces d'inertie de la structure. Elle dépend par conséquent des forces d'inertie.

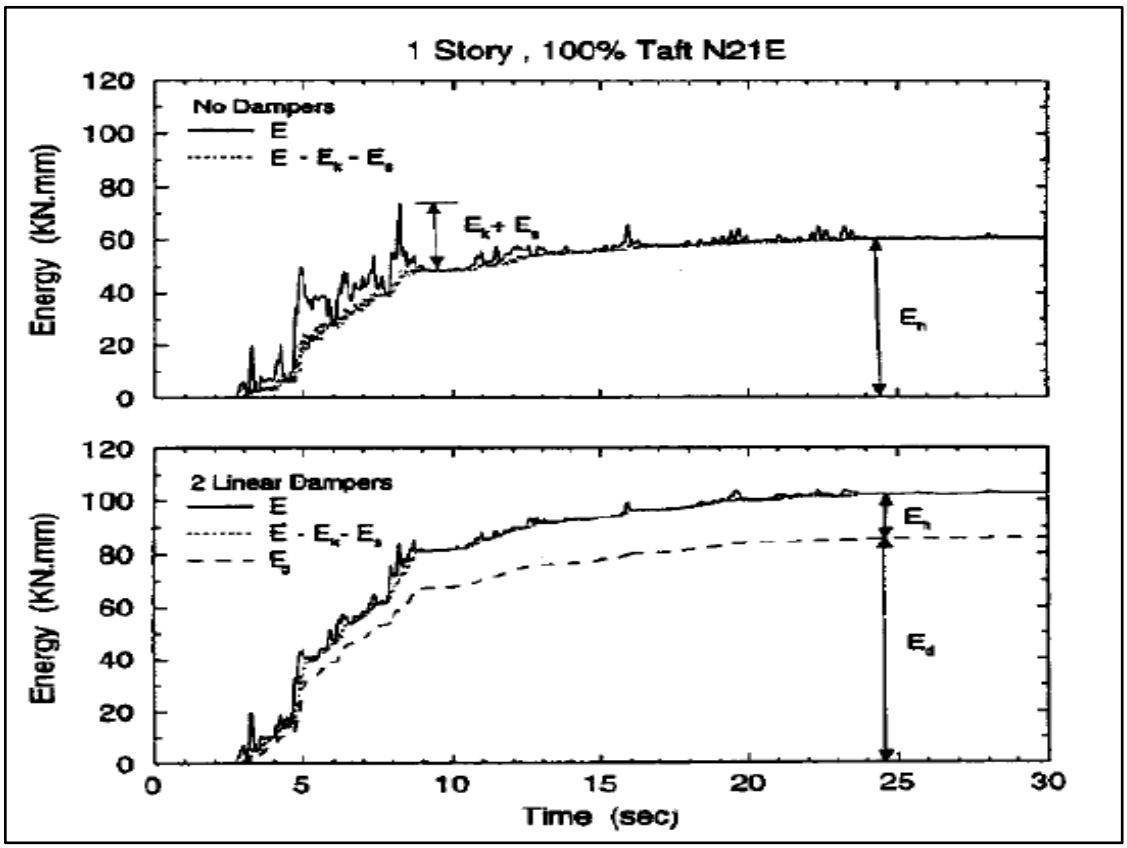


Figure 3.1 : Courbe de dissipation d'énergie [14]

L'introduction d'un dispositif d'amortissement supplémentaire dans la structure aura pour objectif d'accroître la quantité de ED dans l'éq. (3.1) permettant d'absorber la plus grande partie de l'énergie d'entrée produite par le chargement sismique et donc de diminuer la quantité de Eh (Fig 3.1), ce qui aura pour résultat de limiter la demande en ductilité et par conséquent de réduire les dommages probables dans la structure [15].

Il existe plusieurs types de systèmes permettant de fournir une absorption passive de l'énergie produite par une secousse sismique. Parmi ces systèmes, il s'agit de l'amortisseur à fluide visqueux FVD (Fluid Viscous Damper). L'utilisation de ce dispositif est en train de devenir une solution rentable pour améliorer la performance sismique aussi bien des bâtiments existants que des nouveaux bâtiments grâce à son haut niveau de performance [2], sa grande capacité d'amortissement comparée à sa taille. Il est facile à installer, ne nécessite pas d'entretien, possède une capacité de recentrage de la structure après un séisme et une réduction de la réponse structurale sans avoir besoin d'augmenter la rigidité élastique. Ajouté

à cela, le coût additionnel de l'amortisseur est généralement compensé par les économies en quantités de matériaux nécessaires pour la réalisation de la structure [11].

Ces FVD ont plusieurs caractéristiques et plusieurs fonctionnement, par exemple, les amortisseurs utilisés dans la ligne ferroviaire Oued Tlilet-Tlemcen (exactement dans le viaduc 33 qui se situe à Sidi Senoussi Wilaya de Tlemcen) ; ont pour rôle de bloquer le pont à ne pas déplacer lors du séisme et du vent, et par conséquent l'augmentation de la section de la pille, ce sont antichocs et anti-dilatation (Fig. 3.2).

Figure 3.2 : FVD utilisé dans la ligne ferroviaire Oued Tlilet-Tlemcen.

Les FVD utilisés dans les bâtiments peuvent être disposés aussi bien dans la superstructure, que dans l'infrastructure afin de limiter les déplacements engendrés par les systèmes d'isolation à la base [11] (Fig.3.3)

Rapport-Gratuit.com

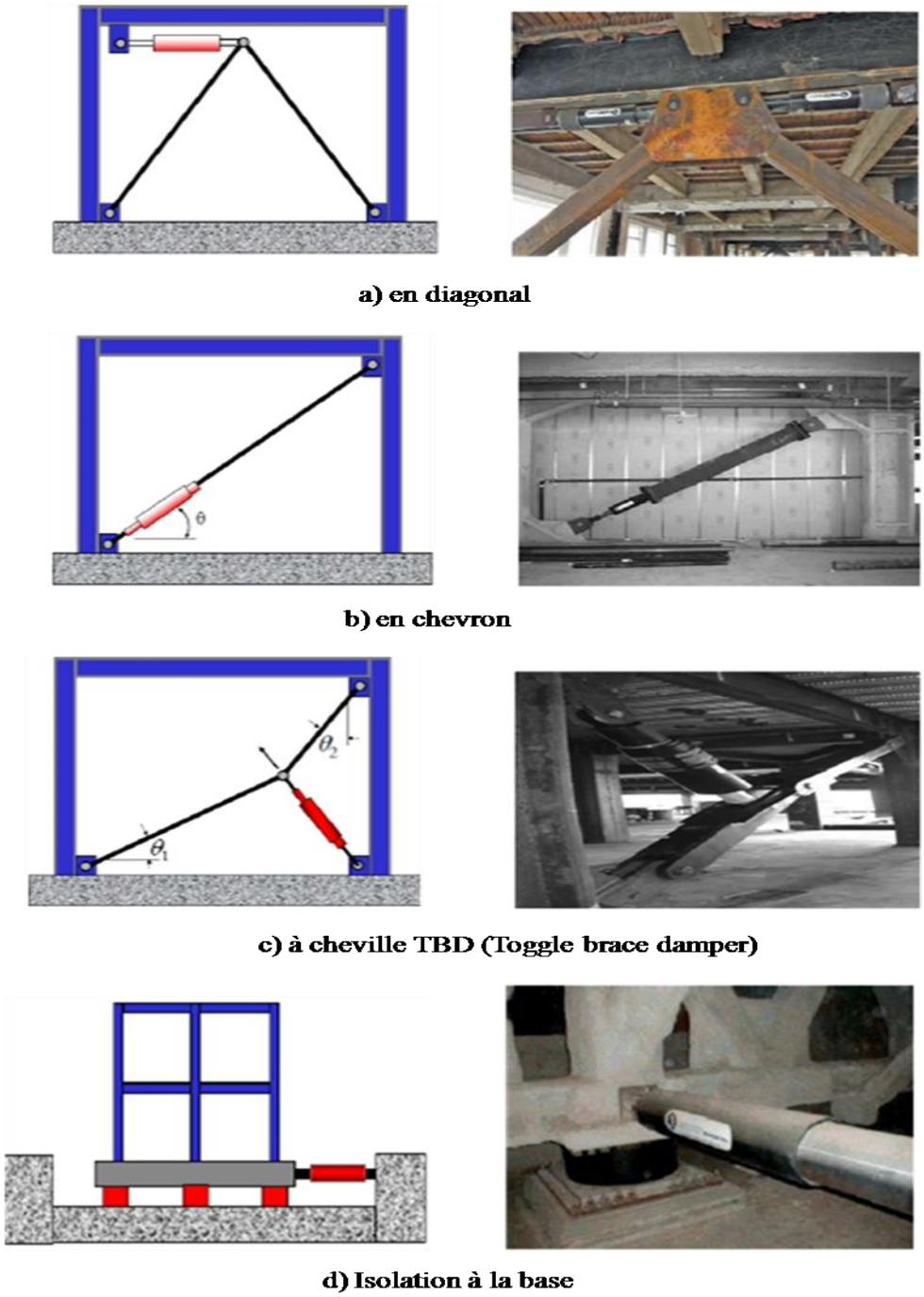


Figure 3.3 : Différentes configurations de FVD

L'amortisseur à fluide visqueux FVD (Fluid Viscous Damper) sont généralement composés d'un cylindre creux en acier inoxydable de haute résistance rempli d'un fluide à viscosité élevée, peu sensible aux variations de la température, non toxique, résistant au feu, et d'une durée de vie importante[11].

Les plus utilisés parmi ces fluides sont ceux appartenant à la famille des huiles de silicone ou de types d'huiles similaires.

L'intérieur du cylindre comporte un piston (en acier inoxydable à haute résistance), qui est constitué d'une tige comprenant une tête en bronze à son extrémité (la tête de piston). Cette dernière contient des orifices (trous) (Fig. 3.4) et le cylindre est divisé en deux cavités appelées « chambres ». Le mouvement du piston à l'intérieur du cylindre actionné par un chargement extérieur provoque le déplacement du fluide d'une chambre à l'autre, ce qui produit une pression différentielle qui entraîne à son tour la force d'amortissement.

La variation du volume du fluide par dilatation ou retrait thermique ou dans certains cas par compressibilité résulte sur une force de rebond indésirable. Cette dernière est en général évitée grâce à une troisième chambre dite accumulateur, munie d'une valve qui fonctionne en stockant le fluide excédant. Cette solution fonctionne bien dans les basses fréquences de chargement seulement dans les hautes fréquences, le dispositif développe toujours cette force de rebond qui dans ces fréquences peut être considérée comme désirable et fournit un amortissement et une rigidité supplémentaires surtout dans les modes supérieurs. Cela va aider à supprimer la contribution de ces derniers dans la réponse structurale [15].

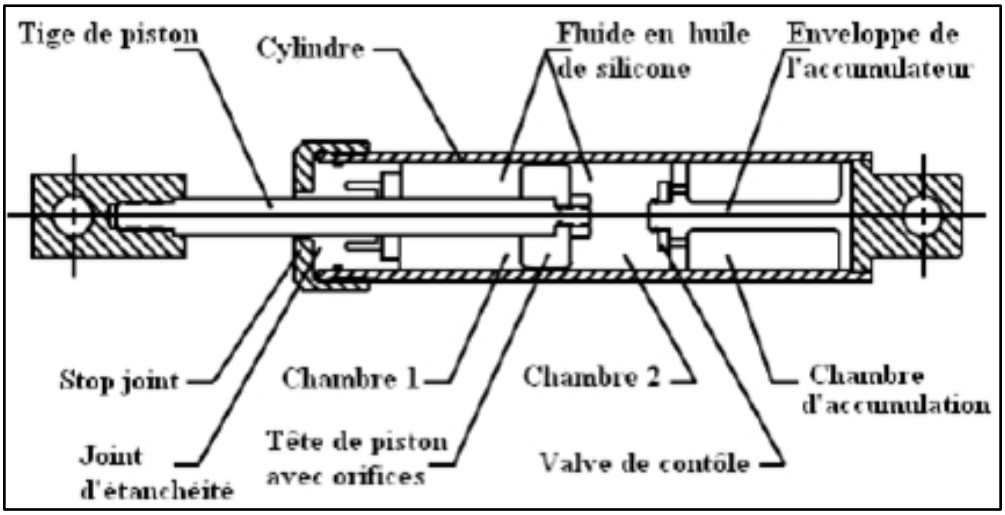


Figure3.4 : Coupe longitudinale d'un amortisseur à fluide visqueux

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

3.2. Méthode statique non linéaire (du spectre de capacité)

La méthode du spectre de capacité a été développée en 1996 par l'Applied Technology Council pour estimer la demande en déplacement des structures.

La méthode est statique, mais considère le non linéarité du comportement des matériaux. Le principe est de tracer sur un même graphique (accélération en fonction du déplacement) la courbe de capacité d'une structure équivalente à un seul degré de liberté (selon la méthode de la structure substitut) et le spectre de demande sismique pour un amortissement équivalent comprenant l'amortissement visqueux élastique et l'amortissement hystérétique.

Le déplacement maximal est donné par le point d'intersection des deux courbes. Un avantage de cette méthode est qu'elle utilise les spectres d'aléa sismique uniformisés proposés par la Commission géologique du Canada, il n'est donc pas nécessaire de générer des accélérogrammes pour l'appliquer.

La courbe de capacité peut être obtenue à l'aide d'une analyse par poussée progressive. Ce type d'analyse détermine la relation qui existe entre le point de déplacement maximal d'une structure à un degré de liberté (ou approximée comme telle) et, typiquement, le cisaillement à la base de la structure. La relation est calculée en appliquant un patron de chargement sur la structure (sur le tablier ; voir figure 2.1) et en augmentant le chargement par petits incréments tout en calculant à chaque fois le déplacement causé par cette force.

3.3. L'amortissement dans les structures

3.3.1 Amortissement visqueux élastique

Toutes les structures dissipent de l'énergie lorsque soumises à un chargement dynamique, même si leur comportement global reste dans le domaine linéaire.

Les forces de friction internes et les déformations localisées dans les matériaux font en sorte que le comportement n'est jamais totalement linéaire et qu'une certaine quantité d'énergie est dissipée à chaque cycle. C'est pourquoi on qualifie ce type d'amortissement d ' « élastique ».

On peut représenter ce comportement par une boucle d'hystérésis (fermée).

L'amortissement influence deux paramètres de la réponse dynamique d'un système : l'amplitude et la durée. Ainsi, la réponse d'une structure ayant un amortissement élevé est de moins grande amplitude et de moins grande durée que celle d'un système ayant un amortissement faible.

3.3.2 Amortissement hystérétique

Lorsqu'une structure dépasse sa limite élastique globale, sa rigidité commence à se dégrader et entraîne une variation de l'énergie dissipée.

Ce phénomène fait en sorte que la boucle d'hystérésis ne se referme plus à chaque cycle de chargement-déchargement et qu'une certaine ductilité entre en jeu. Cela ajoute évidemment de l'amortissement dans le système et les analyses non linéaires par intégration temporelle en tiennent compte.

Plusieurs modèles de comportement hystérétique des structures existent et peuvent être intégrés dans le modèle non linéaire d'une structure. Citons les modèles élasto-plastique, bilinéaire et de Takeda, qui sont les plus souvent utilisés.

Dans le cas d'analyses statiques non linéaires, l'amortissement hystérétique peut être pris en compte de différentes manières.

Pour la méthode du spectre de capacité utilisant des spectres de design inélastiques, c'est par une réduction de la demande sismique en fonction de la ductilité atteinte. Pour la version de la méthode qui utilise un amortissement visqueux équivalent, c'est en modifiant les spectres de demande.

3.3.3 Amortissement visqueux équivalent

L'amortissement visqueux équivalent a été introduit en 1930 par Jacobsen. Le concept, qui se rattache à la notion de structure substitut, apporte une grande simplicité à l'analyse statique non linéaire des structures. Il est valide pour un système à un degré de liberté et est utilisé dans la méthode du spectre de capacité originale. Cette méthode propose de représenter le comportement non linéaire de la structure par une relation linéaire équivalente en fonction

d'un niveau de ductilité donné. Il faut ensuite déterminer un amortissement équivalent qui est également fonction de la ductilité.

L'amortissement visqueux équivalent est la somme de l'amortissement hystérétique et de l'amortissement visqueux élastique multiplié par un facteur de proportionnalité selon l'équation 3.2, où k est un facteur développé par Grant et al. Selon qui les deux types d'amortissement ne peuvent pas être additionnés directement. Le facteur k entraîne toutefois de très faibles différences au niveau de la réponse (moins de 2 %) et peut être négligé selon ″Dwairi″ et ″al″... Généralement, k = 1 et plastique = 0,05.

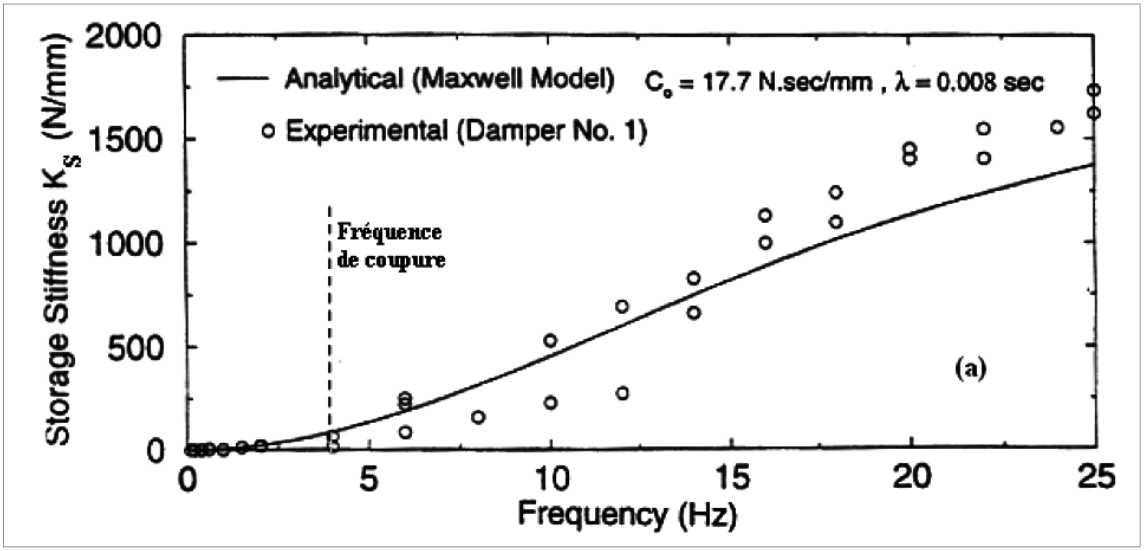
$$\xi \text{ eq} = k\, \xi \text{ élastique} + \xi \text{ hystérétique} \qquad (3.2)$$

Une fois la rigidité équivalente et l'amortissement équivalent trouvés, on applique la méthode du spectre de capacité en superposant : la courbe de demande sismique modifiée selon l'amortissement équivalent (qui est nécessairement supérieur à 5 % de l'amortissement critique) et la courbe de capacité modifiée selon la rigidité équivalente. Cela permet de déterminer le déplacement maximum de la structure. Différents facteurs et équations permettent de modifier la demande sismique pour un amortissement supérieur à 5 %.

Rappelons que la version de la méthode du spectre de capacité qui utilise un amortissement visqueux équivalent n'a pas été utilisée dans la présente recherche.

3.3. Identification des propriétés mécaniques des amortisseurs FVD

les valves ne peuvent pas fonctionner assez vite et l'amortisseur développe une rigidité (Fig 3.5a), par contre quand la fréquence s'accroît le coefficient d'amortissement se stabilise est prends des valeurs constante (Fig.3.5b).



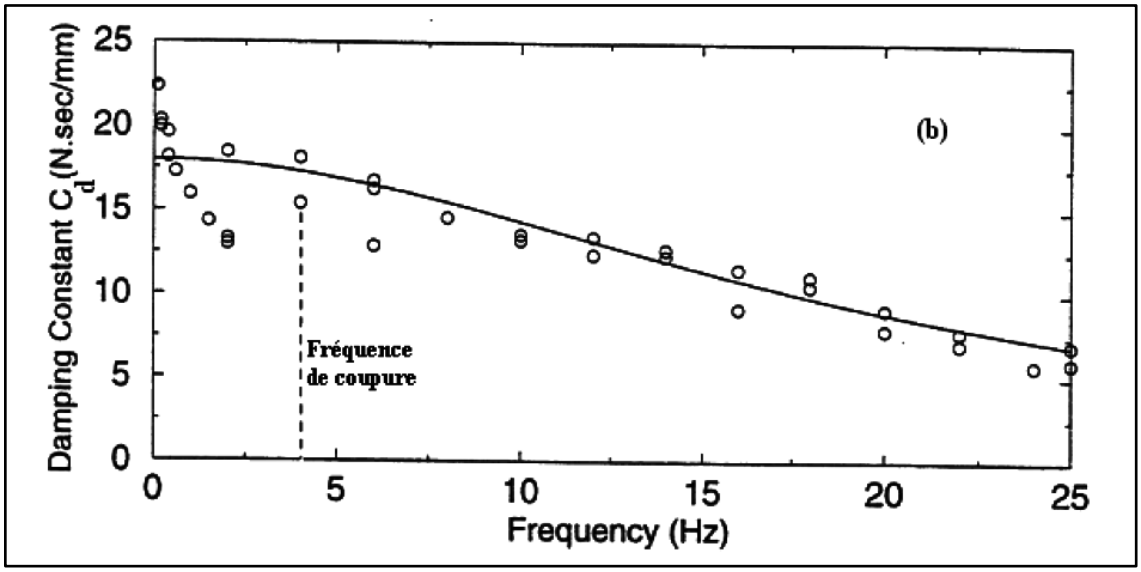


Figure 3.5 : Variation de la rigidité et du coefficient d'amortissement en fonction de la fréquence [15]

Les amortisseurs visqueux permettent une dissipation d'énergie très importante où la courbe force-déplacement montre une boucle d'hystérésis s'approchant d'une ellipse pour un comportement linéaire visqueux pur(Fig.3.6).

En l'absence de la rigidité de stockage, les pulsations propres de l'amortisseur et de la structure équipée par ce dernier demeurent égales et leur comportement devient en résonance.

Toutefois, si l'amortisseur développe une force de rappel par rigidité, la boucle changera de la figure 3.6a à la figure 3.6b et le comportement passera de visqueux à viscoélastique.

La quantité maximale d'énergie que ce type de dispositif peut dissiper dans un temps très court, est très importante et ne peut être limitée que par sa capacité de résistance à la température de surchauffe engendrée par le frottement du fluide avec la tête du piston [11].

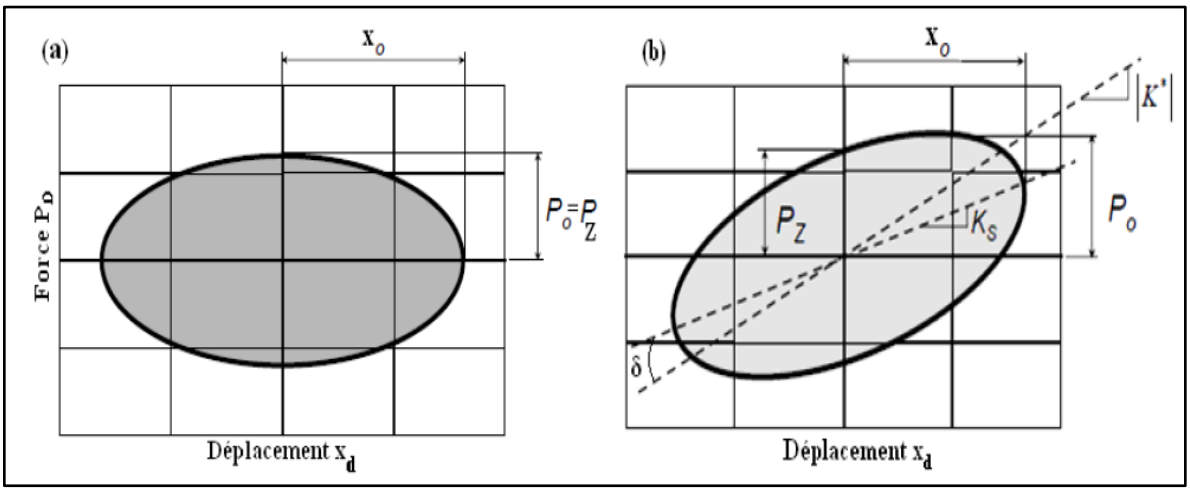


Figure 3.6 : Courbe force-déplacement d'un FVD : a) Visqueux pur, b) Viscoélastique

3.4. Modèle analytique

La modélisation des amortisseurs FVD linéaires dans le cas des grandes fréquences se base sur un comportement viscoélastique de ce dernier.

Le modèle le plus approprié pour représenter cet état est celui de Maxwell (fig. 3.7) :

$$P_d(t) + \lambda \frac{dP_d(t)}{dt} = C_d \frac{dx_t}{dt} \tag{3.3}$$

Où $\boldsymbol{\lambda}$ est un racleur représentant le Temps de relaxation et $\mathbf{C_d}$ est le coefficient d'amortissement à la fréquence zéro.

Le temps de relaxation de l'amortisseur est défini comme suit :

$$\lambda = \frac{C_d}{K_s} \tag{3.4}$$

Le temps de relaxation est le temps nécessaire pour la dissipation d'un effort pour atteindre approximativement 37% de l'effort initial.

Pour un amortisseur purement élastique, le temps de relaxation tend vers l'infini tandis que pour un amortisseur purement visqueux il tend vers zéro.

En outre pour un comportement viscoélastique ce temps est non nul mais de durée finie.

Pour l'identification du comportement de l'amortisseur, le modèle classique de Maxwell de l'équation (3.3) a été généralisé à la forme suivante dans laquelle les dérivés sont de l'ordre fractionnaire.

$$P_d(t) + \lambda \frac{d^r[P_d(t)]}{dt^r} = C_d \frac{d^q[x_d(t)]}{dt^q} \tag{3.5}$$

Où $\frac{d^r}{dt^r}$ et $\frac{d^q}{dt^q}$ sont des dérivées fractionnaires de l'ordre r et q, qui sont basés sur les propriétés des matériaux.

Pour le comportement viscoélastique complexe, le modèle dérivé fractionné offre généralement une meilleure capacité pour décrire le comportement de l'amortisseur sur une large gamme de fréquences.

D'autres modèles plus avancés de la viscoélasticité ont été considérés pour la modélisation du comportement des amortisseurs à fluide visqueux.

Par exemple ″Makris″ et ″al″ en (1993) ont examiné un modèle encore plus avancé de la viscoélasticité pour étudier le comportement de ce genre de dispositifs.

Dans ce modèle, l'ordre des temps dérivés et les coefficients sont de valeur complexe. Les modèles qui en résultent peuvent être considérés comme des formes simplifiées de modèles linéaires de viscoélasticité.

Le modèle présente des valeurs en nombre imaginaires donc il est plus pratique de faire une simplification dans les formulations.

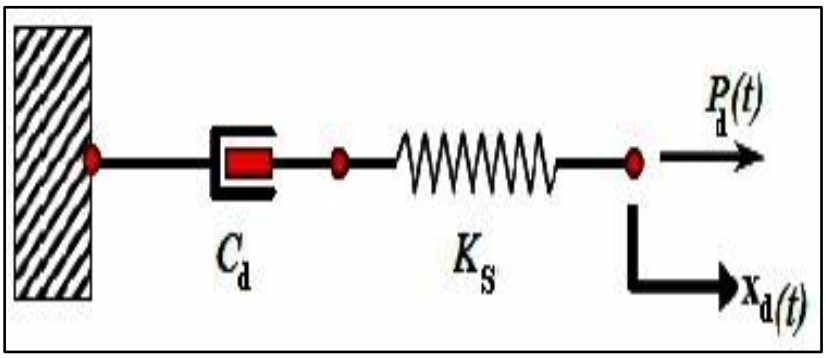


Figure 3.7 : Modèle de Maxwell

3.4.1. Amortisseur à fluide visqueux linéaire

Les essais expérimentaux de calibration effectués par ″Symans″ et ″Constantinou″ sur le modèle généralisé de Maxwell de l'équation (3.5) dans une large gamme de fréquence ont révélé que les paramètres de dérivées fractionnaires r et q ont donné des valeurs unitaires (r=1, q=1) par conséquent le comportement linéaire de l'amortisseur FVD peut être bien représenté par le modèle de maxwell classique de l'équation (3.3).

Par ailleurs, ils ont remarqué que le temps de relaxation X. développé par l'amortisseur FVD variait entre 6 msec et 8 msec rendant le second terme de l'équation (3.3) négligeable et par conséquent le modèle pour une fréquence au-dessous de la fréquence de coupure devient alors pour un amortisseur linéaire sous une formulation simple :

$$\mathrm{P_d(t)} = C_d . \dot{\mathrm{x}}_\mathrm{d} \tag{3.6}$$

Comme indiqué précédemment, $\mathrm{C_d}$ varie en fonction de la température ambiante. ″Makris″ et ″al″ en (1998) ont réalisé des études analytiques portant sur la question de la surchauffe des amortisseurs à fluide visqueux, leurs études ont conclu que la température dans le fluide devient significative pour des cycles de mouvement harmonique de durée longue.

L'augmentation de la température s'est révélée être proportionnelle à la variation de la pression dans l'amortisseur et indépendant de l'amplitude ainsi que de la vitesse du piston.

Toutefois, la température peut être réduite par l'utilisation de têtes de pistons de grands diamètres.

″Black″ et ″Markis″ en (2006) ont mené une étude permettant d'analyser la variation de la température dans un amortisseur visqueux sous différents types de chargement (vent et séismes) et d'amortisseurs (fort et faible coefficient d'amortissement), ainsi que de vérifier la validité des modèles analytiques proposés par rapport à l'expérimental.

Ils ont conclus que les résultats analytiques obtenus sont en bonne concordance avec ceux réalisés expérimentalement.

Par ailleurs, ils ont montré que pour le cas du vent l'effet de la température n'est pas significatif contrairement aux séismes où ce phénomène dépend de la durée du cycle de

chargement. Néanmoins, la surchauffe dans les FVD n'est pas un problème récurent dans les applications sismiques car le temps de charge est souvent pas assez long.

3.5.2. Amortisseur à fluide visqueux non-linéaire

Le comportement formulé par l'équation (3.6) est spécifique aux d'amortisseurs à fluide visqueux linéaire et par ailleurs cette formulation doit donc être étendue pour inclure les dispositifs non-linéaires.

La forme généralisée est représentée par l'expression de la force d'amortissement P_d suivante :

$$P_d(t) = C_d(\dot{x}_d)^{\alpha} \tag{3.7}$$

Où α est un exposant positif réel qui varie de 0.1 à 2.

Les courbes de la figure (3.8) représentent la variation de la force d'amortissement d'un dispositif FVD en fonction de la vitesse pour différentes valeurs de l'exposant de non-linéarité α.

Pour des vitesses inférieures à 1.0 m/s^2 (cas général pour le mouvement d'une structure sous séisme), l'amortisseur possède une force d'amortissement plus importante, c'est-à-dire qu'il dissipe une plus grande part d'énergie. De plus, il est à remarquer que plus l'exposant a prend des valeurs petites, plus la capacité de dissipation est plus grande.

Pour des vitesses supérieures à 1.0 m/s^2 (cas de très fort séisme), la courbe prend une allure rectiligne permettant à la force d'amortissement de se stabiliser. Le palier de stabilisation dépend des caractéristiques de la gamme du dispositif, pour le cas d'un amortisseur ayant un coefficient d'amortissement égal à 1 MN.s/m et un exposant α = 0.2, ce dernier délivre une force maximale autour des 1.20 MN en cas de très fort séisme.

En somme, l'amortisseur non-linéaire est un dispositif sécuritaire car il possède une force maximale limitée. En cas de très fort séisme, la présence du palier n'est pas visible pour l'amortisseur α = 1, puisqu'on a une courbe linéaire. Même observation pour l'amortisseur α = 2, puisqu'on a une courbe exponentielle.

Rapport-Gratuit.com

Par conséquent, ces types de dispositifs ne sont pas sécuritaires. A titre d'exemple, si un amortisseur linéaire présente une force d'amortissement de 1.50 MN, ce dernier ne résistera pas à un aléa sismique supérieur à 1.5 m/s, et laissera donc la structure dépourvue de toute protection.

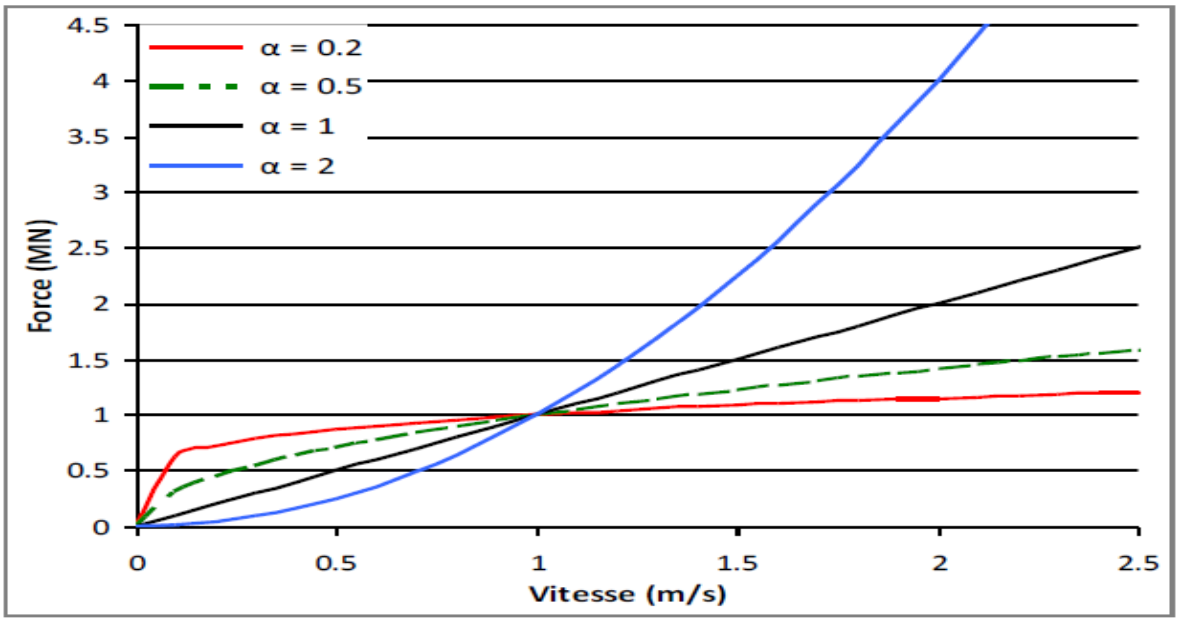


Figure 3.8 : Courbe force-vitesse pour un FVD en fonction de l'exposant α

Une importante littérature est disponible concernant le comportement dynamique des amortisseurs.

Néanmoins, en raison des phénomènes physiques complexes impliqués dans leur comportement et la nature des caractéristiques industrielles et commerciales de ces composants, peu de littérature a été éditée au sujet des détails internes de conception qui contrôle le rapport de la force à la vitesse.

Beaucoup d'auteurs attribuent les exposants de vitesse caractérisant le comportement des FVD ($\alpha<1$) à la complexité de la géométrie et aux nombre d'orifices dans le piston, engendrant une modification des caractéristiques de l'écoulement et de la vitesse du fluide.

Selon Frings, l'utilisation d'orifices annulaire entre la tête du piston et le cylindre extérieur produira une valeur de $\alpha<1$, par contre l'utilisation d'orifices cylindriques produira une valeur de $\alpha>1$.

Ce type de dissipation est connu comme l'amortissement de Bernoulli, dans ces conditions, pour obtenir un exposant a proche de 1, il faut diminuer la viscosité du fluide.

Selon ″Symans″ et ″Constantinou″ (1998), l'amortissement de Bernoulli est inacceptable pour la conception parasismique due aux très grandes forces qui sont induites.

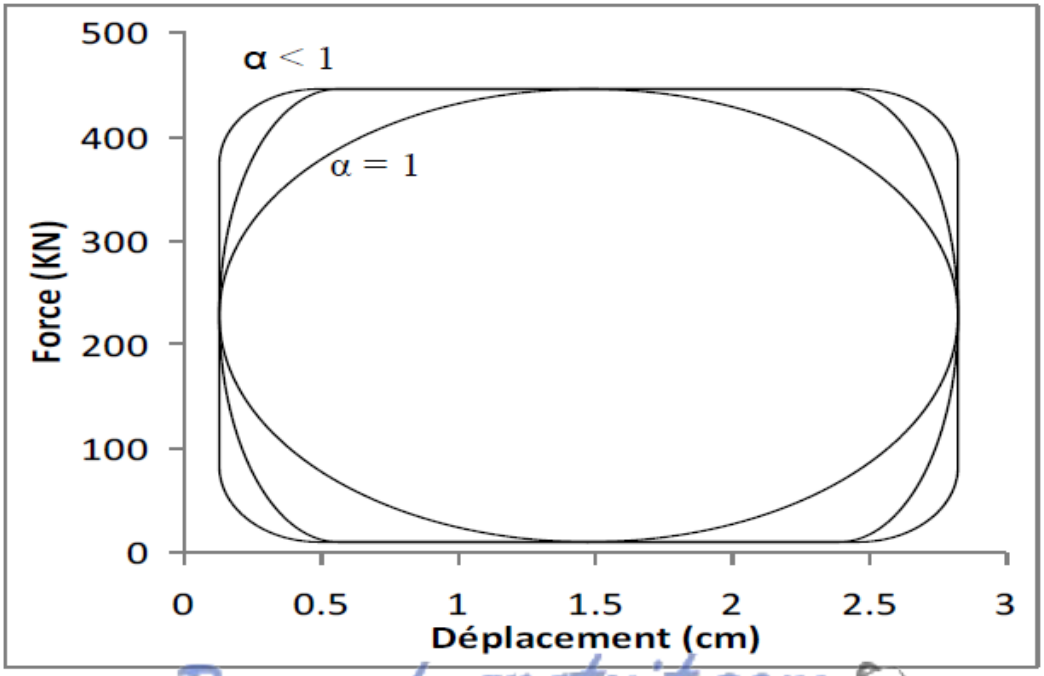
Toutefois, ils proposent que les amortisseurs avec d'autres valeurs puissent être utiles.

Ils déclarent qu'une conception avec une valeur de $\alpha<1$ peut être employée pour des situations quand une structure est soumise à des vitesses très élevée ou à des tremblements de terre violents, parce que ce type de dissipation limite la force maximale nécessaire dans l'amortisseur.

Ce dernier engendre sous des sollicitations dynamiques importantes une courbe d'hystérésis qui dépend principalement du paramètre exposant α.

En effet, pour $\alpha=1$, on a un comportement linéaire où la force est proportionnelle à la vitesse, avec une loi de comportement de forme elliptique.

Alors que pour $\alpha < 1$, on a un comportement non-linéaire qui permet de minimiser les forces dynamiques amenées par de fortes vitesses avec une loi de comportement quasi-rectangulaire (Fig. 3.9). La capacité de l'appareil à dissiper de l'énergie peut être estimée par l'aire définie par les boucles d'hystérésis [11]



Rapport-gratuit.com

Figure 3.9 : Courbe force-déplacement d'un FVD non-linéaire [11].

LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

3.6. Contrôle passif par isolation à la base

L'utilisation des isolateurs de base dans la conception parasismique des structures a attiré une attention considérable au cours des dernières années, cependant cette méthodologie n'est pas nouvelle, elle a été proposée dès 1909, où un médecin britannique avait déposé un brevet sur la séparation d'un bâtiment du sol sur lequel il repose par le biais d'une couche de talc ou de sable ; par ailleurs la première application moderne de cette technologie a été réalisée en 1969 à Skopje en Macédoine (ex Yougoslavie).

Le concept de base consiste à dissocier le mouvement de la structure de celui du sol par l'insertion entre la fondation et la superstructure de dispositifs d'isolement qui ont une déformabilité horizontale très importante et une rigidité verticale très élevée. Les isolateurs captent les déformations (inélastiques) et filtrent 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 ces derniers.

Cette nouvelle méthode de conception semble avoir un potentiel considérable dans la prévention des dommages d'un tremblement de terre sur les structures et leurs équipements internes.

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 (Fig. 3.10a), les efforts tranchants et les déplacements inter-étages sont fortement réduits, en revanche, d'autre part, à mesure que la flexibilité du système d'isolement augmente, les déplacements concentrés au niveau de l'isolateur deviennent plus importants (Fig. 3.10b).

C'est pourquoi il est intéressant d'incorporer un dispositif de recentrage supplémentaire.

Les isolateurs de base sont composés de deux grands types :

- Les isolateurs en élastomères : eux même composés en trois types d'appuis qui sont l'élastomère fretté à faible amortissement (LDRB), l'élastomère fretté à amortissement élevé (HDRB) et l'élastomère fretté à barreau (noyau) de plomb (LRB).
- Les isolateurs à glissement et à pendule à friction (FPS)[11].

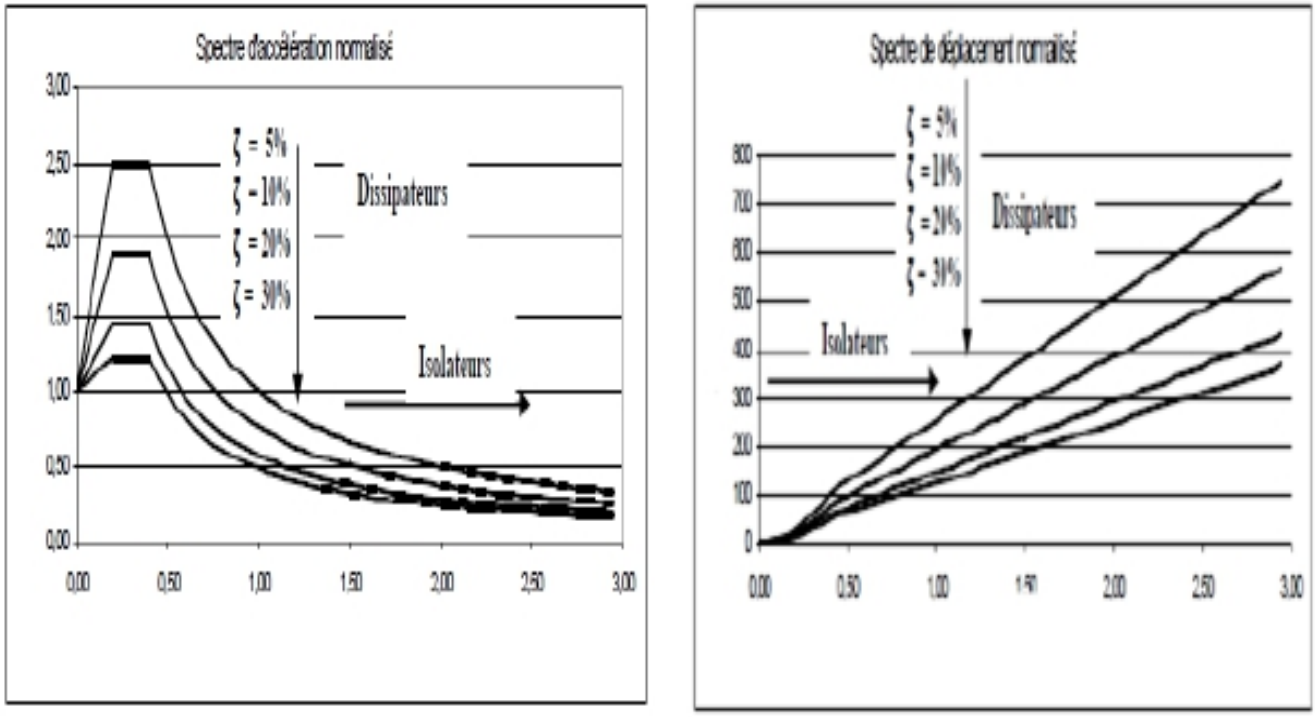


Figure 3.10 : Comportement de la structure avec et sans le dispositif d'isolation sismique [11].

3.6.1. Appareil d'appuis en élastomère fretté à amortissement faible (LDRB)

Les appuis LDRB (Low Damping Rubber Bearing) appelés aussi NRB (Naturel Rubber Bearing) ont été initialement utilisés pour isoler les bâtiments tels que les hôpitaux ou les salles de concerts des vibrations provenant des lignes de transports ferroviaires (trains et métros).

Ils sont en général constitués d'un empilement de feuillets d'élastomère naturel ou synthétique séparés par des frettes métalliques.

Quatre types d'élastomères sont les plus utilisés dans la fabrication de ces isolateurs.

Il s'agit du caoutchouc naturel (polyisoprène) et du néoprène (polychloroprène) qui sont caractérisés par leurs bonnes propriétés et leur faible coût, après vient le butyle (polyisobutylène) qui présente les meilleures performances à basse température et remplace parfois le néoprène pour de telles conditions et enfin le nitrile (butadiène-acrvIonitrile).

L'élastomère est caractérisé par un module de cisaillement relativement bas permettant aux feuillets de se déformer facilement dans le sens transversal, ce qui engendre une grande souplesse vis-à-vis des efforts horizontaux agissant sur le bâtiment autorisant par conséquent des déplacements relativement importants de la superstructure.

1l est néanmoins plus utile que la rigidité latérale soit suffisamment élevée pour limiter les déformations sous des forces courantes, tel que le vent.

Le rôle des frettes métalliques est d'offrir une résistance supplémentaire aux charges verticales, en effet, lorsque l'élastomère est comprimé verticalement, en supposant que c'est un matériau incompressible, il aura tendance à prendre de l'expansion sur les cotés libres mais les frettes en acier qu1 sont alors sollicitées en tension, retiennent cette expansion latérale.

Ces derniers permettent donc de réduire l'écrasement de l'élastomère engendrant par la même occasion une augmentation de la capacité portante des charges verticales, cela implique que plus la hauteur totale de l'isolateur est accrue, moins la rigidité latérale est importante et plus la résistance à lac charge verticale est grande.

Le comportement mécanique de l'élastomère fretté est quasi-parfaitement linéaire-élastique, tel qu'illustré dans la Figure (3.11) présentant un taux d'amortissement dissipatif assez faible ne dépassant pas le 5%.

Bien qu'il a l'avantage d'être facile à fabriquer et peu coûteux comparé à d'autres dispositifs, il a toutefois l'inconvénient de falloir le coupler avec un autre système de dissipation tels que les amortisseurs visqueux pour limiter les déplacement à la base de la structure quand elle est soumise aux excitations dynamiques.

Ajouté à cela il est susceptible de se détériorer sous charges de traction, sous nombre de cycles importants où sous l'effet des températures élevées dans les régions à climat chaud.

Pour à pallier ce problème, actuellement des recherches sont conduites pour remplacer l'élastomère fretté par des caoutchoucs provenant de chute de pneus.

Le système nommé STRP (Scrap Tire Rubber Pad) est utilisé particulièrement pour l'isolation sismique des bâtiments résidentiels ordinaires.

Les cordes de renforcement en acier, contenus dans le pneu vont substituer les frettes métalliques utilisées dans les LDRB conventionnels, ces cordes auront le d'empêcher l'expansion latérale du caoutchouc.

Ce nouveau système s'est avéré rôle avantageux en produisant un meilleur amortissement avec un faible coût. [11].

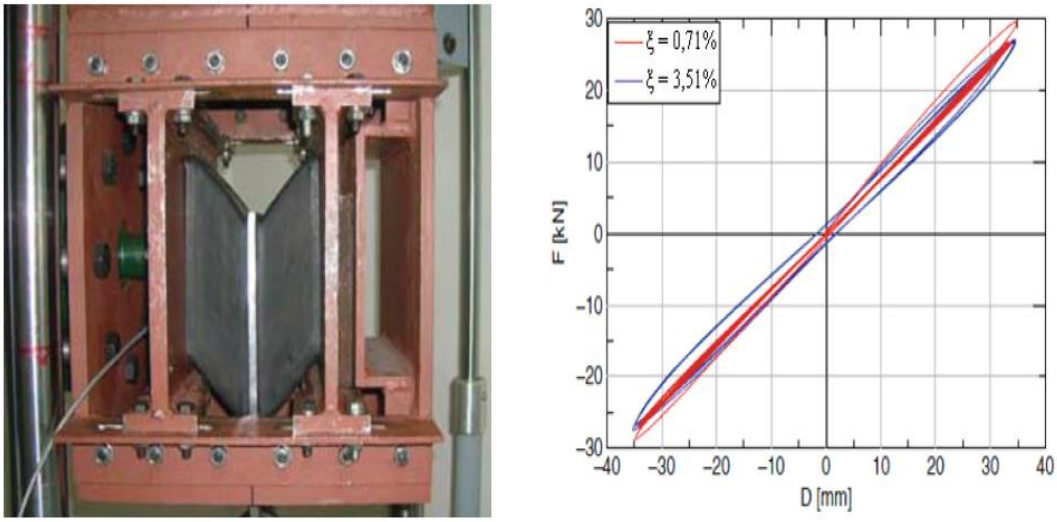


Figure 3.11 : Hystérésis force-déformation d'un appuis LDRB

En raison de frottement interne dans l'élastomère, son comportement mécanique est assimilé à celui d'un amortisseur visqueux.

Le schéma du modèle analytique de cet isolateur est représenté dans la figure 3.12

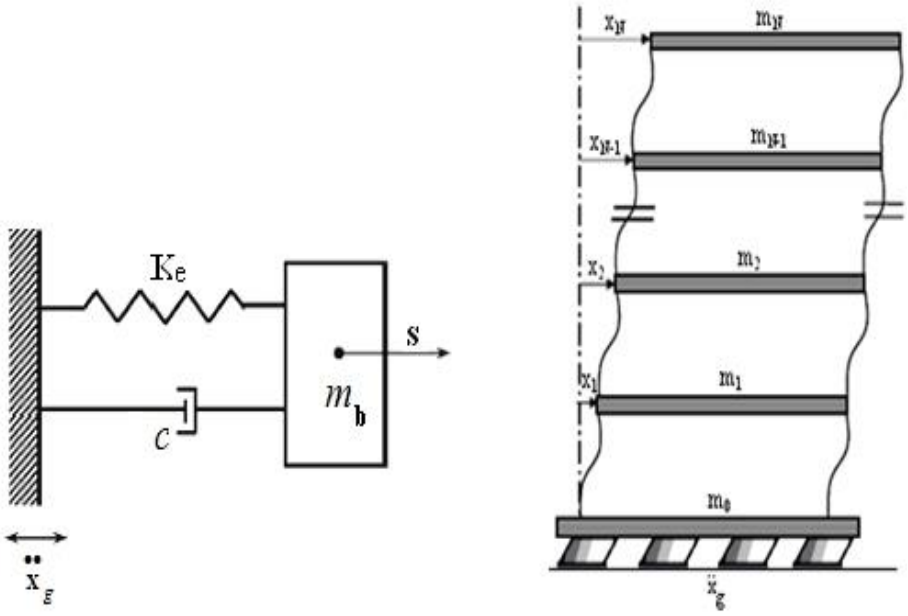


Figure 3.12 : Modèle analytique du LDRB

3.7.Coclusion

L'amortisseur à fluide visqueux foctionne selon deux dispositions, avec ou sans rigidité de stockage. L'apparition decce dérnier depend de la viscosité du fluide ainsi que la présence de le chambre d'accumulation.

Peu de travaux sont intéréssés de la relation entre le type de comportement du FVD et la distribution de son coefficient d'amortissement en fonction de la hauteur, sachant que la force maximale qui se développe dans une structure munie de FVD coincide au moment où l'accéleration est maximale.

Chapitre 4.

L’impact de la non-linéarité des FVD sur un bâtiment métallique

4.1. Introduction

Ce chapitre consiste à analyser un système dispositif dissipatif et lecomparer avec les modèles contreventé et non contreventé, pour évaluer la performance et l’efficacité de ces dispositifs.

Le calcul numérique a été fait par le logiciel de structure SAP 2000 pour analyserles ossatures R+4, R+6, R+8 en charpente métallique avec les amortisseurs à fluide visqueux.

4.2. Description du dispositif dissipatif et des excitations sismiques.

L’accélérogrammes considéré est celui du 21 mai 2003 à Boumerdes enregistré à la station de KEDDARA de magnitude de 7,1 sur l’échelle de Richter avec une accélération maximale du sol égale à 0,34g.

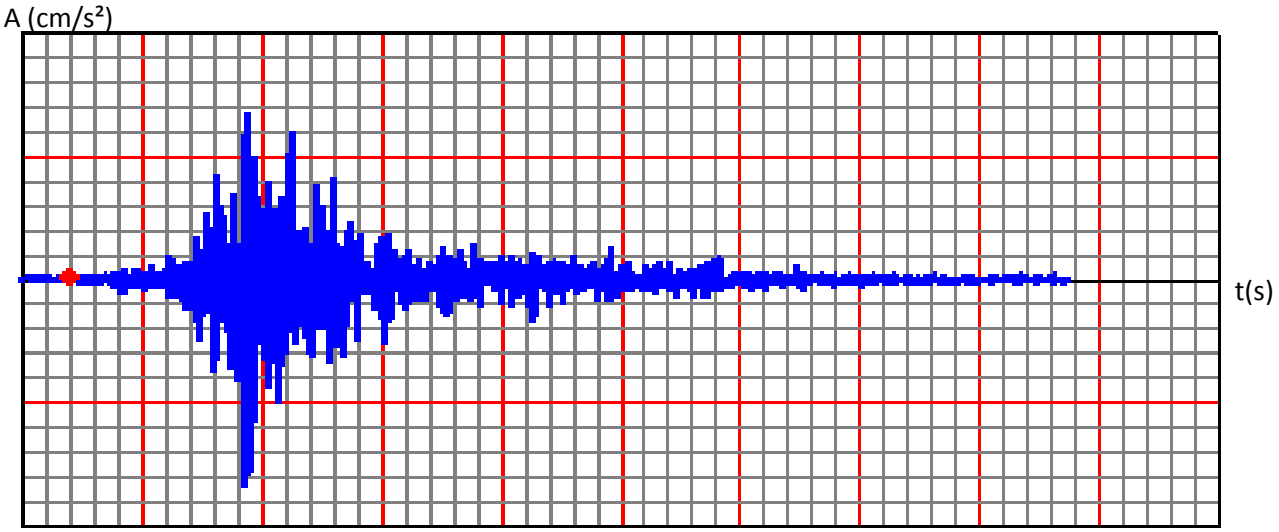


Figure 4.1 : Signale sismique de keddara EW.

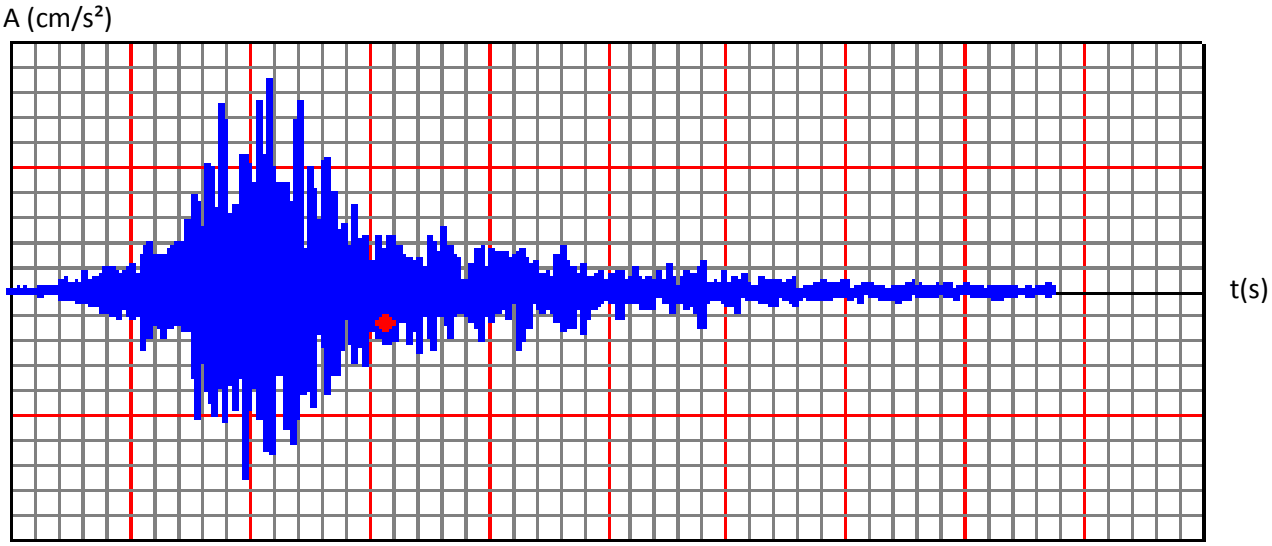


Figure 4.2 : Signale sismique de keddara NS.

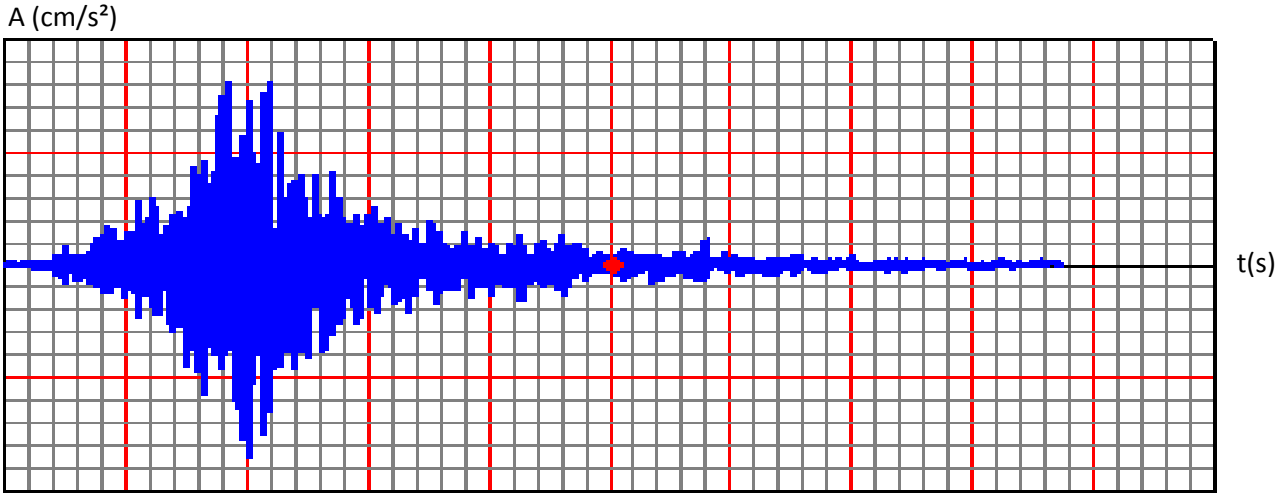


Figure 4.3 : Signale sismique de keddara V.

4.3. Analyse des réponses temporelles pour la structure R+4.

Après plusieurs simulations (1040 analyses) on a adopté le meilleur cas pour la structure R+4 dont les valeurs $\alpha = 0,1$ et $C_d = 0,1$ MN.s/m.

Le nœud entouré en rouge dans la structure (figure 4.4) représente le point le plus sollicité dont les réponses temporelles maximales du déplacement et accélération ont été tirées.

L'élément coloré en rouge dans la structure (figure 4.5) représente le poteau le plus sollicité.

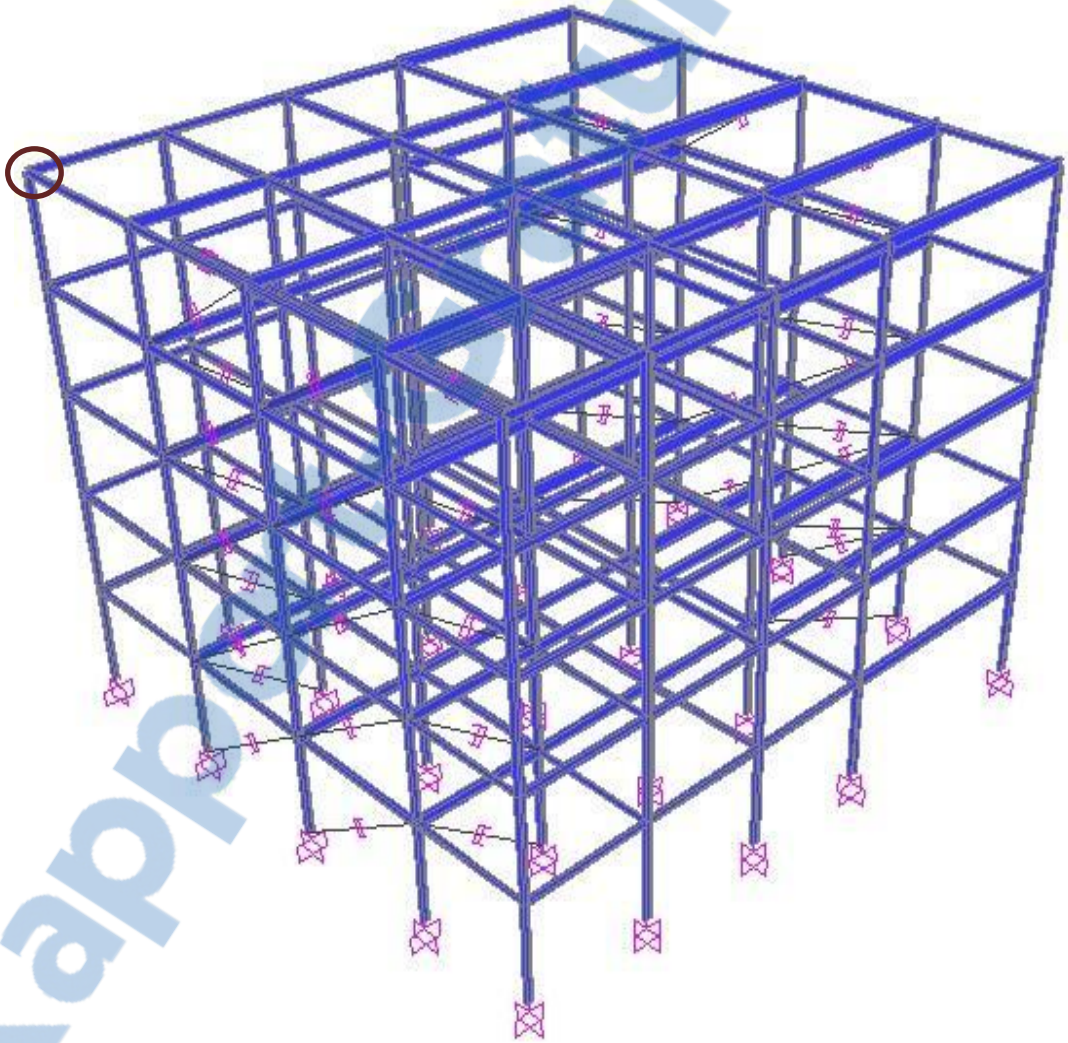


Figure 4.4 : Le nœud le plus sollicité.

Rapport-Gratuit.com

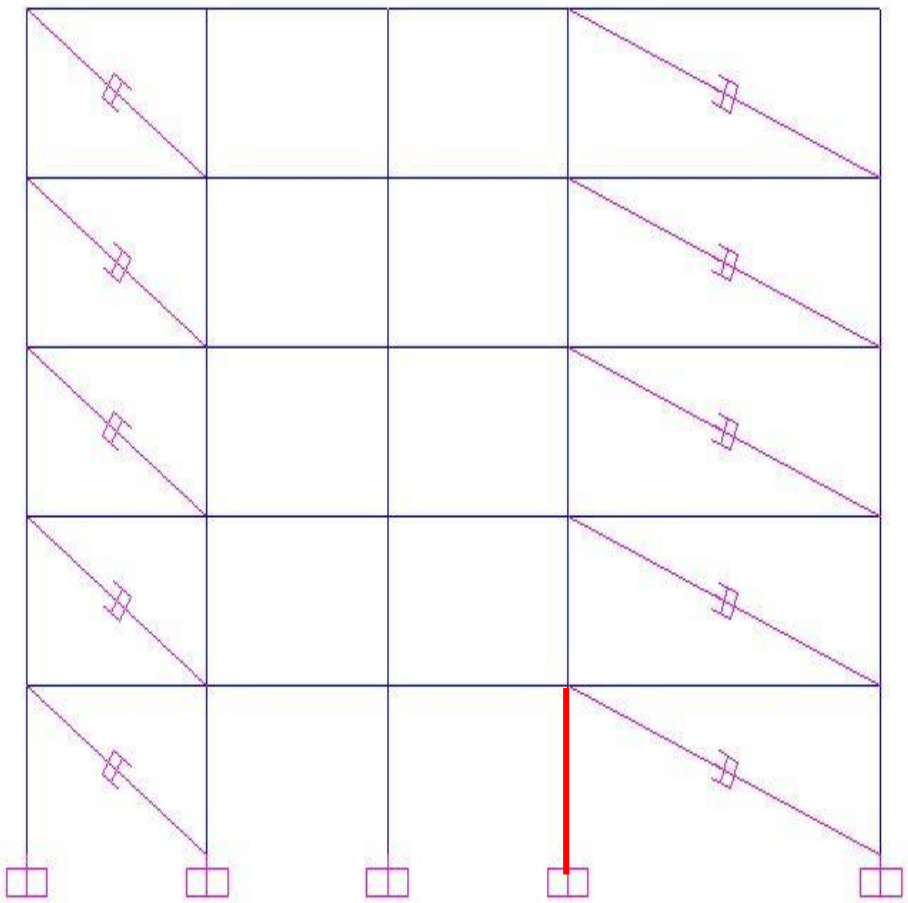


Figure 4.5 : Le poteau le plus sollicité

4.3.1. Variation du déplacement et accélération en fonction du temps.

Les résultats obtenus ont été comparés avec les modèles contreventés, non contreventés et amortis comme les montrent les figures 4.6 et 4.7.

La courbe de la figure 4.6 représente la variation du déplacement maximum en fonction du temps. L'analyse de cette figure montre que la valeur des déplacements de la structure équipée de dispositifs dissipatifs au pic décroît d'environ **-57,89%** par rapport à celles correspondantes à la structure non contreventée (auto-stable) et de **-27 ,65%** par rapport au cas contreventé. On remarque que l'utilisation de l'amortisseur FVD a permis une décroissance importante de la réponse en déplacement ce qui est du à l'apport de la rigidité et de la force de frottement qui ont été fournis par cet amortisseur.

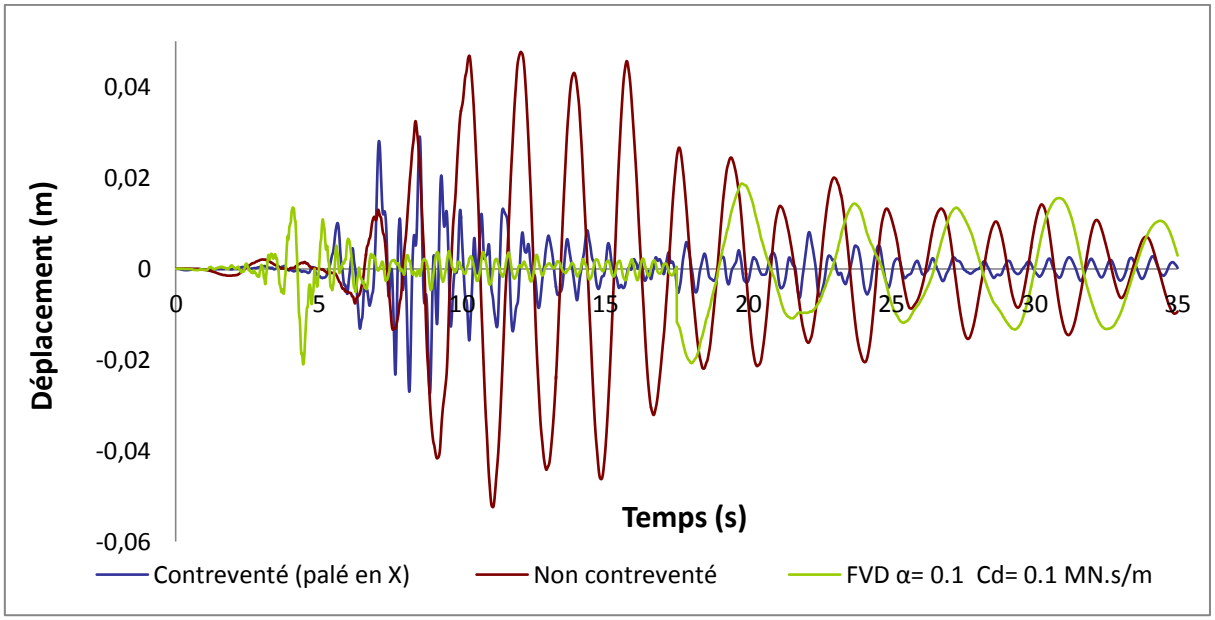


Figure 4.6 : Réponse temporelle du déplacement.

La figure 4.7 montre que la réponse en terme d'accélération entre les deux configurations analysées, contreventée et auto-stable est sensiblement la même contrairement au cas avec dissipateurs qui décroît au pic de **-4,85%**par rapport à celles correspondantes à la structure non contreventée et de **-74,60%** par rapport au cas contreventé. Cela peut conduire à réduire les effets désagréables de l'accélération pour les occupants de ces structures mais aussi bien les dommages occasionnés dans les parties non structurelles du bâtiment tels que les différentes conduites, faux plafonds, etc.

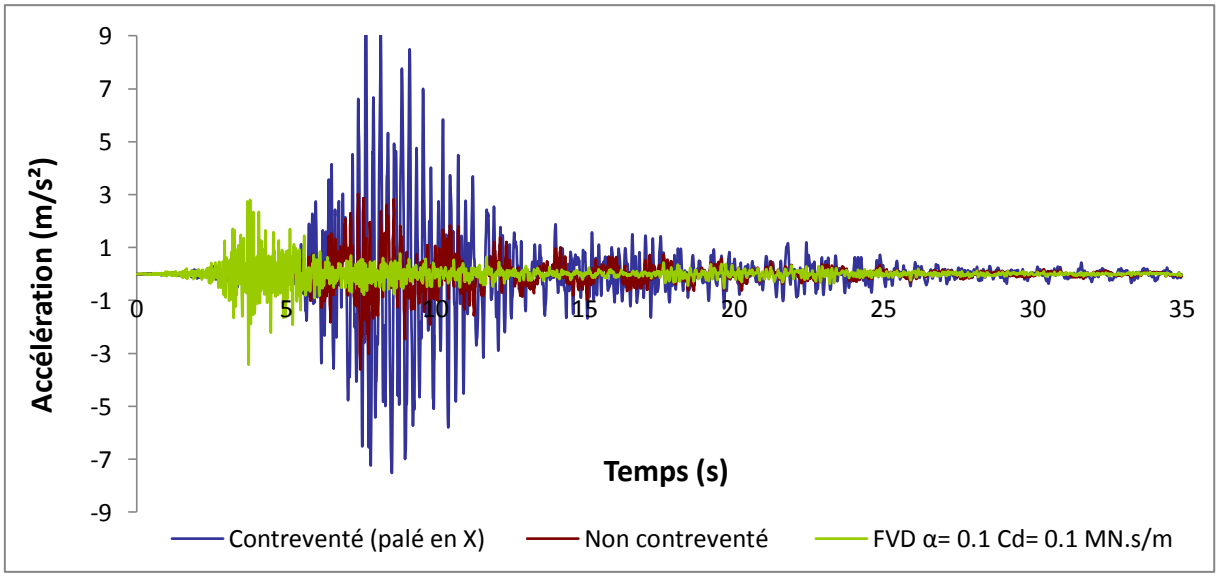


Figure 4.7 : Réponse temporelle de l'accélération.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

4.3.2. Variation de l'effort tranchant à la base en fonction du temps.

L'analyse de la figure 4.8 montre que l'amortisseur FVD donne une valeur de l'effort tranchant à la base par rapport aux deux structures auto stable et contreventées par palé en X, avec des taux de pourcentages qui sont les suivants **-21,00%**et-**80,39%.**

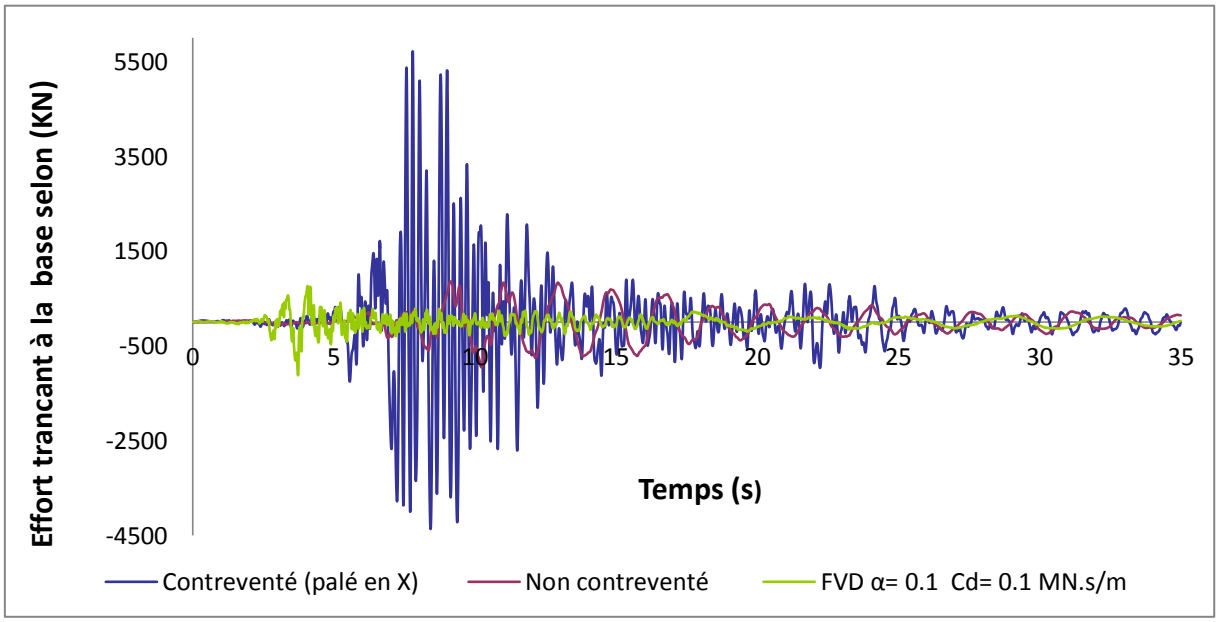


Figure 4.8: Réponse temporelle de l'effort tranchant à la base.

4.3.3. Variation des sollicitations en fonction du temps.

Les sollicitations maximales des éléments les plus sollicités pour la structure amortie sont comparées à celles des deux structures, l'une contreventée et l'autre non contreventée.

Les courbes des (figure 4.9, figure 4.10, figure 4.11) illustrent les variationstemporelles de l'effort normal, l'effort tranchant et le moment fléchissant.

L'analyse de la (figure 4.9) montre une forte diminution pour le systèmed'amortissement FVD pour atteindre une valeur de **-32,04%** en effort normal par rapport à la structure non contreventée, et de **-99,28%** par rapport à celle contreventée.

L'effort tranchant du dispositif FVD (figure 4.10) diminue d'unevaleur de **-9,45%** par rapport à la structure auto-stable, et de **-6,44%** par rapport à cellecontreventée.

En dernier le moment fléchissant (figure 4.11) par une valeur de **-9,75%** par rapport la structure non contreventé, et par **-2,19%** par rapport à celle contreventée.

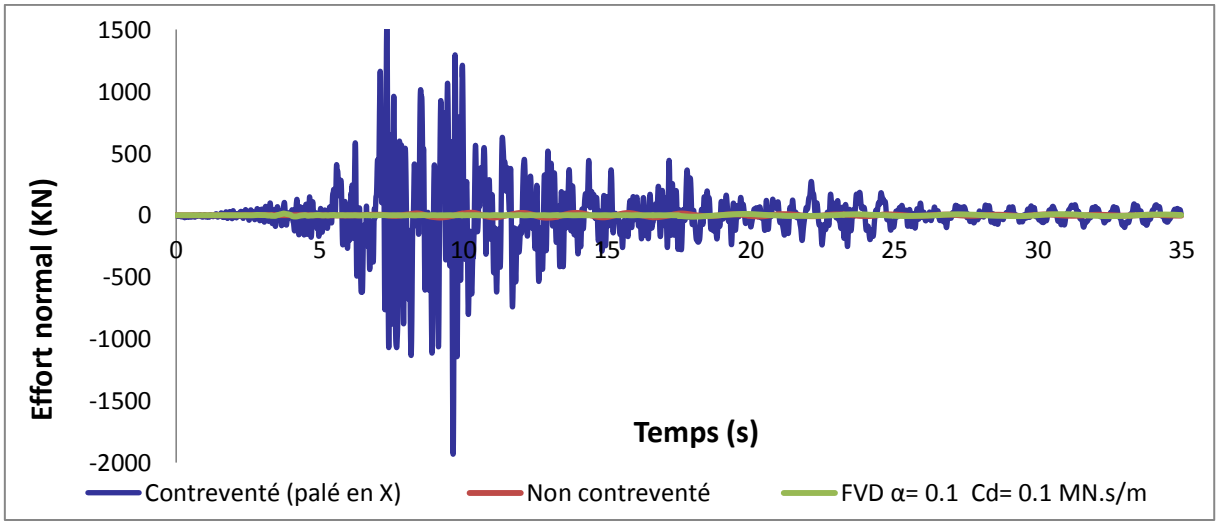


Figure 4.9: Réponse temporelle de l'effort normal.

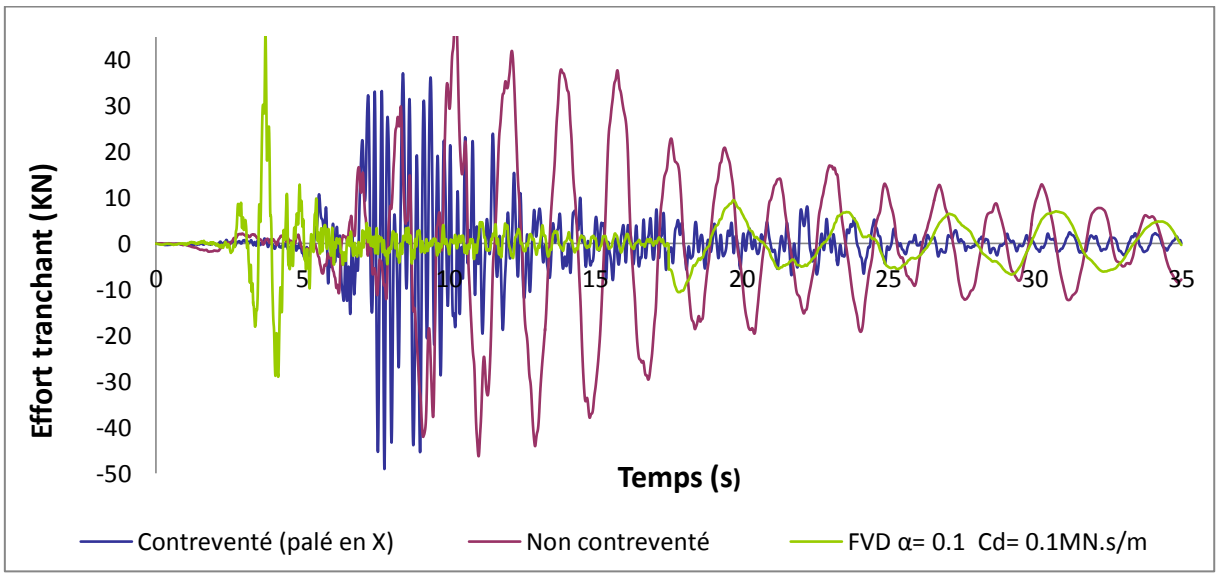


Figure 4.10: Réponse temporelle de l'effort tranchant.

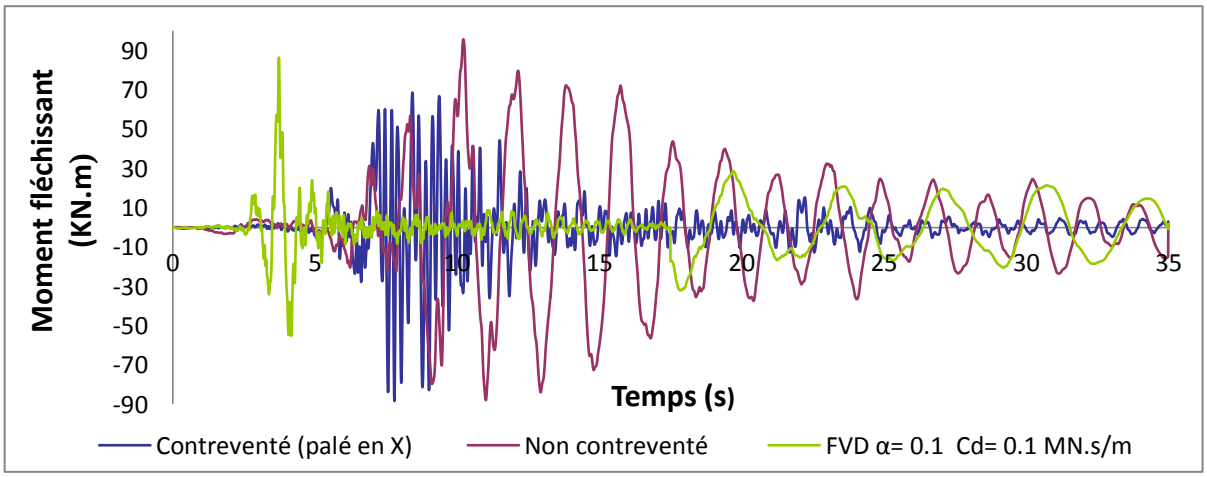


Figure 4.11: Réponse temporelle du moment fléchissant.

4.3.4. La variation du taux d'amortissement ξ_d en fonction du coefficient C_d

Le taux d'amortissement $\xi_d = \frac{Cd}{Cr}$ a été tracé en fonction du coefficient d'amortissement C_d pour différentes valeurs de l'exposant de non-linéarité α (Fig.4.12). La courbe montre clairement que les amortisseurs FVD non-linéaires avec $\alpha \leq 0{,}5$ affichent des taux de dissipation importants correspondants à de faibles grandeurs du coefficient C_d, ce qui est à l'opposé des systèmes linéaires $\alpha > 0{,}5$ qui ont besoin d'un plus grand coefficient d'amortissement pour atteindre la même performance. D'un autre côté, le taux d'amortissement dépend de l'amplitude du mouvement pour les amortisseurs non-linéaires. Une augmentation du coefficient d'amortissement implique une diminutiondes déplacements qui se traduit par une amélioration rapide de (ξ_d) (courbes pour $\alpha = 0.1$ et $\alpha = 0.5$) jusqu'à ce que le pic correspondant à un maximum de dissipation d'énergie sismique soit atteint. Au-delà de ce pic présentant une performance optimale, l'augmentation du coefficient d'amortissement $C_d$ne sera pas bénéfique pour la structure mais risque d'accroître la réponse et réduit par conséquent le taux de dissipation dans cette dernière.

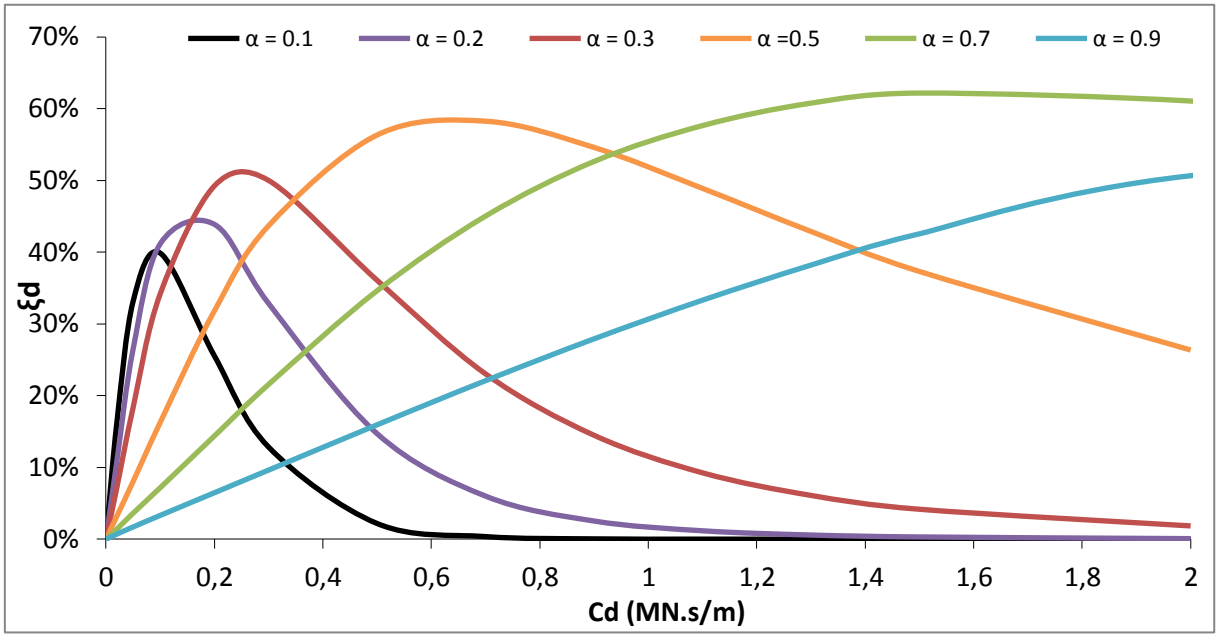


Figure 4.12 : Taux d'amortissement ξ_d en fonction du coefficient C_d.

4.4.Analyse des réponses temporelles pour la structure R+6.

De méme dans la structure R+6 on a choisi les mêmes coefficients de la structure R+4 (α=0.1 ; C_d =0.1 MN.s/m (1030 analyses).

Le nœud entouré en rouge dans la structure (figure 4.13) représente le point le plus sollicité dont les réponses temporelles maximales du déplacement et accélération ont été tirées.

L'élément coloré en rouge dans la structure (figure 4.14) représente le poteau le plus sollicité.

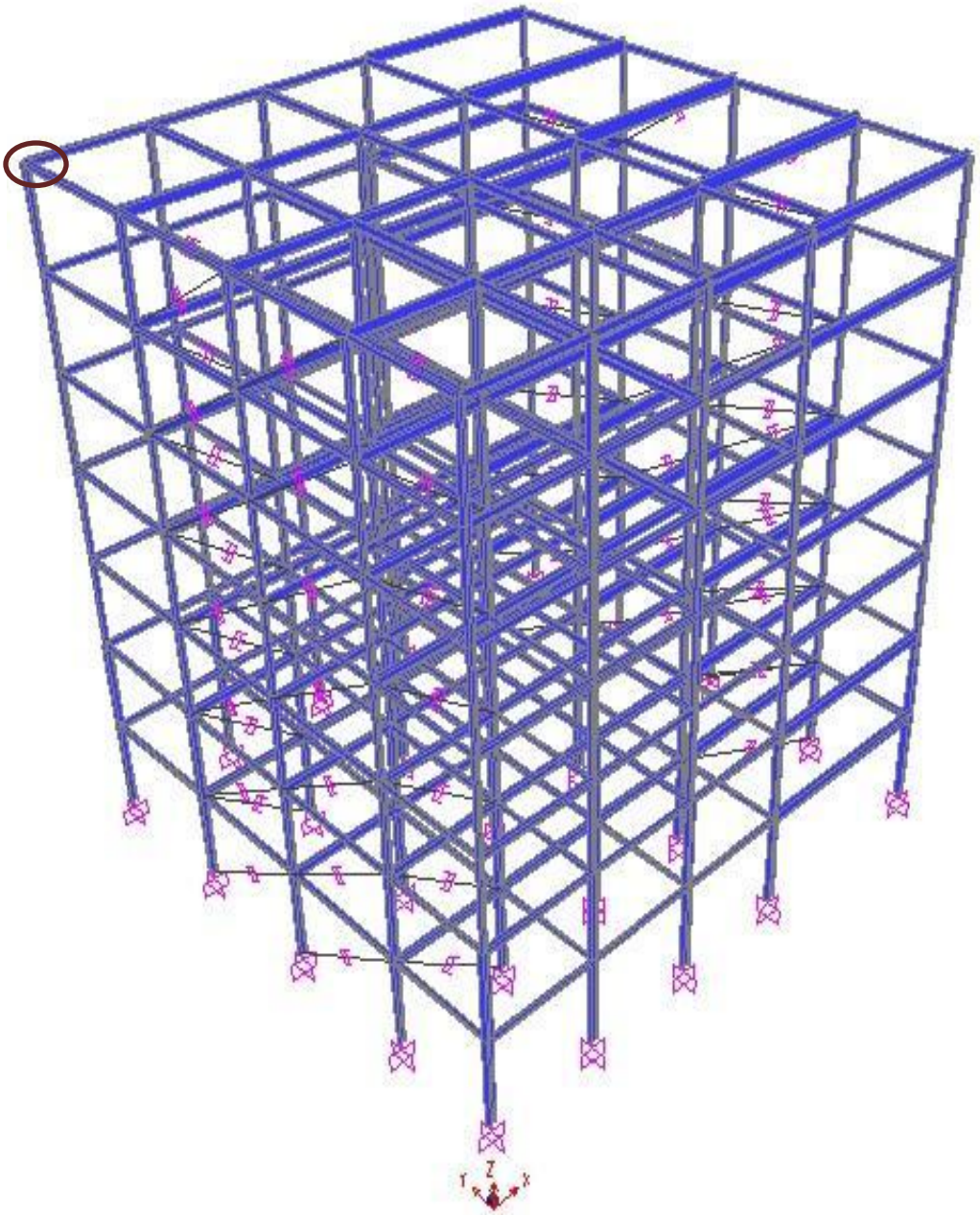


Figure 4.13 : Le nœud le plus sollicité.

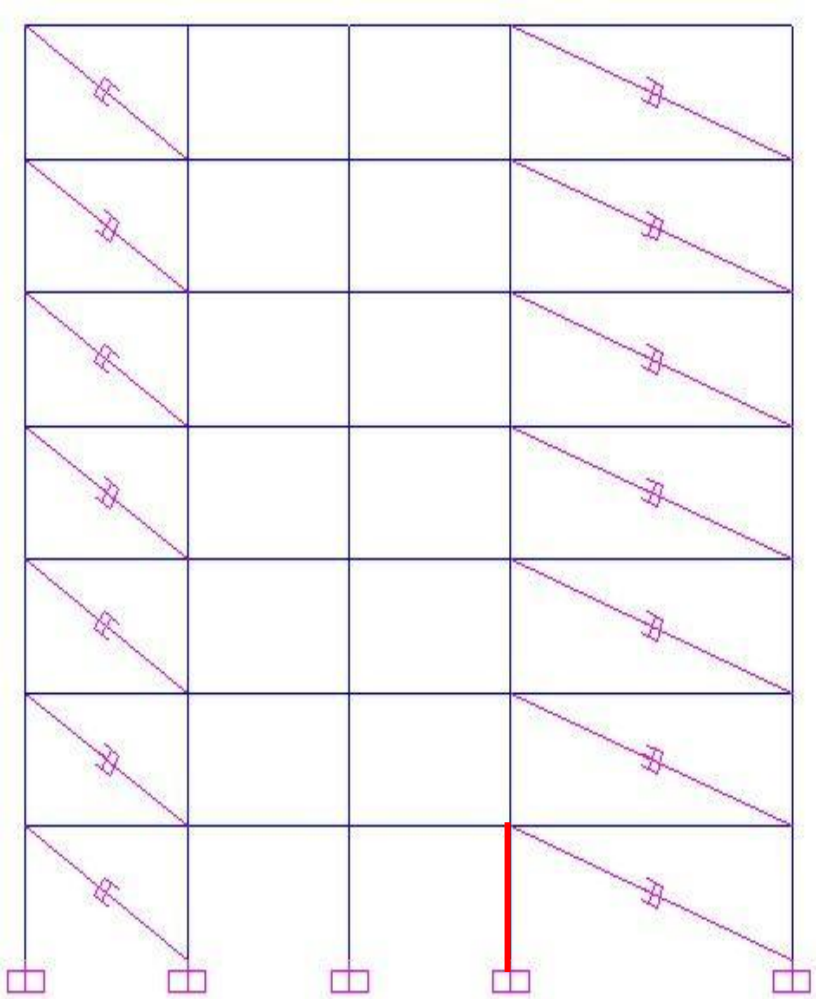


Figure 4.14 : Le poteau le plus sollicité

4.4.1. Variation du déplacement et accélération en fonction du temps.

Les résultats obtenus ont été comparés avec les modèles contreventés, non contreventés et amortis comme les montrent les figures 4.15 et 4.16.

La courbe de la figure 4.15 représente la variation du déplacement maximum en fonction du temps. L'analyse de cette figure montre que la valeur des déplacements de la structure équipée de dispositifs dissipatifs au pic décroît d'environ **-58,57%** par rapport à celles correspondantes à la structure non contreventée (auto-stable) et de **-43,76%** par rapport au cas contreventé. On remarque que l'utilisation de l'amortisseur FVD a permis une décroissance importante de la réponse en déplacement ce qui est du à l'apport de la rigidité et de la force de frottement qui ont été fournis par cet amortisseur.

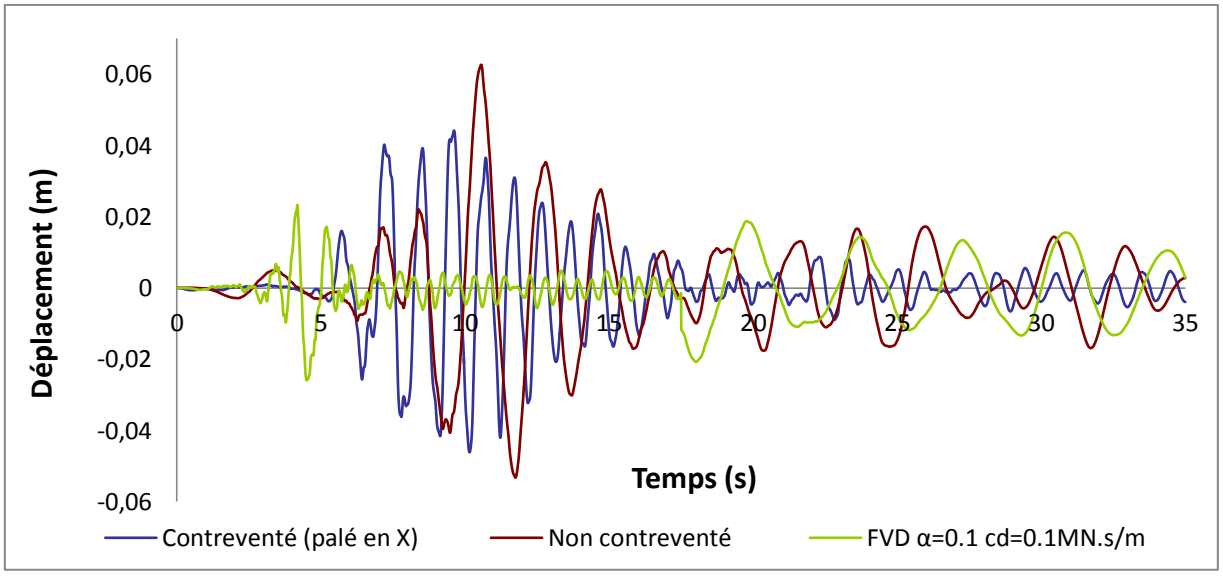


Figure 4.15 : Réponse temporelle du déplacement.

La figure 4.16 montreque la réponse en terme d'accélération entre les deux configurations analysées, contreventée et auto-stable est sensiblement la même contrairement au cas avec dissipateurs qui augment au pic de **1,34%**par rapport à celles correspondantes à la structure non contreventée et décroit de **-46,88%** par rapport au cas contreventé.

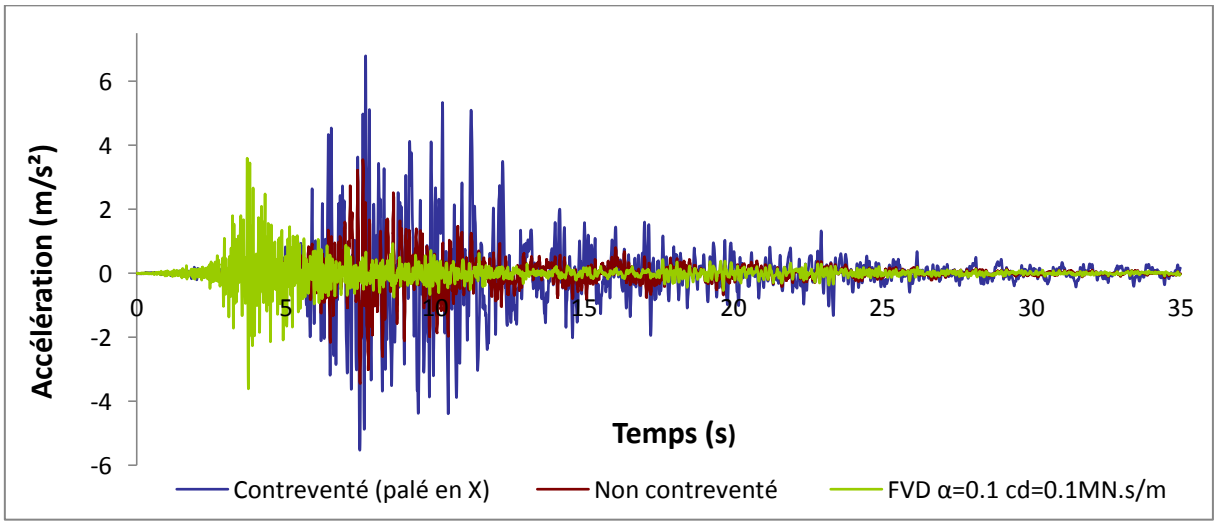


Figure 4.16 : Réponse temporelle de l'accélération.

4.4.2. Variation de l'effort tranchant à la base en fonction du temps.

L'analyse de la figure 4.17 montre que l'amortisseur FVD donne une valeur très importante de l'effort tranchant à la base par rapport aux deux structures auto stable et contreventées par palé en X, avec des taux de pourcentages qui sont les suivants **14,38%**et **-74,46%.**

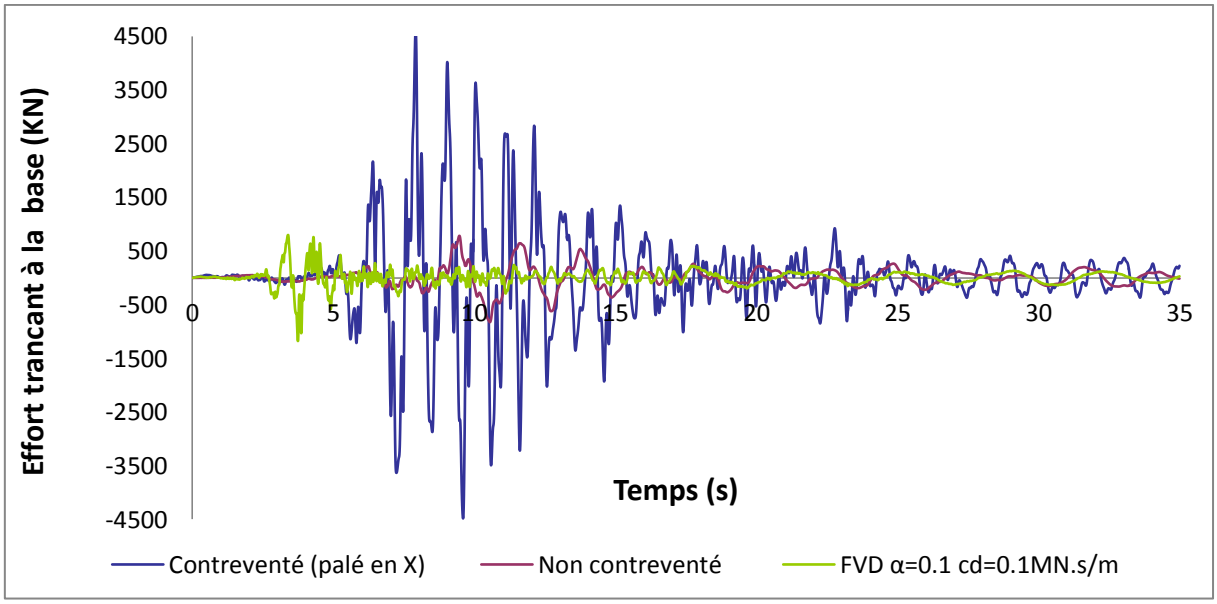


Figure 4.17: Réponse temporelle de l'effort tranchant à la base.

4.4.3. Variation des sollicitations en fonction du temps.

Les sollicitations maximales des éléments les plus sollicités pour la structure amortie sont comparées à celles des deux structures, l'une contreventée et l'autre non contreventée.

Les courbes des (figure 4.18, figure 4.19, figure 4.20) illustrent les variations temporelles de l'effort normal, l'effort tranchant et le moment fléchissant.

L'analyse de la (figure 4.18) montre une forte diminution pour le systèmed'amortissement FVD pour atteindre une valeur de **-18,30%** en effort normal par rapport à la structure non contreventée, et de **-98,91%** par rapport à celle contreventée.

L'effort tranchant du dispositif FVD (figure 4.19) diminue considérablement d'unevaleur de **9,55%** par rapport à la structure auto-stable, et de **-18,57%** par rapport à cellecontreventée.

En dernier le moment fléchissant (figure 4.20) par une valeur de **8,17%** par rapport la structure non contreventé, et par **-13,52%** par rapport à celle contreventée.

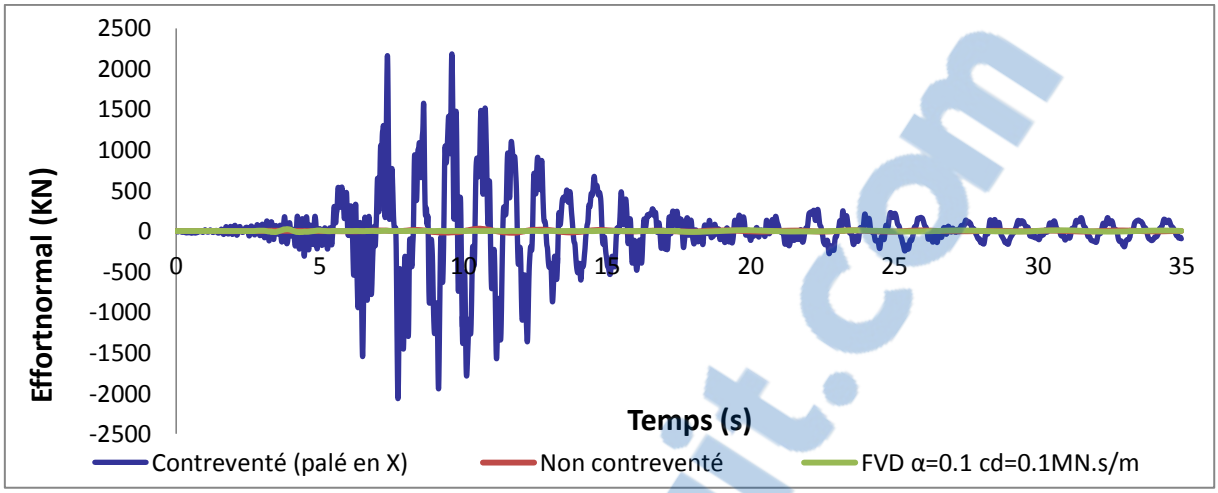


Figure 4.18: Réponse temporelle de l'effort normal.

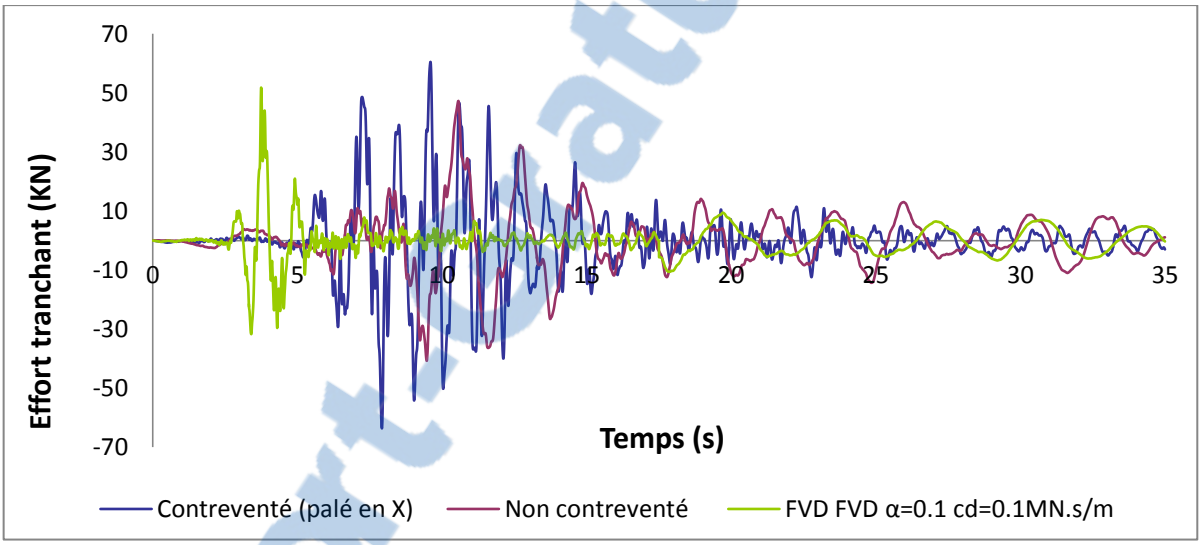


Figure 4.19: Réponse temporelle de l'effort tranchant.

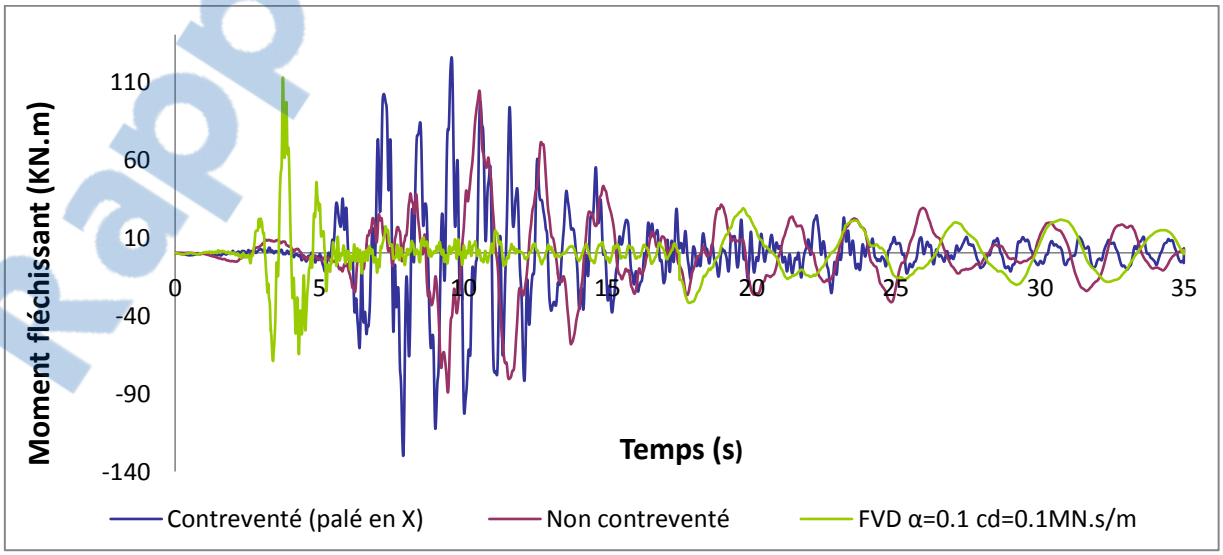


Figure 4.20: Réponse temporelle du moment fléchissant.

Rapport-Gratuit.com

4.4.4. La variation du taux d'amortissement ξ_d en fonction du coefficient C_d

Le taux d'amortissement ξ_d a été tracé en fonction du coefficient d'amortissement C_d pour différentes valeurs de l'exposant de non-linéarité α (Fig.4.21). La courbe montre clairement que les amortisseurs FVD non-linéaires avec $\alpha \leq 0,5$ affichent des taux de dissipation importants correspondants à de faibles grandeurs du coefficient C_d, ce qui est à l'opposé des systèmes linéaires $\alpha > 0,5$ qui ont besoin d'un plus grand coefficient d'amortissement pour atteindre la même performance. D'un autre côté, le taux d'amortissement dépend de l'amplitude du mouvement pour les amortisseurs non-linéaires. Une augmentation du coefficient d'amortissement implique une diminution des déplacements qui se traduit par une amélioration rapide de (ξ_d) (courbes pour $\alpha = 0.1$ et $\alpha = 0.5$) jusqu'à ce que le pic correspondant à un maximum de dissipation d'énergie sismique soit atteint. Au-delà de ce pic présentant une performance optimale, l'augmentation du coefficient d'amortissement $C_d$ne sera pas bénéfique pour la structure mais risque d'accroître la réponse et réduit par conséquent le taux de dissipation dans cette dernière.

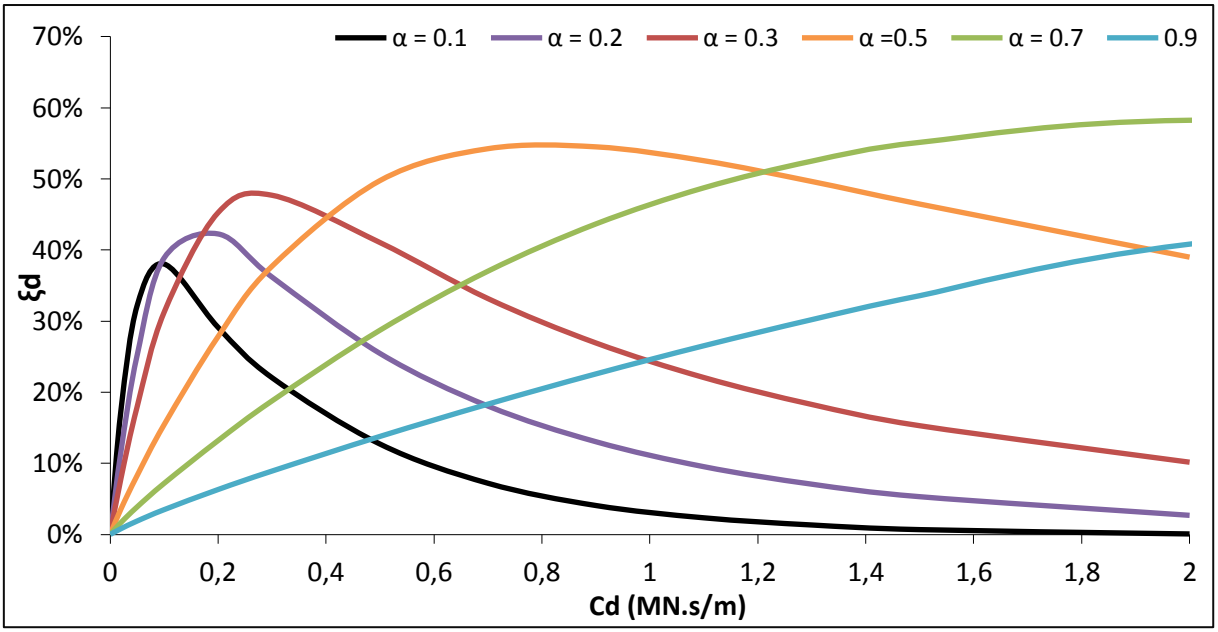


Figure 4.21 : Taux d'amortissement ξ_d en fonction du coefficient C_d.

4.5. Analyse des réponses temporelles pour la structure R+8.

De même dans la structure R+8 on a choisi les mêmes coefficients de la structure R+4 et R+6 (α=0.1 ; C_d =0.1 MN.s/m) (1050 analyses).

Le nœud entouré en rouge dans la structure (figure 4.22) représente le point le plus sollicité dont les réponses temporelles maximales du déplacement et accélération ont été tirées.

L'élément coloré en rouge dans la structure (figure 4.23) représente le poteau le plus sollicité.

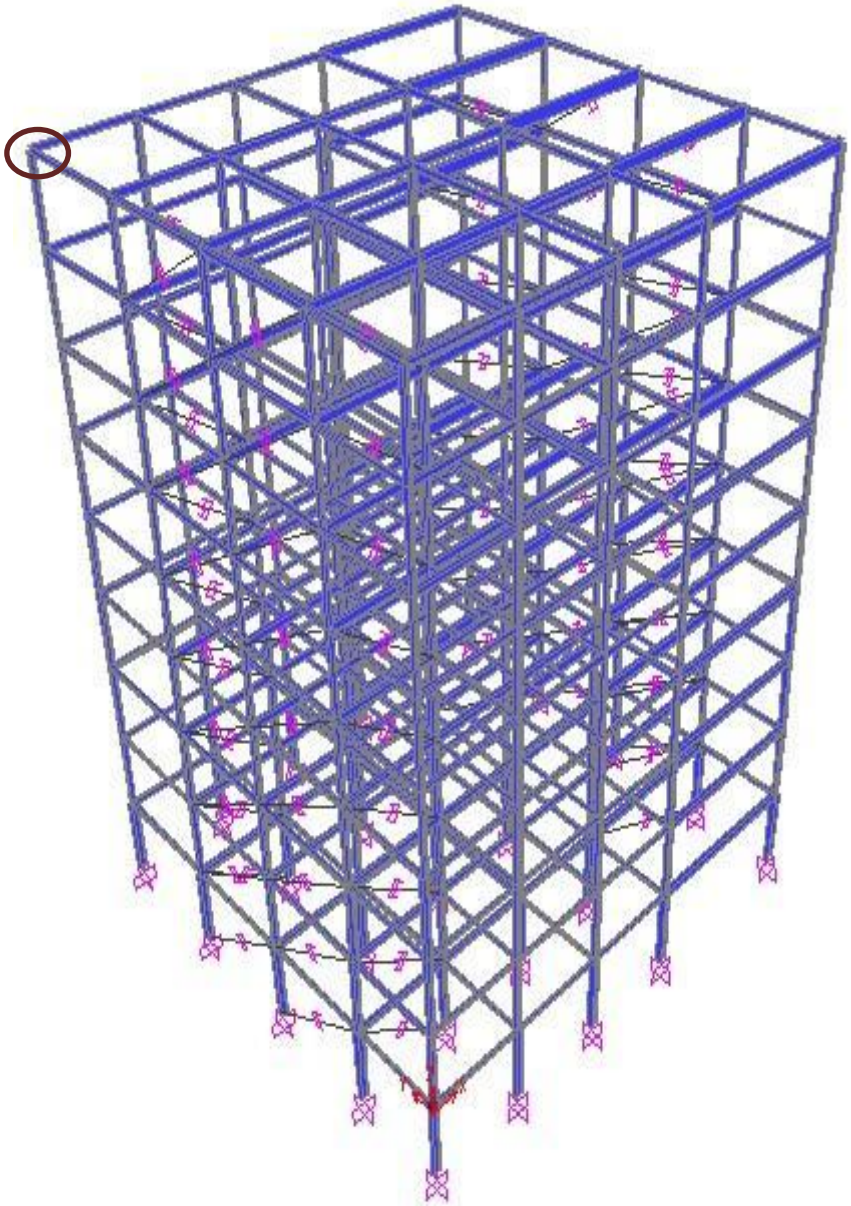


Figure 4.22 : Le nœud le plus sollicité.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

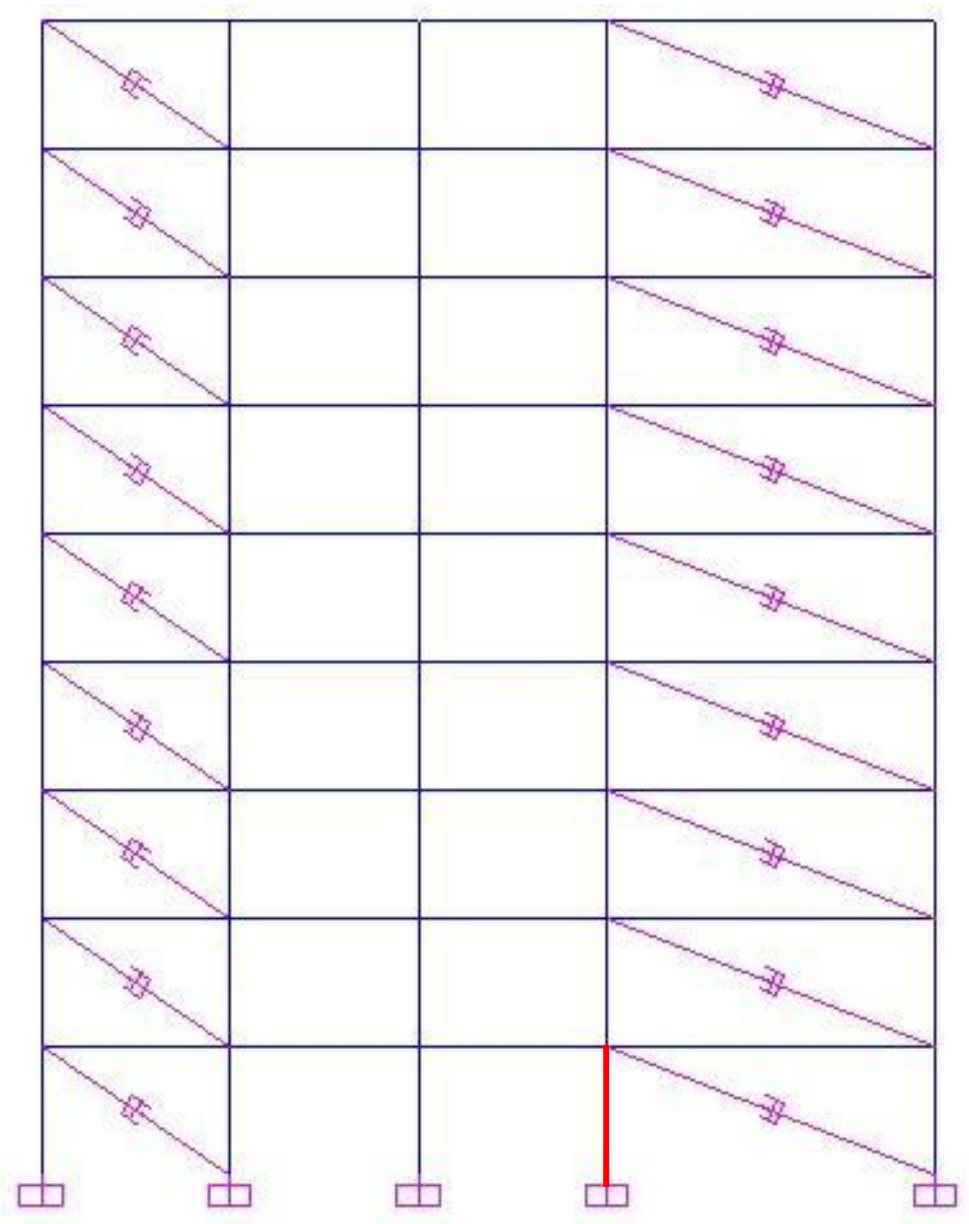


Figure 4.23 : Le poteau le plus sollicité

4.5.1. Variation du déplacement et accélération en fonction du temps.

Les résultats obtenus ont été comparés avec les modèles contreventés, non contreventés et amortis comme les montrent les figures 4.24 et 4.25.

La courbe de la figure 4.24 représente la variation du déplacement maximum en fonction du temps. L'analyse de cette figure montre que la valeur des déplacements de la structure équipée de dispositifs dissipatifs au pic décroît d'environ **-59,19%** par rapport à celles correspondantes à la structure non contreventée (auto-stable) et de **-76,17**% par rapport au cas contreventé. On remarque que l'utilisation de l'amortisseur FVD a permis une décroissance

importante de la réponse en déplacement ce qui est du à l'apport de la rigidité et de la force de frottement qui ont été fournis par cet amortisseur.

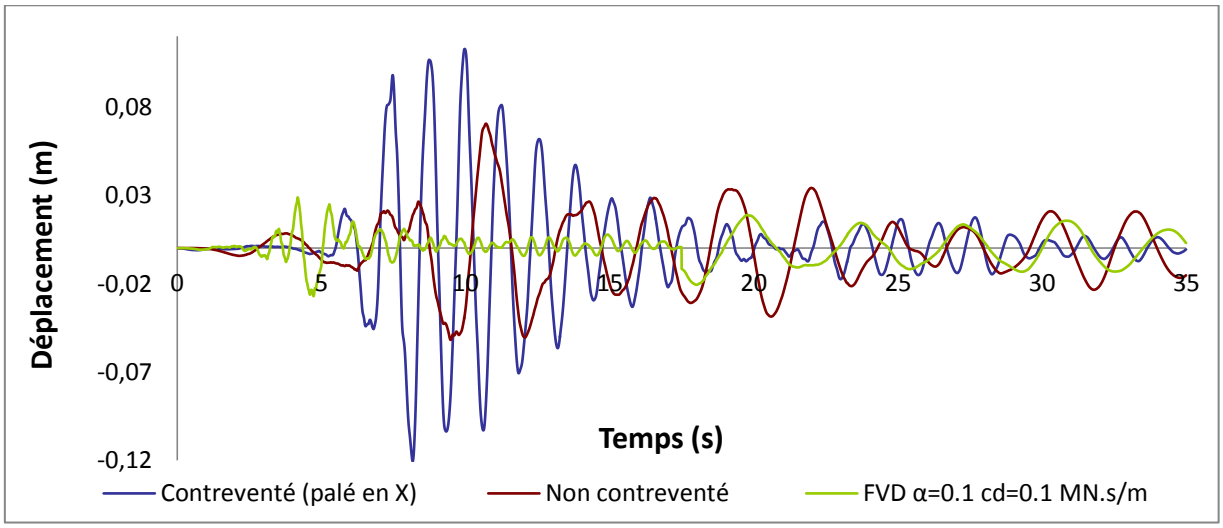


Figure 4.24 : Réponse temporelle du déplacement.

La figure 4.25 montreque la réponse en terme d'accélération entre les deux configurations analysées, contreventée et auto-stable est sensiblement la même contrairement au cas avec dissipateurs qui décroît au pic de **-3,62%**par rapport à celles correspondantes à la structure non contreventée et de **-68,33%** par rapport au cas contreventé.

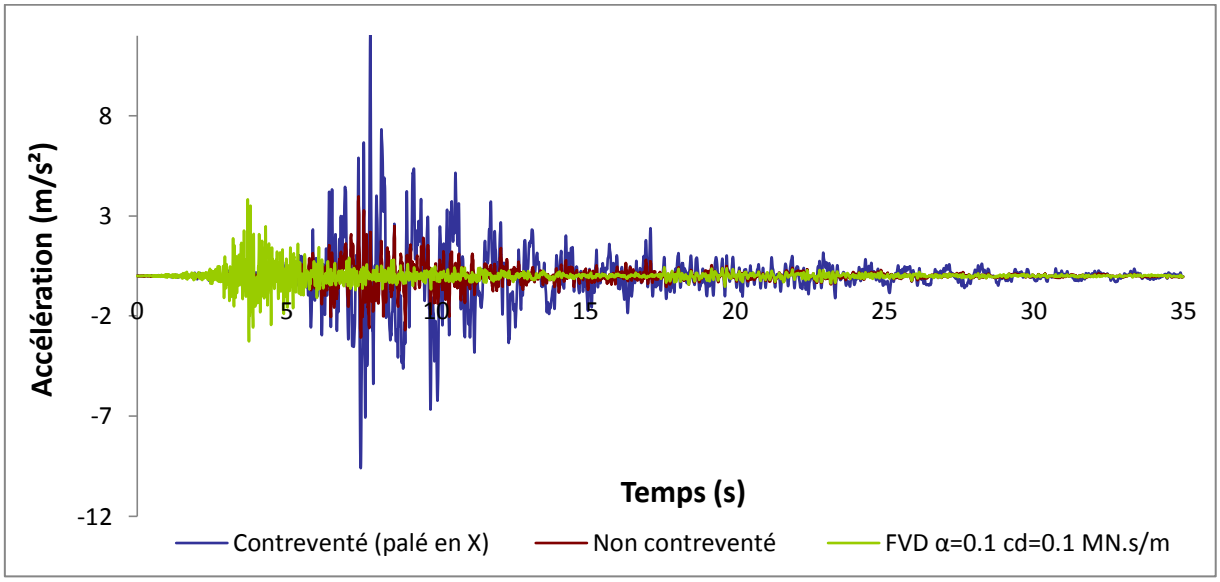


Figure 4.25 : Réponse temporelle de l'accélération.

4.5.2. Variation de l'effort tranchant à la base en fonction du temps.

L'analyse de la figure 4.26 montre que l'amortisseur FVD donne une valeur très importante de l'effort tranchant à la base par rapport aux deux structures auto stable et contreventées par palé en X, avec des taux de pourcentages qui sont les suivants **27,73%**et **-90,69%.**

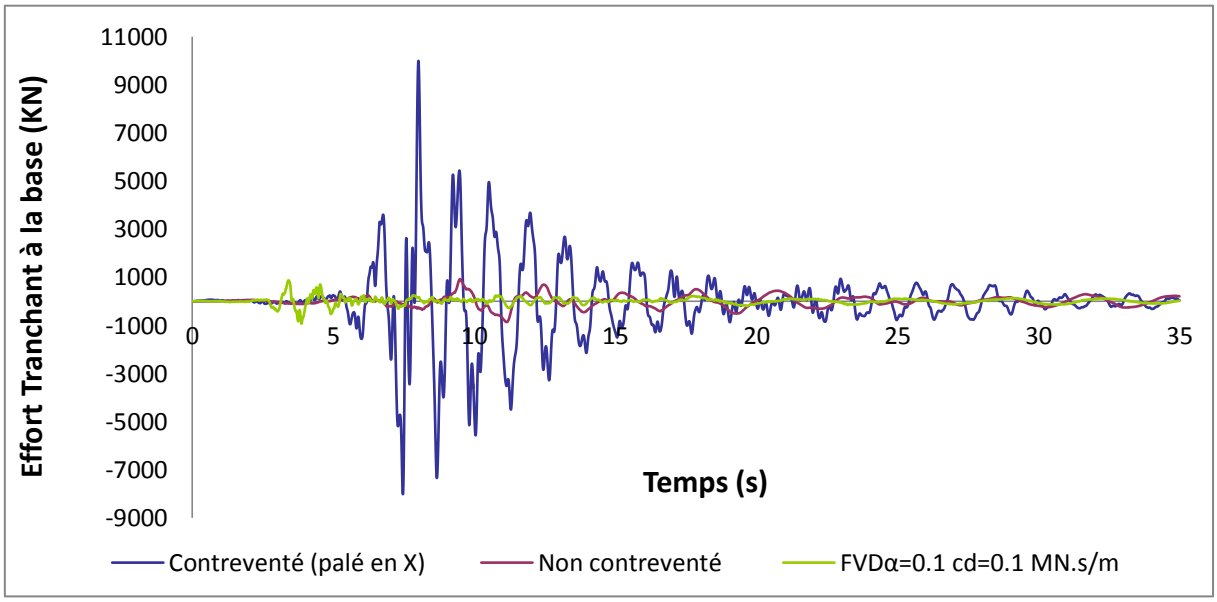


Figure 4.26: Réponse temporelle de l'effort tranchant à la base.

4.4.3. Variation des sollicitations en fonction du temps.

Les sollicitations maximales des éléments les plus sollicités pour la structure amortie sont comparées à celles des deux structures, l'une contreventée et l'autre non contreventée.

Les courbes des (figure 4.27, figure 4.28, figure 4.29) illustrent les variations temporelles de l'effort normal, l'effort tranchant et le moment fléchissant.

L'analyse de la (figure 4.27) montre une forte diminution pour le systèmed'amortissement FVD pour atteindre une valeur de **-20,84%** en effort normal par rapport à la structure non contreventée, et de **-99,28%** par rapport à celle contreventée.

L'effort tranchant du dispositif FVD (figure 4.28) diminue considérablement d'unevaleur de **-24,62%** par rapport à la structure auto-stable, et de **-79,49%** par rapport à cellecontreventée.

En dernier le moment fléchissant (figure 4.29) par une valeur de **-24,34%** par rapport la structure non contreventé, et par **-76,52%** par rapport à celle contreventée.

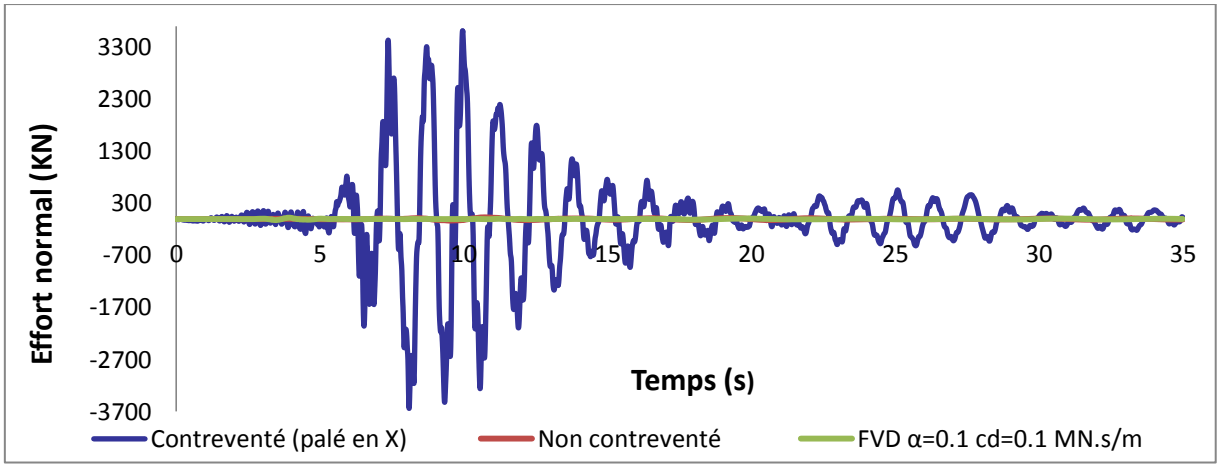


Figure 4.27: Réponse temporelle de l'effort normal.

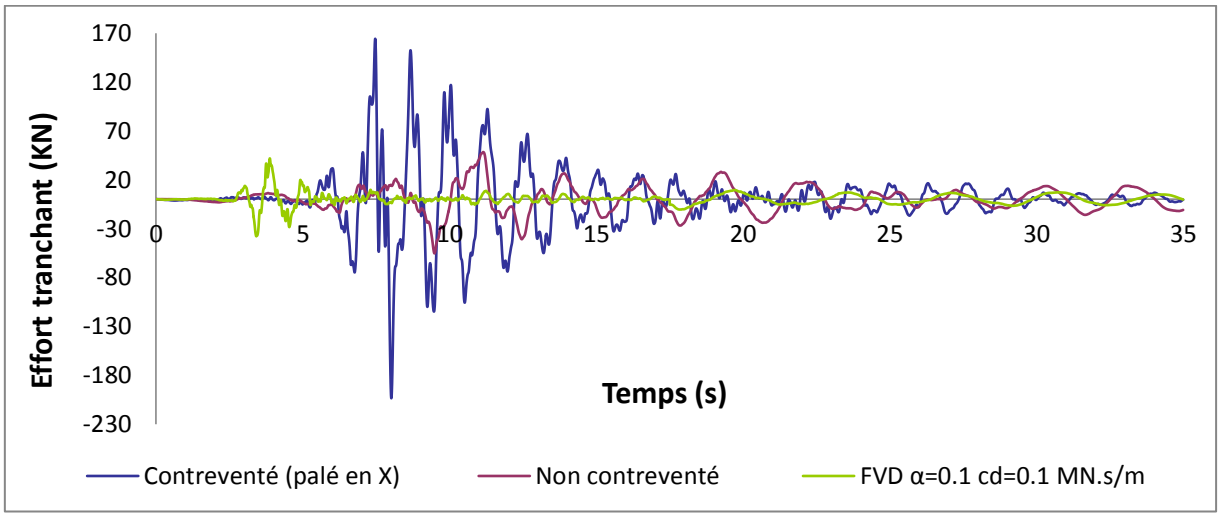


Figure 4.28: Réponse temporelle de l'effort tranchant.

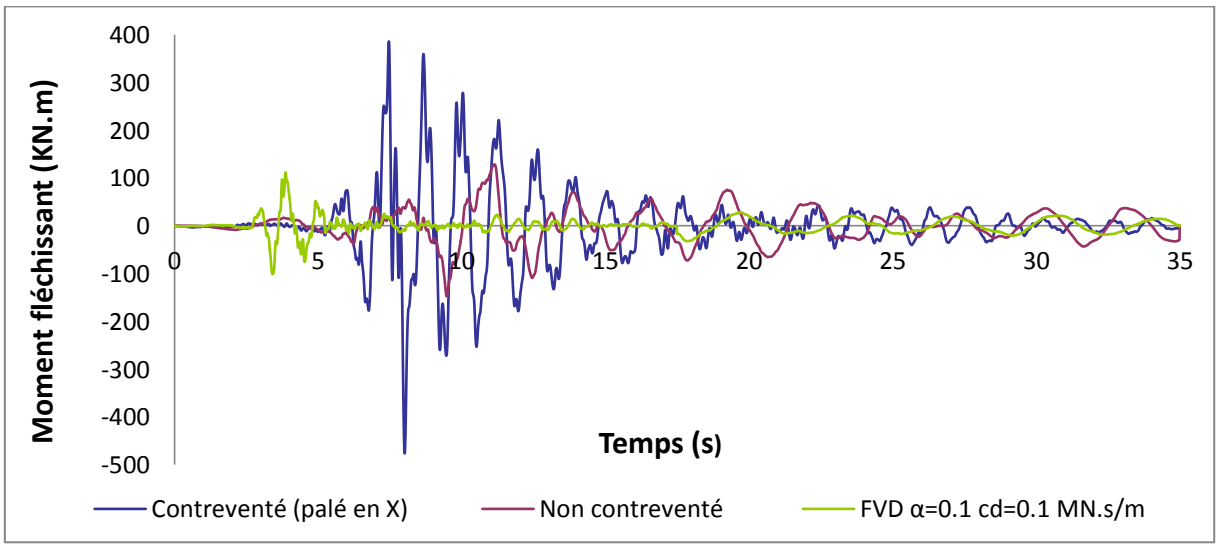


Figure 4.29: Réponse temporelle du moment fléchissant.

4.5.4. La variation du taux d'amortissement ξ_d en fonction du coefficient C_d

Le taux d'amortissement ξ_d a été tracé en fonction du coefficient d'amortissement C_d pour différentes valeurs de l'exposant de non-linéarité α (Fig.4.30). La courbe montre clairement que les amortisseurs FVD non-linéaires avec $\alpha \leq 0{,}5$ affichent des taux de dissipation importants correspondants à de faibles grandeurs du coefficient C_d, ce qui est à l'opposé des systèmes linéaires $\alpha > 0{,}5$ qui ont besoin d'un plus grand coefficient d'amortissement pour atteindre la même performance. D'un autre côté, le taux d'amortissement dépend de l'amplitude du mouvement pour les amortisseurs non-linéaires. Une augmentation du coefficient d'amortissement implique une diminution des déplacements qui se traduit par une amélioration rapide de (ξ_d) (courbes pour $\alpha = 0.1$ et $\alpha = 0.5$) jusqu'à ce que le pic correspondant à un maximum de dissipation d'énergie sismique soit atteint. Au-delà de ce pic présentant une performance optimale, l'augmentation du coefficient d'amortissement $C_d$ne sera pas bénéfique pour la structure mais risque d'accroître la réponse et réduit par conséquent le taux de dissipation dans cette dernière.

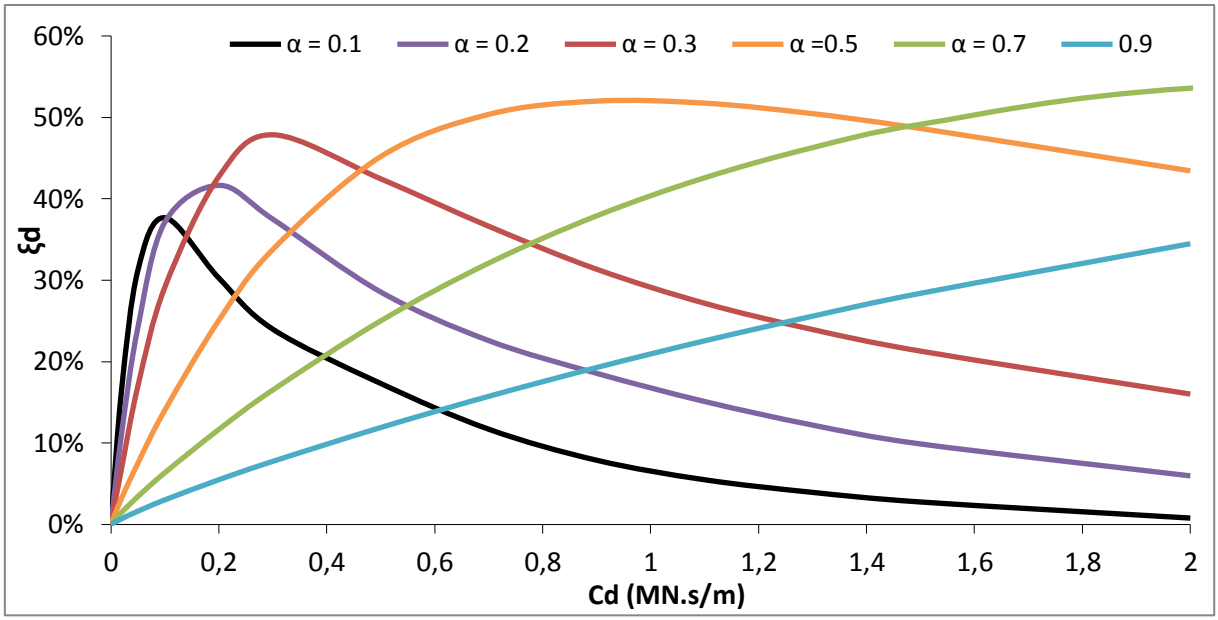


Figure 4.30 : Taux d'amortissement ξ_d en fonction du coefficient Cd.

4.6. La variation du taux d'amortissement en fonction de α, ξd et la hauteur de la structure

Le tableau 4.1 présente les différents résultats du taux d'amortissement en variant le coefficient d'amortissement avec le facteur d'amortisseur FVD.

D'après ces résultats on remarque que lorsque α est inférieur à 0.5 la hauteur de la structure n'a pas une influence sur la valeur du taux d'amortissement par contre pour une valeur de α supérieure à 0.5 le taux d'amortissement commence à augmenter en fonction de la hauteur.

R+4			R+6			R+8		
α	C_d	ξ_d%	α	C_d	ξ_d%	α	C_d	ξ_d%
0,1	0,1	39,88	0,1	0,1	38,03	0,1	0,1	37,68
0,2	0,2	43,88	0,2	0,2	42,26	0,2	0,2	41,65
0,3	0,3	50,00	0,3	0,3	47,70	0,3	0,3	47,87
0,5	0,7	58,27	0,5	0,9	54,51	0,5	0.9	52,01
0,7	1,5	62,19	0,7	2	58,25	0,7	3	55,60
0,9	4	63,62	0,9	6	60,00	0,9	9	57,06

Tableau 4.1 : la variation du taux d'amortissement en fonction de α, $C_d$et la hauteur de la structure

La figure 4.31 montre clairement la variation du taux d'amortissement en fonction de la hauteur pour des α > 0,5 qui demande un coefficient C_d important et par conséquent un taux d'amortissement élevé.

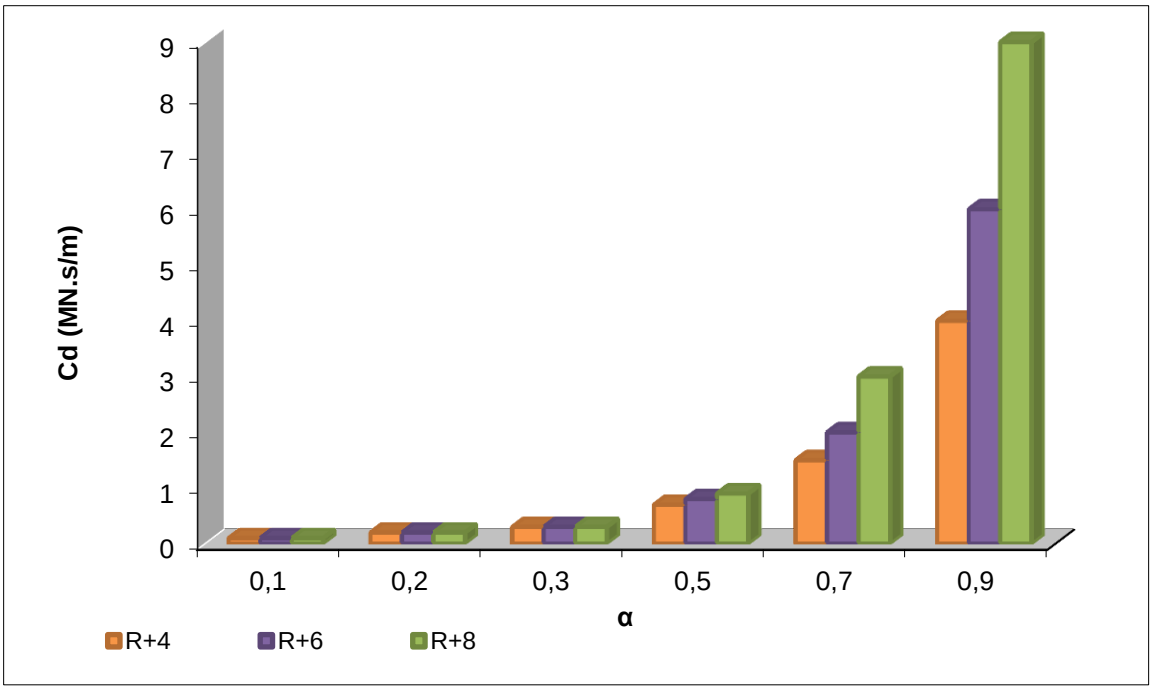


Figure 4.31 : la variation du taux d'amortissement en fonction de α, $C_d$et la hauteur de la structure

4.7. Conclusion

Dans ce chapitre on a modélisé l'amortisseur à fluide visqueux puis recherché les paramètres de rigidité et de la force de frottement. Par la suite, on a fait une analyse pour trouver lesvariations des réponses temporelles citées ci-dessus, en comparant ces derniers avec celles des structures contreventées et non contreventées.

Pour la structure R+4 :

- Le déplacement a diminué de -57,89%, l'effort tranchant à la base a diminué de -80,39%, au moment même l'accélération diminue considérablement de-74,60%.

Pour la structure R+6 :

- Le déplacement a diminué de -58,57%, l'effort tranchant à la base de -74,46%, au moment même l'accélération diminue considérablement de-46,88%.

Pour la structure R+8 :

- Le déplacement a diminué de -76,17%, l'effort tranchant à la base de -90,69%, au moment même l'accélération diminue considérablement de-68,33%.

Les résultats obtenus ont révélés que l'utilisation des amortisseurs à fluides visqueux a bien joués son rôle dans la diminution des réponses dynamiques de la structure.

Rapport-Gratuit.com

Conclusion générale

Les pertes inestimables des vies humaines et des dégâts matériels occasionnés par les séismes viennent à chaque fois nous confirmer les insuffisances de nos pratiques de conception. A cet effet, les chercheurs sont appelés à limiter au maximum les dégâts tout en cernant le mieux possible tous les facteurs influençant la réponse sismique de la structure. Plutôt que de renforcer et de rigidifier la structure afin d'affronter les actions sismiques.

Il s'agit de s'y opposer de manière contrôlée en produisant des forces de réaction adaptées lorsque ces actions se produisent. Cet objectif est atteint par l'ajout des amortisseurs à fluide visqueux étudiés analytiquement et expérimentalement pour des applications structurelles dans le but d'améliorer leur réponse sismique.

Dans ce travail on a étudié l'impact de la non-linéarité des amortisseurs à fluide visqueux sur le comportement des bâtiments sous sollicitations sismiques en faisant varié la hauteur en fonction de coefficient de comportement non-linéaire α et le coefficient d'amortissement C_d, afin de vérifié si le taux d'amortissement dépend de la hauteur et comparé les résultats avec celles des structures contreventées avec palés en X et non contreventées.

En fin, nous avons pu conclue que les FVD ont améliorés la réponse dynamique de la structure par la diminution du déplacement, l'effort tranchant à la base et le moment et que la hauteur n'a pas d'impact que pour un coefficient $\alpha > 0,5$.

Comme prochaines perspectives de notre travail, notre souhait est que d'autres travaux seront menées en variant la géométrie de la structure d'une forme L ou en U, et aussi introduire ces dispositifs d'amortissements dans les règlements algériens tel que le RPA.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] : **ABDELHAMID.F** Influence du type de contreventement sur les structures en acier en zone sismique. Université Hadj Lakhdar-Batna.

[2] : **Belkhair, M, A**. Influence de la disposition des voiles sur la performance sismique des bâtiments. Mémoire de Magister en génie civil, Université de Tizi-Ouzou (2012).

[3] : **BOUKHARI.B, BANGUEDIH.O**. Analyse des capacités dissipatives des Systèmes de contreventements des structures métalliques. Tlemcen : université Aboubakr Belkaid, master 2, 2012.

[4]: **Finley Charney. A**, SEISMIC PROTECTIVE SYSTEMS: PASSIVE ENERGY DISSIPATION Virginia Polytechnic Institute & State University.2001

[5]: **Julius Marko** may 2006 Influence of Damping Systems On Building Structures Subject to Seismic Effects.

[6]: Le séisme et les bâtiments «http://www.planseisme.fr/IMG/pdf/3._Le_seisme_et_les_batiments.pdf »

[7] : **Majid, A**. Dissipation de l'énergie en mécanique vibratoire. Thèse de doctorat en mécanique, INSA, Lyon (2002).

[8] : **MELOUKA. M, KALFAT. A** Analyse des capacités dissipatives des structures en acier par amortisseurs. Mémoire de Master en génie civil, Université de Tlemcen 2015.

[9] **:NAIT ZERRAD,I BENMOUNA, N** Analyse de l'effet des systèmes de dissipation passive dans le contreventement des bâtiments Mémoire de Master en génie civil, Université de Tlemcen 2014.

[10]:**Rais. S, Ounis. O and Chebili. R**. STUDY AND MODELLING OF DYNAMIC BEHAVIOUR OF STRUCTURES WITH ENERGY DISSIPATION DEVICES TYPE ADAS. 2nd Turkish Conference on Earthquake Engineering and Seismology – TDMSK 2013 September 25-27, 2013, Antakya, Hatay/Turkey.

[11] : **RAS.A** Etude du comportement des structures en acier sous sollicitations sismiques contreventées par amortisseurs à fluides visqueux. Thèse de Doctorat en génie civil, Université Aboubakr Belkaid Tlemcen 2015.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

[12] : Règlement parasismique algérien « RPA 99 version 2003 » MINISTERE DE L'HABITAT ET DE L'URBANISME, (Algérie)

[13] : Règlement Neige et Vent (version 2013) MINISTERE DE L'HABITAT ET DE L'URBANISME DE LA VILLE, (Algérie)

[14]Syman M., D., & Constatinou, M., C. Passive fluid viscous passive systems for seismic energy dissipation. ISET journal of Earthquake Technology, V. 35, N° 4, pp. 185-206, (1998).

[15]Sleemah, A., A., & Constantinou, M., C. Investigation of seismic response of structures of buildings with linear and nonlinear fluid viscous dampers. Tech Rep. NCEER-97- 0004, National Centre for Earthquake Engineering Research, University of Buffalo, N. Y. USA, (1997).

[16]: Uang C., M., & Bertero, V., V. Evaluation of seismic energy in structures. Earthquake Engineering and structure dynamics, V. 19, pp. 77-90, (1990).

[17]: **Yi-Jer Yu, Chao-Hsien Li, Yuan-Tao Weng and Ching-Yi Tsai**. Analytical predictions for shaking table tests of a full scale steel frame using seismic dampers.

Résumé.

Ce mémoire de fin d'étude est basé sur la détermination de l'influence des systèmes à dissipation d'énergie passive par amortisseurs à fluide visqueux-non linéaires (FVD) sur les réponses dynamiques maximales des portiques en acier. Ces derniers sont caractérisés par un comportement visqueux pur et dépendent d'une relation force vitesse linéaire et non-linéaire. Afin de démontrer la capacité de limiter la ductilité et réduire les déplacements causés par le séisme de ce dispositif, des analyses ont été effectuées sur trois cas de bâtiments métalliques qui ont des hauteurs de R+4, R+6 et R+8 équipés par les dispositifs à fluide visqueux non-linéaires. Des calculs ont été réalisés par le logiciel SAP 2000 en utilisant la méthode d'analyse temporelle non-linéaire rapide (FNA). Les résultats obtenus ont démontré la capacité de ces dispositifs à réduire la réponse structurale des portiques étudiés ainsi que l'influence de la hauteur pour des facteurs de non-linéarité α supérieur à 0,5 dans le dimensionnement de ces isolateurs dans le but de l'obtention d'une dissipation d'énergie optimale.

Mots clés : Structure, amortisseur à fluide visqueux, facteur de non-linéarité, contreventement, SAP 2000

Abstract

This final study memory is based on the determination of the effects the passive energy dissipation systems by the non-linear viscous fluid dampers (FVD) on the maximal dynamic responses of steel frames. They are characterized by a pure viscous behavior and depend on a linear and non-linear force speed relation. In order to demonstrate the capacity of limiting the ductility and reducing the displacements caused by earthquake of this device, some analyzes were done on three cases of steel buildings which have the heights of R+4, R+6 et R+8 and equipped by non-linear viscous fluid devices. Calculations were executed by SAP 2000 software by using the method of rapid non-linear temporal analysis (FNA). The results obtained have demonstrated the capacity of those devices of reducing the structural response of studied frames and also the effects of the height for non-linear factors α higher than 0,5 in the dimensioning of those isolators in a purpose of obtaining a dissipation of optimal energy.

Key Words: structure, viscous fluid damper, non-linear factor, bracing, SAP 2000.

ملخص

هذه المذكرة تستند على تحديد آثار أنظمة التبديد للطاقة السلبية عن طريق الخوامد اللزجة اللاخطية في تحسين الردود الديناميكية القصوى للإطارات المعدنية. هذه الاخيرة مميزة بعلاقة قوة مقابل السرعة الخطية و اللاخطية و ذات سلوك لزج تام. من اجل برهنة قدرة تحديد ليونة تخفيض الانتقالات الناتجة عن الزلزال، دراسات انجزت على ثلاثة انواع من المباني المعدنية بالارتفاعات التالية ط.ا+4، ط.ا+6، ط.ا+8، مدعمة بخوامد لزجة لاخطية. الحسابات انجزت بواسطة ساب الفين باستعمال طريقة التحليل الديناميكي الزمني اللاخطي السريع (FNA). النتائج المتحصل عليها بينت قدرة هذه الخوامد في تخفيض ردود الاطارات المدروسة و تأثير ارتفاع البناية عندما يكون عامل اللا خطية اكبر من 0،5 من اجل تبديد الطاقة السلبية.

الكلمات المفتاحية : هيكل، خوامد لزجة، عامل اللاخطية، عضو التكثيف، ساب الفين.