

UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA

Faculté de Technologie

MEMOIRE DE MAGISTER

En Génie Civil

Spécialité : construction

**EVALUATION DE LA REPONSE DYNAMIQUE DES
BATIMENTS DE HAUTEUR MOYENNE MUNIS DE SYSTEME
D'ISOLATION SISMIQUE**

Par

BOKRETA Abdelkadir

Devant le jury composé de

BOURAHLA Nouredin	Professeur, Universite Saad Dahlab de Blida	Président
BENSAIBI Mahmoud	Professeur, Universite Saad Dahlab de Blida	Examineur
HADID Mohamed	Professeur, Ecole Nationale des Travaux Publics	Examineur
ABED Mohamed	Professeur, Universite Saad Dahlab de Blida	Rapporteur

Blida, Novembre 2012

ملخص

الزلازل ظاهرة طبيعية ينجم عن جرائها طاقة زلزالية تتسبب في اهتزازات على مستوى الطبقات العلوية للقشرة الأرضية و التي قد تكون أحيانا مدمرة للبنىات.

و لتفادي ه ذه الخطورة و حفاظا على سلامة البنىات, جاءت عدة تقنيات لعزل هذه الأخيرة عن الأرض, هدفها الأساسي هو تبديد الطاقة الزلزالية.

ه ذا العمل يدرس الاستجابة الحركية للبنىات متوسطة العلو و المدعمة بنظام عزل الزلازل على مستوى الأساس.

كما نقدم نبذة تاريخية عن تقنية عزل الزلازل, مبادئها و أسسها النظرية و كذلك باختصار نظرة عن تصميم بعض العوازل الزلزالية و لقد بإجراء مقارنة لبناية بنظام العزل و بدونه و ذلك لإثبات دور الأخير و نختم عملنا بدراسة عن تأثير نوعية العوازل على الاستجابة الحركية للبنىات.

RESUMÈ

Le mouvement du sol est communiqué aux constructions par l'intermédiaire de leurs fondations, donc si le sol pouvait se déplacer librement sous les ouvrages, ce mouvement ne pourrait leur être transmis. Dans ce contexte l'idée de disposer entre le sol et les bâtiments un filtre, permettant de dissiper le maximum d'énergie, s'est développée ces dernières décennies sous l'appellation d'isolation parasismique (seismic base isolation).

Ce travail traite la réponse dynamique des structures d'hauteur moyenne équipées par un system d'isolation parasismique à la base.

On a présenté une revue historique de l'isolation sismique, les principes et fondements théoriques de cette discipline ainsi qu'une brève revue sur la conception des quelques principaux appuis parasismiques. En plus, nous avons fait une étude comparative sur un bâtiment avec et sans le système d'isolation pour objet de mettre en évidence le rôle de ce dernier, et finalement une étude sur l'influence des types d'appuis sur la réponse dynamique des bâtiments.

ABSTRACT

An earthquake ground motion is transmitted to a structure through foundations, therefore if the ground moves freely beneath the structures, the ground shaking motion might not be transmitted to the superstructure. In this context, the idea of placing a filter between the ground and the buildings for the purpose to dissipate a maximum of the seismic energy has been developed during the last decades and its name is seismic base isolation.

This work treats the dynamic response of low and middle-rise buildings equipped by seismic base isolation.

We have presented a historical review of the seismic insulation, its principles and theoretical bases of this discipline as well as a brief review of the conception of some major seismic bearing. To clarify and highlight more the role of the insulation system, we have done a comparative study on a building with and without the insulation system; finally in the last chapter we have treated the influence of the bearing types on the dynamic response of the buildings.

REMERCIEMENTS

Au terme de travail je tiens à remercier en premier lieu dieu miséricordieux qui m'a donné la force à achever cette réalisation et nous lui rendons grâce.

Je tiens à remercier le professeur ABED Mohamed, pour m'avoir dirigé et suivi, et pour ses précieux conseils, qu'il n'a cessé de me prodiguer.

Je remercie également tous les membres de jury pour avoir accepté d'examiner ce mémoire.

Mes remerciements vont à tous les enseignants du département de génie civil.

Enfin, je remercie toute personne, qui de près ou de loin ont m'aidé à la réalisation de ce mémoire.

TABLE DES MATIERES

RESUME.....	02
REMERCIEMENTS.....	05
TABLE DES MATIERES.....	06
LISTE DES FIGURES.....	10
LISTE DES TABLEAUX	12
INTRODUCTION	13
1. PRINCIPE ET CONCEPT.....	15
1.1 Introduction.....	15
1.2 Aperçu historique.....	15
1.3 Systèmes de contrôle.....	17
1.3.1 Systèmes de contrôle passif.....	17
1.3.1.1 Dissipation d'énergie.....	18
1.3.1.2 Amortisseurs Hystérétiques.....	18
1.3.1.3 Amortisseurs Visqueux.....	18
1.3.1.4 Amortisseurs à Frottement.....	18
1.3.2 Les systèmes de contrôle actif.....	19
1.4 Principes et concepts des Isolations parasismiques.....	21
1.4.1 Application d'Isolation parasismique.....	22
1.4.2 Les type des Appuis parasismiques.....	23
1.4.2.1 Appuis Élastomères.....	24
1.a Appuis en caoutchouc d'amortissement élevé (HDRB).....	25
1.b Appuis en caoutchouc fretté avec amortisseur en barreau de plomb (LRB).....	25
1.4.2.2 Appuis Glissants.....	26
1.a Roulements Coulissants Plats.....	27
1. b Appuis en pendule glissant.....	27
1.4.2.3 Appuis Élastomères et Glissants.....	28
1.5 Méthodes de calcul des constructions isolées.....	29

1.5.1 Méthodes statique.....	29
1.5.1.1 Calcul des déplacements.....	29
1.5.1.2 Calcul du déplacement total.....	31
1.5.1.3 Calcul des forces sismiques.....	32
1.5.1.4 Distribution verticale de la force sismique.....	32
1.5.1.5 Déplacements inter étages.....	33
1.5.2 Méthode dynamique.....	33
1.5.2.1 Calcul des déplacements.....	33
1.5.2.2 Calcul des forces latérales.....	33
1.5.2.3 Déplacement inter étages.....	33
1.6 Conclusion.....	35
2. CONCEPTION DES APPUIS PARASISMIQUES.....	36
2.1 Introduction.....	36
2.2 Critères de conception pour les appuis parasismiques.....	36
2.2.1 Conception des appuis en élastomère fretté, ayant un amortissement élevé.....	37
2.2.1.1 Organigramme de conception pour des HDRBs.....	37
2.2.1.2 Vérification des conditions de résistance et de stabilité.....	41
2.2.2 Conception des appuis en caoutchouc fretté avec amortisseur en barreau de plomb (LRB).....	45
2.2.2.1 Procédure de conception des LRBs.....	45
2.2.2.2 Vérification des conditions de résistance et de stabilité.....	47
2.2.3 Conception des appuis en pendules glissants.....	48
2.3 Conclusion.....	49
3. ETUDE COMPARATIVE D'UNE STRUCTURE AVEC ET SANS LE SYSTEME D'ISOLATION.....	50
3.1 Introduction.....	50
3.2 Description de bâtiment.....	50
3.3 Matériaux.....	52
3.4 Charges.....	52
3.4.1 Plancher.....	52
3.4.2 Escalier.....	53
3.5 Charges sismique.....	53

3.6 Description de l'excitation sismique	53
3.7 Etude de la structure encastrée	54
3.7.1 Modélisation.....	54
3.7.2 Caractéristiques dynamiques propres.....	55
3.7.3 Les déplacements.....	55
3.7.4 Les accélérations.....	57
3.7.5 L'effort tranchant.....	59
3.8 Etude de la structure isolée	61
3.8.1 Dimensionnement des systèmes d'isolations.....	61
3.8.2 Conditions de résistance et de stabilité.....	64
3.8.3 Modélisation.....	65
3.8.4 Caractéristiques dynamiques propres.....	66
3.8.5 Les déplacements.....	67
3.8.6 Les accélérations.....	70
3.8.7 Les efforts tranchants.....	73
3.9 Etude comparative	74
3.9.1 Caractéristiques dynamiques propres.....	74
3.9.2 Les déplacements.....	75
3.9.3 Les déplacements inter étages.....	77
3.9.4 Les accélérations.....	78
3.9.5 Les accélérations inter étages.....	79
3.9.6 Les efforts tranchants.....	80
3.10 Conclusion	81
4. L'INFLUENCE DU TYPE DE SYSTEME D'ISOLATION SUR LA REPONSE DYNAMIQUE DES STRUCTURES ISOLEES	83
4.1 Introduction	83
4.2 Description et dimensionnement des systèmes d'isolation	83

4.2.1 Les appuis en élastomère fretté ayant un amortissement élevé (HDRB)....	83
4.2.2 Les appuis en pendules glissants.....	83
4.3 Etude comparative.....	85
4.3.1 Période.....	85
4.3.2 Les déplacements.....	85
4.3.3 Les accélérations.....	88
4.3.4 Les efforts tranchants.....	89
4.4 Conclusion.....	90
CONCLUSION GENERALE.....	91
REFERENCES.....	

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1: Eléments de système du contrôle passif.....	17
Figure 1.2: Eléments du système de contrôle actif.....	20
Figure 1.3 : structure isolée.....	22
Figure 1.4 : structure encastrée.....	22
Figure 1.5: Les appuis élastomères soumis à l'essai dynamique de cisaillement.....	25
Figure 1.6: Appuis élastomères frettés avec amortisseur en barreau de plomb.....	26
Figure 1.7: Assemblage des Roulements Coulissants Plats.....	27
Figure 1.8: Assemblage d'Appuis en pendule glissant.....	28
Figure 1.9 : Dimensions en plan pour la détermination du déplacement total.....	31
Figure 1.10: déplacements du système d'isolation.....	32
Figure 2.1: La section transversale et la surface libre de l'appui.....	39
Figure 2.2: Section réduite de l'appui.....	39
Figure 2.3: Position de l'appui sous la charge sismique.....	43
Figure 2.4: Organigramme de conception des HDRBs.....	44
Figure 3.1: Façade principale.....	51
Figure 3.2: Vue en plan.....	51
Figure 3.3: Vue en élévation.....	52
Figure 3.4 : Accélérogramme de la composante (E-W)	53
Figure 3.5 : Accélérogramme de la composante N-S.....	55
Figure 3.6: Vue en 3D le model d'élément finie.....	54
Figure 3.7: La réponse en déplacement du dernier niveau suivant X.....	56
Figure 3.8: La réponse en déplacement du dernier niveau suivant Y.....	56
Figure 3.9: La réponse en déplacement des deux derniers niveaux suivant X.....	57
Figure 3.10: La réponse en déplacement des deux derniers étages suivant Y.....	57
Figure 3.11: La réponse en accélération du dernier niveau suivant X.....	58
Figure 3.12: La réponse en accélération du dernier niveau suivant Y.....	58
Figure 3.13: La réponse en accélération des deux derniers étages suivant X.....	59
Figure 3.14: La réponse en accélération des deux derniers étages suivant Y.....	59
Figure 3.15: Effort tranchant à la base suivant X.....	60
Figure 3.16: Effort tranchant à la base suivant Y.....	60
Figure 3.17: vue en élévation de la structure isolée.....	65
Figure 3.18: La réponse en déplacement de l'appui suivant X.....	67
Figure 3.19: La réponse en déplacement de l'appui suivant Y.....	67
Figure 3.20: La réponse en déplacement du dernier niveau suivant X.....	68
Figure 3.21: La réponse en déplacement du dernier niveau suivant Y.....	68
Figure 3.22: La réponse en déplacement des deux derniers étages suivant X.....	69
Figure 3.23: La réponse en déplacement des deux derniers niveaux suivant Y.....	69

Figure 3.24: La réponse en accélération à la base suivant X.....	70
Figure 3.25: La réponse en accélération à la base suivant Y.....	70
Figure 3.26: La réponse en accélération du dernier niveau suivant X.....	71
Figure 3.27: La réponse en accélération du dernier niveau suivant Y.....	71
Figure 3.28: La réponse en accélération des deux derniers niveaux suivant X.....	72
Figure 3.29: La réponse en accélération des deux derniers niveaux suivant Y.....	72
Figure 3.30: Effort tranchant à la base suivant X.....	73
Figure 3.31: Effort tranchant à la base suivant Y.....	73
Figure 3.32: La réponse en déplacement du dernier niveau de la structure avec et son le system d'isolation suivant X.....	76
Figure 3.33: La réponse en déplacement du dernier niveau de la structure avec et son le system d'isolation suivant Y.....	76
Figure 3.34: Les réponses en déplacements des deux dernier niveaux de la structures (encastrée/isolée).....	77
Figure 3.35: La réponse en accélération du dernier niveau de la structure avec et son le system d'isolation suivant X.....	78
Figure 3.36: La réponse en accélération du dernier niveau de la structure avec et son le system d'isolation suivant Y.....	78
Figure 3.37: Les réponses en accélérations des deux dernier niveaux de la structures (encastrée/isolée).....	79
Figure 3.38: Effort tranchant a la base de la structure avec et son le system d'isolation suivant X.....	80
Figure 3.39: Effort tranchant a la base de la structure avec et son le system d'isolation suivant Y.....	80
Figure 4.1: Les réponses en déplacements a la base de la structure isolé par les deux system d'isolation (HDRB/pendule glissant).....	86
Figure 4.2: Les réponses en déplacements du dernier niveau de la structure isolé par les deux system d'isolation (HDRB/pendule glissant).....	87
Figure 4.3: Les réponses en accélération du dernier niveau de la structure isolé par les deux system d'isolation (HDRB/pendule glissant).....	88
Figure 4.4: Les efforts tranchants a la base de la structure isolé par les deux system d'isolation (HDRB/pendule glissant).....	89

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1: coefficient de proximité de la faille N.....	30
Tableau 1.2 : coefficient caractérisant le type de sol.....	30
Tableau 1.3: coefficient d'amortissement B_D ou B_M	31
Tableau 1.4: Valeurs minimales de l'analyse dynamique données en fonction des valeurs de l'analyse statique.....	34
Tableau 2.1: Relation de la dureté de caoutchouc et des constantes matérielles.....	39
Tableau 3.1: Périodes et fréquences modales.....	55
Tableau 3.2 : Tableau récapitulatif des résultats obtenus.....	61
Tableau 3.3: Périodes et fréquences modales.....	66
Tableau 3.4 : Tableau récapitulatif des résultats obtenus.....	74
Tableau 3.5 : Caractéristiques dynamiques propres.....	75
Tableau 3.6 : Tableau récapitulatif des résultats obtenus.....	80
Tableau 4.1: Tableau récapitulatif des résultats obtenus.....	90

INTRODUCTION

Les graves tremblements de terre survenus au cours des années, ont pu mettre en relief l'importance du génie parasismique pour prévenir ou du moins pour limiter les dommages que les constructions subissent suite aux mouvements du sol, autrement dit réduire le risque sismique sur les constructions.

L'isolation sismique à la base consiste à découpler le mouvement du sol du mouvement de la structure dans le but de réduire les forces transmises à cette dernière. Les forces sismiques exercées sur la structure isolée sont typiquement de l'ordre de 3 à 10 fois plus petites que la demande en force sur la structure non isolée. L'isolateur capte les déformations (inélastiques) et filtre les accélérations (hautes fréquences) de sorte que la superstructure isolée (au dessus) se déplace essentiellement selon un mode rigide subissant de faibles accélérations et presque pas de déformations. Par conséquent, les forces d'inertie transmises aux éléments de fondations sont limitées et demeurent en deçà de la capacité élastique de tels éléments. Ce comportement se traduit par la limitation des dommages subis par la superstructure et les éléments de fondation et par la préservation de la fonctionnalité de la structure après le séisme.

Le but de ce travail consiste à étudier la réponse dynamique des bâtiments de moyenne hauteur munis d'un système d'isolation parasismique. Nous nous focaliserons plus particulièrement sur un cas d'étude concret, en l'occurrence le bâtiment constituant le siège du CTC (Contrôle Technique des Constructions) localisé dans la commune d'Ain Defla. Une comparaison de la réponse dynamique du bâtiment est dressée entre les structures sans et avec systèmes d'isolation sismique. Le séisme modélisé correspond à l'accélérogramme enregistré à Dar El Beida lors du séisme de Boumerdès 2003. Enfin, nous terminerons par une étude paramétrique concernant l'influence des types d'appuis.

Nous avons scindé ce travail comme suit :

Dans le premier chapitre, une recherche bibliographique est effectuée afin d'acquérir des connaissances approfondies sur les différents types d'appuis parasismiques, le principe d'isolation ainsi que les méthodes de calcul des structures isolées.

Le deuxième chapitre présente le prédimensionnement de quelques appuis parasismique et leurs conceptions.

Le troisième chapitre fait l'objet de l'analyse du bâtiment sur appuis parasismiques, calcul du même bâtiment sans appuis et la comparaison des résultats.

Le dernier chapitre est consacré à l'étude d'influence des types d'appuis sur la réponse dynamique du bâtiment.

Enfin, pour clore notre travail nous présenterons une conclusion générale où nous rassemblerons tous les points importants de notre étude et nous donnerons quelques perspectives pouvant servir de point de départ à un nouveau sujet de recherche.

CHAPITRE 1

PRINCIPE ET CONCEPT

1.1 Introduction :

Une perception commune sur la façon de résister à une force de tremblement de terre est en renforçant la structure. La stratégie traditionnelle de la conception est basée sur l'augmentation de la capacité et de la rigidité des structures pour s'adapter aux forces latérales prévisibles peut ne pas être la solution la plus efficace. Le problème avec le dernier est que toutes les forces sismiques de la base seront absorbées par la superstructure. La technique d'isolation à la base est exactement l'opposé de la stratégie traditionnelle de la conception.

Le système d'isolation à la base protège un bâtiment contre les effets préjudiciables d'un mouvement sismique. Si la structure est séparée de la terre pendant un tremblement de terre, la terre se déplace mais la structure est encore dormante. Cependant, ce scénario n'est pas réaliste. La technologie courante qui est en activité et en extension ; est une introduction d'un appui à une faible rigidité latérale qui isole la structure au mouvement du sol. Cette technologie a été introduite en 1900; mais n'a été transformée en stratégie pratique pour les conceptions parasismiques que les années soixante dix.

1.2 Aperçu historique :

Les tremblements de terre sont des menaces normales; dont leur grandeur peuvent être désastreuses. Pour des structures des régions de sismicité très élevée, le chargement de tremblement de terre est considéré le plus significatif, et probablement la charge externe la plus destructive. Aujourd'hui, l'avancement technologique nous permet de contrôler les conséquences et les risques des tremblements de terre graves. Malheureusement, l'avancement de la conception et de la technologie de la construction est partiellement basé sur une expérience acquise après l'occurrence des tremblements de terre fatals avec des dommages et

les pertes produisent sur des vies humaines. Les tremblements de terre graves ont toujours comme conséquence des dégâts indésirables, même dans le cas des structures conçues avec les codes sismiques les plus conservateurs et les plus rigoureux. [1]

Le génie parasismique est une discipline des sciences récentes, on a coutume de dater sa naissance des années soixante, décennie au cours de laquelle des vastes programmes de recherche furent initiés tant aux Etats Unis qu'au Japon [2].

De nos jours les méthodes de conception parasismique contribuent à la protection des structures; ont connu un grand départ dans la plupart des pays et l'isolation parasismique est certainement l'innovation la plus importante dans le domaine du génie parasismique.

Comme il a été déjà mentionné. L'idée d'isoler les structures à la base est ancienne puisque après le séisme de TOKYO en 1923 des études dans ce sens ont été entreprises mais elles restèrent lettre morte faute de renseignements concernant le mouvement sismique ainsi que le non développement des méthodes d'analyse dynamique [3]. Plus tard, les recherches connaissent à nouveau un épanouissement à la Nouvelle Zélande au début des années 1970 [5].

Les premières applications pratiques de l'isolation parasismique au Japon et aux Etats Unis furent commencées au début des années 1980 [4], par ailleurs, les premières démonstrations de la construction isolée au Japon et aux USA, furent réalisées respectivement en 1982 [5] et en 1985 [6].

En France, des recherches dans ce domaine n'ont pas été vaines car des appuis qui portent même le nom de l'EDF (Electricité de France), qui seront définis au chapitre deux, ont été employés pour la centrale nucléaire de Koeberg en Afrique du sud [2]. Récemment un lycée sur appuis parasismiques a été réalisé à la Martinique.

En Italie, les études détaillées pour le développement de ce concept commencées en 1988, dans le but de permettre l'utilisation sûre de cette technique pour les constructions civiles ainsi que son adoption pour les constructions industrielles et prendre en considération le risque nucléaire et chimique [7].

Aussi beaucoup des recherches théoriques et expérimentales ont été menées ces dernières années en Chine, par ailleurs jusqu'à ce jour beaucoup des bâtiments et ponts ont été construits et autres structures étaient en cours de la construction [8].

En Algérie, Le CTC-Chlef est le premier à introduire la technique d'isolation parasismique des structures en Afrique à travers la construction du siège de son agence à Ain-Defla en juin 2008, située dans une zone à forte sismicité.

1.3 Systèmes de contrôle :

Les systèmes de contrôle structural peuvent être divisés en trois catégories [9] :

- Les systèmes de contrôle passif.
- Les systèmes de contrôle actif.
- Les systèmes de contrôle semi-actif.

À la différence du contrôle passif, le contrôle actif est basé sur l'utilisation des systèmes adaptatifs au chargement extérieur avec changement de caractéristiques. Ce sont des systèmes dont le comportement peut être modifié en utilisant des mécanismes de contrôle automatique. [10]

1.3.1 Systèmes de contrôle passif :

Les techniques passives d'amortissement des vibrations structurales utilisent l'intégration ou l'ajout des matériaux ou des systèmes, possédant des propriétés amortissantes, couplés à la structure de telle façon que les vibrations de la structure soient amorties passivement, c'est à dire, sans aucune intervention extérieure supplémentaire et sans apport d'énergie de l'extérieure.

Principalement, il existe deux catégories de systèmes passifs : la première est l'isolation sismique et la deuxième est la dissipation d'énergie. [11]

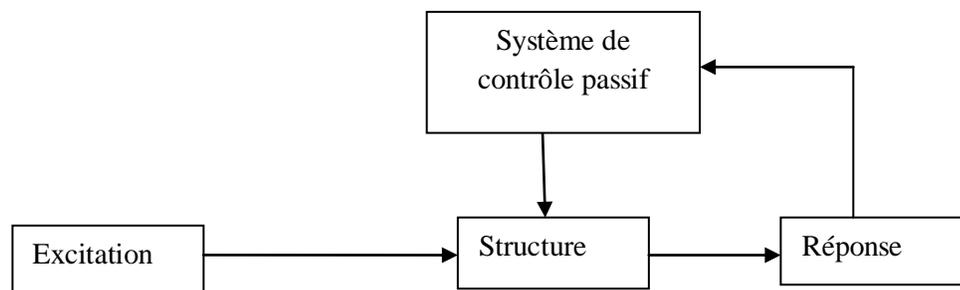


Figure1.1: Eléments de système du contrôle passif

1.3.1.1 Dissipation d'énergie :

Les systèmes passifs de dissipation d'énergie ont le même principe de base que les isolateurs sismiques lorsqu'ils sont incorporés dans la structure : ils peuvent absorber une portion de l'énergie d'excitation extérieure. En plus, ils peuvent réduire substantiellement le mouvement différentiel entre les éléments de la structure, et par conséquent réduire les dégâts de cette dernière. Ces dernières années, des efforts sérieux ont amélioré le concept des systèmes de dissipation d'énergie, et plusieurs appareils ont été installés dans des structures partout dans le monde. En général, ils sont caractérisés par leur capacité de dissiper l'énergie de vibration de la structure ou de la convertir en un autre mode de vibration, ou en une autre forme d'énergie. [11]

Les amortisseurs parasismiques ou dissipateurs d'énergie sont utilisés soit en association avec les isolateurs en permettant de réduire les déplacements imposés au système d'isolation, soit en superstructure des bâtiments non isolés. Les amortisseurs n'ont aucune fonction porteuse et ils peuvent être hystérétiques, visqueux ou à frottement.

1.3.1.2 Amortisseurs Hystérétiques :

Ce sont des pièces réalisées en matériaux très ductiles tels que l'acier, le plomb etc. La dissipation d'énergie est obtenue à travers les déformations plastiques aux quelles ils sont soumis.

De nombreux types d'amortisseurs hystérétiques existent: barreaux de plomb qui sont placés comme des noyaux dans les appuis élastomères (Lead rubber bearings), barres courbes en acier ainsi que les poutres de torsion (à torsional-beam damper) [4]

1.3.1.3 Amortisseurs Visqueux :

Ils sont également très efficaces et on peut citer à titre d'exemples : les amortisseurs à extrusion de plomb [4] dont la dissipation d'énergie est obtenue par le travail dépensé pour extruder du plomb à travers un orifice, les amortisseurs à fluides visqueux qui consistent en des boîtes fixées aux fondations et contenant un fluide de grande viscosité, enfin les amortisseurs à huile (oil damper).

1.3.1.4 Amortisseurs à Frottement :

Pour ce type d'amortissement, la dissipation d'énergie est obtenue par frottement à sec.

1.3.2 Les systèmes de contrôle actif :

Un amortisseur passif est fondamentalement conçu pour réduire seulement un mode de vibration particulier de la structure. En revanche, un amortisseur actif peut amortir une bande large de fréquence. D'où, l'étude du contrôle actif des structures est une extension logique de technologie du contrôle passif. Un système de contrôle est actif si un ou plusieurs actionneurs appliquant des forces sur une structure selon une loi de contrôle et en utilisant pour leur fonctionnement une source d'énergie externe. Ces forces peuvent être utilisées pour ajouter ou dissiper l'énergie de la structure à contrôler. Afin de construire un système, il existe deux approches qui sont radicalement différentes:

La première consiste à identifier la perturbation qui crée les vibrations pour l'annuler en lui superposant une excitation "inverse". Cette stratégie de contrôle actif est appelée contrôle par anticipation (feed for Ward). Elle est surtout développée en acoustique [12], mais elle est aussi très utile pour le contrôle de vibration des structures [18].

La deuxième consiste à identifier la réponse de la structure plutôt que l'excitation qui la fait vibrer. Elle nécessite, donc, la modélisation du comportement dynamique de la structure. Le travail de contrôle des vibrations qui porte sur ce type de stratégie est appelé contrôle par boucle de rétro- action (feedback). [11]

Le système de contrôle actif des structures a la configuration de base comme est indiquée dans la figure 1.2. Il consiste, premièrement, à placer les capteurs sur la structure pour identifier, à chaque instant, la réponse ou l'excitation. Lorsque seulement la réponse de la structure est mesurée, la configuration de contrôle est connue sous le nom de contrôle à boucle fermée : la réponse est mesurée à chaque instant et cette information est utilisée pour la correction de la force de contrôle appliquée instantanément. Mais, lorsque seulement l'excitation est mesurée, le contrôle prend le nom de boucle ouverte. Par contre, si la réponse et l'excitation sont mesurées ensemble le terme utilisé dans la littérature est le contrôle à boucle fermée-ouverte. En deuxième étape, il consiste à choisir une loi de contrôle convenable qui permet, à chaque instant, à l'actionneur, en apportant de l'énergie de l'extérieur, de produire une force de contrôle. Par suite, lors de la conception d'un système de contrôle actif des vibrations par rétroaction; on commence par étudier le comportement dynamique de la structure à contrôler, puis on choisit une loi de contrôle de rétroaction qui répond au mieux à la problématique. Les lois des contrôles par rétroaction auxquelles on s'intéresse par la suite se

définissent en fonction de l'état de la structure sur laquelle elles sont appliquées. L'efficacité de ce type de contrôle dépend du :

- placement optimal des capteurs : en vue d'une discrétisation modale du déplacement d'une structure, le positionnement des capteurs est primordial pour le contrôle de la structure et l'estimation de l'état du modèle.

- choix d'une loi de contrôle efficace : si le comportement du système n'est pas satisfaisant, l'objectif du contrôle est d'agir sur le système à travers des variables notés $V(t)$ pour obtenir le comportement désiré de la réponse de la structure ou du système. Le problème de contrôle consiste donc à définir une loi de contrôle robuste afin que les réponses ou les sorties du système soient celles désirées.

- placement optimal des actionneurs : comme les actions de contrôle sont localisées au niveau des actionneurs, c'est à dire que le contrôle agit sur la structure par l'intermédiaire des actionneurs, et donc évidemment l'efficacité de contrôle dépend de la position de ces derniers.

Pour un contrôle actif, l'optimisation du positionnement des actionneurs consiste à minimiser l'énergie qu'il faut fournir pour stabiliser le système. [11]

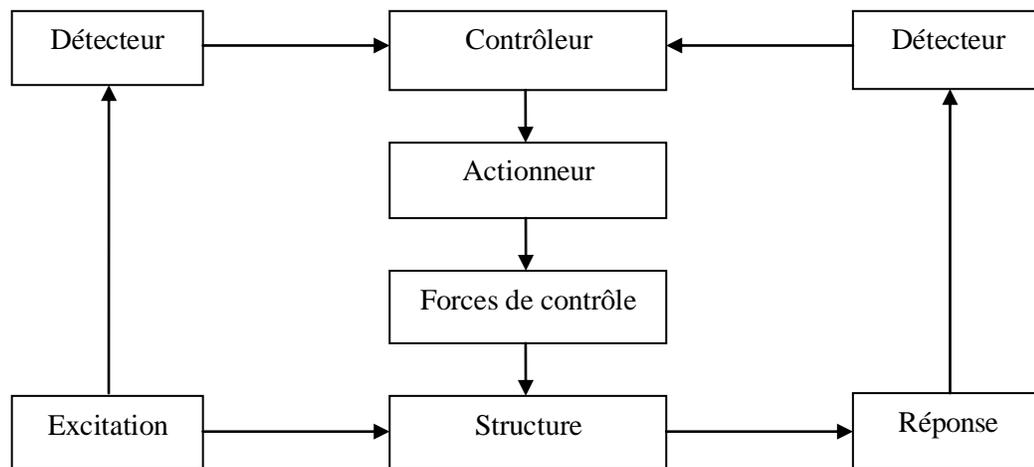


Figure1.2:Eléments du système de contrôle actif

1.4 Principes et concepts des Isolations parasismiques :

L'objectif du système de l'isolation à la base est de découpler la structure et la terre. Pour abaisser l'effet du mouvement au sol transmis à la structure. Quand la terre se déplace, une structure parfaitement rigide aura un déplacement total égal au déplacement du sol, le déplacement relatif égal à zéro, et à la période égale à zéro. Ainsi, une structure parfaitement latéralement flexible aura un déplacement total égal un déplacement nul et relatif égal au déplacement du sol, et la période serait infinie. [1]

Les structures ne sont ni parfaitement rigides ni parfaitement latéralement flexibles, donc la réponse des structures liée entre les deux extrémités. Le rallongement de la période fondamentale de la structure réduit le pseudo accélération et les forces sismiques induites dans la structure. Cependant, il augmente le déplacement de la structure, mais la plupart est concentré au niveau du système d'isolation comme représenté sur la figure 1.3. En outre, l'amortissement supplémentaire par le système d'isolation permet à absorber l'énergie sismique entrée donc le système d'isolation réduisant l'énergie transmise à la structure. En conclusion, les effets de torsion dus aux excentricités peuvent être réduits en coïncidant le centre de la rigidité du système d'isolation avec le centre de la masse de la superstructure.

En revanche, sur la figure 1.4, la structure conventionnelle a distribué le déplacement le long de son hauteur entière. En outre, l'énergie et les forces sismiques sont entièrement absorbées par la structure, donc on aura la vulnérabilité de la structure entière.

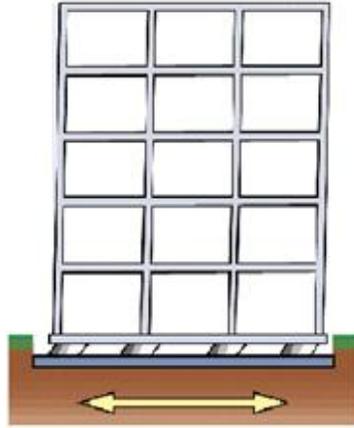


Figure 1.3 : structure isolée

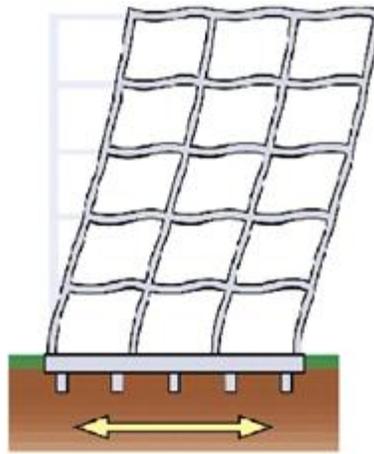


Figure 1.4 : structure encastrée

1.4.1 Application d'Isolation parasismique :

La fiabilité des systèmes d'isolations dépend de son obligation, si la structure proposée convient à l'isolation, et si elle est rentable comparée aux autres solutions. Le besoin d'isolation à la base peut se faire dans des emplacements à une sismicité élevée.

Une structure est considérée appropriée à ce système si :

i) les conditions de sol ne produisent pas de longue période des mouvements d'entrée à la structure, généralement, plus le sol est ferme, plus l'isolation est efficace. La forme de mouvement du séisme engendrée à la base d'une structure peut être modifiée par les propriétés du sol.

ii) la structure est moins d'environ 10 à 15 étage, elle a un rapport de hauteur en largeur qui empêche le renversement.

iii) le site permet le niveau exigé du mouvement à la base en ce qui concerne le sol,
 iv) les charges latérales non sismiques (tel que le vent) sont moins approximativement 10% du poids de la structure. [13]

La rentabilité des systèmes d'isolations peut être évaluée en assignant des valeurs à des coûts et aux avantages. À titre d'exemples sur le coût sont :

Les roulements, ces changements sont adaptés au système d'isolation, d'entretien et d'inspection du système d'isolation, et le coût de maintenir l'opérabilité après des tremblements de terre. Les exemples d'économie sont : abaisser le coût initial du système structural, de moins de temps de construction, réduction des dommages structuraux et non structuraux du tremblement de terre, et de la réduction des dommages, des décès, et des procès des dommages relatifs. Quand le coût de la rupture et la valeur du contenu de bâtiment sont important, l'isolation sismique a un avantage économique substantiel par rapport à d'autres systèmes à condition qu'un arrangement d'isolation soit techniquement faisable. [13]

Le plus grand avantage de l'isolation à la base est achevé, quand on le considère aux étapes préliminaires de planification du projet, puisqu'il est possible de profiter à la réaction réduite due au système d'isolation. Si le système d'isolation est choisi et ajouté à la fin de la conception structurale, beaucoup des complications peuvent surgir puisque les techniques de construction peuvent devoir être changées. [14]

Les structures de moyenne hauteur ont pour meilleurs candidats adaptés la technologie d'isolation à la base. Ces conceptions (base isolée) fournissent un bon produit de remplacement pour la conception courante dans les emplacements où les activités sismiques fortes sont probables. Le coût initial d'isolement modéré pourrait être supérieur comparé au coût d'une base fixe. Cependant, après un événement sismique, le coût de réparation d'une structure, plus les pertes provoquées pourrait être considérablement plus élevé.

1.4.2 Les type des Appuis parasismiques :

Il existe plusieurs types d'isolateurs sismiques et selon leur mode de fonctionnement, ils peuvent être répertoriés comme suit :

- Appuis élastomères (Elastomeric bearings).
- Appuis glissants (Sliding bearings).
- Appuis élastomères et glissants.

1.4.2.1 Appuis Élastomères :

Les appuis élastomères ont été appliqués largement dans des ponts comme garnitures d'appuis entre la poutre et la structure porteuse pendant plusieurs années. Les appuis élastomères ont des couches multiples, des plaques en acier et de caoutchouc empilés ensemble sous haute pression en les chauffant dans un moule. Les plaques en acier empêchent la déformation latérale due à la force axiale sur le caoutchouc. Elles ne résistent pas à des forces de cisaillement et n'empêchent pas la déformation horizontale des caoutchoucs entre- posés. Par conséquent, les plaques d'acier augmentent la rigidité verticale des isolants mais n'augmentent pas la rigidité latérale des appuis élastomères.

Ce sont des appuis à déformation composée des couches alternées d'élastomère et de plaques d'acier appelées frettes, l'élastomère peut être naturel (caoutchouc) ou synthétique (Néoprène).

La souplesse horizontale est assurée par les couches d'élastomère et la rigidité verticale par la présence des frettes.

La figure 1.5 montre les appuis élastomères soumis à l'essai dynamique de cisaillement.

La surface inégale des appuis élastomères montrée, est due à ses plaques en acier. Généralement, les appuis élastomères ont une faible résistance d'amortissement critique, approximativement 2 à 3% d' amortissement visqueux critique; et avoir une résistance minimale sous charges de service. Par conséquent les appuis élastomères doivent être améliorés.

Le résultat c'est la naissance des appuis à déformation tels que les appuis en caoutchouc fretté (Laminated rubber bearings) et les appuis en caoutchouc fretté avec amortisseur en barreau de plomb (Lead rubber bearings),



Figure 1.5: Les appuis élastomères soumis à l'essai dynamique de cisaillement

1.a Appuis en caoutchouc d'amortissement élevé (HDRB) :

Comme alternative aux appuis élastomères, les appuis en caoutchouc d'amortissement élevé fournissent l'amortissement critique de 10% à 20% et peut atteindre jusqu'à 100% de contraintes de cisaillement. La méthodologie de construction est la même avec les appuis élastomères; cependant, l'amortissement est augmenté en ajoutant des blocs de carbone et d'autres remplisseurs. En outre, elle a une résistance adéquate aux charges de service. [1]

La caractéristique d'amortissement est entre hystérésis et visqueux. L'équation d'énergie dissipation est linéaire et quadratique pour l'amortissement hystérésis et pour l'amortissement visqueux respectivement. L'énergie d'absorption est capable à réduire l'énergie de tremblement de terre transmise à la superstructure.

La capacité de charge de HDRB peut être calculée en utilisant la même méthode que les appuis élastomères. La valeur d'amortissement peut être calculée en utilisant les constantes d'amortissement équivalentes pour les élastomères spécifiques.

1. b Appuis en caoutchouc fretté avec amortisseur en barreau de plomb (LRB) :

Ce sont des appuis élastomères qui contiennent une ou plusieurs fiches de fil insérées dans leurs préformés. Le fil fournit la rigidité significative sous des charges de service et de basses charges latérales comme comparant aux appuis élastomères. La figure 1.6 montre les feuilles alternatives des plaques en acier et des plaques en caoutchoucs entourant un noyau de

plomb. En outre, le noyau en plomb sert de mécanisme de dissipation d'énergie sous les charges latérales importantes.

Pendant les charges latérales élevées, la rigidité latérale du LRB est sensiblement réduite. Ceci augmente la durée de la période de la structure et atteint de ce fait l'objectif du système d'isolation. L'appui est fait un cycle dans un amortisseur par hystérésis pendant qu'il absorbe l'énergie.

LRB a une gamme d'amortissement de 15% à 30% qui est une fonction de déplacement.

Les LRB sont l'isolant de la base la plus utilisée pour isoler des bâtiments à une hauteur moyenne. Il est habituellement conçu et optimisé selon une conception de cible basée par performance particulière. Il combine la rigidité requise pour des charges verticale et des charges latérales tout en fournissant la flexibilité et l'amortissement requise pour les charges latérales élevées. Une grande sélection d'amortissement et de rigidité est possible par l'utilisation de LRB.

En cas de la conception de HDRB, les formules des appuis élastomères conviennent à la conception de LRB.

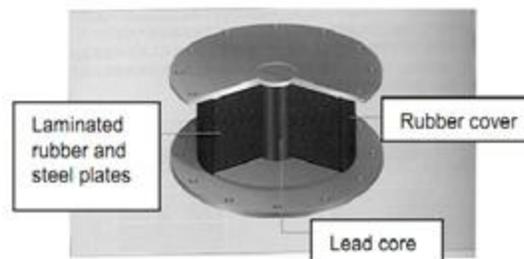


Figure 1.6: Appuis élastomères frettés avec amortisseur en barre de plomb

1.4.2.2 Appuis Glissants :

Ce sont des systèmes simples qui sont composés d'une part des plaques solidaires de la superstructure et d'autre part des plaques fixées aux fondations et leurs interfaces constituent le plan de glissement [2]. Parmi ces appuis on peut citer les appuis en Roulements Coulissants Plats et les appuis en pendules glissants.

1.a Roulements Coulissants Plats :

Les roulements coulissants plats se composent du disque de PTFE (teflon) qui glisse sur une plaque d'acier inoxydable. Ils fournissent une forme parfaitement en plastique d'hystérésis, et une rigidité adéquate sous les charges de service avec un haut amortissement. En outre, le coefficient de frottement est en fonction de pression et en fonction de vitesse du glissement. Il fournit la résistance sous des charges de service. Donc, il doit être combiné avec d'autres roulements (c.-à-d. HDRBs, LRBs) parce qu'il n'a aucune possibilité à retourner à sa position initiale.

La figure 1.7 montre un ensemble du roulement coulissant plat, qui a une plaque d'acier inoxydable soutenir le disque circulaire. Il n'y a aucune autre partie dans l'assemblée qui prouve qu'elle a les possibilités à retourner à sa position initiale.

Une version modifiée du roulement coulissant plat qui reconstitue la force individuellement, c'est les roulements de pendule de frottement.

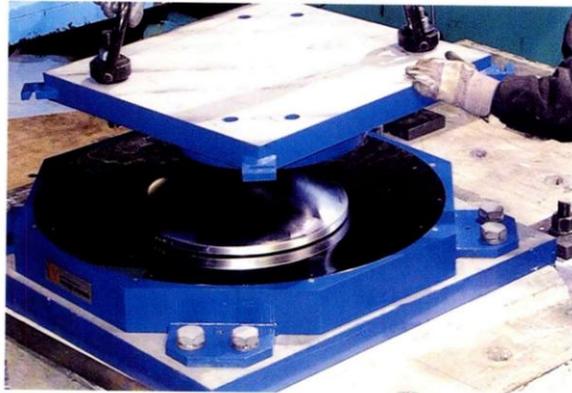


Figure 1.7: Assemblage des Roulements Coulissants Plats.

1. b Appuis en pendule glissant :

Les roulements de pendule de frottement ont les mêmes propriétés que les roulements coulissants plats. Cependant, la surface de glissement est concave dans la forme, comme représenté sur le Figure 1.8. L'hémisphère au centre de la surface concave est un glisseur de pendule. La surface concave sphérique fournit une force de reconstitution au glisseur de pendule pour le retour à sa position initiale.

Lorsque le rayon de la surface concave change, la rigidité des roulements de pendule de frottement va changer. En outre, une fois que le coefficient de frottement est dominé le mouvement latéral de la masse est accompagné d'un mouvement vertical de la masse en raison de la forme incurvée du glisseur. Comme le cas de LRB, les roulements de pendule de frottement ont un grand amortissement et une rigidité élevée.



Figure1.8: Assemblage d'Appuis en pendule glissant

1.4.2.3 Appuis Élastomères et Glissants :

Ce sont des appuis résultant de l'association des plaques de glissement et des appuis élastomères; un type de ces appuis a été utilisé par l'EDF (Électricité de France) [2], il est constitué des plaques en acier inoxydable fixées à la superstructure et des plaques en bronze au plomb solidaire des isolateurs élastomères. Un autre type très utilisé est composé des disques en acier inoxydable recouverts de Téflon, sur lequel des essais ont été effectués pour déterminer les propriétés de frottement des interfaces Téflon-acier [16]. La plus importante des caractéristiques de ces appuis (Téflon bearings) est le coefficient de frottement qui dépend de la vitesse de glissement et de la pression exercée sur l'appui.

D'après les résultats des essais le coefficient de frottement au glissement est estimé par la relation suivante [15] :

$$\mu_s = f_{\max} - D_f \exp(-\alpha |\dot{u}|) \text{ et } D_f = f_{\max} - f_{\min}$$

f_{\max} : Coefficient de frottement à la plus grande vitesse de glissement

f_{\min} : Coefficient de frottement à la plus petite vitesse de glissement

\dot{u} : Vitesse de glissement

α : Constante qui dépend de la pression exercée et des conditions de l'interface.

1.5 Méthodes de calcul des constructions isolées :

À l'instar des méthodes de conception conventionnelle, l'isolation parasismique est régie par des règlements de calcul; selon le code américain UBC 97 (Uniform Building Code) et le code international IBC (International Building Code), les constructions isolées peuvent être analysées et calculées suivant trois méthodes [17], à savoir :

- La méthode statique équivalente ou méthode de la force latérale équivalente.
- La méthode d'analyse dynamique par spectre de réponse (response spectrum analysis)
- La méthode d'analyse dynamique par accélérogramme (Time History Analysis)

1.5.1 Méthodes statique :

Cette méthode est applicable pour les structures satisfaisant aux conditions suivantes :

Les structures sont situées à plus de 10 Km d'une faille active.

Le sol est de type S_1 , (sol ferme), S_2 (sol moyen), S_3 (sol meuble) ou S_4 (sol très meuble).

La hauteur de la superstructure ne doit pas dépasser 20 m (4 niveaux).

La période maximale de la structure isolée est inférieure ou égale à 3.0 secondes.

La structure au dessus du système d'isolation est de forme régulière.

1.5.1.1 Calcul des déplacements :

Le déplacement minimal de conception (design displacement) est défini comme étant le déplacement au centre de rigidité du système d'isolation correspondant au cas d'un séisme modéré DBE (Design Basis Earthquake).

Le déplacement maximal est le déplacement au centre de rigidité du système d'isolation correspondant au cas d'un séisme majeur MCE (Maximum Capable Earthquake).

Ces déplacements minimal et maximal sont donnés par les formules suivantes [16]

$$D_D = \frac{g}{4\pi^2} \frac{ZNS1TD}{BD}$$

$$D_M = \frac{g}{4\pi^2} \frac{ZNS1TD}{BD}$$

Avec:

g : Accélération de la pesanteur

Z : Coefficient de zone sismique (0.3 pour la zone 3 et 0.4 pour la zone 4)

N : Coefficient dépendant de la proximité de la faille active, donné dans le tableau 1.1.

S_1 : Coefficient caractérisant le type de sol donne dans le tableau 1.2.

T_D : Période en seconde de la structure isolée correspondant au déplacement minimum.

T_M : Période en seconde de la structure isolée correspondant au déplacement maximal.

T_D, T_M Sont déterminées par les formules suivantes :

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{Dmin}g}}$$

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{Mmin}g}}$$

Avec :

K_{Dmin} : Rigidité minimale du système d'isolation correspondant au déplacement minimal

K_{Mmin} : Rigidité minimale du système d'isolation correspondant au déplacement maximal.

W : poids total de la structure.

B_D, B_M : Coefficients liés à l'amortissement β du système d'isolation. (Facteurs d'amortissement réduit). Ils sont donnés dans le tableau 1.3.

Tableau 1.1: coefficient de proximité de la faille N

Distance à la faille	Magnitude MCE		
	≥ 8.0	$= 7.0$	≤ 6.0
≥ 15 Km	1.0	1.0	1.0
$= 10$ Km	1.2	1.0	1.0
≤ 5 Km	1.5	1.3	1.1

Tableau 1.2 : coefficient caractérisant le type de sol

Type de sol	S_1
S_1 : sol ferme (rock/stiff)	1.0
S_2 : sol moyen (medium)	1.4
S_3 : sol meuble (soft)	2.3
S_4 : sol très meuble (very soft)	2.7

Tableau 1.3: coefficient d'amortissement B_D ou B_M

Amortisseur effectif β (% de l'amortissement Critique)	Facteur B_D B_M
≤ 2 %	0.8
5 %	1.0
10 %	1.2
20 %	1.5
30 %	1.7
40 %	1.9
50 %	2.0

1.5.1.2 Calcul du déplacement total :

Le déplacement total est le déplacement de l'appui placé sous un poteau d'angle.

Pour déterminer le déplacement total minimal D_{TD} et le déplacement total maximal D_{TM} , le déplacement dû à l'excentricité réelle ou accidentelle doit être pris en considération.

D_{TD} et D_{TM} ne doivent pas être pris inférieurs aux déplacements donnés par les formules suivantes:

$$T_{TD} = D_D \left[1 + y \left(\frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \right]$$

$$T_{TM} = D_M \left[1 + y \left(\frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \right]$$

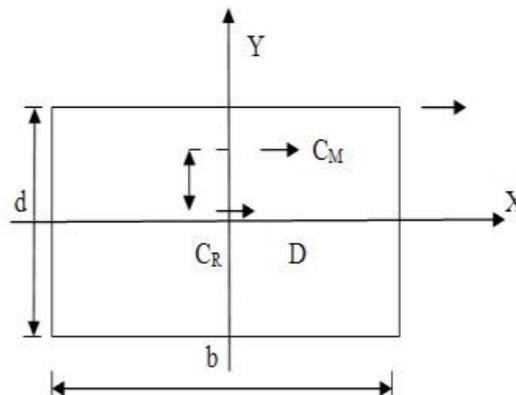


Figure 1.9 : Dimensions en plan pour la détermination du déplacement total

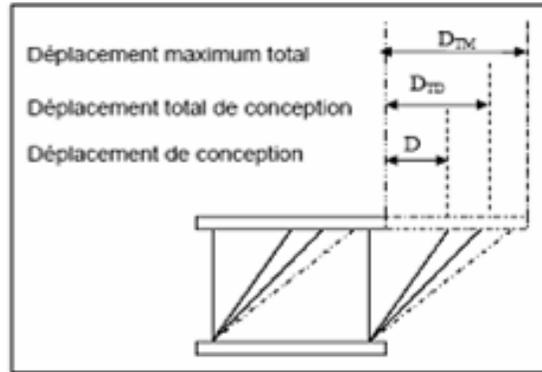


Figure1.10: déplacements du système d'isolation

1.5.1.3 Calcul des forces sismiques :

Le système d'isolation ainsi que les éléments au dessous de l'interface d'isolation sont conçus pour résister à la force sismique minimale donnée comme suit:

$$V_b = K_{Dmax} D_D$$

Dans tous les cas V_b ne doit pas être prise inférieure à la force maximale du système d'isolation.

La force minimale pour les éléments de la superstructure est:

$$V_s = (K_{Dmax} D_D) / R_I$$

Avec :

K_{Dmax} : Rigidité maximale (kn/ mm) du système d'isolation correspondant au déplacement minimal.

R_I : facteur de comportement qui dépend du système de contreventement.

1.5.1.4 Distribution verticale de la force sismique :

La force latérale totale V_s doit être distribuée sur la hauteur de la superstructure selon la formule suivante:

$$F_x = \frac{V_s w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i}$$

Avec :

w_x : poids du niveau x

h_x : hauteur du niveau x

w_i : poids du niveau i

h_i : hauteur du niveau i

1.5.1.5 Déplacements inter étages :

Les déplacements inter étage ne doivent pas dépasser $0.015 h_x$

1.5.2 Méthode dynamique :

L'analyse dynamique est applicable dans tous les cas, en particulier dans le cas où la méthode statique n'est pas permise. Elle consiste en une analyse par spectre de réponse ou une analyse par accélérogramme.

1.5.2.1 Calcul des déplacements :

Selon l'IBC, le déplacement minimum total et le déplacement maximum total du système d'isolation dans ce cas ne doivent pas être pris inférieurs à 90% de D_{TD} et inférieurs à 80% de D_{TM} respectivement.

1.5.2.2 Calcul des forces latérales :

Pour le système d'isolation la force sismique ne doit pas être prise inférieure à 90% de V_b

Pour la superstructure:

Pour une forme régulière de la superstructure, la force sismique ne doit pas être prise inférieure à 80% de V_s et pas inférieure à 60% de V_s dans le cas d'une analyse par accélérogramme.

Pour une forme irrégulière, la force ne doit pas être prise inférieure à V_s et pas inférieure à 80% de V_s dans le cas d'une analyse par accélérogramme. [17]

1.5.2.3 Déplacement inter étages :

Les déplacements inter étages correspondants à la force latérale, en tenant compte du déplacement dû à la déformation verticale du système d'isolation, sont donnés comme suit:

- Les déplacements inter étages d'une structure isolée calculée par la méthode spectrale ne doivent pas dépasser $0.015h_x$

- Les déplacements inter étages d'une structure isolée calculée par accélérogramme, en considérant les caractéristiques de la courbe force- déplacement des éléments non linéaires du système, ne doivent pas dépasser $0.020h_x$

Tableau 1.4: Valeurs minimales de l'analyse dynamique données
en fonction des valeurs de l'analyse statique

Paramètre calcul	Analyse statique	analyse dynamique	
Déplacement minimal	$D_D = \frac{g}{4\pi^2} \frac{SD1TD}{BD}$	-	-
Déplacement minimal Total	$T_{TD} = D_D [1 + y (\frac{12e}{b^2 + d^2})] \approx 1.1$ D_D	$\geq 0.9 D_{TD}$	$\geq 0.9 D_{TD}$
Déplacement maximal	$D_M = \frac{g}{4\pi} \frac{SM1TM}{BM}$	-	-
Déplacement maximal Total	$T_{TM} = D_M [1 + y (\frac{12e}{b^2 + d^2})] \approx 1.1$ D_M	$\geq 0.8 D_{TM}$	$\geq 0.8 D_{TM}$
Force sismique pour le System d'isolation	$V_b = K_{Dmax} D_D$	$\geq 0.9 V_b$	$\geq 0.9 V_b$
Force sismique pour une Superstructure régulière	$V_s = (K_{Dmax} D_D) / R_1$	$\geq 0.8 V_s$	$\geq 0.6 V_s$
Force sismique pour une Superstructure irrégulière	$V_s = (K_{Dmax} D_D) / R_1$	$\geq 1 V_s$	$\geq 0.8 V_s$
Déplacement inter étages	$\leq 0.015 h_x$	$\geq 0.015 h_x$	$\leq 0.020 h_x$

1.6 Conclusion :

Avant son utilisation, tout système d'appuis parasismiques doit faire l'objet d'une procédure de validation technique destinée à déterminer ses caractéristiques de calcul ainsi qu'à prouver sa fiabilité et sa durabilité. Un contrôle de conformité doit être également effectué avant la mise en place des appuis.

CHAPITRE 2

CONCEPTION DES APPUIS PARASISMIQUES

2.1 Introduction :

Les appuis parasismiques étant destinés à dissiper le maximum de l'énergie sismique captée par une structure, il est important de tenir compte de manière la plus fiable de leur dimensionnement afin que l'évaluation de leur comportement soit bien définie.

Dans ce qui suit un aperçu sur les démarches de conception de quelques appuis parasismiques.

2.2 Critères de conception pour les appuis parasismiques :

La conception complète pour un système d'isolation à la base devrait s'assurer que les isolateurs peuvent soutenir les maximum charges gravitaires de la structure durant toute sa vie, et les isolateurs peuvent fournir une double fonction avec la période et la dissipation d'énergie à la structure isolée pendant les tremblements de terre.

Selon ces objectifs de conception, les étapes suivantes de conception devraient être considéré [19] :

- Déterminer le nombre minimum des appuis parasismiques et leurs emplacements qui doivent être placé sous une grande charge gravitaire.

- Calculer les dimensions de l'isolateur de telle sorte que la période de la structure va être allongée afin de réduire les efforts sismiques.

- Choisir le coefficient d'amortissement de l'isolateur de telle sorte que le déplacement de la structure soit limiter vis-à-vis le vent et les ouvrages adjacents.

- Vérifier la performance de l'isolateur sous les différentes charges de gravité, vent, température, séisme ...

Le but primaire de ce chapitre est de mettre en application le procédé de conception pour les isolateurs séismiques, et pour cela nous allons exposer la méthode

de dimensionnement des appuis en élastomère fretté, ayant un amortissement élevé (HDRB), des appuis en caoutchouc fretté avec amortisseur en barreau de plomb (LRB) et des appuis en pendules glissants.

2.2.1 Conception des appuis en élastomère fretté, ayant un amortissement élevé :

Les couches en caoutchouc constituant les appuis d'amortissement élevé (HDRB) sont habituellement faits de matériaux qui sont fortement non-linéaires en termes de contrainte de cisaillement. L'amortissement effectif d'ordre de 0.10~0.20 de l'amortissement critique peut être donné facilement par le HDRB, qui est réalisé par l'addition des composés chimiques spéciaux qui peuvent changer les propriétés matérielles du caoutchouc. La rigidité et l'amortissement du HDRB sont exigés pour être assez grandes pour résister au vent et aux tremblements de terre mineurs. Dans la pratique, la rigidité et les propriétés d'amortissement du HDRB restants tout à fait stables sous un ou plusieurs tremblements de terre.

2.2.1.1 Organigramme de conception pour des HDRBs :

L'organigramme de conception pour les appuis en caoutchouc d'amortissement élevé est montré sur la figure 2.4. Le procédé de conception pour le HDRB est expliqué comme suit :

1-Indiquer les conditions de sol pour la structure isolée.

2-Choisir la déformation angulaire γ_{max} et le coefficient d'amortissement effectif ζ_{eff} de l'appui ainsi que la valeur de la période de conception T_D de la structure isolée.

3-Déterminer la rigidité horizontale effective k_{eff} et le déplacement maximum de conception D de l'appui (en utilisant un code).

4- Choisir les propriétés matérielles, E (module de Young) et G (module de cisaillement) à partir d'un tableau des données (voir Tableau 2.1).

5- Déterminer la hauteur totale du caoutchouc (t_r) par la formule suivante :

$$t_r = \frac{D}{\gamma_{max}}$$

6- Calculer la surface A de l'appui et l'épaisseur t d'une seule couche de caoutchouc :

a- Choisir le facteur de forme S qui doit vérifier la condition suivante :

$$\frac{K_v}{K_h} = \frac{\frac{E_c \cdot A}{t_r}}{\frac{G \cdot A}{t_r}} = \frac{E_c}{G} = \frac{E \cdot (1 + 2kS^2)}{G} \geq 400 \text{ Pour } S > 10$$

Avec :

K_v : La rigidité verticale effective de l'appui.

K_h : La rigidité horizontale effective de l'appui.

G : module de cisaillement, dans l'ordre de 0.4 à 1.0Mpa

E : Module de Young, dans l'ordre de 1.5 à 5.0 Mpa

E_c : Le module de compression de composite caoutchouc- frette

$$E_c = E (1 + 2kS^2)$$

A : La section transversale de l'appui.

t_r : la hauteur totale du caoutchouc.

K : Facteur de modification, dans l'ordre de 0.5 à 1.

S : Facteur de forme A/A_f [20]

A_f : la surface libre autour de l'appui. Figure 1.1

Le rapport K_v/K_h de rigidité est exigé être plus grands que 400 pour $S > 10$, puisque l'effet P- δ a été ignoré lors du calcul de la rigidité horizontale K_h . Les constantes du matériau G , E , et k peuvent être liées à la dureté en caoutchouc comme montré dans le tableau 2.5. [21].

b- Déterminer la section A_0 de l'appui par la formule suivante :

$$\sigma_c = \frac{P_u}{A_0} \leq 7.84 \text{ MN/m}^2$$

Où :

σ_c : La contrainte admissible.

P_u : La combinaison des charges verticales G et Q à l'E.L.U.

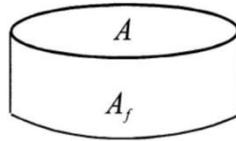


Figure 2.1: La section transversale et la surface libre de l'appui.

Tableau 2.1: Relation de la dureté de caoutchouc et des constantes matérielles

Qualité du caoutchouc IRHD ± 2	E (N/cm ²)	G (N/cm ²)	k
30	92	30	0.93
35	118	37	0.89
40	150	45	0.85
45	180	54	0.80
50	220	64	0.73
55	325	81	0.64
60	445	106	0.57
65	585	137	0.54
70	753	173	0.53
75	940	222	0.52

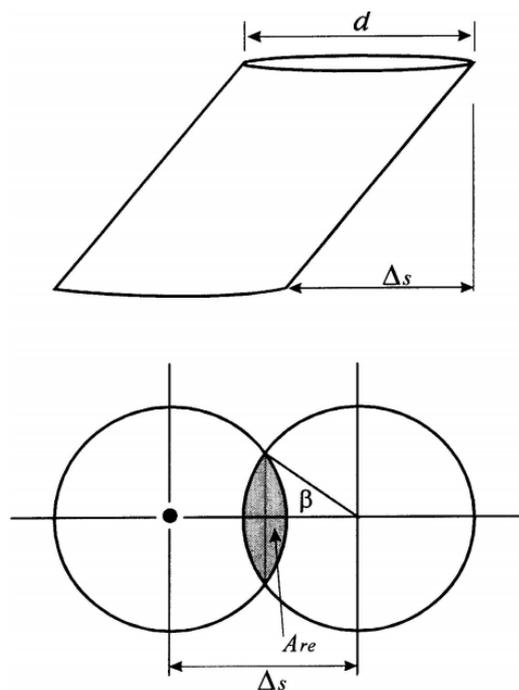


Figure 2.2: Section réduite de l'appui.

c- Déterminer la section A_l de l'appui à partir de la contrainte de cisaillement due à la charge verticale P_u :

$$\gamma_c = 6S \frac{P_u}{E_c A_1} \leq \frac{\varepsilon_b}{3}$$

Où :

ε_b : L'allongement du caoutchouc à la rupture, il est limité à $\frac{\varepsilon_b}{3}$. [22]

d- Obtenir la section minimale A_{sf} à partir de la fatigue de l'appui vis-à-vis du cisaillement.

$$A_{sf} = \frac{K_{eff}.tr}{G}$$

Utiliser A_{sf} pour déterminer les dimensions de l'appui et calculer la section $A_2 = A_{re}$ (Figure 2.2) par la formule suivante :

$A_{re} = L \cdot (B - \Delta_s)$ Pour un appui rectangulaire.

$A_{re} = \frac{d^2}{4} (\beta - \sin \beta)$ Pour un appui circulaire.

Avec : $\beta = 2\cos^{-1}\left(\frac{\Delta_s}{d}\right)$

Où :

L, B : Les dimensions en plan de l'appui perpendiculaire et parallèle au déplacement respectivement.

Δ_s : Le déplacement horizontal de l'appui.

e- La section A de l'appui est le maximum des valeurs calculées : A_0 , A_1 et A_2 .

f- Déterminer les dimensions de l'appui à partir de la section calculée A.

7- Calculer l'épaisseur d'une seule couche de caoutchouc t et le nombre N des couches de caoutchouc.

a- Utiliser le facteur de forme S et les dimensions de l'appui pour déterminer l'épaisseur d'une seule couche de caoutchouc t :

$$S = \frac{L.B}{2(L+B).t} \text{ Pour un appui rectangulaire.}$$

$$S = \frac{\pi d^2/4}{\pi dt} = \frac{d}{4t} \text{ Pour un appui circulaire.}$$

Avec

L, B : Les dimensions en plan de l'appui rectangulaire ($L \leq B$).

d : Le diamètre de l'appui circulaire.

b- Utiliser $t_r = N \times t$ pour déterminer le nombre des couches N .

8- Calculer l'épaisseur de la plaque d'acier t_s :

$$t_s = \frac{2(t_i + t_{i+1}).P_u}{A_{re}.F_s} \geq 2mm$$

Avec :

t_i, t_{i+1} : Les épaisseurs des couches de caoutchouc situées en dessous et en dessus d'une plaque d'acier.

$$F_s : = 0.6F_y$$

F_y : La limite d'élasticité des plaque d'acier ($= 274.4 \text{ MN/m}^2$).

A_{re} : la section réduite de l'appui sous le déplacement horizontal.

9- Tous les paramètres déterminés de l'appui doivent vérifier une autre fois les conditions de résistance au cisaillement et de la stabilité expliquée ci-après. Si non, il faut refaire les étapes de 2 à 8 jusqu'à obtenir le model qui vérifier ces conditions.

2.2.1.2 Vérification des conditions de résistance et de stabilité :

L'appui calculé doit satisfaire les conditions suivantes :

1-La résistance au cisaillement sous la charge verticale P_u :

$$\gamma_c = 6S \varepsilon_c = 6S \frac{P_u}{E_c.A} \leq \frac{\varepsilon_b}{3}$$

Ou :

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta_c}{t_r} = \frac{P_u}{E_c \cdot A} \quad \text{La contrainte de compression.}$$

Δ_c =déplacement du à la compression de l'appui.

ε_b = L'allongement du caoutchouc à la rupture.

2-État de stabilité : Pour empêcher l'appui de devenir instable, la contrainte de compression σ_c de l'appui devrait être moins que la tolérance présélectionnée [23] :

$$\sigma_c = \frac{P}{A} < \sigma_{cr} = \begin{cases} \frac{\pi G \cdot S \cdot d}{2\sqrt{2} \cdot t_r} & \text{pour un appui rectangulaire.} \\ \frac{\pi G \cdot S \cdot L}{\sqrt{6} \cdot t_r} & \text{pour un appui circulaire.} \end{cases}$$

Ou :

σ_c : La contrainte de compression appliquée sur l'appui.

σ_{cr} : La contrainte critique de flambement.

3-La résistance au cisaillement de la charge sismique :

$$\gamma_{sc} + \gamma_{eq} + \gamma_{sr} \leq 0.75 \varepsilon_b$$

Avec :

$$\gamma_{sc} = 6S \cdot \frac{P'_u}{E_c \cdot A_{re}}$$

$$\gamma_{eq} = \frac{D}{t_r}$$

$$\gamma_{sr} = \frac{B^2 \cdot \theta}{2 \cdot t \cdot t_r}$$

$$\theta = \frac{12De}{b^2 + d^2}$$

Ou :

γ_{sc} : Le cisaillement dû à la compression.

P'_u : La combinaison des charges G, Q et E.

γ_{eq} : Le cisaillement dû au séisme.

γ_{sr} : Le cisaillement dû à la rotation.

θ : L'angle de rotation de l'appui produit par le séisme.

e : L'excentricité théorique + 5% d'excentricité accidentelle.

b, d : Les dimensions en plan de la structure.

4-Pour éviter l'écrasement de l'appui, leur déplacement sous la charge de tremblement de terre devrait remplir la condition suivante :

$$D \leq \delta_{roll-out} = \frac{P'_u \cdot L}{P'_u + K_{eff} \cdot h}$$

$$F \cdot h = P'_u \cdot (L - \delta_{roll-out})$$

$$F = K_{eff} \cdot \delta_{roll-out}$$

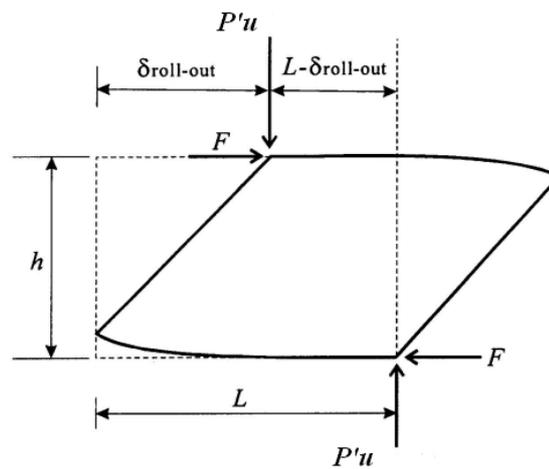


Figure 2.3: Position de l'appui sous la charge sismique

Ou :

K_{eff} : La rigidité effective de l'appui.

h : La hauteur totale de l'appui (caoutchouc + plaque d'acier).

L : Dimension en plan d'un appui rectangulaire ou d'un diamètre d d'un appui circulaire.

F : La force de cisaillement agissant sur l'appui.

$\delta_{roll-out}$: Le déplacement correspondant à la force F .

L'organigramme suivant résume la démarche de conception des appuis HDRBs :

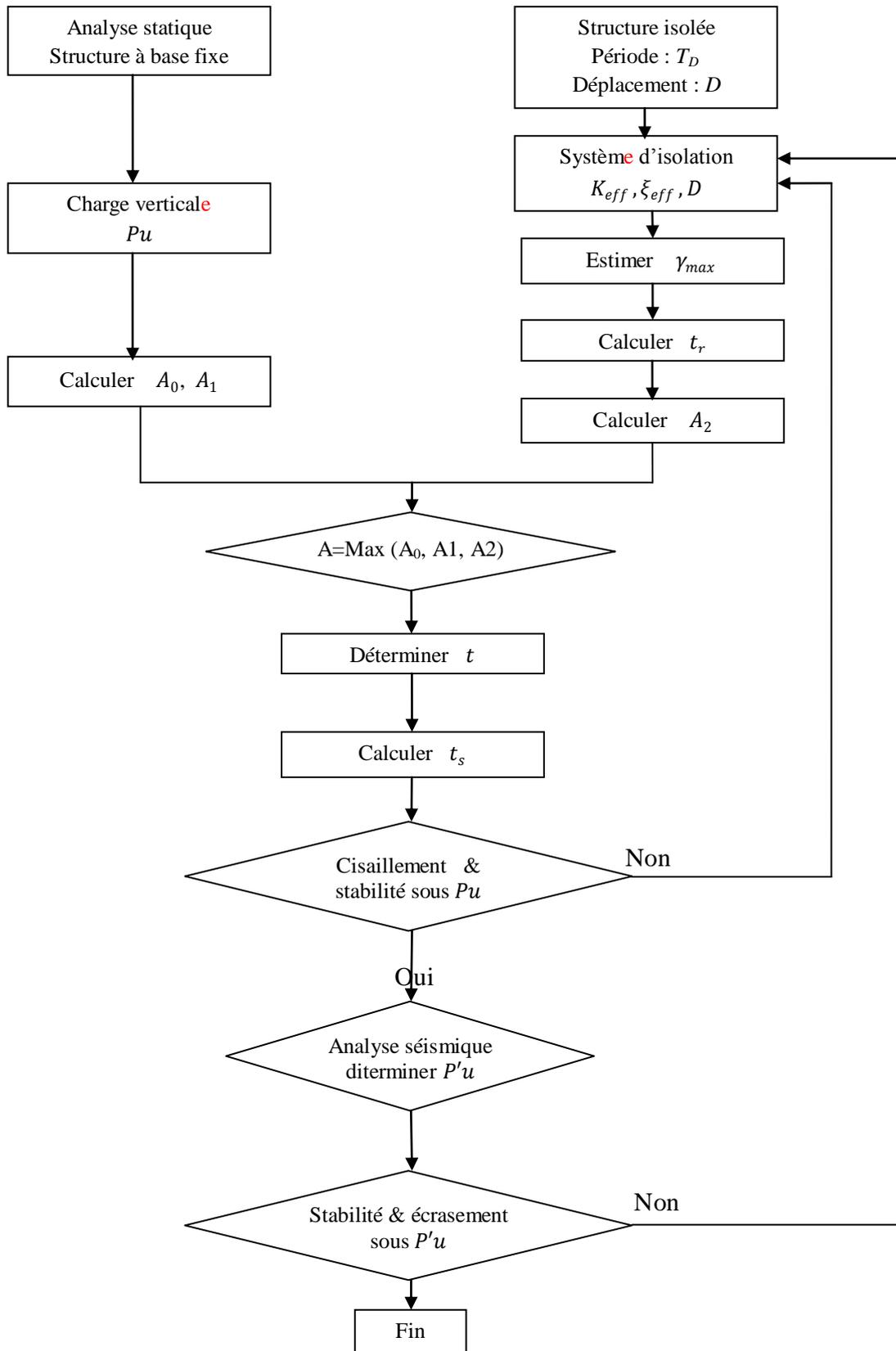


Figure 2.4: Organigramme de conception des HDRBs

2.2.2 Conception des appuis en caoutchouc fretté avec amortisseur en barreau de plomb (LRB) :

Ce sont des appuis habituellement faits des couches alternatives des plaques en acier et de caoutchouc avec un trou central dans lequel le barreau de plomb est serré. Une fois soumis aux forces de cisaillement latérales, le barreau de plomb déforme presque dans le cisaillement pur. Le barreau de plomb peut recristalliser à la température normale et ne rencontrera pas le problème de la défaillance de fatigue sous des chargements cycliques. La rigidité suffisante est toujours assurée par le LRBs pour la structure sous des charges de service. Dans cette section, le procédé de conception de LRBs est décrit.

2.2.2.1 Procédure de conception des LRBs :

Le procédé de conception pour les LRBs est similaire à celui pour les HDRBs, sauf qu'il y a un besoin additionnel de conception le barreau de plomb.

1-Indiquer l'état de sol pour la structure isolée.

2-Choisir la déformation angulaire γ_{max} et le coefficient d'amortissement effectif ζ_{eff} de l'appui ainsi que la valeur de la période de conception T_D de la structure isolée.

3- Utiliser le code pour déterminer la rigidité horizontale effective k_{eff} et le déplacement maximum de conception D de l'appui.

4-Choisir les propriétés matérielles, E (module de Young) et G (module de cisaillement) à partir du rapport des essais du fabricant.

5-déterminer la hauteur totale du caoutchouc (t_r) par la formule suivante :

$$t_r = \frac{D}{\gamma_{max}}$$

6-Conception de barreau de plomb :

Déterminer la section A_p et le diamètre d_p du barreau de plomb par la formule suivante :

$$A_p = \frac{Q_d}{f_{py}}$$

f_{py} : limite d'élasticité en cisaillement du plomb, $f_{py}=10MPa$ [24].

$Q_d \approx W_D / (4D)$

W_D : énergie dissipée par cycle, $W_D = 2\pi K_{eff} D^2 \zeta_{eff}$

D : déplacement de l'appui.

7- Calculer la surface A de l'appui et l'épaisseur t d'une seule couche de caoutchouc:

a) Choisir le facteur de forme S qui doit vérifier la condition suivante :

$$\frac{Kv}{Kh} = \frac{\frac{Ec \cdot A}{tr}}{\frac{G \cdot A}{tr}} = \frac{Ec}{G} = \frac{E \cdot (1+2kS^2)}{G} \geq 400$$

b) Déterminer la section A_0 de l'appui par la formule suivante :

$$\sigma_c = \frac{Pu}{A_0} \leq 7.84 \text{ MN/m}^2$$

c) Déterminer la section A_1 de l'appui à partir de la contrainte de cisaillement due à la charge verticale P_u :

$$\gamma_c = 6S \frac{Pu}{Ec A_1} \leq \frac{\varepsilon_b}{3}$$

d) Déterminer la rigidité élastique K_r de l'appui :

$$K_d = K_r \left(1 + 12 \frac{A_p}{A_0}\right)$$

Ou :

K_d : La rigidité du LRB dans la direction horizontale.

$$K_d = K_{eff} - \frac{Q_d}{D}$$

e) Obtenir la section minimale A_{sf} à partir de la fatigue de l'appui vis-à-vis du cisaillement.

$$A_{sf} = \frac{K_r \cdot tr}{G}$$

Utiliser A_{sf} pour déterminer les dimensions de l'appui et calculer la section $A_2 = A_{re}$ par la formule suivante :

$$A_{re} = L \cdot (B - \Delta_s) \text{ pour un appui rectangulaire.}$$

$$A_{re} = \frac{d^2}{4} (\beta - \sin \beta) \text{ pour un appui circulaire.}$$

f) La section A de l'appui est le maximum des valeurs calculées : A_0 , A_1 et A_2 .

g) Déterminer les dimensions de l'appui à partir de la section calculée A .

8- Calculer l'épaisseur d'une seule couche de caoutchouc t et le nombre N des couches de caoutchouc.

a) Utiliser le facteur de forme S et les dimensions de l'appui pour déterminer l'épaisseur d'une seule couche de caoutchouc t :

$$S = \frac{L.B}{2(L+B).t} \text{ Pour un appui rectangulaire.}$$

$$S = \frac{\pi d^2/4}{\pi dt} = \frac{d}{4t} \text{ Pour un appui circulaire.}$$

b) Utiliser $t_r = N \times t$ pour déterminer le nombre des couches N .

9- Calculer l'épaisseur de la plaque d'acier t_s :

$$t_s = \frac{2(t_i + t_{i+1}).P_u}{A_{re}.F_s} \geq 2mm$$

10- les conditions de résistance au cisaillement et de stabilité sont expliquées ci-après. Si les dimensions déterminées pour l'appui ne peuvent pas satisfaire la contrainte de cisaillement et des conditions de stabilité, alors on a répété les étapes 2 à 9 pour une conception améliorée.

2.2.2.2 Vérification des conditions de résistance et de stabilité :

1-La résistance au cisaillement sous la charge verticale P_u :

$$\gamma_c = 6S\varepsilon_c = 6S \frac{P_u}{E_c.A} \leq \frac{\varepsilon_b}{3}$$

2-État de stabilité : Pour empêcher l'appui de devenir instable, la contrainte de compression σ_c de l'appui devrait remplir la condition suivante :

$$\sigma_c = \frac{P}{A} < \sigma_{cr} = \frac{G.S.L}{2.5.t_r}$$

Tel que L est la moindre dimension d'un appui rectangulaire ou bien d le diamètre d'un appui circulaire.

3-Dimension de barreau du plomb : Le barreau de plomb fournit une rigidité et une énergie dissipée au l'appui, ces dimensions doivent vérifier la condition suivante :

$$1.25 \leq \frac{H_p}{d_p} \leq 5.0$$

Ou :

H_p : la hauteur de barre du plomb.

d_p : le diamètre de barre du plomb.

4-La résistance au cisaillement de la charge sismique :

$$\gamma_{sc} + \gamma_{eq} + \gamma_{sr} \leq 0.75 \varepsilon_b$$

5- le déplacement de l'appui sous la charge sismique devrait remplir la condition suivante :

$$D \leq \delta_{roll-out} = \frac{P'_u \cdot L}{P'_u + K_d \cdot h}$$

Là où chaque paramètre de ces conditions a été défini précédemment.

2.2.3 Conception des appuis en pendules glissants :

Dans la conception des appuis en pendules glissants, on doit assurer que la période normale T_D assez grand, telles que les forces transmises de la terre à la superstructure peuvent être considérablement réduites. La période T_D de la structure isolée par un système de pendule glissant peut être conçue par un choix approprié du rayon de courbure pour une surface de glissement sphérique, c.-à-d. :

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}}$$

1-Déterminer le rayon de la surface sphérique R :

$$R = g \left(\frac{T_D}{2\pi} \right)^2$$

g : est l'accélération de la pesanteur.

2- Calculer K_{eff} et ξ_{eff} par les formules suivantes :

$$K_{eff} = \frac{W}{R} + \frac{\mu W}{D}$$

$$\xi_{eff} = \frac{2}{\pi} \frac{\mu}{\mu + D/R}$$

Où :

μ : coefficient de frottement de la surface de glissement.

D : Est le déplacement horizontal de conception.

W : Charge soutenue.

3-Calculer le déplacement vertical δ_v de la structure causé par la surface concave de l'appui:

$$\delta_v \cong \frac{D^2}{2R}$$

Pour assurer que la structure isolée reviendra à sa position initiale, le déplacement horizontal D de la structure sous la charge séismique devrait être satisfait que la force de rappel $F = \frac{W}{R}$ doit être supérieure à la force de frottement μW afin d'assurer le recentrage du système d'isolation C.à.d. : $\frac{D}{R} \geq \mu$

2.3 Conclusion :

Tandis que l'application de divers dispositifs d'isolation pour la construction des bâtiments a augmenté rapidement ces dernières années, beaucoup de nouveaux matériaux et dispositifs continuent à être proposés pour l'usage dans l'isolation à la base. Les procédures présentées en ce chapitre servent simplement à illustrer les concepts principaux impliqués dans les systèmes d'isolation à la base.

CHAPITRE 3

ETUDE COMPARATIVE D'UNE STRUCTURE AVEC ET SANS LE SYSTEME D'ISOLATION

3.1 Introduction :

Pour tenir en compte évalué l'influence des systèmes d'isolations parasismique sur les structures, une analyse numérique a été faite sur un bâtiment à trois niveaux. Cette analyse consiste à comparer les réponses en déplacements, accélérations, les déplacements inter étages et les efforts tranchants à la base de la structure isolée et celle de la même structure sans le système d'isolation.

3.2 Description de bâtiment :

Le bâtiment objet de cette étude sera construit dans la wilaya d'Ain Defla, à l'instar du siège de l'agence du CTC.

Le bâtiment analysé se compose de trois étages et un sous sole.

Dimensions en plan : $LX = 20\text{m}$, $LY = 10\text{m}$.

Hauteur totale : $(3.4 \times 3) = 10.2\text{m}$.

Le bâtiment fait partie du groupe d'usage 2.

Le bâtiment est implanté dans une zone de forte sismicité (zone III).

Les vues en plans et en élévation sont représentées dans les figures 3.2 et 3.3 :



Figure 3.1: Façade principale

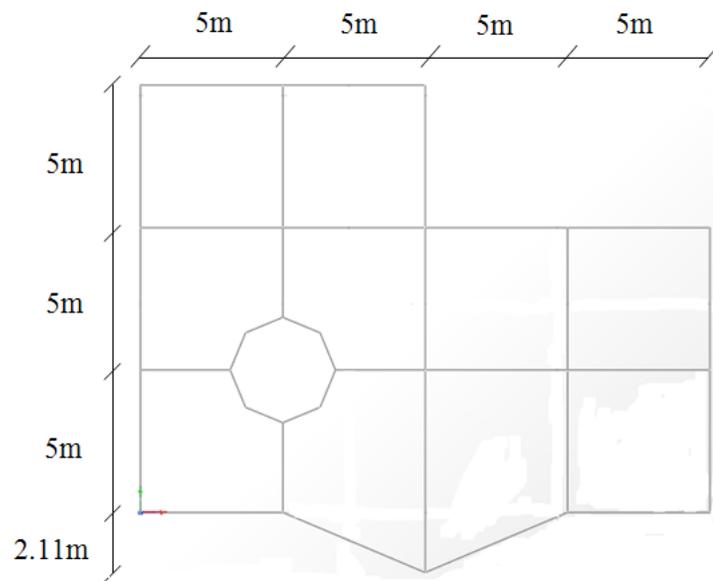


Figure 3.2: Vue en plan

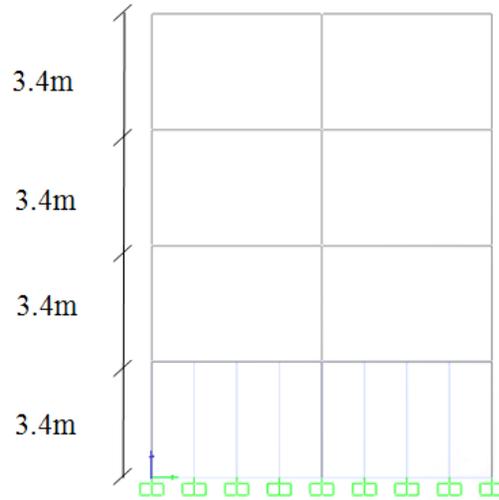


Figure 3.3: Vue en élévation

3.3 Matériaux :

Les matériaux suivants ont été considérés dans les analyses :

Béton : $F_c 28$

Poids volumique = 25 KN/m^3

Module d'élasticité 31200000 KN/m^2

Coefficient de poisson = 0.2

$F_c 28 = 22500 \text{ KN/m}^2$

Acier: Fe 400

Poids volumique = 76.8196 KN/m^3

Module d'élasticité = $1,999\text{E}+08 \text{ KN/m}^2$

Coefficient de poisson = 0.3

$F_y = 400000 \text{ KN/m}^2$

3.4 Charges :

Les charges sont obtenues à partir le règlement parasismique Algérien [24].

3.4.1 Plancher

Poids propre + charge permanente $G = 6.0 \text{ KN/m}^2$

Q (niveau 0, 1, 2) = 2.5 KN/m^2

$$Q \text{ (terrasse)} = 0.5 \text{ KN/m}^2$$

3.4.2 Escalier :

$$G = 5.0 \text{ KN/m}^2$$

$$Q = 4.0 \text{ KN/m}^2$$

3.5 Charges sismique :

Zone sismique = III

Type de sol = S₂ (sol moyen)

Groupe d' usage = A1

Coefficient d'accélération de zone A = 0.40 g.

3.6 Description de l'excitation sismique :

Une analyse dynamique des réponses par accélérogrammes est utilisée dans ce cas. Elle est plus précise pour l'analyse du comportement des structures en fonction du temps. L'excitation sismique considéré pour les deux types de structures est celles du séisme du 21 mai 2003 de Boumerdès et d'Alger enregistrées à la station de Dar Beidha avec une accélération maximale de (0.537 g) pour la composante E-W et de (0.501 g) pour la composante N-S. Les accélérogrammes de ces deux composantes sont représentés sur les figures suivantes :

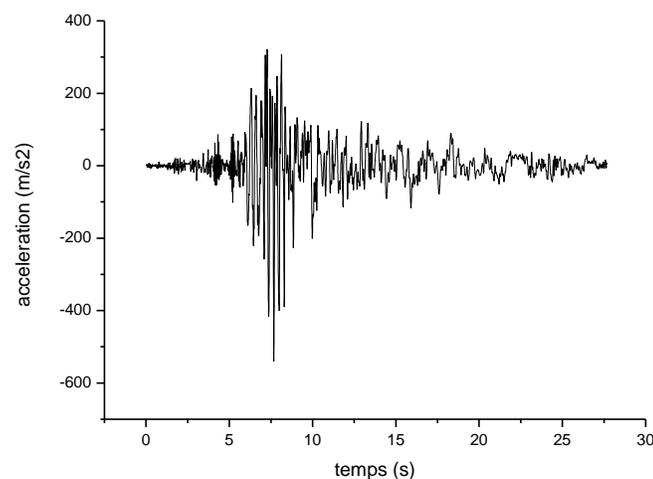


Figure3.4 : Accélérogramme de la composante (E-W)

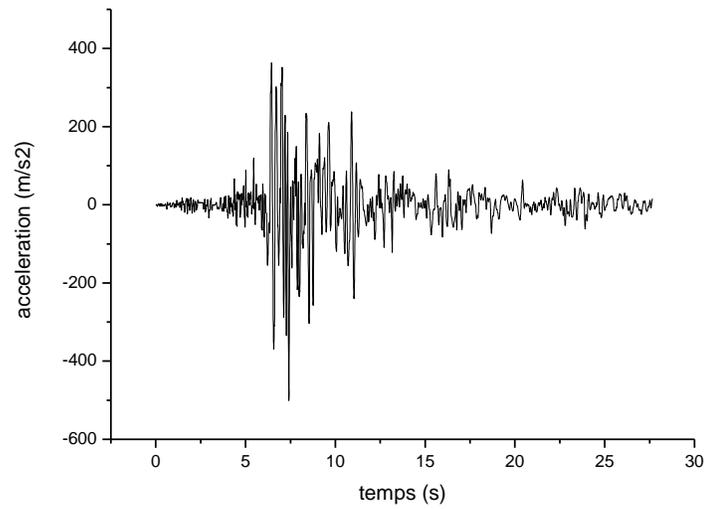


Figure 3.5 : Accélérogramme de la composante N-S

3.7 Etude de la structure encastrée :

Pour cette étude on utilise le logiciel sap 2000 comme un programme numérique d'analyse des structures isolée et encastrée

3.7.1 Modélisation :

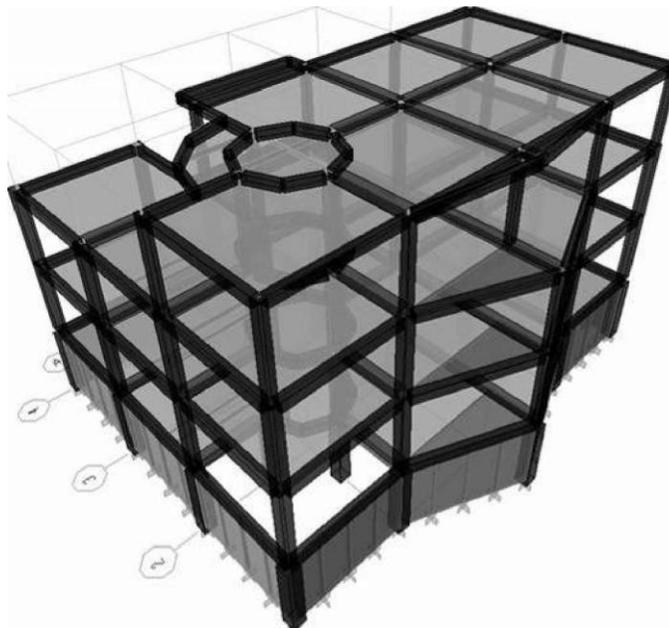


Figure 3.6: Vue en 3D le model d'élément finie

3.7.2 Caractéristiques dynamiques propres :

Les caractéristiques dynamiques propres obtenues sont données dans le tableau suivant :

Tableau 3.1: Périodes et fréquences modales

Mode	Périodes Sec	Fréquence Cyc/sec	Pulsation ω	Valeur propre ω^2
1	0.653952	1.5292	9.608	92.314
2	0.58733	1.7026	10.698	114.44
3	0.507363	1.971	12.384	153.36
4	0.331737	3.0144	18.94	358.73
5	0.293059	3.4123	21.44	459.67
6	0.265697	3.7637	23.648	559.23
7	0.250693	3.9889	25.063	628.17
8	0.245535	4.0727	25.59	654.84
9	0.232601	4.2992	27.013	729.69
10	0.208004	4.8076	30.207	912.46
11	0.199828	5.0043	31.443	988.66
12	0.19205	5.207	32.716	1070.4

3.7.3 Les déplacements :

Les réponses en déplacement son donnée dans les figures suivants :

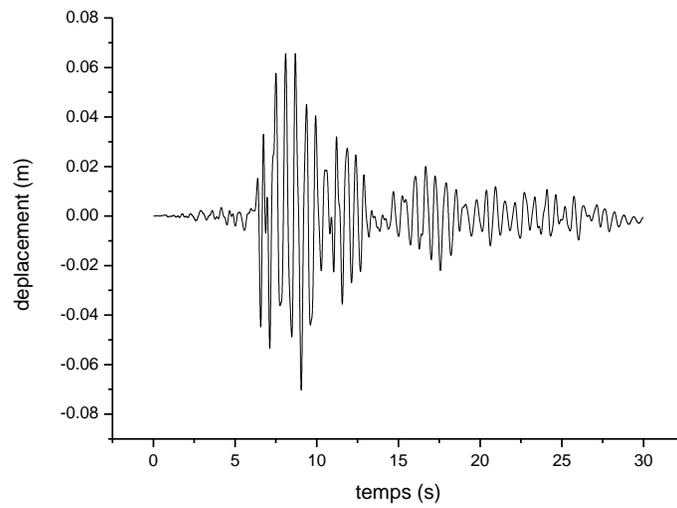


Figure 3.7:La réponse en déplacement du dernier niveau suivant X

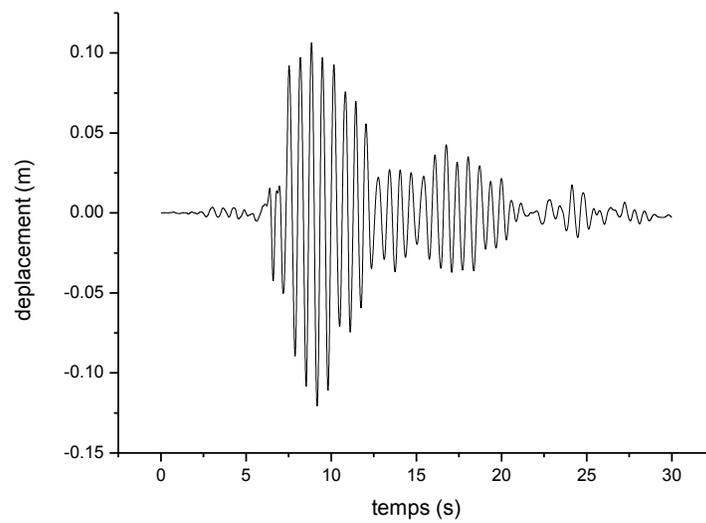


Figure 3.8:La réponse en déplacement du dernier niveau suivant Y

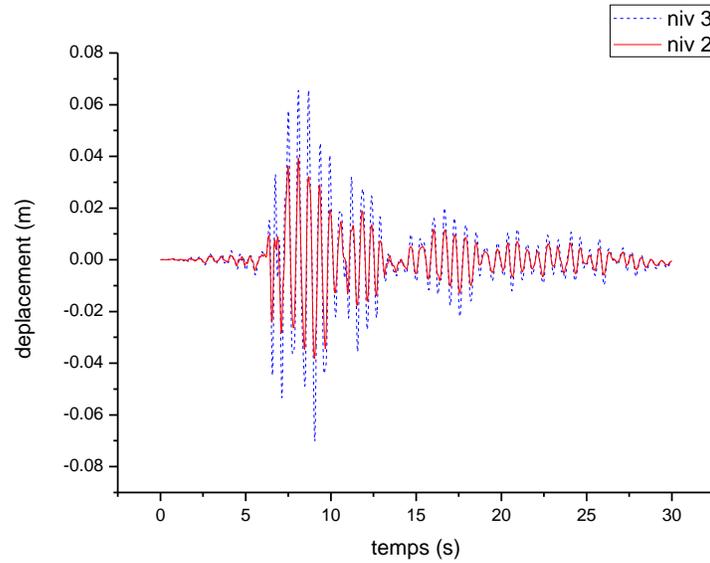


Figure 3.9:La réponse en déplacement des deux derniers niveaux suivant X

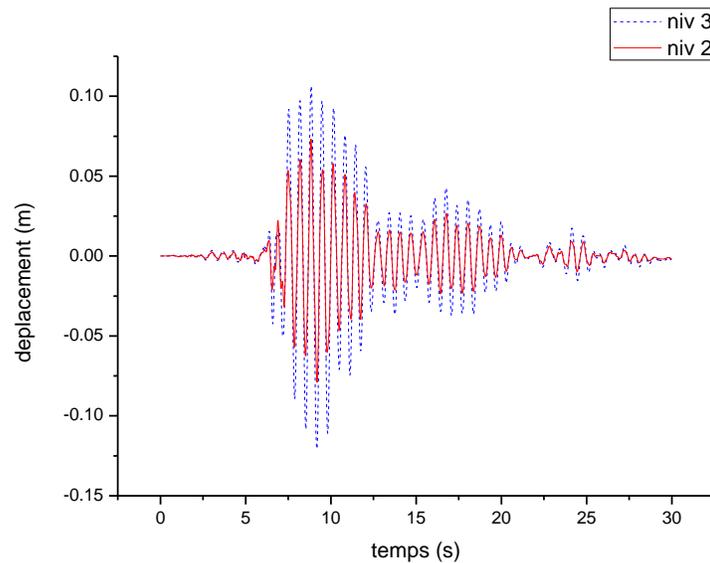


Figure 3.10:La réponse en déplacement des deux derniers étages suivant Y

3.7.4 Les accélérations :

Les réponses en accélérations son donnée dans les figures suivants :

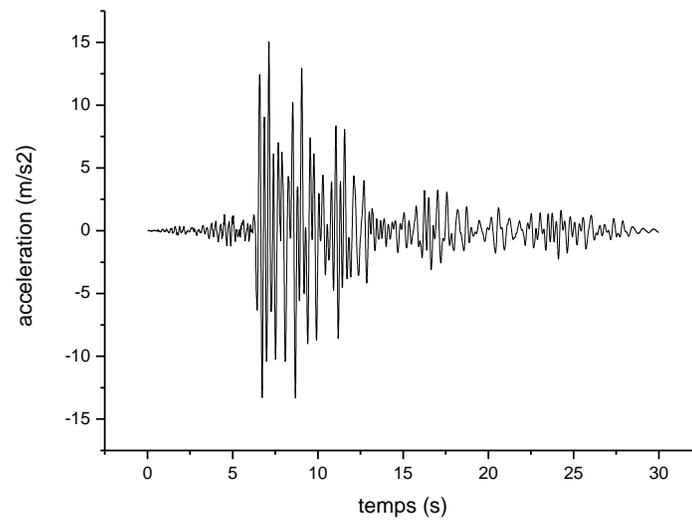


Figure 3.11:La réponse en accélération du dernier niveau suivant X

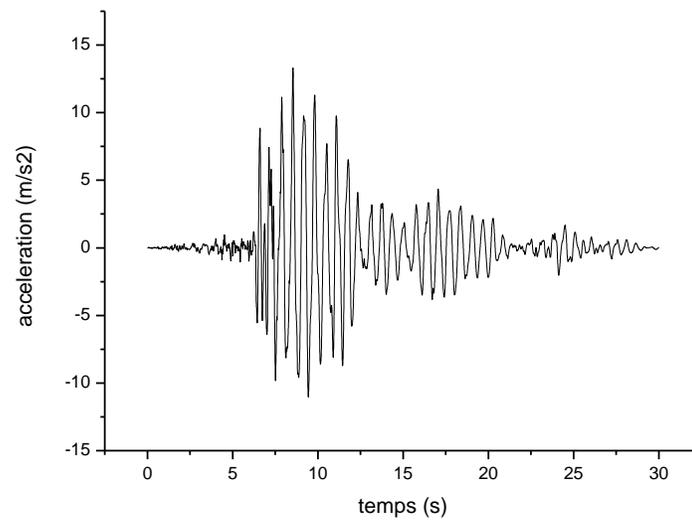


Figure 3.12:La réponse en accélération du dernier niveau suivant Y

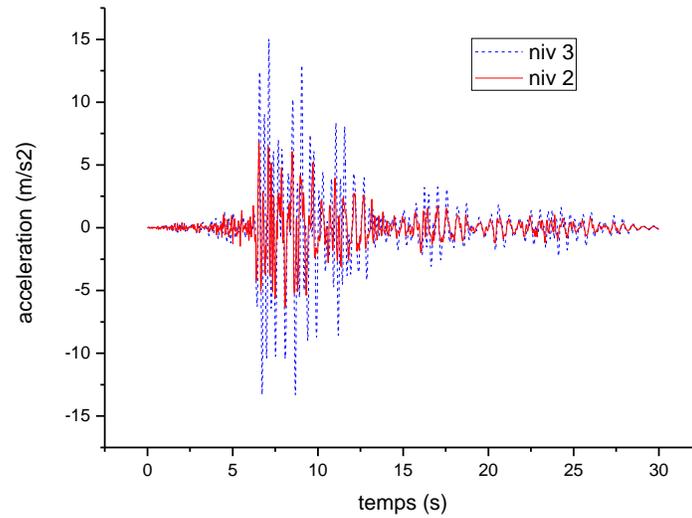


Figure 3.13:La réponse en accélération des deux derniers étages suivant X

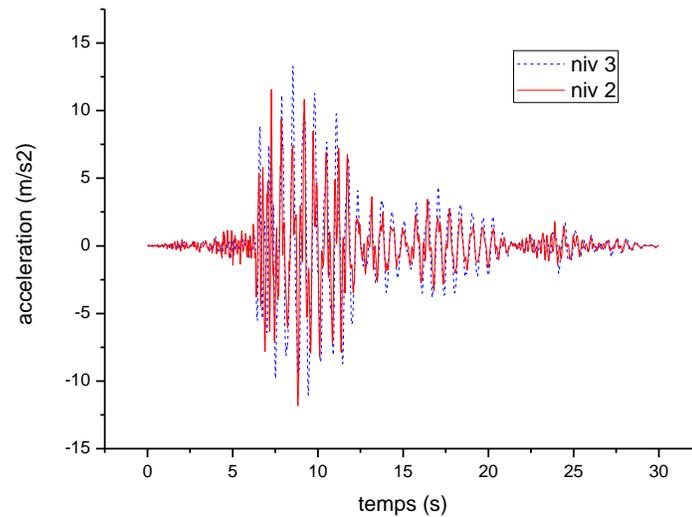


Figure 3.14:La réponse en accélération des deux derniers étages suivant Y

3.7.5 L'effort tranchant :

Les efforts tranchants a la base son donnée dans les figures suivants :

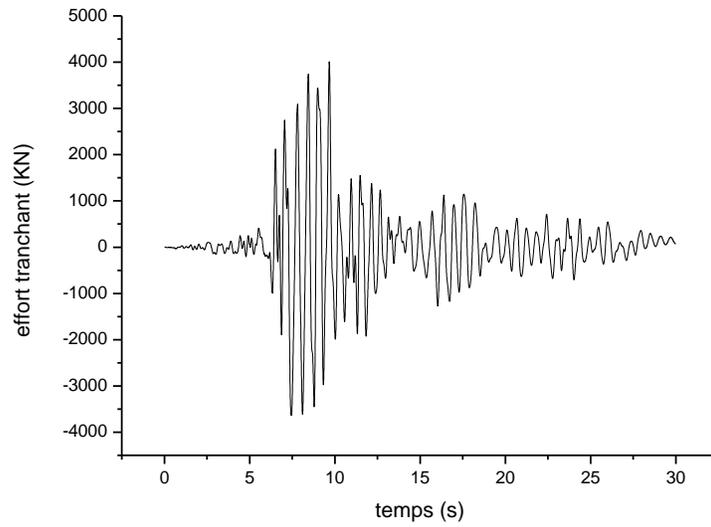


Figure 3.15: Effort tranchant à la base suivant X

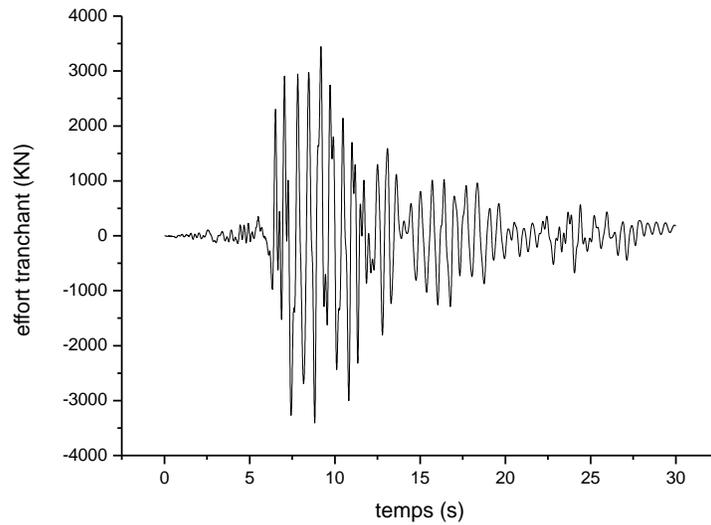


Figure 3.16: Effort tranchant à la base suivant Y

Tableau 3.2 : Tableau récapitulatif des résultats obtenus

	Niveau	Direction	Structure encastree
Déplacement (m)	Niv3	X	0.07
		Y	0.12
	Niv2	X	0.03
		Y	0.07
Accélération (m/s ²)	Niv3	X	15.05
		Y	13.2
	Niv2	X	6.8
		Y	11.8
Effort tranchant (KN)	base	X	4012
		Y	3442
Période (s)			0.65

3.8 Etude de la structure isolée :

Pour cette étude on utilise les appuis en élastomère fretté ayant un amortissement élevé et on refait l'étude de la structure précédente avec le même programme de calcul et la même excitation sismique.

3.8.1 Dimensionnement des systèmes d'isolations :

On va calculer les dimensions de l'appui qui supporte la plus grande charge verticale P_u .

Dans notre cas $W=P_u=1113KN$

Pour ce type d'appui la période T_D de la structure isolée devrait être trois fois plus grande que la période de la structure encastree tel que :

La période $T_D=3T=1.95$ sec.

La déformation angulaire $\gamma_{max}=1.5$.

Le coefficient d'amortissement effective est $\zeta_{eff} = 20\%$.

Le coefficient d'amortissement $B_D = 1.5$.

Le coefficient de séismicité $S_D = 0.4$ [tableau 1623.2.2.1 et 1615.1.2(2) de l'IBC 2000]

1. Calcule la rigidité effective horizontale K_{eff} :

$$K_{eff} = \frac{P_u}{g} \left(\frac{2\pi}{T_D} \right)^2 = \frac{1113}{9.81} \left(\frac{2 \cdot 3.14}{1.95} \right)^2 = 1177 \text{ KN/m}$$

2. Le déplacement maximum de conception $D = \Delta_s$ de l'appui

$$D = \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) \frac{S_D T_D}{B_D} = \left(\frac{9.81}{4\pi^2} \right) \frac{0.4 \cdot 1.95}{1.5} = 0.13 \text{ m} < 0.3 \text{ m} \quad \text{ok}$$

3. Déterminer la hauteur totale du caoutchouc (t_r):

$$t_r = \frac{D}{\gamma_{max}} = \frac{0.13}{1.5} = 0.09 \text{ m}$$

En choisi $t_r = 0.1 \text{ m}$

Et en choisir les propriétés de caoutchouc à partir du tableau 2.1 pour un type de qualité IRHD-55 tel que :

$$E = 325 \text{ N/cm}^2$$

$$G = 81 \text{ N/cm}^2$$

$$K = 0.64$$

$$\varepsilon_b = 500\%$$

4. Choisir le facteur de forme S :

$$\frac{E \cdot (1 + 2kS^2)}{G} \geq 400 \rightarrow \frac{325 \cdot (1 + 2 \cdot 0.64S^2)}{81} \geq 400$$

→ $S > 8.78$ en prend $S = 20$

Calcul d' E_c

$$E_c = E \cdot (1 + 2kS^2) = 325 \cdot (1 + 2 \cdot 0.64 \cdot 20^2) = 166725 \text{ N/cm}^2$$

5. Déterminer la section A_0 de l'appui :

$$\sigma_c = \frac{P_u}{A_0} \leq 7.84 \text{ MN/m}^2 \rightarrow \frac{1.113}{A_0} \leq 7.84 \text{ MN/m}^2$$

$$\rightarrow A_0 > 0.14 \text{ m}^2$$

6. Déterminer la section A_1 de l'appui :

$$6S \frac{P_u}{E_c A_1} \leq \frac{\varepsilon_b}{3} \rightarrow 6 \cdot 20 \frac{1.113}{1667.25 \cdot A_1} \leq \frac{500\%}{3}$$

$$\rightarrow A_1 > 0.048 \text{ m}^2$$

7. Obtenir la section minimale A_{sf} :

$$A_{sf} = \frac{K_{eff.tr}}{G} = \frac{1177 \cdot 0.1}{810} = 0.15 \text{ m}^2$$

$$A_{sf} = \frac{\pi d^2}{4} \rightarrow d^2 = 4 \cdot 0.15 / 3.14 \rightarrow d = 0.19 \text{ m (appui circulaire).}$$

8. Calculer la section $A_2 = A_{re}$:

$$A_{re} = \frac{d^2}{4} (\beta - \sin \beta)$$

$$\beta = 2 \cos^{-1} \left(\frac{As}{d} \right) = 2 \cos^{-1} \left(\frac{0.13}{0.19} \right) = 1.63 \text{ rad}$$

$$\rightarrow A_2 = 0.0057 \text{ m}^2$$

9. La section A de l'appui :

$$A = \max (A_0, A_1, A_2) = \max (0.14, 0.048, 0.0057) = 0.14 \text{ m}^2 \rightarrow d = 0.42 \text{ m}$$

En déterminer les dimensions de l'appui à partir de la section calculée A

$$A = 0.2 \text{ m}^2.$$

$$d = 0.5 \text{ m.}$$

$$A_{re} = 0.132 \text{ m}^2.$$

10. Calculer l'épaisseur d'une seule couche de caoutchouc t et leurs nombre N :

$$S = \frac{d}{4t} \rightarrow 20 = \frac{50}{4t} \rightarrow t = 0.625 \text{ cm}$$

Prend $t = 1 \text{ cm}$.

$$t_r = N \times t \rightarrow N = 10 \text{ couches}$$

11. Calculer l'épaisseur de la plaque d'acier t_s :

$$t_s = \frac{2(t_i + t_{i+1}) \cdot P_u}{A_{re} \cdot F_s} \geq 2 \text{ mm}$$

$$F_s = 0.6 F_y = 0.6 \cdot 274.4 \rightarrow F_s = 164.64 \text{ MN/m}^2$$

$$t_s = \frac{2(0.01 + 0.01) \cdot 1.113}{0.132 \cdot 164.64} = 0.0020 \text{ m} \geq 2 \text{ mm}$$

Prend $t_s = 5 \text{ mm}$

12. La hauteur totale de l'appui h :

Supposons que les plaques du couvercle supérieur et inférieur sont de 3 centimètres d'épaisseur.

$$h = t_r + 9 \times t_s + 2 \times 3 = 10 + 9 \cdot 0.5 + 6 = 20.5 \text{ cm}$$

3.8.2 Conditions de résistance et de stabilité:

1-La résistance au cisaillement sous la charge verticale P_u :

$$\gamma_c = 6S \frac{P_u}{E_c A} = 6 \cdot 20 \cdot \frac{1.113}{1667.25 \cdot 0.2} = 0.4 \leq \frac{\varepsilon_b}{3} = \frac{500\%}{3} = 1.67 \rightarrow \text{Ok}$$

2-État de stabilité :

$$\sigma_c = \frac{P}{A} = \frac{1113}{0.2} = 5565 \text{KN/m}^2 \leq \frac{\pi G.S.L}{\sqrt{6}.t_r} = \frac{3.14*810*20*0.5}{\sqrt{6}*0.1} = 103833.87 \text{KN/m}^2 \rightarrow \text{Ok}$$

Les caractéristiques du système d'isolation des HDRBs sont :

Diamètre de l'appui $d=50\text{cm}$

L'hauteur totale de l'appui $h=20.5\text{cm}$

Nombre de couche de caoutchouc $N=10$

L'épaisseur d'une seule couche de caoutchouc $t=1\text{cm}$

Nombre des plaques d'aciers $N_s=9$

L'épaisseur d'une seule plaque d'acier $t_s=5\text{mm}$

L'épaisseur des plaques du couvercle supérieur et inférieur $=3\text{cm}$.

3.8.3 Modélisation :

Le vues de la structure modélisée est représentée dans la figure(31).

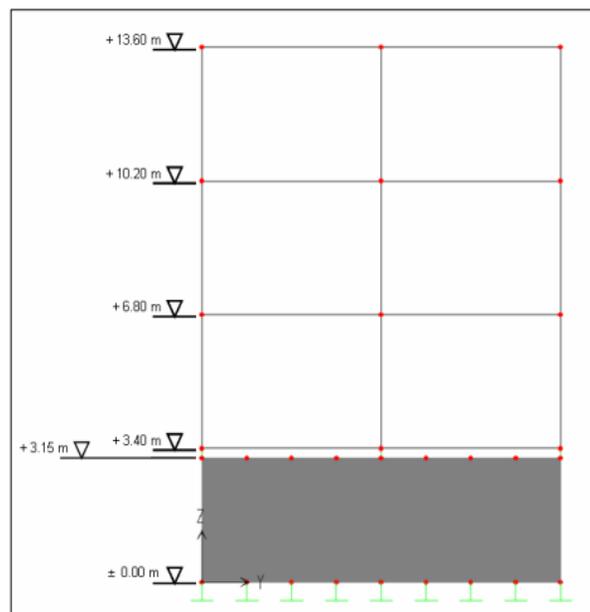


Figure 3.17:vue en élévation de la structure isolée

3.8.4 Caractéristiques dynamiques propres :

Les caractéristiques dynamiques propres obtenues sont données dans le tableau suivant :

Tableau 3.3: Périodes et fréquences modales

Mode	Périodes Sec	Fréquence Cyc/sec	Pulsation ω	Valeur propre ω^2
1	1.578846	0.63337	3.9796	15.837
2	1.497097	0.66796	4.1969	17.614
3	1.36585	0.73214	4.6002	21.162
4	0.490809	2.0375	12.802	163.88
5	0.451567	2.2145	13.914	193.6
6	0.404984	2.4692	15.515	240.7
7	0.36518	2.7384	17.206	296.04
8	0.340013	2.9411	18.479	341.48
9	0.329509	3.0348	19.068	363.6
10	0.300394	3.329	20.917	437.5
11	0.283519	3.5271	22.161	491.13
12	0.274266	3.6461	22.909	524.83

3.8.5 Les déplacements :

Les réponses en déplacement sont données dans les figures suivantes :

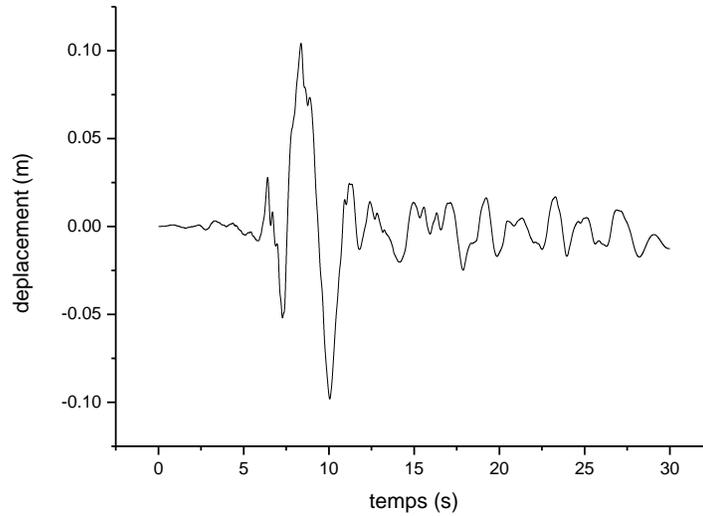


Figure 3.18: La réponse en déplacement de l'appui suivant X

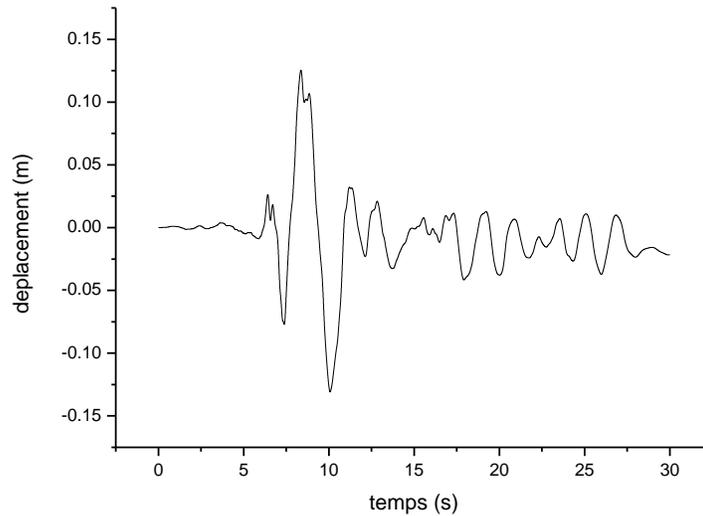


Figure 3.19: La réponse en déplacement de l'appui suivant Y

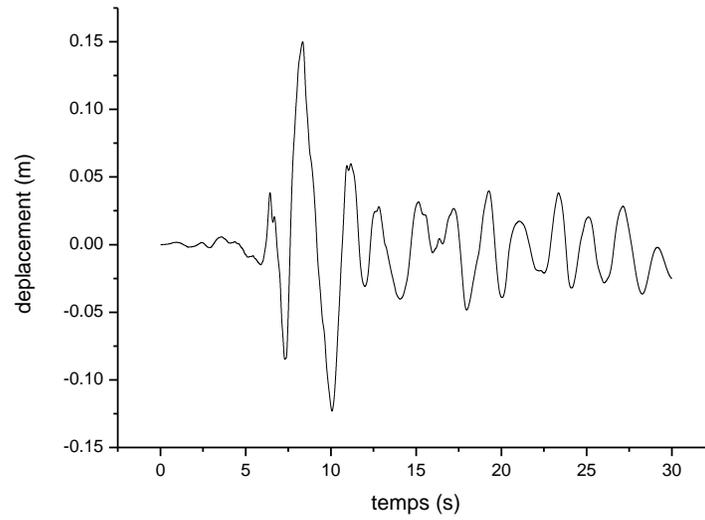


Figure 3.20:La réponse en déplacement du dernier niveau suivant X

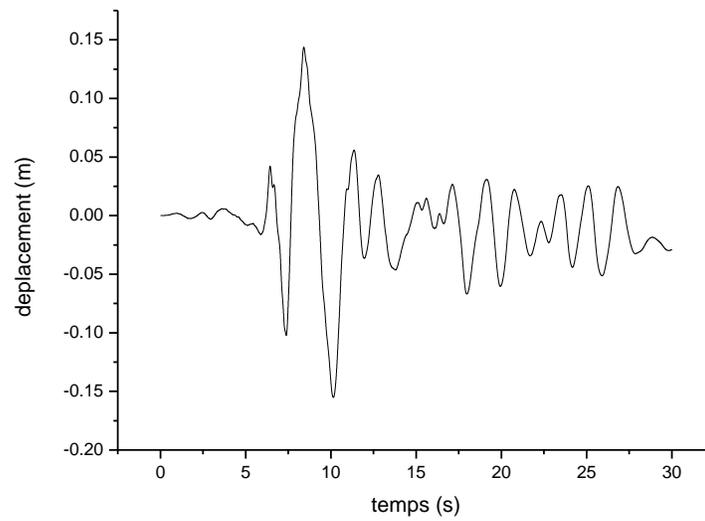


Figure 3.21:La réponse en déplacement du dernier niveau suivant Y

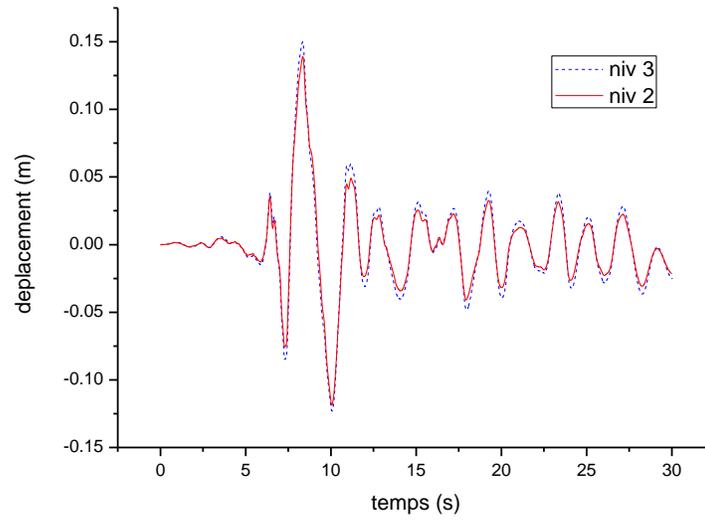


Figure 3.22:La réponse en déplacement des deux derniers étages suivant X

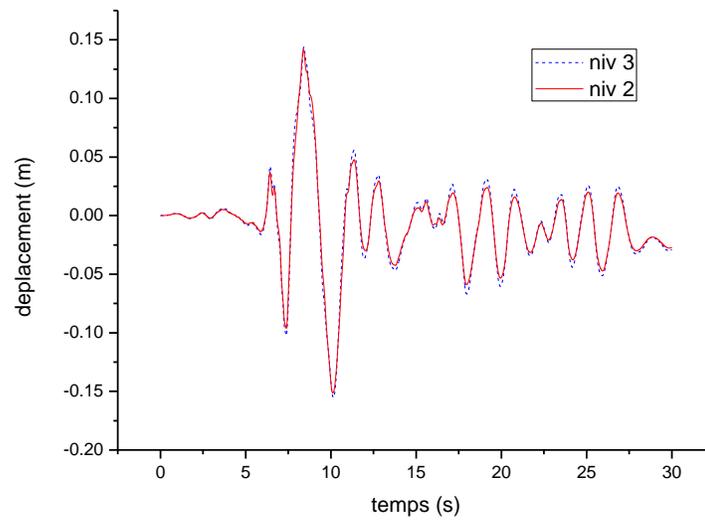


Figure 3.23:La réponse en déplacement des deux derniers niveaux suivant Y

3.8.6 Les accélérations :

Les réponses en accélérations son donnée dans les figures suivants :

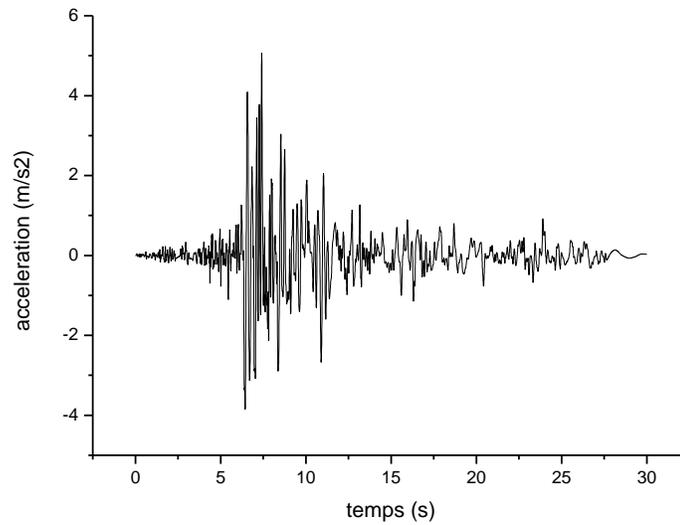


Figure 3.24:La réponse en accélération à la base suivant X

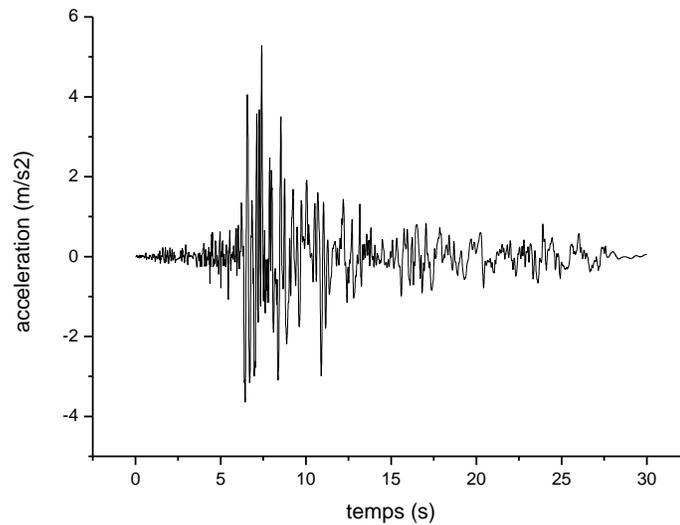


Figure 3.25:La réponse en accélération à la base suivant Y

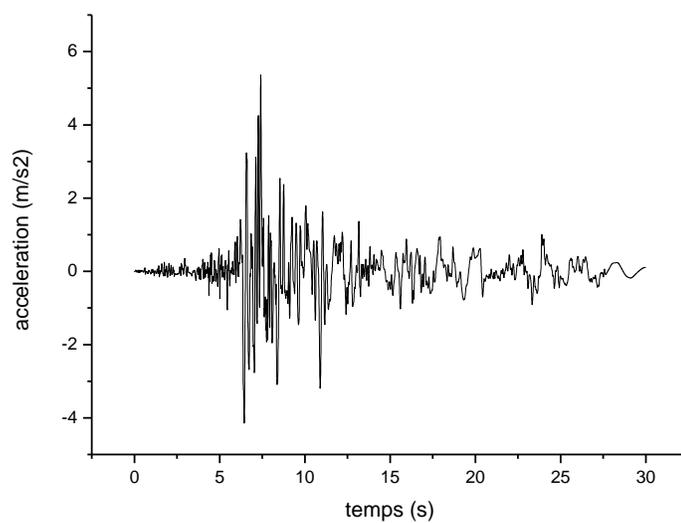


Figure 3.26:La réponse en accélération du dernier niveau suivant X

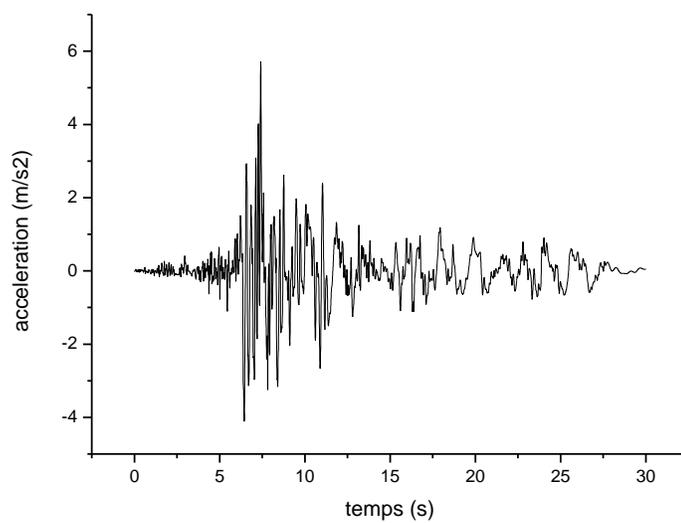


Figure 3.27:La réponse en accélération du dernier niveau suivant Y

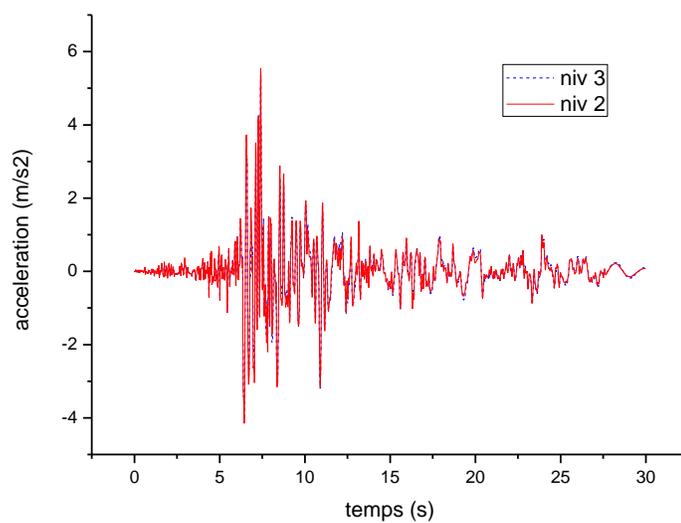


Figure 3.28:La réponse en accélération des deux derniers niveaux suivant X

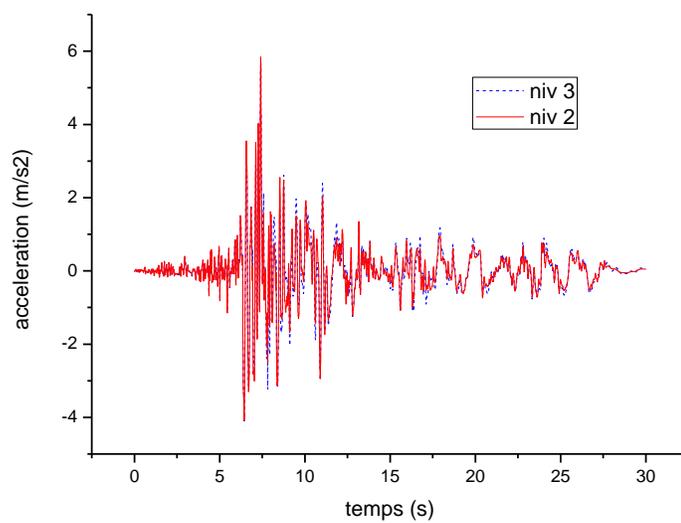


Figure 3.29:La réponse en accélération des deux derniers niveaux suivant Y

3.8.7 Les efforts tranchants :

Les efforts tranchants a la base son donnée dans les figures suivants :

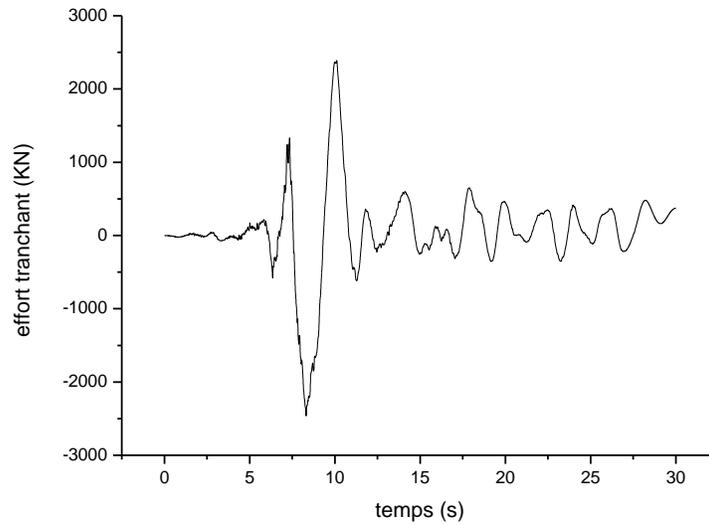


Figure 3.30:Effort tranchant à la base suivant X

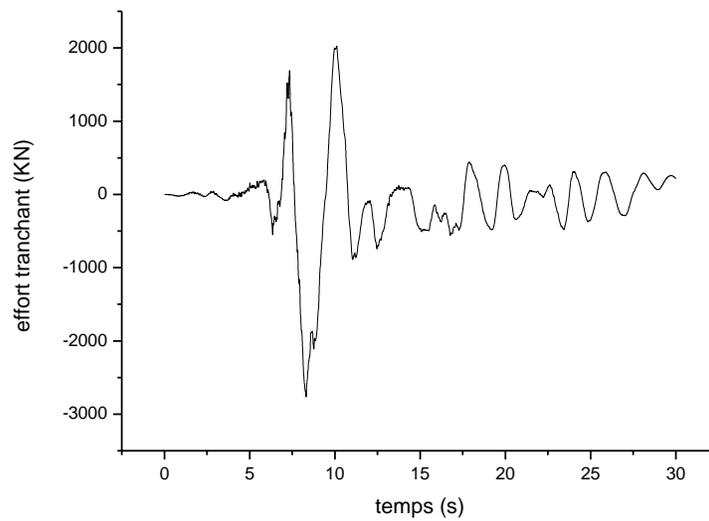


Figure 3.31:Effort tranchant à la base suivant Y

Tableau 3.4 : Tableau récapitulatif des résultats obtenus

	Niveau	Direction	Structure isolée
Déplacement (m)	Niv3	X	0.15
		Y	0.15
	Niv2	X	0.14
		Y	0.15
Accélération (m/s ²)	Niv3	X	5.36
		Y	5.71
	Niv2	X	5.54
		Y	5.83
Effort tranchant (KN)	base	X	2390
		Y	2766
Période (s)			1.57

3.9 Etude comparative :

Pour évaluer la performance des structures isolées, ainsi que l'efficacité des systèmes d'isolation, une comparaison entre les réponses dynamiques d'une structure isolée et les réponses dynamiques de la même structure (sans le système d'isolation) doit être faite en terme de réponse en déplacements, déplacements inter étages, accélérations et efforts tranchants. Cette comparaison est faite à l'aide d'un même programme numérique d'analyse dynamique des structures (sap 2000).

3.9.1 Caractéristiques dynamiques propres :

Dans le tableau ci dessous on a les fréquences et les périodes obtenue pour les deux types de structure, et d'après ces résultats on a observé que les fréquences correspondant aux modes isolée est réduites en moyenne de 61% ce qui découvrir que les isolateurs est adoucir la structure.

Tableau 3.5 : Caractéristiques dynamiques propres

Mode	Structure encastree		Structure isolee	
	Périodes Sec	Fréquence Cyc/sec	Périodes Sec	Fréquence Cyc/sec
1	0.653952	1.5292	1.578846	0.63337
2	0.58733	1.7026	1.497097	0.66796
3	0.507363	1.971	1.36585	0.73214
4	0.331737	3.0144	0.490809	2.0375
5	0.293059	3.4123	0.451567	2.2145
6	0.265697	3.7637	0.404984	2.4692
7	0.250693	3.9889	0.36518	2.7384
8	0.245535	4.0727	0.340013	2.9411
9	0.232601	4.2992	0.329509	3.0348
10	0.208004	4.8076	0.300394	3.329
11	0.199828	5.0043	0.283519	3.5271
12	0.19205	5.207	0.274266	3.6461

3.9.2 Les déplacements :

Les figures suivantes montre les réponses en déplacements du dernier niveau des deux structures encastree et isolee dans les deux directions X et Y, et d'après ces graphes les réponses en déplacements correspondant a la structure isolee sont plus importants par rapport a celle de la structure encastree, ceci est cause par les grands déplacements de la base de la structure isolee.

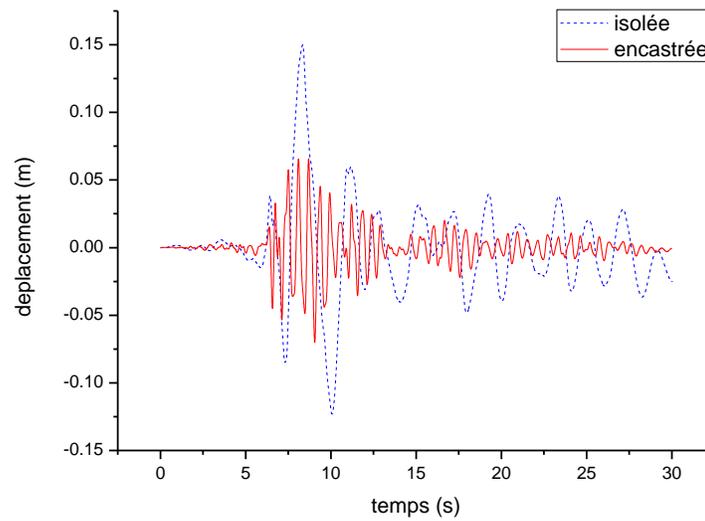


Figure 3.32:La réponse en déplacement du dernier niveau de la structure avec et sans le system d'isolation suivant X

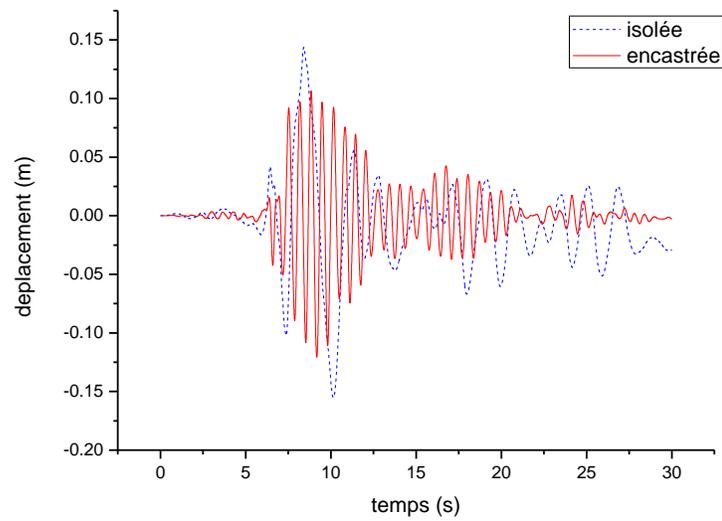
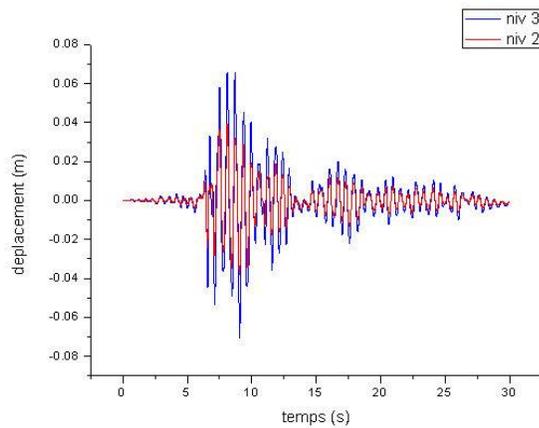


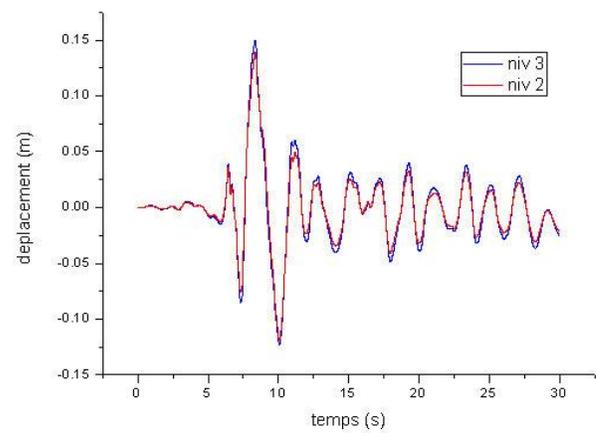
Figure 3.33:La réponse en déplacement du dernier niveau de la structure avec et son le system d'isolation suivant Y

3.9.3 Les déplacements inter étages :

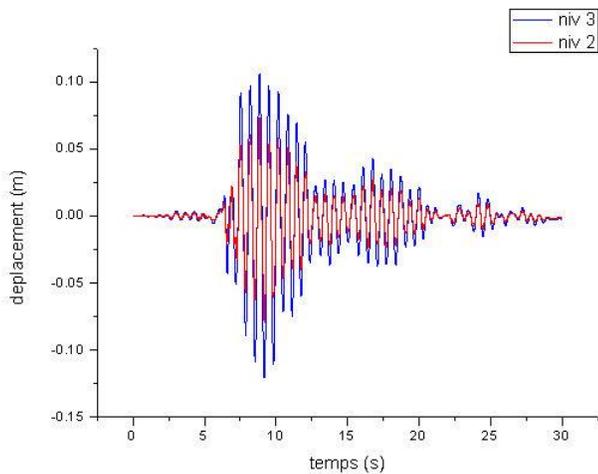
La figure 3.34 montre que les déplacements des deux dernier niveaux de la structure isolée sont identiques, cela veut dire que la structure isolée vibre comme un corps rigide et subit moins de déformations, donc les amplifications des déplacements sont considérablement réduites. Cependant, la structure encastree vibre d'un côté à l'autre avec une amplification des déplacements et avec des grands déplacements relatifs entre les deux derniers niveaux.



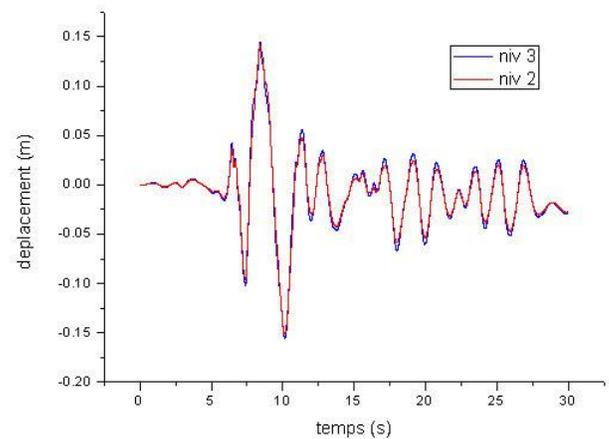
Encastree (suivant X)



Isolée (suivant X)



Encastree (suivant Y)



Isolée (suivant Y)

Figure 3.34: Les réponses en déplacements des deux dernier niveaux de la structures (encastree/isolée)

3.9.4 Les accélérations :

Les figures suivantes montrent les accélérations des deux derniers niveaux de la structure isolée et encastrée.

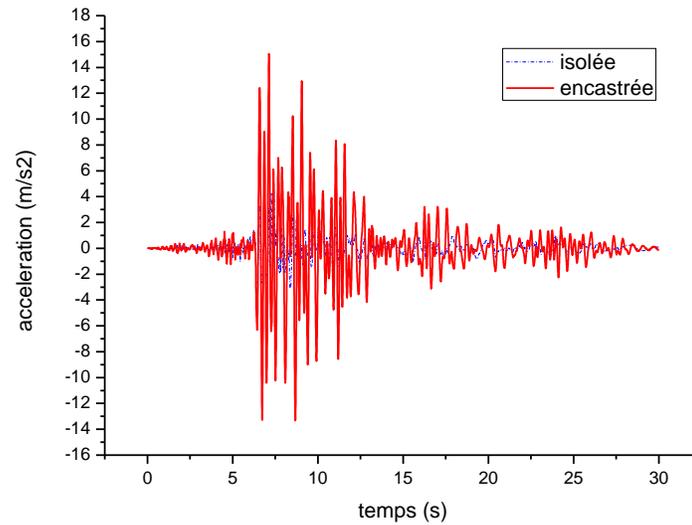


Figure 3.35: La réponse en accélération du dernier niveau de la structure avec et sans le system d'isolation suivant X

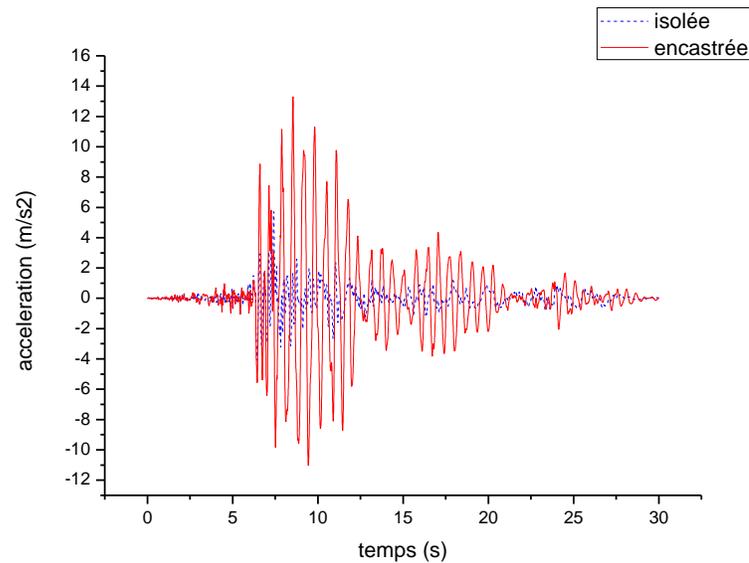


Figure 3.36: La réponse en accélération du dernier niveau de la structure avec et sans le system d'isolation suivant Y

les accélérations de la structure isolée sont réduites par rapport aux accélérations de la structure encadrée, et sa explique le découplage entre le mouvement du sol et la superstructure.

3.9.5 Les accélérations inter étages :

La figure 3.37 montre que les accélérations des deux dernier niveaux de la structure isolée sont identique, c a d que les amplifications des accélérations sont réduites. Cependant, la structure encadrée vibre d'un côté à l'autre avec une amplification des accélérations et avec des grandes accélérations relatives entre les deux derniers niveaux.

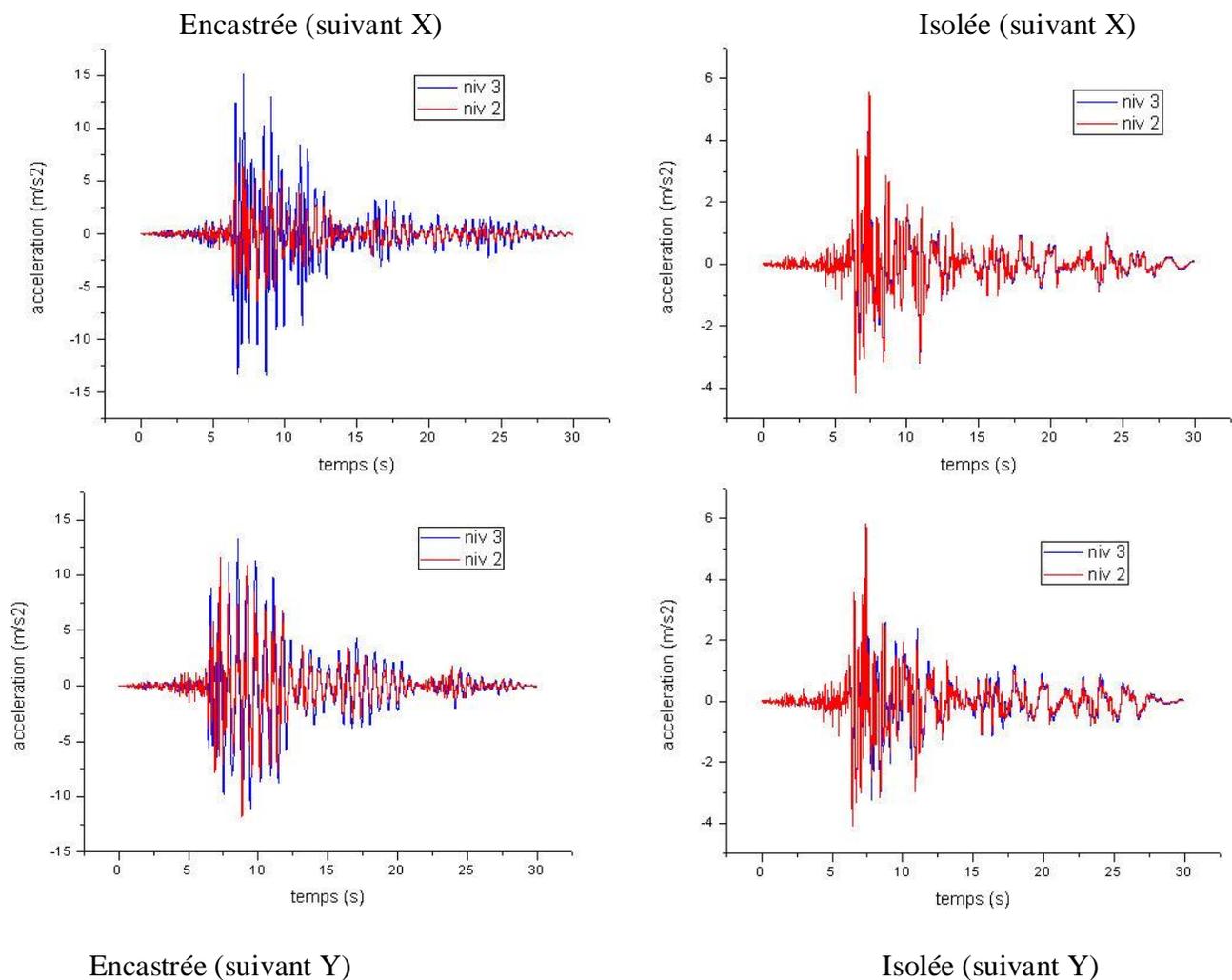


Figure 3.37: Les réponses en accélérations des deux dernier niveaux de la structures (encastrée/isolée)

3.9.6 Les efforts tranchants :

Les figures suivantes montrent les efforts tranchants à la base des deux structures isolée et encastrée.

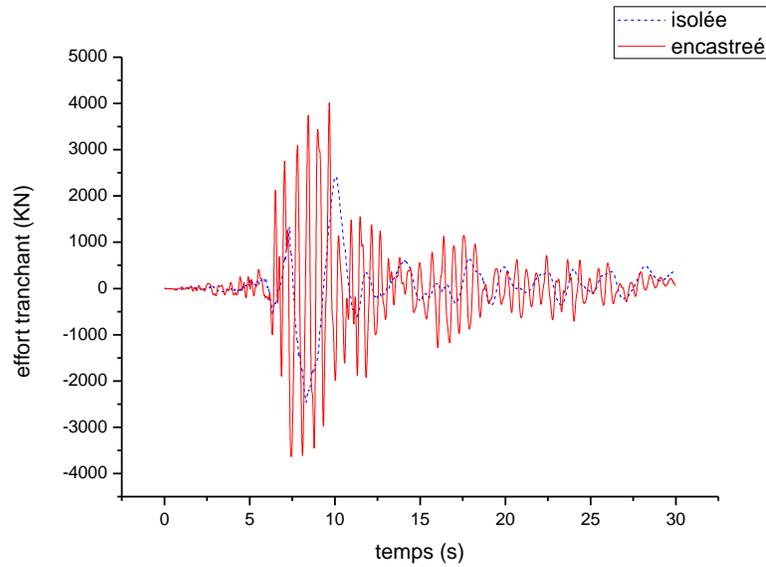


Figure 3.38: Effort tranchant a la base de la structure avec et sans le system d'isolation suivant

X

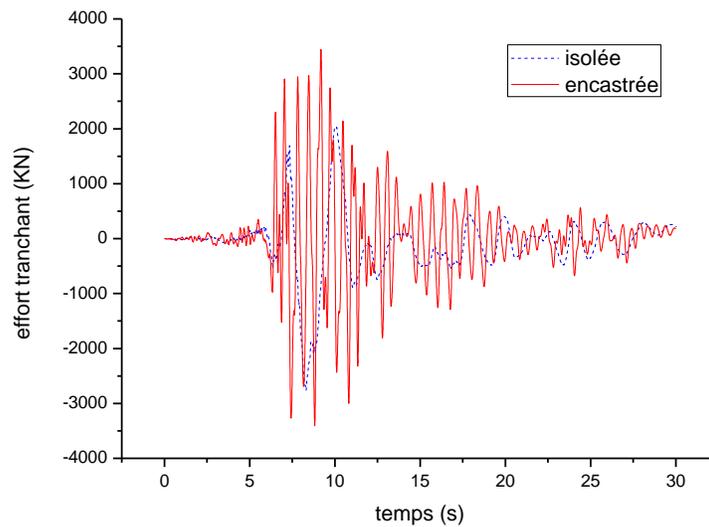


Figure 3.39: Effort tranchant a la base de la structure avec et sans le system d'isolation suivant

Y

les efforts tranchants à la base de la structure isolée sont réduites par rapport à la structure encastree, et sa causée par la réduction des accélérations dans la structure isolée.

Tableau 3.6 : Tableau récapitulatif des résultats obtenus

	Niveau	Direction	Structure encastree	Structure isolée
Déplacement (m)	Niv3	X	0.07	0.15
		Y	0.12	0.15
	Niv2	X	0.03	0.14
		Y	0.07	0.15
Accélération (m/s ²)	Niv3	X	15.05	5.36
		Y	13.2	5.71
	Niv2	X	6.8	5.54
		Y	11.8	5.83
Effort tranchant (KN)	Base	X	4012	2390
		Y	3442	2766
Période (s)			0.65	1.57

3.10 Conclusion :

L'analyse numérique qu'on a effectué pour les deux types de structures (isolée et non isolée) nous a permis de dire ce qui suit :

Les périodes de la structure isolée sont augmentées par rapport aux périodes de la structure non isolée et cela veut dire que la structure isolée est devenue souple.

Les déplacements de la structure isolée sont plus grande que les déplacements de la structure encastree à cause des déplacements importants localisés au niveau des appuis parasismiques.

Les déplacements inter étages sont très réduit dans la structure isolée que la structure encastree et cela veut dire que la structure isolée est déplacer comme un corps infiniment rigide.

Les accélérations de la structure isolée sont moins importantes par rapport aux accélérations de la structure encadrée grâce aux appuis parasismique qui vas amortir l'excitation sismique et cela veut dire la réduction des efforts tranchant a la base.

CHAPITRE 4

L'INFLUENCE DU TYPE DE SYSTEME D'ISOLATION SUR LA REPONSE DYNAMIQUE DES STRUCTURES ISOLEES

4.1 Introduction :

Dans ce qui suit une analyse dynamique d'une structure isolée sur deux systèmes d'isolation différents a été faite afin de faire une comparaison entre elle.

Nous allons considérer la même période de vibration pour les deux systèmes d'isolation qui sont soumis à la même excitation sismique (séisme du 21 mai 2003 de Boumerdès et d'Alger enregistrées à la station de Dar Beidha).

4.2 Description et dimensionnement des systèmes d'isolation :

Notre analyse est basée sur les deux systèmes d'isolations suivants :

Les appuis en élastomère fretté ayant un amortissement élevé (HDRB).

Les appuis en pendules glissants.

4.2.1 Les appuis en élastomère fretté ayant un amortissement élevé (HDRB) :

Pour ce type on a déjà fait leur dimensionnement.

4.2.2 Les appuis en pendules glissants :

On utilise la même période $T_D = 3T = 1.95$ sec pour ce type de système et on prend le coefficient de frottement de la surface de glissement sphérique $\mu = 0.07$.

1. Le rayon de courbure R de la surface sphérique de glissement :

$$R = g \left(\frac{T_D}{2\pi} \right)^2 = 9.81 \left(\frac{1.95}{2\pi} \right)^2 = 0.95m$$

R=0.95 m.

2. La rigidité effective K_{eff} et le coefficient d'amortissement effectif ξ_{eff} :

$$K_{eff} = \frac{W}{R} + \frac{\mu W}{D}$$

D est calculé selon l'UBC :

$$D = \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) \frac{CT_D}{B_D}$$

$$C = ZNS_2$$

$$Z = 0.3 \text{ (zone 3)}$$

$$N = 1 \text{ (distance à la faille } \geq 15 \text{ Km)}$$

$$S_2 = 1.4 \text{ (sol moyen)}$$

$$C = 0.3 * 1 * 1.4 = 0.42$$

$$\text{Soit } \xi_{eff} = 20\% \text{ donc } B_D = 1.5.$$

$$D = \left(\frac{9.81}{4\pi^2} \right) \frac{0.42 * 1.95}{1.5} = 0.14m$$

La charge verticale W supportée par l'appui est égale à : 1113 KN.

$$K_{eff} = \frac{1113}{0.95} + \frac{0.07 * 1113}{0.14} = 1728 \text{ KN/m}$$

On vérifie ξ_{eff} par la formule suivante :

$$\xi_{eff} = \frac{2}{\pi} \frac{\mu}{\mu + D/R} = \frac{2}{\pi} \frac{0.07}{0.07 + 0.14/0.95} = 0.20 = 20\% \rightarrow \text{Ok}$$

3. Le déplacement vertical de l'appui δ_v :

$$\delta_v \cong \frac{D^2}{2R} = \frac{0.14^2}{2 * 0.95} = 0.01m$$

4. Le diamètre d de la surface sphérique :

$$d > 2D \rightarrow d > 2 * 0.14 = 0.28$$

On prend $d = 40 \text{ cm}$.

5. La vérification de la condition de recentrage de la structure :

$$\frac{D}{R} \geq \mu$$

$$\frac{D}{R} = \frac{0.14}{0.95} = 0.15 > 0.07 \rightarrow \text{Ok.}$$

Les dimensions de l'appui sont :

$$R = 0.95 \text{ m.}$$

$$\delta_v = 0.01 \text{ m.}$$

$$d = 40 \text{ cm.}$$

4.3 Etude comparative :

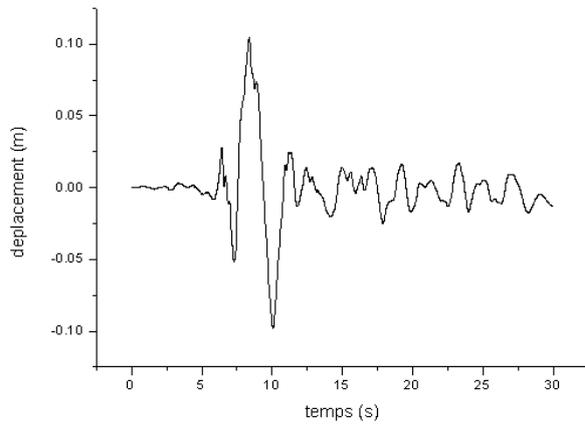
Les réponses en déplacements, accélérations et efforts tranchants de la structure avec les différents systèmes d'isolation sont représentées sous forme des tableaux et des graphes.

4.3.1 Période :

Les résultats des périodes obtenus pour les deux structures montrent que la période de la structure isolée par des appuis élastomère fretté ayant un amortissement élevé (1.57 s) est plus grande que celle de la structure isolée par des appuis en pendules glissants (1.37 s) et cela veut dire que la rigidité des appuis en pendule glissant est plus important que celle des appuis élastomère fretté ayant un amortissement élevé .

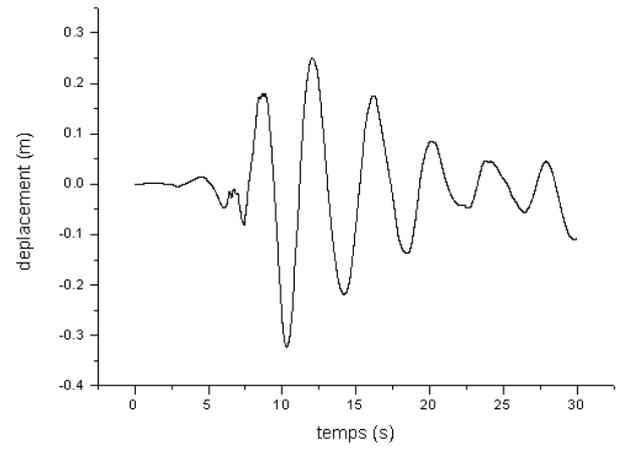
4.3.2 Les déplacements :

Les figures suivantes montre les réponses en déplacements à la base des deux structures isolé dans les deux directions X et Y.



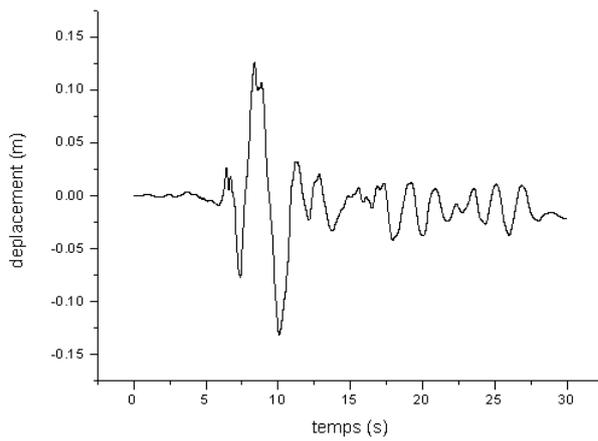
Appuis HDRB

Suivant (X)



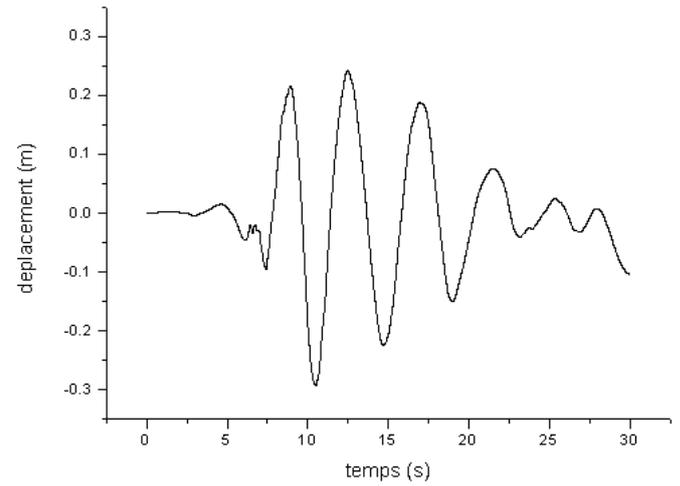
Appuis en pendules glissants

Suivant (X)



Appuis HDRB

Suivant (Y)



Appuis en pendules glissants

Suivant (Y)

Figure 4.1: Les réponses en déplacements a la base de la structure isolé par les deux system d'isolation (HDRB/pendule glissant)

Les figures suivantes montre les réponses en déplacements du dernier niveau pour les deux structures considérées dans les deux directions X et Y.

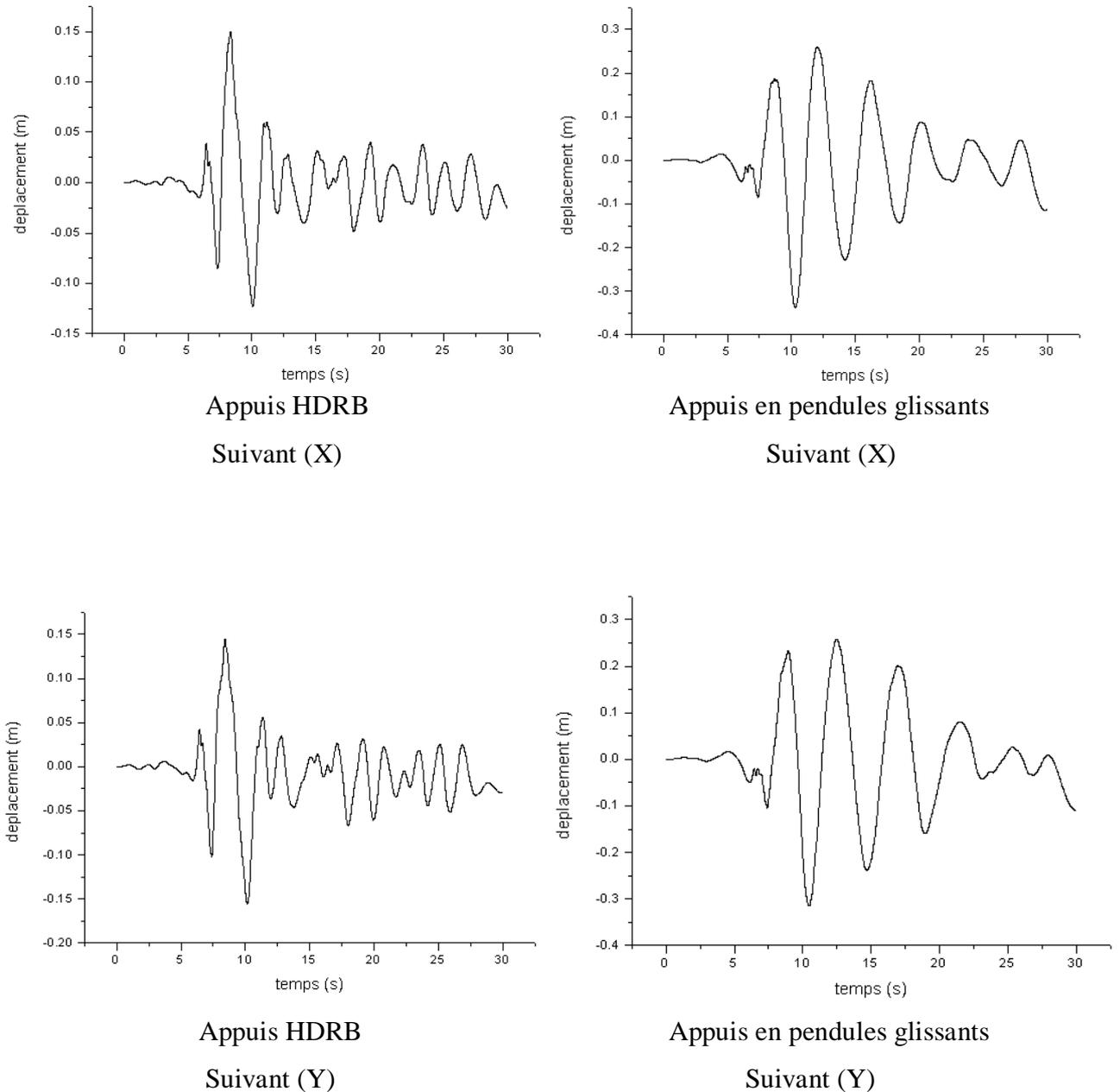


Figure 4.2: Les réponses en déplacements du dernier niveau de la structure isolé par les deux system d'isolation (HDRB/pendule glissant)

D'après les figures précédentes nous remarquons que les déplacements de la base des deux structures isolées sont différent, il est dans l'intervalle (10,43 ; 32) cm, 10,43 cm pour les appuis élastomère fretté ayant un amortissement élevé et 32cm pour les appuis en pendule glissants.

Les deux types d'appuis n'ont constaté aucun déplacement relatif des planchers.

4.3.3 Les accélérations :

Les figures suivantes montre les réponses en accélérations du dernier niveau des deux structures isolées dans les deux directions X et Y.

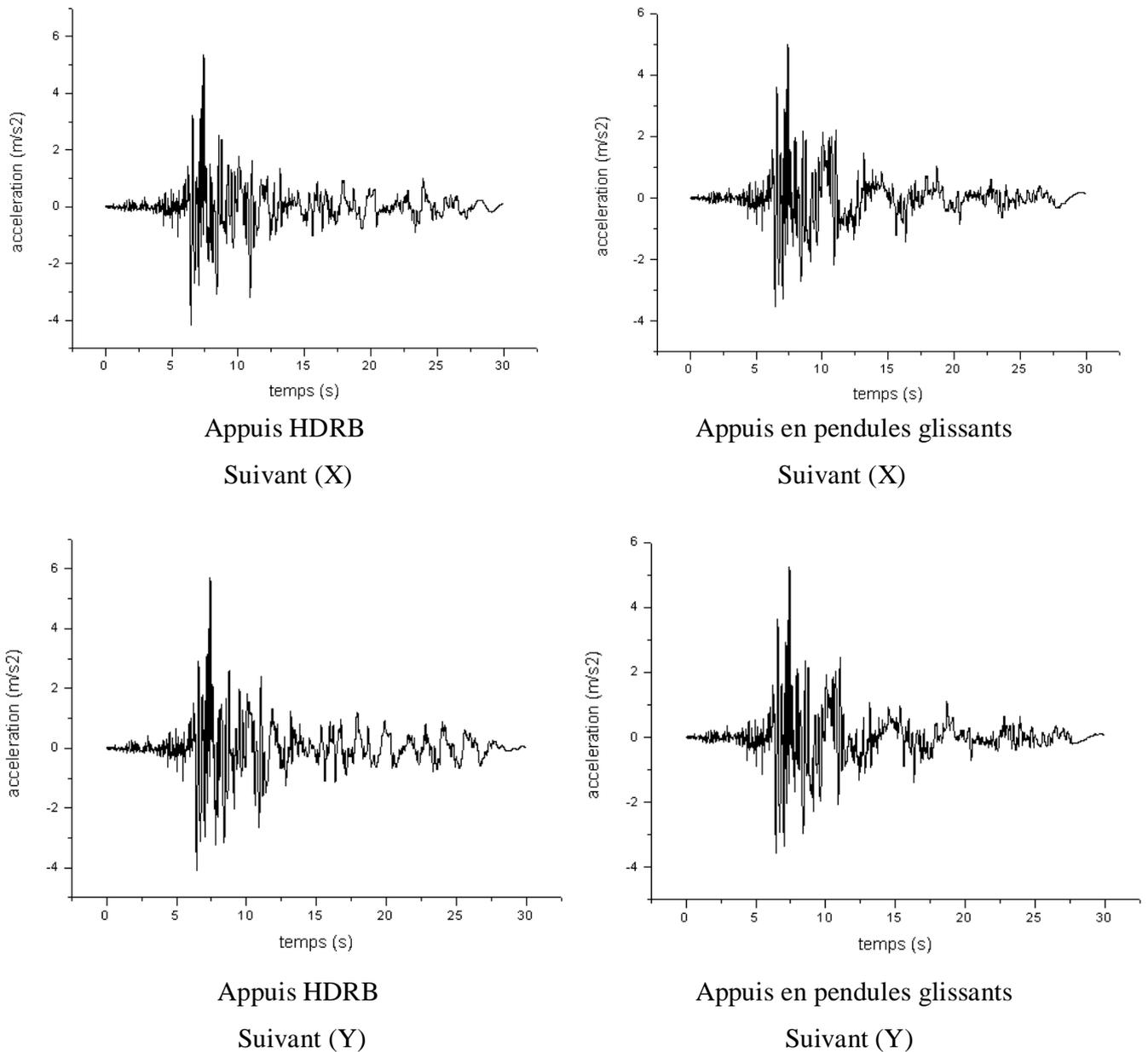


Figure 4.3: Les réponses en accélération du dernier niveau de la structure isolé par les deux system d'isolation (HDRB/pendule glissant)

les accélérations du dernier niveau de la structure isolée par appuis en pendule glissants sont moins importantes par rapport aux accélérations du dernier

niveau de la structure isolée par des appuis élastomère fretté ayant un amortissement élevé.

4.3.4 Les efforts tranchants :

Les figures suivantes montre les réponses des efforts tranchants à la base des deux structures isolées dans les deux directions X et Y.

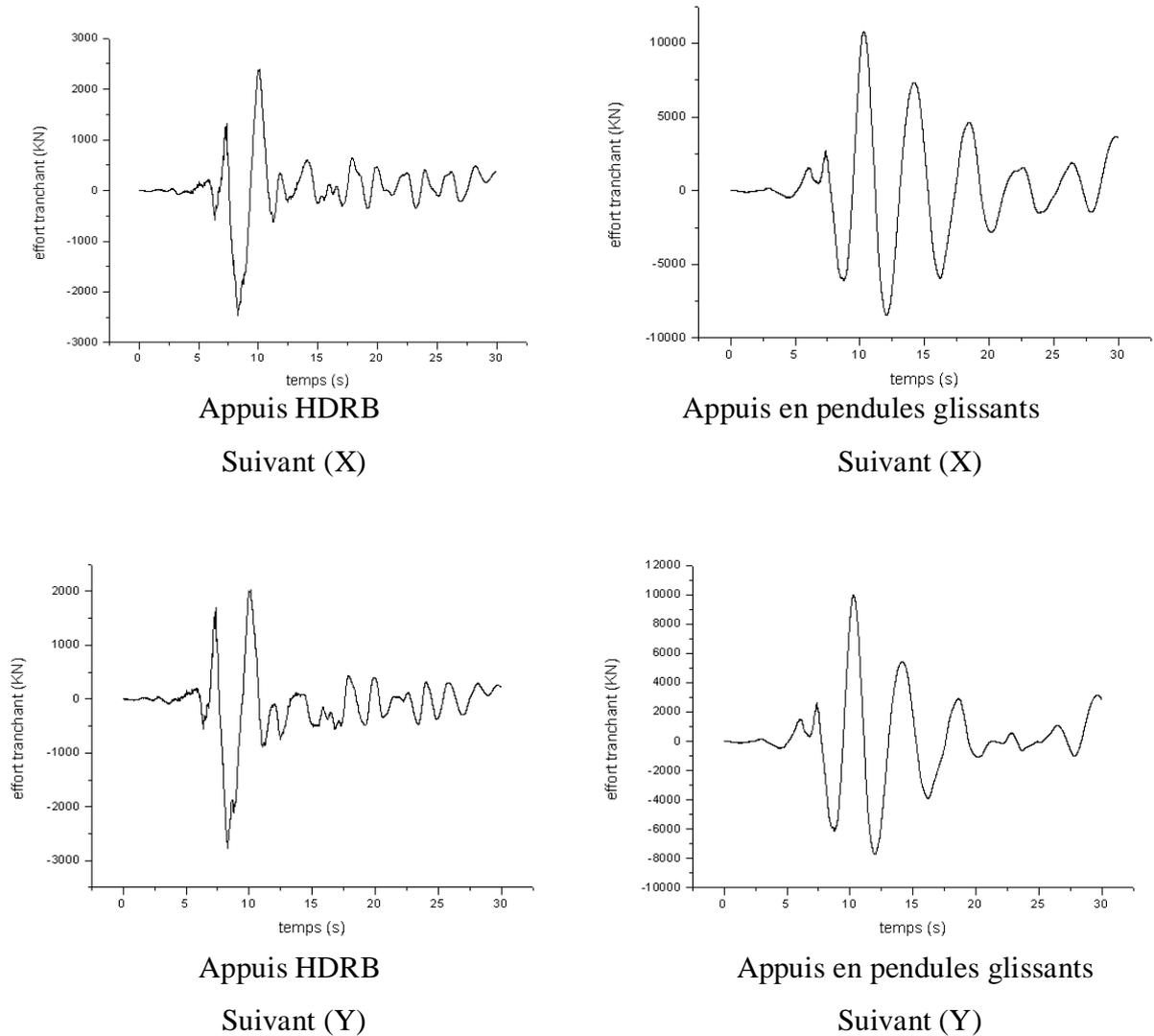


Figure 4.4: Les efforts tranchants a la base de la structure isolé par les deux system d'isolation (HDRB/pendule glissant)

Les efforts tranchants à la base de la structure isolée par des appuis élastomère fretté ayant un amortissement élevé sont moins importants par rapport aux efforts tranchants à la base de la structure isolée par des appuis en pendules glissants, et cela est due a la grande rigidité portée par cette dernière.

Tableau 4.1: Tableau récapitulatif des résultats obtenus

	Niveau	Direction	Structure isolée avec appui HDRB	Structure isolée avec appui en pendule glissant
Déplacement (m)	Niv3	X	0.15	0.33
		Y	0.15	0.31
	base	X	0.10	0.32
		Y	0.13	0.29
Accélération (m/s ²)	Niv3	X	5.36	4.9
		Y	5.71	5.2
Effort tranchant (KN)	Base	X	2390	10800
		Y	2766	9978
Période (s)			1.57	1.37

4.4 Conclusion :

L'analyse numérique qu'on a effectué pour les deux types d'isolateurs nous a permis de dire ce qui suivant :

La période de la structure isolée par des appuis élastomère fretté ayant un amortissement élevé est grande que celle de la structure isolée par des appuis en pendules glissants malgré que les deux appuis aient été calculés pour une même période de conception, et ça est due a la rigidité portée pour chaque system.

Les déplacements à la base de la structure isolée par des appuis en pendules glissants sont plus importants par rapport aux déplacements à la base de la structure isolée par des appuis élastomère fretté ayant un amortissement élevé, mais les deux types d'appuis n'ont constaté aucun déplacement relatif des planchers.

Les accélérations de la structure isolée par les appuis en pendule glissants sont moins importantes par rapport aux celle isolé par des appuis élastomère fretté ayant un amortissement élevé, donc cette dernière amortir bien l'excitation sismique et cela veut dire la réduction des efforts tranchant a la base dans cette dernière.

CONCLUSION GENERALE

L'isolation à la base semble apparaître être une technologie sismique très prometteuse à employer pour tous les types de structures. Cependant, elle est recommandée seulement pour les structures de moyenne hauteur (c.-à-d. moins de 20 étages) vu qu'elle est conçue principalement pour résister aux forces latérales de cisaillement. En outre, l'isolation à la base est bien adaptée pour les structures rigides présentant un seul degré de liberté.

L'objectif de ce travail consistait à évaluer la réponse dynamique des structures de moyenne hauteur munies d'un système d'isolation parasismique et de mettre en évidence le rôle et mode de fonctionnement de tels appuis dans la réduction des réponses.

L'analyse dynamique effectuée sur un cas d'étude de structure, en l'occurrence le siège du CTC à Ain defla, munie de 21 appuis en élastomère fretté avec amortissement élevé, nous a permis de conclure sur l'efficacité ajoutée sur la réponse sismique. En effet, ces appuis produisent un allongement de la période naturelle de vibration de la structure isolée par rapport au celle de la structure encastrée avec un déplacement se localisant principalement au niveau des appuis parasismiques. Aussi, nous avons pu mettre en évidence que les déplacements inter étages sont presque négligeables avec une capacité pour appuis parasismiques de réduire et filtrer les accélérations du sol transmise à la superstructure. De la même manière, nous avons observé que les forces sismiques agissantes sur la superstructure sont réduites.

Dans le cadre de ce travail, deux types fondamentalement différents de systèmes d'isolation parasismiques ont été étudiés, soient les appuis en élastomère fretté avec amortissement élevé et les appuis en pendules glissants. Ces systèmes ont des modes de fonctionnement distincts et il nous a pas été possible d'affirmer qu'un système est préférable à

rapport à l'autre. Néanmoins, pour chaque cas et selon les résultats d'investigation et d'interprétation, nous avons été en mesure d'établir les conclusions suivantes :

La période du mode fondamental de la structure isolée par les appuis élastomère fretté avec amortissement élevé est grande que celle de la structure isolée par les appuis en pendules glissants.

Les déplacements à la base de la structure isolée par des appuis en pendules glissants sont plus importants par rapport aux déplacements de la structure isolée par des appuis élastomère fretté avec amortissement élevé. Aussi, comme point commun pour les deux systèmes, nous avons constaté des déplacements relatifs de planchers presque négligeables.

Les accélérations de la structure isolée par les appuis élastomère fretté avec amortissement élevé sont plus importantes par rapport à celle isolée par des appuis en pendules glissants. En effet, cette dernière amortit mieux l'excitation sismique, tout en réduisant les efforts tranchants à la base.

Nous avons délibérément préféré limiter les conclusions sur les différents points relatifs à cette problématique de comparaison des deux types d'appuis parasismiques. En effet, nous recommandons des travaux futurs en vue de conforter et valider les résultats trouvés en introduisant d'autres types de structures servant pour le cas d'étude. Ce travail qui se veut une introduction à l'isolation parasismique nous a permis d'avoir une initiation au calcul des bâtiments sur appuis parasismiques, domaine qui n'est pas encore bien connu et maîtrisé en Algérie. D'autre part, nous préconisons une étude économique pour cerner le surcoût engendré par l'introduction de tels technologies dans le secteur du bâtiment.

Enfin, pour le cas de notre pays qui est à forte sismicité, nous partageons l'opinion que l'option de l'isolation sismique à la base pour les bâtiments stratégiques de moyenne hauteur est très avantageuse vu que le maintien de l'opérationnalité de tels ouvrages pendant et après un séisme est essentiel.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- [1]: Kenneth A. Ching(2008) «BASE ISOLATION CASE STUDY »
- [2]: ZACEK M (1996) «construire parasismique »
- [3]: YAMAGUCHI S, TERAMOTO T, WADA A. (1990) «Introduction to AIJ" Recommendation of Base Isolated Buildings" »
- [4]: SKINNER R.I., ROBINSON W.H., (1993) «An Introduction to Seismic Isolation» G.H.MCVERR
- [5]: CLARKP. W., ALKEN I. D., NAKASHIMA M., MIYAZAKI M., KIDORIKAWA M. (1999) «New Design Technologies, the 1995 Kobe (Hyogo Nanbu) » Earthquakes as a trigger for implementing new seismic design Technologies in Japan. Earthquake Engineering Research Institute (EERI)
- [6]: KELLY J. M. (1997) «Earthquake-Resistant design with rubber», Springer.
- [7]: BETTINALI F., BERGAMO G., BONACINA G., CASIRATI M., MENGA R., VENTURUZZO M., MARTELLI A. (1994) « Seismic Base Isolation of Civil and Industrial Structures », proceeding of the second international conference on Earthquake Resistant Construction and Design.
- [8]: ZHOU F., XIAN Q. (2000) «Recent Development on Seismic Isolation, Energy Dissipation, Passive and Semi Active Control of Structures in P.R CHINA» Proceedings of the China-US Millennium Symposium of Earthquake Engineering.
- [9]: FEMA 274, « seismic Isolation and Energy Dissipation (Systematic Rehabilitation)» Federal Emergency Management Agency, Washington.
- [10]: ACHOUR Farida. (2004) «Influence des isolateurs sismiques sur la réponse dynamique des bâtiments»
- [11]: Othman Ben Mekki2006 : Amortissement semi-actif des structures flexibles
DOCTEUR DE L'ECOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSEES
- [12]: Nilson P.A. and Elliot S.J. «Active control of sound». Acedemic Press, 1992.
- [13]: Ome J. Connor, Boutros S.A. Klink « Introduction to MOTION BASED DESIGN ».
- [14]: J. J. Connor. Introduction To Structural Motion Control.

- [15]: MOKHA A., CONSTANTINOU M.C., REINHORN A.M. (1988)« Teflon Bearing in A seismic Base Isolations, Experimental Studies and Mathematical Modeling» Technical Report NCEER-88-00-38, University at Buffalo.
- [16]: MOKHA. A, CONSTANTINOV. M. c., REINHORN. A.M, (1990) «Teflon Bearings in Base Isolation, Part I: Testing », Journal of Structural Engineering, ASCES, Vol 116 No.2, pp.438-454
- [17]: International Code Council (2000) «Seismically Isolated Structures Design Requirements» International Building Code.
- [18]: Fuller C.R., Elliot S.J. and Nilson P.A. Active control of vibration. Acedemic Press, 1996.
- [19]: Mayes, R.L. F. Naiem, 2001. «Design of Structures with Seismic Isolation, » in the Seismic Design Handbook, 2nd ed., Naiem, F., Ed., Kluwer Academic Publishers, Boston.
- [20]: Kelly, J. M., 1993. «Earthquake-Resistant Design with Rubber», Springer-Verlag, New York.
- [21]: Bridgestone Corporation, 1990. Multi-Rubber Bearings, International Industrial Products, Department Tokyo.
- [22]: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 1983. Guide Specifications for Seismic Design of Highway Bridges, Washington, D.C.
- [23]: Naiem, F. and J.M. Kelly, 1999. Design of Seismic Isolated Structures, John Wiley & Sons, New York.
- [24]: « Règlements parasismique Algérie RPA99 version 2003 ».

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à mon père pour tous son soutien, que dieu le protège.

A ma mère pour tous ces sacrifices, amour et soutien consacrés à ma réussite et que je la souhaite une longue vie.

A toute ma famille.

A mes amis, tayeb, abdelkader, khalil, hafid, raouf, ouanes,...

A tous ceux qui ont collaboré de près ou de loin à achever ce travail.