



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
DE MASTER EN GENIE CIVIL
OPTION : Géo Matériaux et Structures

Thème

Utilisation des isolateurs sismiques dans la conception parasismique des structures : modélisation et performances

Soutenu le : 24/05/2017

Présenter par :

HADAJI ASMA

Président :

BALEGH BENMAMER MAA,
Université d'ADRAR

Encadré par :

IKHLAEF BOUALAM MAA,
Université d'ADRAR

Examineurs

BENNACER LYACINE MCB,
Université d'ADRAR

Promotion 2016/2017

A ma famille

Et

Mes amis

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier et en premier lieu ALLAH, le Tout Puissant et Miséricordieux qui m'a donné la force, la volonté et le courage pour mener à bonne fin ce travail.

Mes sincères remerciements et ma profonde reconnaissance vont à mon Rapporteur de mémoire Mr. Ikhlef Boualeme enseignant à l'Université Ahmed Draya d'Adrar pour son dévouement, ses conseils et son soutien tout au long de l'élaboration de ce travail.

Je remercie le président de jury Mr. BALEGH Benmamer pour bien mener l'organisation et le déroulement de ma soutenance.

Son oublier mon examinateurs Mr. Bennacer Lyacine pour toutes notes et explications qui m'ont donné.

Mes pensées vont à tous les enseignants qui ont participé à ma formation, en graduation et en post-graduation.

Et je tiens aussi à remercier mes chers et adorables PARENTS pour toute aide et soutien qu'ils m'ont offerts tout au long de mes études.

Finalement, un grand merci à tous ceux et toutes celles qui d'une manière ou d'une autre m'ont aidé et soutenu de près ou de loin.

ملخص

اليوم و بعد أن أصبح نظام العزل الزلزالي معروفا ، أصبح بالمكان توفير للبناء أثناء الزلزل نسبة كبيرة من الأمن و الحماية من الأخطار الزلزالية اكثر من النظام المعروف . تقنية العزل الزلزالي تسمح بتحويل البنايات الضعيفة و الحساسة إلى بنايات مقاومة للزلزل و ذلك بتخفيض انتقال مفعول حركة الأرض إلى البناية من دون تعطيل وظيفتها الحيوية. هدف هذا العمل هو توضيح سلوك المباني مع و بدون نظام العزل و تأثير هذه الأنظمة على تخفيض الطلب الزلزالي. قمنا في إطار هذا البحث بدراسة معمقة، بحيث تم التطرق لجميع الخصائص للحصول على مختلف الاستجابات الزلزالية للمباني الخامة بخصوص النتقالت النسبية، التسارعات وقوى القص على مستوى القاعدة، من أجل تقييم تأثير نسبة التخماد على استجابة المبنى. كما قمنا، في هذه الأطروحة بدراسة مزايا أنظمة العزل باستخدام نوعين من العوازل. من خلال هذه الدراسة، تبين عن طريق التحليل الرقمي نجاعة نظام العزل القاعدي في امتصاص قوى الزلزال .

كلمات مفتاحيه : نظام العزل الزلزالي, الاستجابات الزلزالية.

Résumé

Aujourd'hui, et après que le système d'isolation sismique de structures est connu, on peut offrir à la structure pendant le séisme une haute sureté et protection de dégâts qu'un système encastré. La technologie de l'isolation sismique permet de convertir des bâtiments faibles et vulnérables aux bâtiments résistants et insensibles au séisme en réduisant le transfert de l'effet du mouvement du sol au bâtiment sans interruption de ses opérations fonctionnelles. Ce travail a pour objectif d'éclairer le comportement des structures avec et sans le système d'isolation et l'influence de ces systèmes sur la réduction des demandes sismiques. Une analyse dynamique et une étude paramétrique ont été effectuées afin de déterminer les réponses sismiques des structures isolées en termes de déplacement, d'accélération et d'effort à la base afin d'évaluer l'influence de l'isolation sur la réponse sismique des bâtiments considérés. L'étude des performances des systèmes d'isolation fait également l'objet de cette thèse. Pour cela, deux types d'isolation à la base ont été choisis. Les résultats de l'analyse numérique illustrent parfaitement l'efficacité de ces systèmes.

MOTS CLEFS : système d'isolation sismique, réponses sismiques, système encastré.

Notations

u_g : Déplacement au sol.

m : Masse de la structure.

β : Facteur d'amortissement.

C : Matrice d'amortissement de la structure.

K : Matrice de rigidité de la structure.

u, \dot{u}, \ddot{u} : Vecteurs des déplacements, vitesses et accélérations des degrés de liberté à la

base.

A : Surface de l'isolateur.

t_r : Epaisseur totale des couches d'élastomère.

D : Déplacement horizontal.

K_v : Rigidité verticale.

E_c : Module de compression.

S : facteur de forme.

t : Epaisseur d'une seule couche d'élastomère.

d : Diamètre de l'isolateur.

G : Module de cisaillement.

F_y : Charge de plastification.

K_{eff} : Rigidité effective de l'isolateur.

D_y : Déplacement de rupture.

β_{eff} : Amortissement effectif.

T : Période effective.

R : Rayon de courbure.

μ : Coefficient de frottement.

Z : Coefficient de zone sismique.

N : Coefficient dépendant de la proximité de la faille active.

S_I : Coefficient caractérisant le type de sol.

D_T : Déplacement total.

D_{TM} : Déplacement total maximum.

g : Accélération de la pesanteur.

C_{vD}, C_{vM} : Coefficients sismiques.

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 maximum.

$K_{D,min}$: Rigidité minimale de système d'isolation correspondant au déplacement minimum.

$K_{M,min}$: Rigidité minimale de système d'isolation correspondant au déplacement maximum.

W : Poids total de la structure. **e** : Excentricité.

V_b : Force sismique.

V_s : Force du cisaillement minimale.

I : Moment d'inertie de l'isolateur.

B : Largeur de l'appui.

DBE : tremblements de terre de conception (Design Basis Earthquake)

MCE : Tremblements de terre maximum (Maximum Capable Earthquake)

RI : un facteur de réduction de la force de conception (facteur de ductilité)

Liste des tableaux

Tableau I-1 : conditions de convenance des structures à l'isolation sismique.....	12
Tableau II-1 : Valeur de coefficient N	30
Tableau II-2 : Valeur de coefficient S_I	30
Tableau II-3 : Valeur de E ; G et K	31
Tableau II-4 : Facteur d'amortissement B_D	32
Tableau III-1 Coefficient sismique C_{VD}	48
Tableau III-2 Facteur de proximité de faille, N_V	48
Tableau III-3 Coefficient sismique C_{VM}	48
Tableau III-4 Coefficient de réponse au séisme capable maximum, M_M	49
Tableau III-5 Facteurs d'amortissement B_D et B_M	50
Tableau III-6 : Les valeurs minimales de l'analyse dynamique données en fonction des valeurs de l'analyse statique.....	56
Tableau I-1 Descente de charges d'étage courant.....	60
Tableau I-2 Descente de charges de Plancher terrasse.....	61
Tableau I-3 Descente de charges de Cloison extérieure.....	61
Tableau I-4 Descente de charges d'escalier.....	61
Tableau II.1 : poids et énergie massique de chaque niveau.....	71
Tableau II.2 : les paramètres mécaniques et géométriques de l'appui intermédiaire	74
Tableau II-3 : Périodes et facteurs de contribution modale de la structure encastree	79
Tableau II-4 : Périodes et facteurs de contribution modale de la structure isolée	79
Tableau II-5 : Comparaison des réponses maximales pour les deux structures isolée et encastree.....	86
Tableau II.6: Les dimensions du système d'isolation en pendules glissants....	88

Liste des figures

Figure I.1 : Oscillation des structures avec et sans appuis parasismique.....	08
Figure I.2 : Spectre de conception de l'UBC-97.....	09
Figure I.3 : Appui en élastomère fretté.....	14
Figure I.4 : Appui en élastomère fretté avec barreau de plomb.....	14
Figure I.5 : appui en élastomère fretté avec amortisseur élevé.....	15
Figure I.6 : appui à glissement.....	16
Figure I.7 : Amortisseur à frottement à l'université de Concordia, Montréal....	17
Figure I.8: Schématisation d'un amortisseur hydraulique visqueux.....	17
Figure. I.9 : Amortisseur hystérétique.....	18
Figure1.10: Système de control actif.....	19
Figure I.11 : Le nombre de bâtiments isolés dans les pays les plus actifs (Martelli et Al, 2008).....	20
Figure II.1 : Fonctionnement de système.....	23
Figure II.2.Modèle mathématique.....	24
Figure II.3 : Loi de comportement d'un appui en caoutchouc fretté.....	25
Figure II.4 : Modèle mathématique.....	25
Figure II.5 : Les lois de comportement.....	26
Figure II.6 Loi de comportement d'un appui en caoutchouc fretté a amortisseur Elevé.....	27
Figure II.7 Fonctionnement de système.....	27
Figure II.8 : Modèle mathématique.....	28
Figure II.9: Principe de fonctionnement.....	29
Figure II.10: Les facteurs de zones sismiques de l'UBC-97.....	30
Figure II-11 : La surface chargée A et la surface libre Af.....	33
Figure II.12 : Organigramme de dimensionnement LRB.....	36
Figure II.13 : Appui sous charge sismique.....	41
Figure II.14 : Organigramme de dimensionnement HDR.....	42
Figure III.1 : Dimensions en plan pour la détermination du déplacement total.....	51
Figure III.2 : Déplacements du système d'isolation.....	51
Figure I.1 : Vue en plans de la structure.....	59

Figure I.2 : Vue en élévation de la structure.....	60
Figure I.3 : Type d'Acrotère.....	62
Figure I.4: La surface offerte.....	65
Figure I.5 : Coupe longitudinale de l'escalier.....	66
Figure II.1 : Vue en plan de la structure.....	69
Figure II.2 : Structure sans système d'isolation.....	69
Figure II.3 : Structure avec système d'isolation.....	70
Figure II.4 : Présentation du programme de dimensionnement de trois types d'appuis « LRB, HDR et FPS »	76
Figure II.5 : Lois de comportement des appuis.....	76
Figure II.6 : Accélérogramme de la composante E-W du séisme de 21 mai2003 (station Dar El Beida).....	78
Figure II.7 : Accélérogramme de la composante N-S du séisme de 21 mai2003 (station Dar El Beida).....	78
Figure II.8 : Déplacement des niveaux 1 et 2 de structure sans système d'isolation (x)	80
Figure II.9: Déplacement des niveaux 1 et 2 de structure avec système d'isolation (x)	80
Figure II.10 : Déplacement des niveaux 1 et 2 de structure sans système d'isolation (y)	80
Figure II.11 : Déplacement des niveaux 1 et 2 de structure avec système d'isolation (y)... ..	80
Figure II.12 : Déplacement de niveaux 2 et 3de la structure sans système d'isolation(x)	81
Figure II.13 : Déplacement de niveaux 2 et 3de la structure avec système d'isolation(x)	81
Figure II.14 : Déplacement de niveaux 2 et 3de la structure sans système d'isolation(y)	81
Figure II.15 : Déplacement de niveaux 2 et 3de la structure avec système d'isolation(y)	81
Figure II.18 : Accélération des Structures isolé et encastré niveau 1 (y) ..	83
Figure II.19 : Accélération des Structure isolée et encastré niveau 2 (y)...	83
Figure II.20 : Accélération des Structures isolé et encastré niveau 3 suivant X	83

Figure II.21 : Accélération des Structure isolée et encastré niveau 3 suivant Y	83
Figure II.22 : L'effort tranchant à la base des structures isolée et encastré suivant X.....	84
Figure II.23 : L'effort tranchant à la base des structures isolée et encastré suivant Y	84
Figure II.24 : Déplacement de l'isolateur suivant X	85
Figure II.25 : Déplacement de l'isolateur suivant Y.....	85
Figure II.26 : comparaison des valeurs de déplacement des deux structures isolée avec les deus système d'isolation	89
Figure II.27 : Comparaison des valeurs des accélérations des deux structures isolée avec les deus système d'isolation	90
Figure II.28 : Comparaison des valeurs des déplacements des deux appuis.	91
Figure II.29 : Comparaison des valeurs des déplacements inter étage des deux structures isolée avec les deus système d'isolation.....	92

Sommaire

Partie I : Etude théorique de la technique d'isolation sismique des structures à la base

Chapitre I : Contrôle de la réponse des structures aux séismes

I.1 Introduction	06
I.2 Systèmes de contrôle passif	07
I.2.1 Systèmes d'isolation sismique.....	07
I.2.1.1 Objectifs de l'isolation parasismique	07
I.2.1.2 Principe de l'isolation parasismique.....	08
I.2.1.3 Conditions d'utilisation	08
I.2.1.4 Les différents types d'appuis parasismiques	12
I.2.2 Systèmes d'amortisseur parasismique.....	16
I.3 Système de contrôle actif	18
I.4 Incidence sur le cout.....	19
I.5 Application des techniques d'isolation parasismique	19
I.6 Conclusion.....	20

Chapitre II : modélisation et méthodologie de dimensionnement des appui parasismiques

II.1 Introduction.....	23
II.2 Les différents types des appuis parasismiques	23
II.2.1 Appuis en caoutchouc fretté.....	23
II.2.2 Appuis en élastomère fretté avec amortisseur en barreau de plomb.....	25
II.2.3 Isolateurs en élastomères frettés à amortissement élevé	26
II.2.4 Appuis en pendules glissants	27
II.3 Dimensionnement des appuis parasismiques.....	29

II.3.1 Dimensionnement d'appui en élastomère fretté avec amortisseur en barreau de plomb	29
II.3.2 Appuis en élastomère frettée avec amortisseur élevée HDR (High Damping Rubber Bearing).....	37
II.3.3 Appuis à Pendule glissant.....	43
II.4 Conclusion.....	44
Chapitre III : les méthodes de calcul des structures	
III.1 Introduction.....	46
III.2 Méthodes de calcul des structures isolées.....	46
III.2.1 Méthode statique équivalente.....	46
III.2.2 Méthodes dynamiques.....	52
III.2.2.1 La méthode modale spectrale.....	52
III.2.2.2 La méthode d'analyse par accélérogrammes (analyse temporelle).....	54
III.3 Conclusion.....	56

Partie II : Etude pratique de la technique d'isolation sismique des structures à la base

Chapitre IV: Présentation de la structure de l'étude et prédimensionnement

IV.1 Introduction	59
IV.2 Présentation de la structure.....	59
IV.3 Descente de Charges.....	60
IV.4 Prédimensionnement des éléments résistants.....	62
IV.4.1 Le plancher	62
IV.4.2 Les Poutres.....	62
IV.4.3 Les poteaux.....	64
IV.4.4 Les escaliers.....	65

Chapitre V : Etude comparative des réponses dynamiques d'une structure avec et sans le système d'isolation

V.1 Introduction.....	68
V.2 Programmes de calcul des structures.....	68
V.3 Modélisation des structures.....	68
V.4 Description des systèmes d'isolation	71

V.4.1 Dimensionnement de l'appui parasismique (LRB).....	71
V.4.2 Loi de comportement des Appuis.....	76
V.4.3 Définition des propriétés des isolateurs dans Sap2000	77
V.5 Description de l'excitation sismique	78
V.6 Comparaison des résultats et discussion	78
V.6.1 Périodes et facteurs de contribution modale	78
V.6.2 Les déplacements.....	80
V.6.3 Les accélérations	82
V.6.4 Les efforts tranchants	84
V.6.5 Déplacement des appuis.....	85
V.7 Etude comparative des réponses dynamiques des structures isolées à la base sous différentes systèmes d'isolation	86
V.7.1 Dimensionnement des appuis en pendules glissants (FPS).....	87
V.7.2 Comparaison des résultats obtenus	88
V.7.3 les périodes	88
V.7.4 les déplacements	88
V.7.5 les accélérations.....	90
V.7.6 les déplacements d'appui.....	91
V.7.7 Les déplacements inter étage	92
V.8 Conclusion	92
Conclusion générale	95
Références	97

Introduction général

Introduction général

Les séismes ou les tremblements de terre constituent un phénomène géologique qui de tout temps a terrorisé les populations qui vivent dans certaines zones du globe. L'Algérie fait partie des pays vulnérables face aux tremblements de terre, les séismes frappent le nord de ce pays durement soumis aux contraintes des mouvements de la terre.

Après chaque tremblement de terre majeur, les images de destruction se répètent invariablement. Pour cerner la difficulté du problème, il faut comprendre les particularités des sollicitations sismiques et la raison pour laquelle elles sont si redoutables pour les bâtiments.

Pour prévenir les dégâts liés à un séisme, de nombreux textes techniques et réglementaires ont été publiés en matière de construction parasismique. Ils ont évolué à la suite des séismes destructeurs qui ont permis de mieux connaître le comportement des bâtiments. Parmi les plus anciennes règles parasismiques certaines ont été basées, pour les calculs, sur l'analogie de l'action du vent et des séismes sur les constructions et définissaient des forces horizontales uniformément réparties sur toute la hauteur d'une structure [1].

Il est apparu assez rapidement que les masses et l'accélération qui leur était communiquée, constituaient des facteurs essentiels. Les règles ont évolué vers la définition d'un pourcentage de l'accélération de la pesanteur à appliquer aux masses, coefficient constant sur la hauteur, en d'autres termes les forces horizontales de calcul correspondaient à un pourcentage du poids des constructions [1].

Comme les sollicitations sismiques sont très différentes des sollicitations que l'ingénieur a communément l'habitude de considérer, les méthodes de dimensionnement traditionnelles ne conduisent pas à un comportement sismique avantageux. Les dernières générations des normes de construction tiennent compte des récents progrès du génie parasismique et elles incluent, par exemple, les méthodes modernes d'isolation qui assurent un comportement sismique favorable des structures.

Dans ce mémoire, on a étudié une solution qui implique l'installation d'un système de protection parasismique pour les diverses constructions, c'est l'isolation

parasismique. Ce dernier, utilise des isolateurs sismiques qui augmentent la flexibilité de l'ouvrage afin d'allonger sa période naturelle de vibration, ce qui, lorsque la structure est située dans une région où la sollicitation sismique a le plus d'énergie dans les hautes fréquences, réduit les forces sismiques induites dans la construction. Plusieurs types d'appuis parasismiques existent. Certains ont déjà été utilisés, d'autres sont restés au stade d'études théoriques. Selon leur mode de fonctionnement, elles peuvent être classées en plusieurs catégories : Appuis à déformation (appui en élastomère fretté et appui en élastomère fretté avec barreau de plomb, appui en élastomère fretté avec amortisseur élevé), Appuis à glissement et Autres appuis (appuis à déformation et glissement; appuis à roulement, etc). Ces systèmes sont décrits plus en détail dans la revue de littérature au Chapitre I.

L'isolation sismique est actuellement une méthode en plein essor. Plus de 3000 bâtiments sur appuis parasismiques existent dans le monde [2], en particulier dans des zones à forte sismicité (Japon, Etats-Unis d'Amérique, Europe du sud). Un grand nombre de ponts est également sismiquement isolé. De même, la technique d'isolation sismique est adoptée à des ouvrages à risque spécial, comme les centrales nucléaires.

Ce travail permet d'analyser et d'étudier l'effet de l'isolation parasismiques sur les bâtiments afin d'éclairer et de comprendre aisément cette nouvelle technique. Généralement cette dernière n'est pas appliquée en Algérie et de même n'est pas incorporée dans le code parasismique Algérien (RPA).

Le travail est subdivisé en deux parties :

Le premier c'est l'étude théorique de la technique d'isolation sismique des structures à la base cette partie contient 3 chapitres :

- ✓ - Le premier chapitre a pour but de présenter les concepts de contrôle passif et actif de la réponse des constructions aux séismes.
- ✓ - Le deuxième chapitre présente la modélisation et la méthodologie de dimensionnement des appuis parasismiques.
- ✓ - Le troisième chapitre définit les méthodes de calcul des structures isolées à la base.

La deuxième partie c'est l'étude pratique de la technique d'isolation sismique des structures à la base

- ✓ - Le quatrième premier chapitre a pour but de représenter le la structure étudiée et faire le prédimensionnement et descentes des charges des éléments structuraux.
- ✓ - le cinquième chapitre présente une étude comparative des réponses dynamiques d'une structure avec et sans le système d'isolation.

Enfin, le travail sera terminé par une conclusion générale, qui contient la discussion des résultats obtenus et les recommandations personnelles sur la recherche.

Partie I

Etude théorique de la technique
d'isolation sismique des structures à
la base

Chapitre I

Contrôle de la réponse des structures aux séismes

I.1 INTRODUCTION

La conception parasismique des structures en génie civil couvre divers aspects tels que l'accroissement de la durée de vie de l'ouvrage ou de ses composants l'accroissement de la durée de mise en service qui due à la possibilité de la réhabilitation et offre une évolution des niveaux de performances requises. Le maintien de fonctionnement d'un ouvrage à la suite d'un séisme, le confort, qui peut aussi s'avère un critère limitant pour l'utilisation d'un ouvrage tel qu'un pont ou une passerelle piétonnière et l'économie de matériaux. En conséquence et pour atteindre tous ces objectifs, des nouveaux concepts de protection structurale ont été améliorés dans le domaine du contrôle de vibrations des structures.

Les méthodes innovantes de contrôle sont devenues, dans les dernières années, d'actualité importante, ils permettent de projeter des structures pour résister, sans dégâts appréciables, à des actions dynamiques, par exemple des tempêtes, une grande action sismique, etc. Parallèlement on exige, pendant la construction, de protéger les structures par des systèmes de protection, en réduisant la réponse, efficaces et en même temps fiables. Entre ces méthodes innovantes de contrôle, on peut distinguer deux approches différentes : passif et actif.

I.2 Systèmes de contrôle passif

Les techniques passives d'amortissement des vibrations structurales utilisent l'intégration ou l'ajout de matériaux ou systèmes, possédant des propriétés amortissant, couplés à la structure de telle façon que les vibrations de la structure soient amorties passivement, c'est à dire, sans aucune intervention extérieure supplémentaire et sans apport d'énergie de l'extérieur. Principalement, il existe deux catégories de systèmes passifs : la première est l'isolation sismique et la deuxième est l'amortisseur parasismique.

I.2.1 Systèmes d'isolation sismique

L'isolation sismique est un des moyens les plus efficaces pour minimiser les dommages structuraux et sauver des vies pendant et immédiatement après un séisme. C'est aussi une solution économique pour répondre aux critères de dommages minimales ou réparables lors de la conception axée sur le rendement. Ces systèmes consistent à mettre entre les fondations et la superstructure des dispositifs qui ont une déformabilité horizontale très importante et une rigidité

verticale très élevée. Ces dispositifs permettent à découpler le mouvement du sol de la structure dans le but de réduire les forces transmises à cette dernière.

I.2.1.1 Objectifs de l'isolation parasismique

L'isolation parasismique permet de réduire considérablement la rigidité du système structurel, en donnant à la structure avec isolation parasismique une période fondamentale meilleure que celle de la même structure sans isolateurs et aussi les forces sismiques exercées sur la structure isolée sont typiquement de l'ordre 3 à 10 fois moins que celles exercées sur la structure non isolée (Figure I.1).

L'isolateur absorbe les déformations (inélastiques) et filtre les accélérations (hautes fréquences) de sorte que la superstructure isolée se déplace essentiellement selon un mode rigide qui subit à des faibles accélérations ce qui conduit presque à aucune déformation de la structure. Et par conséquent, les forces d'inertie transmises aux éléments des fondations sont limitées et demeurent en deçà de la capacité élastique pour tous les éléments. Ce comportement se traduit par la limitation des dommages subis par la superstructure et les éléments de fondation, ainsi que par la préservation de la fonctionnalité de la structure après le séisme. Plusieurs études théoriques, analyses numériques et tests de laboratoire, montrent une performance excellente fournie par ces systèmes de protection soumise aux mouvements sismiques. Ainsi, il est important de noter que l'analyse dynamique de ces systèmes joue un rôle prépondérant dans l'évolution de la performance désirée par le concepteur.

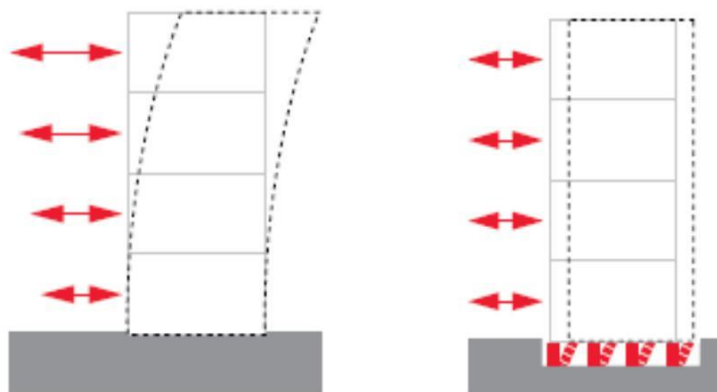


Figure I.1 : Oscillation des structures avec et sans appuis parasismique [3]

I.2.1.2 Principe de l'isolation parasismique

Le principe de l'isolation parasismique est de fournir une discontinuité entre la fondation et la superstructure, de sorte que l'énergie sismique ne peut pas être entièrement transmise à la superstructure, ce résultat donne une réduction significative de l'accélération des niveaux supérieurs et du déplacement inter-étage, par conséquent, assurer la protection du matériel et des composants onéreux du bâtiment.

L'isolation parasismique repose sur la base que si la période de vibration de la structure est augmentée suffisamment pour s'éloigner de la période d'excitation prédominante du tremblement de terre, les accélérations transmises à celle-ci (et par conséquent les forces) sont considérablement réduites (Figure I.2) [4].

Le système d'isolation à la base protège la structure contre les forces sismiques de deux manières ; en faisant dévier une partie de l'énergie sismique et en absorbant une autre partie. L'énergie sismique est déviée en faisant une base flexible à la construction (au lieu d'être fixe) dans des directions latérales, ce qui augmente la période fondamentale de la structure. L'énergie sismique sera absorbée par l'isolateur en raison de sa réponse non linéaire sous une excitation sismique.

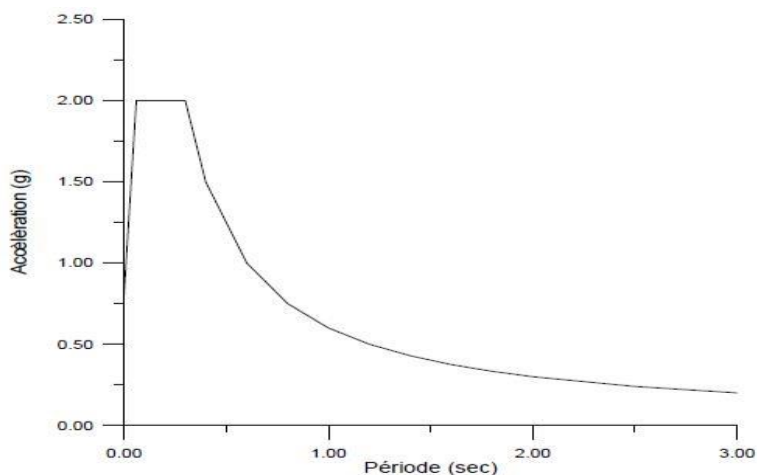


Figure I.2 : Spectre de conception de l'UBC-97

I.2.1.3 Conditions d'utilisation

La sélection des structures appropriées pour l'application de l'isolation sismique dépend de plusieurs facteurs indiqués ci-dessous. Ceux-ci peuvent rendre l'isolation plus efficace et plus économique dans le cas où on respecte ces conditions. Par la suite, le tableau I-1 donne une

meilleure façon pour évaluer la convenance des structures à l'isolation sismique par une simple lecture [5].



La structure

La première considération pour l'évaluation de la convenance d'un nouveau projet en isolation sismique est la structure elle-même qui est conditionnée par les éléments suivants:

• période de la structure

L'isolation sismique réalise une réduction des forces sismiques en rallongeant la période de vibration. Les avantages les plus significatifs pour l'isolation de la base sont obtenus dans le cas des structures pour lesquelles la période fondamentale de vibration sans isolation est de moins de 1 sec

Pratiquement les systèmes d'isolation fournissent un décalage de période de 1,5 seconde à 3,5 secondes. Si la structure est déjà dans cet intervalle de période, nous n'obtiendrons pas beaucoup d'avantages, bien que quelques systèmes de dissipation d'énergie à la base puissent y contribuer.

• Poids de la structure

Pour obtenir une isolation efficace, nous devons réaliser une longue période de réponse. La période est proportionnelle à la racine carrée de la masse **m** et inversement proportionnelle à la racine carrée de la rigidité **k**.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

Cette relation montre que l'isolation fonctionne mieux avec des masses pesantes qui allongent la période. Par conséquent, les bâtiments très lourds sont relativement simples pour les isoler à une longue période de 2,5 à 3,0 secondes. Dans le cas des structures très légères, il sera difficile de les isoler aux périodes plus grandes que 1,0 à 1,5 secondes.

• Hauteur de la structure

La période naturelle d'un bâtiment croît avec l'augmentation de la hauteur. Par conséquent, l'isolation sismique est plus applicable pour les bâtiments de faible ou moyenne hauteur et devient moins efficace pour les tours. La coupure dépend principalement du type de système de contreventement encadrant les structures .

• Système d'isolation

L'isolation des structures s'effectue au moyen d'appuis parasismiques dont la rigidité horizontale est beaucoup plus faible que celle de la structure. Ce système d'appui doit permettre des déplacements horizontaux importants (15 cm ou plus) et présenter en même temps une grande rigidité verticale pour que les accélérations verticales transmises à la structure ne soient pas filtrées et elles seront égales à celles du sol. Pour déterminer les caractéristiques de calcul, fiabilité et durabilité des appuis parasismiques, une procédure de validation technique et un contrôle de conformité doivent être effectués avant la mise en place de ces appuis.

De plus, un espace accessible suffisant doit être prévu au niveau des appuis pour permettre leur inspection, leur maintenance et leur remplacement éventuel. Lorsque le niveau des appuis est plus faible que la surface du sol, il est nécessaire de prévoir des murs de soutènement extérieurs pour que la structure puisse se déplacer librement. Afin d'éviter le mouvement de la construction sous l'action du vent, les appuis peuvent être munis d'un dispositif de blocage .

Le détail du plan de l'interface du système d'isolation est simple lorsque cette interface est horizontale. Par contre pour les emplacements en pente, la structure doit être posée graduellement. Néanmoins, cette manière peut causer beaucoup de problèmes .

• Effet de la faille proche

Un des aspects qui touche profondément le système d'isolation correspond à l'effet du plan de la faille sur les constructions voisines, qui est caractérisé par des valeurs très élevées d'accélération et de vitesse. Par conséquent, le système d'isolation ne fonctionne pas si la structure est située à moins de 5 km de la faille. En réalité, l'isolation est employée pour n'importe quelle structure proche d'une faille, mais avec un coût plus important et une évaluation plus complexe.



➤ Conditions du sol

Une autre considération pour l'évaluation de la convenance d'une structure pour l'isolation sismique est l'état du sol. Généralement, plus le sol est ferme, plus l'isolation est efficace. La forme du mouvement du séisme engendrée à la base d'une structure peut être modifiée par les propriétés du sol. Dans le cas des sols meubles (alluvions et sédiments peu consolidés), le contenu de hautes fréquences du mouvement peut être filtré en dehors et ils transmettent principalement les basses fréquences, c'est-à-dire les oscillations de longues périodes.

De plus, le système d'isolation rallonge la période de la structure, ce qui peut induire la résonance. Toutefois, ces emplacements meubles n'éliminent pas l'isolation en elle-même, mais l'efficacité sera réduite.



réhabilitation des structures existantes

La réhabilitation des structures existantes nécessite des considérations supplémentaires pour améliorer leur assurance contre les séismes. Quelques structures sont plus appropriées à la réhabilitation en utilisant l'isolation sismique par rapport à d'autres. Bien que l'isolation sismique réduise les forces sismiques, elle ne les élimine pas. Par conséquent, la résistance et la ductilité d'une structure existante doivent au moins être suffisantes pour que cette dernière résiste aux forces réduites résultant de l'isolation.

En plus, d'autres conditions doivent être respectées à savoir :

Dégagement d'un espace suffisant entre ces structures et les bâtiments adjacents pour permettre un mouvement de 20 à 50 cm et fournir le niveau approprié pour le plan d'isolation. De même, la réhabilitation sismique d'une structure existante par l'isolation sismique fournit la possibilité de limiter l'utilisation des méthodes conventionnelles qui exigent généralement l'addition de nouveaux éléments structuraux.

Le tableau I-1 donne une meilleure façon pour évaluer la convenance des structures à l'isolation sismique par une simple lecture :

Tableau I-1 : conditions de convenance des structures à l'isolation sismique

Facteur	Condition de convenance
Période de la structure	< 2 seconde
Hauteur de la structure	Faible
Poids de la structure	Lourde
Distance à partir de la faille	> 5 km
Type de sol	Ferme
Système d'isolation	Une rigidité horizontale plus faible que celle de la structure, une grande rigidité verticale et effectuer un contrôle de conformité avant mise en place.
Réhabilitation des structures existantes	- une résistance et une ductilité suffisantes pour résister aux forces réduites. - dégager un espace suffisant entre ces structures et les bâtiments adjacents et fournir le niveau approprié pour le plan d'isolation.

1.2.1.4 Les différents types d'appuis parasismiques

Plusieurs types d'appuis parasismiques existent. Certains ont déjà été utilisés, d'autres sont restés au stade d'études théoriques. Selon leur mode de fonctionnement, ils peuvent être classés en plusieurs catégories :

- Appuis à déformation (Appui en élastomère fretté, appui en élastomère fretté avec barreau de plomb et appui en élastomère fretté avec amortisseur élevé).
- Appuis à glissement.

Autres appuis :

- Appuis à déformation et glissement;
- Appuis à roulement, etc.

a) Les appuis à déformation

Les appuis à déformation utilisés depuis plus de 40 ans, ont toujours montré un comportement satisfaisant, ces appuis sont réalisés en élastomère fretté (couches alternées d'élastomère ; caoutchouc naturel ou élastomère synthétique (néoprène) et de plaques métalliques (frettes)) analogues aux appuis couramment utilisés pour les ponts (appareils d'appuis), ils sont caractérisés par les propriétés suivantes :

- La déformabilité horizontale est assurée par les couches d'élastomère, la rigidité verticale des appuis est assurée par la présence des frettes.
- L'amortissement correspondant varie entre 4% et 12%, un amortissement plus élevé peut être obtenu pour certains types d'élastomères, par conséquent ils sont sujets d'un fluage important ; il est à noter que les élastomères sont défavorablement affectés par les variations de température.



Les appuis en caoutchouc à faible amortissement LDRB (Lead Damping Rubber Bearing)

Se composent de minces feuilles de caoutchouc alternées de plaques minces en acier. Les feuilles de caoutchouc sont vulcanisées et collées sur les plaques d'acier minces sous la pression et la chaleur. Des plaques de renfort en acier en haut et en bas réduisent le flambement latéral de l'appui et augmentent la rigidité verticale, qui est de plusieurs centaines de fois de la rigidité horizontale.

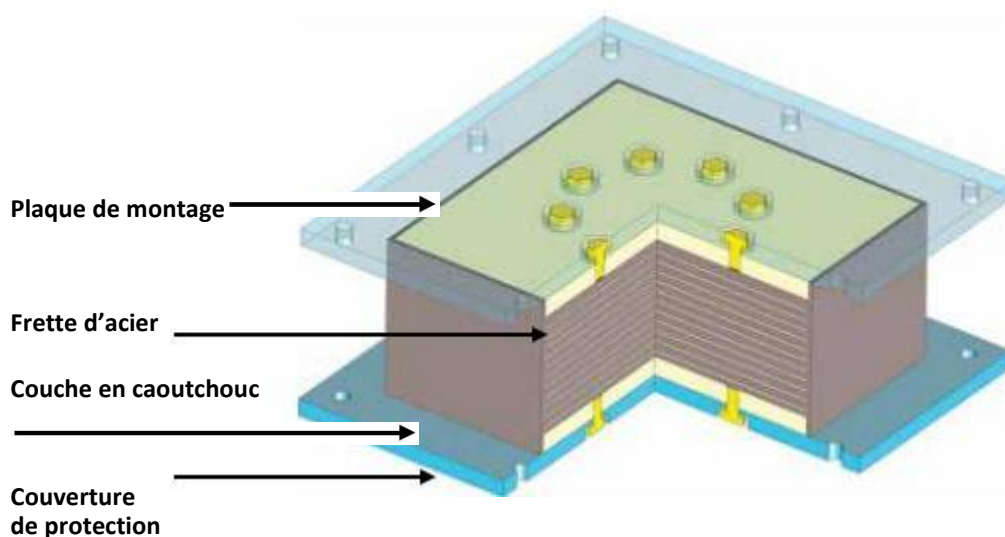


Figure I.3 : Appui en élastomère fretté [3]

➤ **Appui en élastomère fretté avec barreau de plomb**

Se compose de minces feuilles de caoutchouc alternées de plaques minces en acier avec un barreau de plomb. Dans cette catégorie, le bâtiment est découplé des composantes horizontales du mouvement du sol dû au séisme en intercalant une couche de faible rigidité horizontale entre la structure et la fondation. Cette couche donne à la structure une fréquence fondamentale qui est bien inférieure à celle d'une structure à base fixe et aussi beaucoup plus faible que les fréquences prédominantes du mouvement du sol.

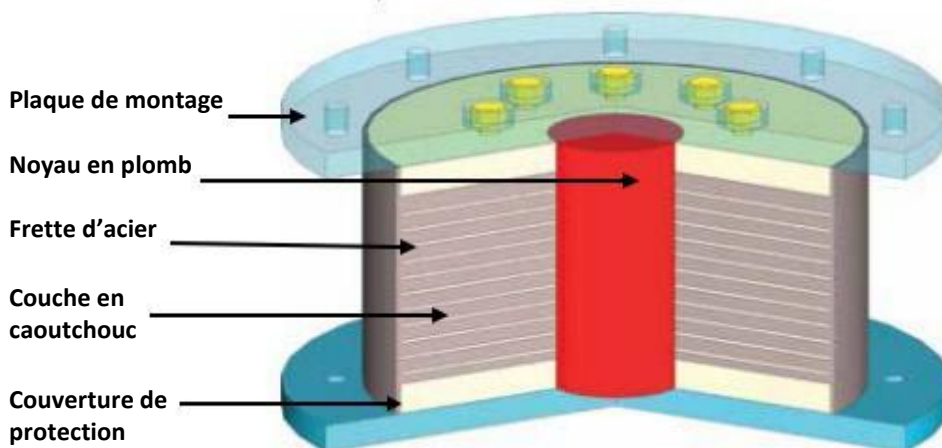


Figure I.4 : Appui en élastomère fretté avec barreau de plomb [3]

➤ **Appui en élastomère fretté avec amortisseur élevé HDRB (High Damping Rubber Bearing)**

Pour éliminer le besoin d'éléments supplémentaires d'amortissement, les chercheurs de l'Association pour la Recherche et Producteurs de Caoutchouc en Malaisie (Malaysian Rubber Producers' Research Association) (MRPRA) du Royaume Uni en 1982 ont mis au point un caoutchouc naturel avec suffisamment d'amortissement inhérent. L'amortissement est augmenté par l'ajout de bloc extra-fin de carbone, des huiles ou des résines, et d'autres fillers spécifiques. C'est l'isolateur à base d'élastomère de fort amortissement (HDRB). La figure (I.3) montre l'isolateur de caoutchouc à fort amortissement du bâtiment de réserve d'urgence de County Los Angeles (Los Angeles County Emergency Reserves Building). [6]

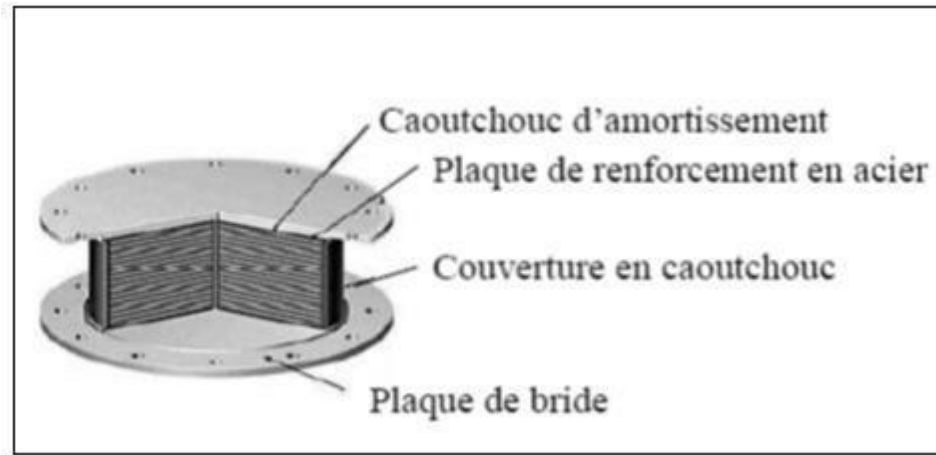


Figure I.5 : appui en élastomère fretté avec amortisseur élevé

b) Les appuis à glissement

Les pendules à friction isolent différemment des autres types d'appuis parasismiques. Deux éléments bougent l'un par rapport à l'autre pour permettre le mouvement latéral de la structure et pour dissiper l'énergie. Ils peuvent être utilisés tant avec les structures légères qu'avec les plus massives, car leur période ne dépend que du rayon de courbure. Ils peuvent aussi supporter une charge verticale élevée et offrir un amortissement de plus de 30 % [3]. Toutefois, contrairement aux précédents types d'appuis, ils ne peuvent pas être utilisés avec un autre type d'appareils d'appui sur une même structure.

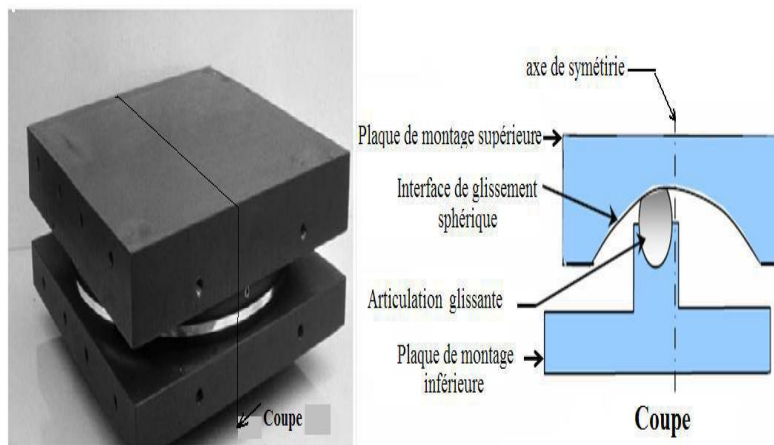


Figure I.6 : appui à glissement [4].

I.2.2 Systèmes d'amortisseur parasismique

La dissipation d'énergie est une technique de protection sismique des structures; elle est regroupée avec les techniques d'amortissements passifs, c'est-à-dire, les vibrations structurales dues à l'excitation sont amorties sans aucune intervention extérieure supplémentaire.

Les systèmes de dissipation d'énergie passive sont très efficaces dans le but de la réduction des pulsations et l'augmentation d'amortissement de la structure vibrante. La réalisation de cette technique se fait par l'ajout des matériaux ou des systèmes qui possèdent la capacité de dissiper l'énergie, soit par la transmission d'énergie cinétique en une énergie thermique, soit par la conversion d'énergie en un autre mode de vibration.



Amortisseur à frottement

Les amortisseurs à friction (frottement) comprennent une série de plaques fixées les unes aux autres par des boulons en acier à haute résistance et spécialement traitées pour produire un degré de friction maximale. Le principe de ces amortisseurs repose sur le phénomène de dissipation de l'énergie par friction.

Lors d'un tremblement de terre, il permet la déformation du bâtiment tout en maîtrisant son système mécanique coulissant fait qu'il reste toujours porteur. Ces amortisseurs se révèlent être les plus efficaces et les plus durables, puisqu'ils reprennent leur position initiale sans dommages.



Figure I.7 : Amortisseur à frottement à l'université de Concordia, Montréal [7].



Amortisseurs Visqueux

L'amortisseur visqueux est assimilable à un vérin hydraulique à double effet et à forte capacité de dissipation d'énergie il se constitue d'un cylindre creux rempli avec un fluide à base d'huile de silicone qui est forcé de s'écouler à travers de petits orifices [7]

Le fluide circule à des vitesses élevées, résultant du frottement entre les particules de fluide et la tête de piston.

Les forces de frottement donnent lieu à une dissipation d'énergie sous la forme de chaleur. Le fluide a généralement une viscosité relativement faible. Tout comme les connecteurs, les amortisseurs visqueux ont donc un comportement qui dépend de la vitesse de sollicitation.

L'appareil se présente sous la forme suivante :

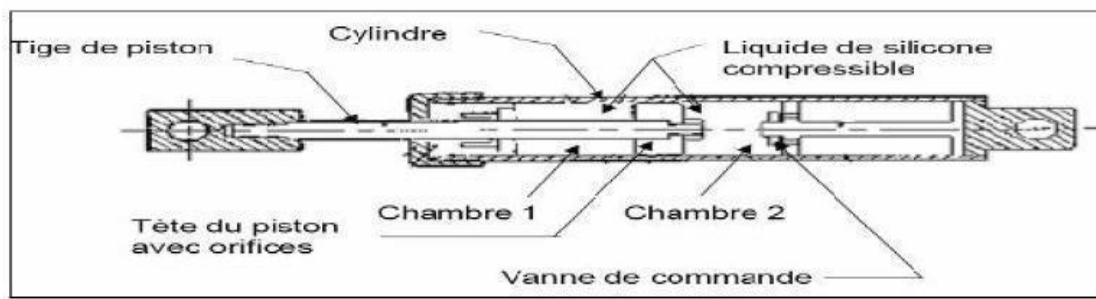


Figure I.8: Schématisation d'un amortisseur hydraulique visqueux



Amortisseurs Hystérétiques (élasto-plastique)

Ils constituent un assemblage de pièces en acier doux ou bien en plomb soit des alliages malléables. Lorsque les fondations et la structure sont en mouvement, ces matériaux se déforment de manière à dissiper l'énergie sismique. Ces amortisseurs ne demandent pas d'entretien et sont faciles à remplacer. Ils se présentent, comme celle de fluide visqueux, sous forme de barreaux en acier, en plomb ou bien grâce à des poutres.

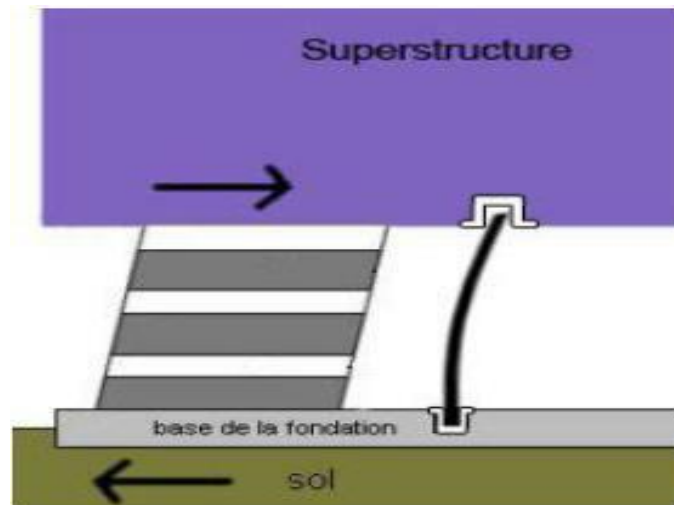


Figure. I.9 Amortisseur hystérétique

I.3 Système de contrôle actif

Un contrôle passif est fondamentalement conçu pour réduire seulement un mode de vibration particulière de la structure. En revanche, un contrôle actif peut amortir une large bande de fréquences.

Ces systèmes de contrôle actif besoin d'une source d'alimentation de secours pour s'assurer qu'ils fonctionneront durant un séisme important. Ils sont basés sur un système de contrôle automatisé composé de détecteurs, de contrôleurs et de déclencheurs (Figure I.8). Il s'agit de détecter les séismes avant qu'ils n'atteignent la construction, d'analyser leur contenu fréquentiel sur ordinateur et de modifier les caractéristiques dynamiques de la structure pour minimiser sa réponse. Les détecteurs mesurent la réponse de la structure, le contrôleur traite les signaux des détecteurs et calcule les forces de contrôle exigées basées sur un contrôle algorithmique, et fournit les signaux de contrôle aux déclencheurs. Les déclencheurs imposent les forces ou les déplacements calculés au bâtiment.

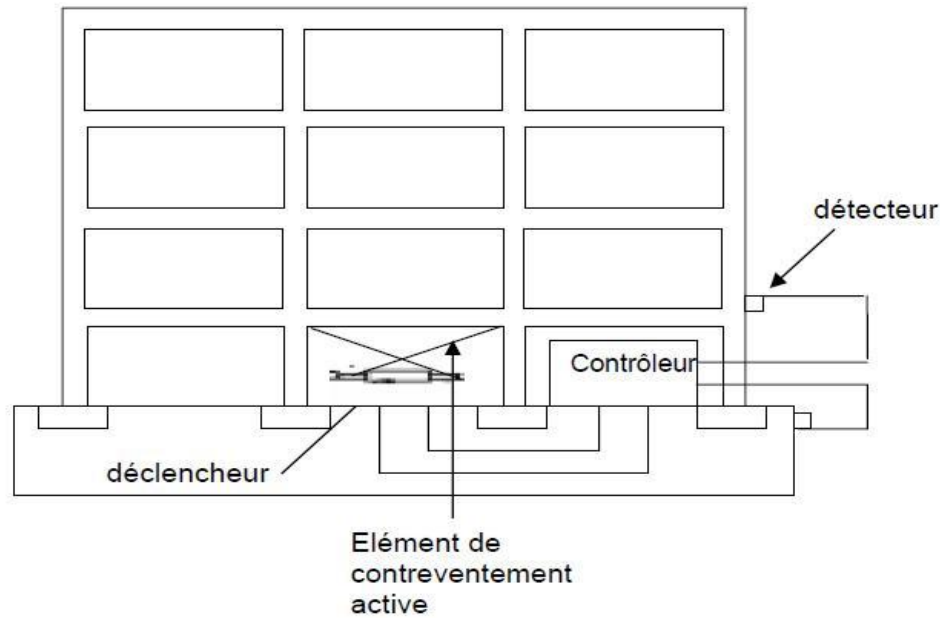


Figure I.10: Système de control actif

I.4 Incidence sur le cout

L'isolation parasismique augmente en général le prix de revient des bâtiments, mais elle offre une protection supérieure à la protection réglementaire. Toutefois, Dans le cas des bâtiments de six étages ou plus, Elle peut être plus économique qu'une solution habituelle [7]. Par ailleurs, à performance égale, les bâtiments isolés sont plus économiques que ceux dont la protection est assurée par des moyens classiques.

I.5 Application des techniques d'isolation parasismique



Au monde

D'après un recensement qui a été effectué par MARTELLI et al en 2008, 10.000 structures nouvelles et existantes situées dans plus de 30 pays, ont utilisé la technique d'isolation parasismique. Ce recensement est basé sur le nombre des bâtiments construits à travers neuf (09) pays qui sont le Japon, Chine, Russie, USA, Italie, France, Taiwan, New Zélande, Armenia ; par la suite, les dits recenseurs ont effectué un développement pour l'Italie basé sur l'utilisation des systèmes d'isolation de 1981 jusqu'à 2006 (Figure I.9). [8]

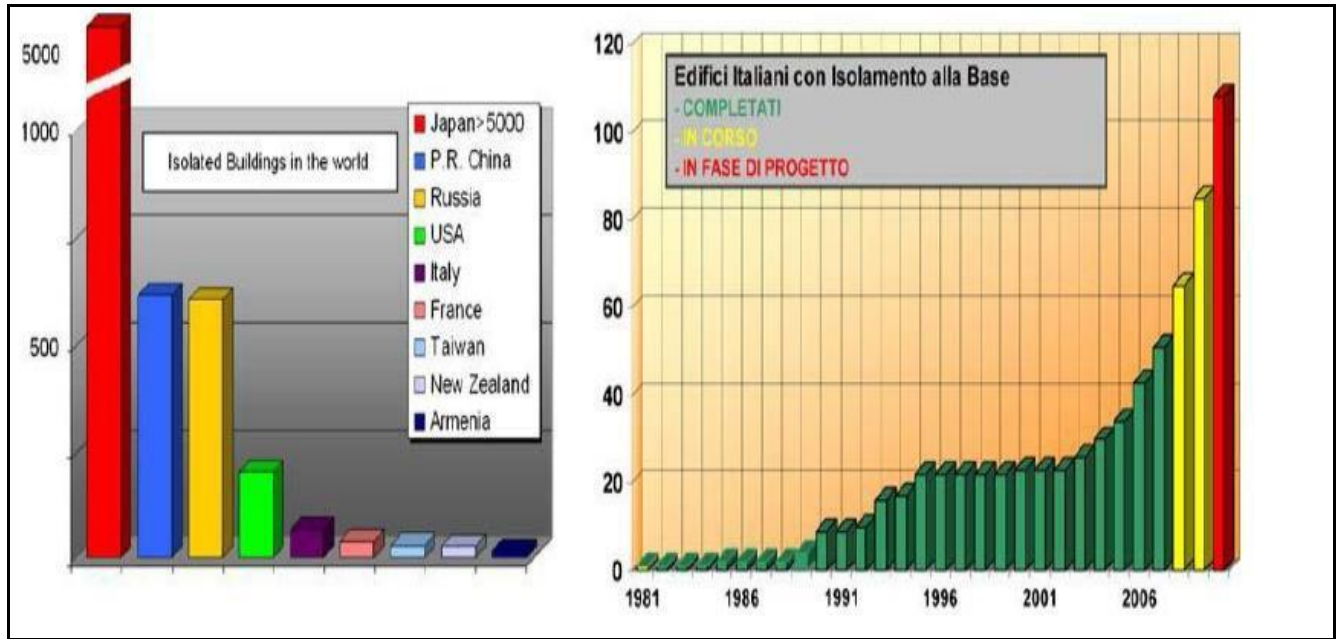


Figure I.11 : Le nombre de bâtiments isolés dans les pays les plus actifs(Martelli et Al, 2008) [9]



En Algérie

Le CTC-Chlef a introduit la technique du contrôle passif des vibrations sismiques des structures en Algérie pour la première fois à travers la construction du siège de son agence à AIN DEFLA située dans une zone sismiquement très active. Il est important de souligner, qu'une équipe d'ingénieurs algériens du CTC Chlef, auront été les premiers à maîtriser jusqu'à ce jour cette technique d'isolation à la base et elle servira à améliorer les performances sismiques des bâtiments. Les techniques anti-sismiques modernes représentent un excellent, et souvent économique, système pour réaliser une protection sismique efficace des structures nouvelles et existantes. [9]

I.6 Conclusion

Ce chapitre est une synthèse et un état de l'art sur les systèmes de contrôle de la réponse des structures aux séismes qui constituent actuellement un domaine d'intérêt très intéressant. Les deux types de contrôle sont utilisés dans le but de protéger la structure contre les effets de l'excitation sismique.

Le contrôle des structures soit passif, ou actif offre des avantages et des inconvénients selon le coût, la complexité de concept, la durabilité etc

Le choix de mécanisme adéquat revient au besoin du constructeur, à la maîtrise du concept, au coût et à la disponibilité de l'énergie etc Dans la suite du mémoire on choisit l'étude du contrôle passif des structures.

Chapitre II

Modélisation et méthodologie de dimensionnement des appuis parasismiques

II.1 Introduction

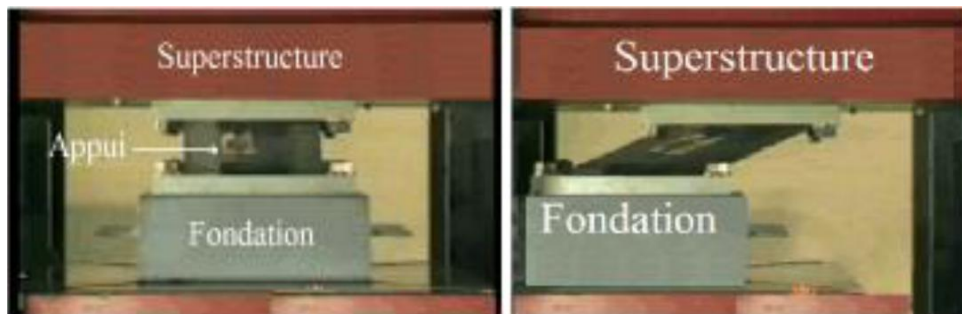
L'analyse du comportement dynamique d'une structure sur isolateurs parasismiques soumise à une excitation sismique ne peut être effectuée sans que le comportement dynamique de ces derniers soit complètement défini. La transformation de fonctionnement des structures isolées en un modèle mathématique est une étape essentielle dans une étude dynamique et une bonne schématisation des systèmes d'appuis parasismiques qui permettent la formulation des équations du mouvement. Cette schématisation est très intéressante pour l'analyse du comportement du système combiné (le système d'isolation et la superstructure).

L'évaluation exacte du comportement dynamique des appuis parasismiques est très complexe. Pour avoir une bonne approche sur leur comportement réel, il est important de bien comprendre leur fonctionnement afin de pouvoir choisir une modélisation adéquate qui permet la traduction du comportement réel de l'appui ainsi que l'établissement des équations mathématiques simples à résoudre soit par des méthodes analytiques ou numériques.

II.2 Les différents types des appuis parasismiques

II.2.1 Appuis en caoutchouc fretté

Le fonctionnement de ce système sous séisme est décrit dans la Figure. II.1 :



a) Hors séisme

b) Sous séisme

Figure II.1: fonctionnement de système Hors et Sous séisme

Ce système d'appui est traduit par le modèle mathématique représenté dans la Figure. II.2.

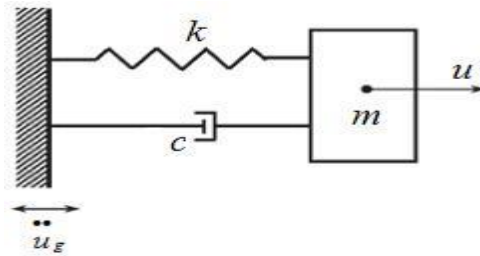


Figure II.2 : Modèle mathématique

Le système est soumis à l'accélération du sol \ddot{u}_g , l'équation du mouvement est donnée comme suit :

$$m (\ddot{u} - \ddot{u}_g) + c \dot{u} + k u = 0 \quad \text{Où } m :$$

La masse de la superstructure.

$$m \ddot{u} + c \dot{u} + k u = m \ddot{u}_g$$

$$\ddot{u} + 2\zeta \omega \dot{u} + \omega^2 u = \ddot{u}_g$$

$$\text{Où } \zeta = \frac{c}{2m\omega} \quad \text{—et } \omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad \text{—}$$

: Coefficient d'amortissement.

: Pulsation de vibration.

De façon générale, la rigidité latérale apportée par l'élastomère fretté est de l'ordre de 1 à 2 MN/m (Priestley, Seible, & Calvi, 1996). L'élastomère fretté a un comportement quasi parfaitement linéaire-élastique, tel qu'illustré sur la Figure. II.3, et présente un taux d'amortissement très bas, soit de l'ordre de 5% de l'amortissement critique. C'est pourquoi cet isolateur est souvent jumelé avec un amortisseur. Pour contrer le manque de capacité de dissipation d'énergie des élastomères frettés, les deux autres types d'isolateurs en élastomère ont été développés.[10]

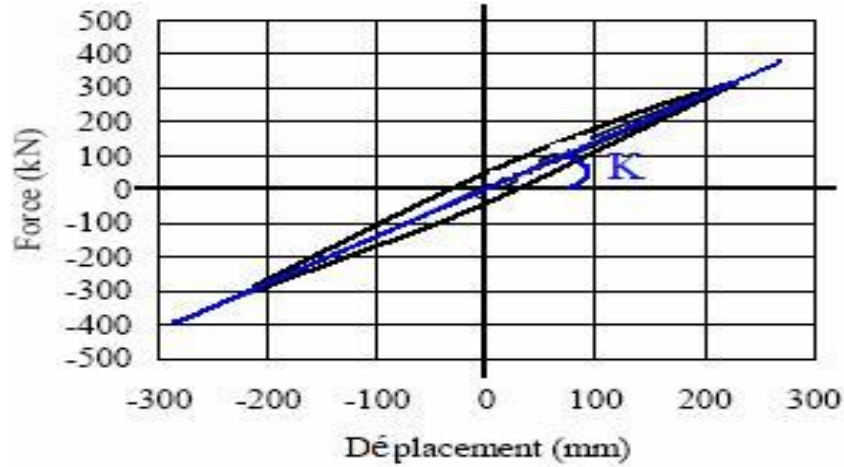


Figure II.3 : Loi de comportement d'un appui en caoutchouc fretté [11]

II.2.2 Appuis en élastomère fretté avec amortisseur en barreau de plomb

Le système d'appui en caoutchouc fretté peut ne pas pouvoir résister aux déplacements produits par les mouvements sismiques. De ce fait, une insertion d'un amortisseur en barreau de plomb s'avère avantageuse pour fournir la dissipation d'énergie et supporter les déplacements prévus.

Le modèle mathématique de ce système est représenté dans la Figure .II.4:

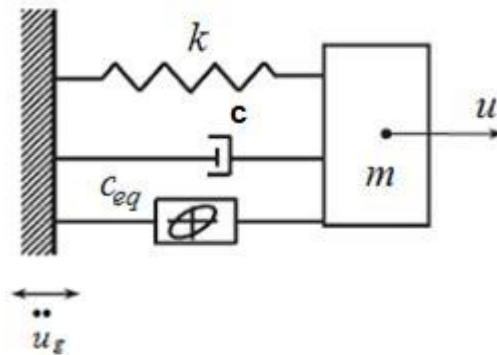


Figure II.4 : Modèle mathématique

L'équation du mouvement est donnée comme suit :

$$m \ddot{u} + c_{eq} \dot{u} + k_{eff} u = m \ddot{u}_g$$

Où K_{eff} : La rigidité effective du système d'isolation

Elle est donnée par : $K_{eff} = \frac{(+ -)}{(+ -)}$

C_{eq} : Coefficient d'amortissement équivalent linéaire donnée par :

$$C_{eq} = 2 \xi \sqrt{m}$$

$$\xi = \frac{\Delta E}{2 D}$$

ΔE : L'énergie totale dissipée.

D : Le déplacement de conception.

Le plomb a un comportement quasi parfaitement élasto-plastique, alors que l'élastomère a un comportement linéaire-élastique. La combinaison des deux donne une courbe d'hystérésis élasto-plastique quasi parfaite, telle qu'illustré sur la Figure II.5. Du point de départ jusqu'à la limite élastique du plomb, les deux matériaux travaillent en parallèle et lorsque la limite élastique du plomb est dépassée, la pente correspond environ à la rigidité de l'élastomère fretté. La limite élastique de l'isolateur est proportionnelle au diamètre du noyau de plomb.[10] ;[4]

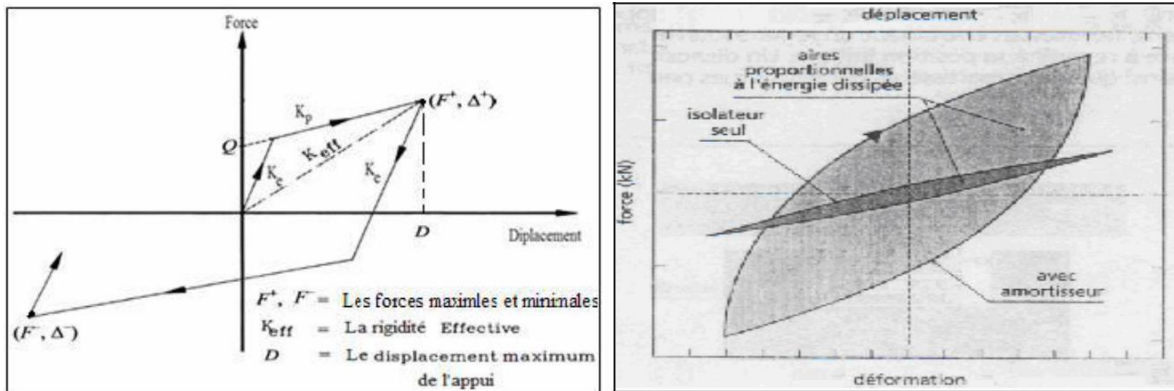


Figure II.5 : Les lois de comportement [5]

II.2.3 Isolateurs en élastomères frettés à amortissement élevé

Les appareils d'appui à amortissement élevé sont réalisés avec un composant élastomérique spécifique qui arrive à fournir un amortissement compris entre 10% à 20% de l'amortissement critique. Ces propriétés sont en fonction de la technique de vulcanisation du caoutchouc et du processus de durcissement. La loi de comportement du dispositif montre la formation de grandes

boucles d'hystérésis qui caractérise bien la bonne capacité de dissipation d'énergie Figure. II.6.[12]

Ces appareils peuvent donc résister à des déformations en cisaillement très grandes, beaucoup plus élevées que les élastomères normaux. L'élastomère à amortissement élevé a un comportement non-linéaire sous les forces latérales, tel qu'illustré sur la Figure II.6.c'est-à-dire qu'il a une rigidité latérale initiale pour de petites déformations en cisaillement assez élevée, puis une rigidité qui diminue considérablement pour de grandes déformations.[10]

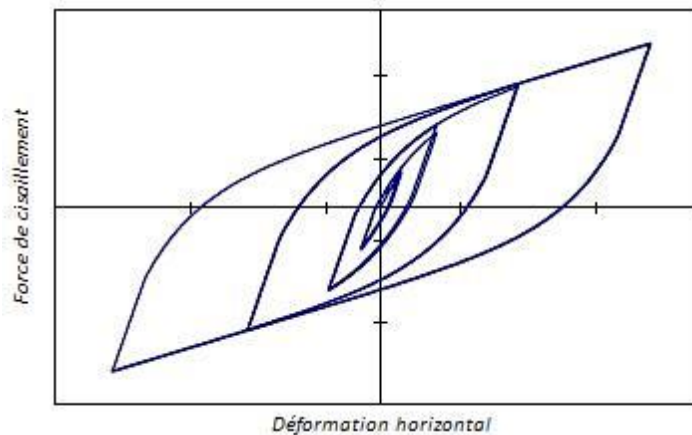


Figure II.6 : Loi de comportement d'un appui en caoutchouc fretté a amortisseur élevé

II.2.4 Appuis en pendules glissants

Le principe de fonctionnement de ce système est décrit dans la Figure. II.7 :

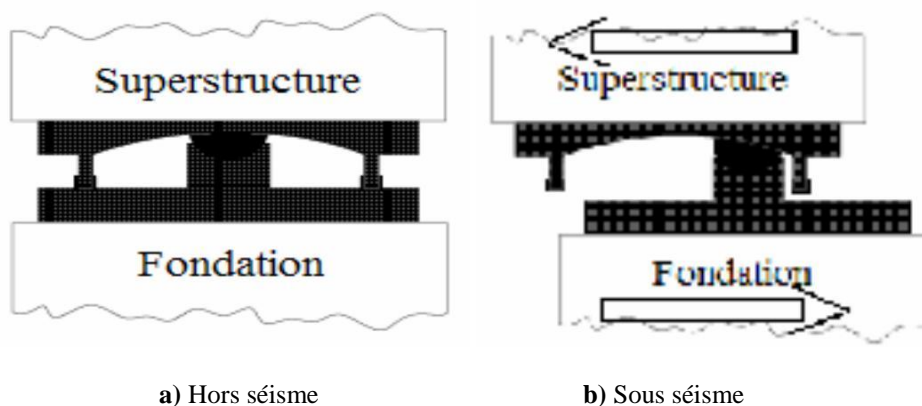


Figure II.7 : fonctionnement de système

Le modèle mathématique de ce système est représenté dans la Figure. II.8 :

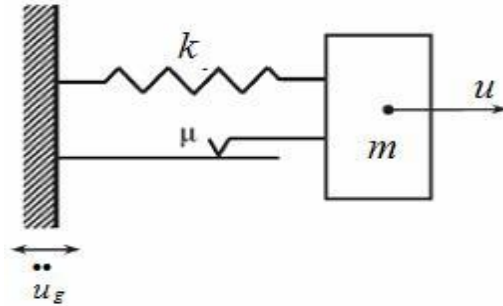


Figure II.8 : Modèle mathématique

La force latérale développée dans ce système est donnée comme suit :

$$F = -ku + \mu W \operatorname{sgn}(u)$$

Où :

R : Rayon de courbure de la surface sphérique.

W : Poids de la structure.

sgn : Le signe de la vitesse (il est égale +1 ou -1).

L'équation du mouvement est donnée comme suit :

$$m(\ddot{u} - \ddot{u}_g) + F = 0$$

$$m\ddot{u} + m\ddot{u}_g - ku + \mu W \operatorname{sgn}(u) = 0$$

On remarque dans cette équation que la rigidité du système est donnée par le rapport du poids sur le rayon de courbure. Donc l'équation du mouvement devient :

$$\ddot{u} + \omega^2 u + \mu g \operatorname{sgn}(u) = -\ddot{u}_g \quad \text{Où : } \omega^2 = \frac{W}{mR}$$

Où : μ : le coefficient de friction (frottement).

Le système pendulaire permet de réduire les actions sismiques horizontales en augmentant de la flexibilité latérale. Sa loi de comportement se définit par la force de frottement et la force de rappel créée par sa forme concave. Le comportement du système est du type bilinéaire et peut être idéalisé par la figure II.9.

Le coefficient de frottement de l'appareil dépend d'un certain nombre de facteurs, dont les plus importants sont : la surface de glissement, la pression exercée sur le PTFE (polytetrafluoroéthylène) et la vitesse de déplacement. [2] ; [12]

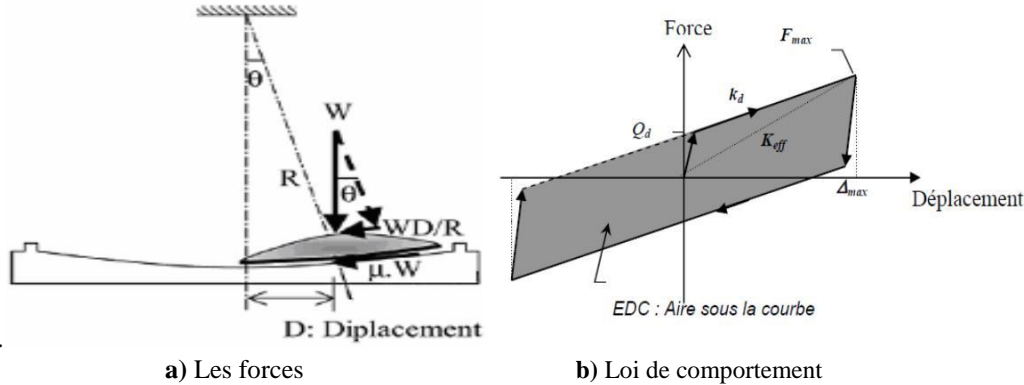


Figure II.9: Principe de fonctionnement [11]

II.3 Dimensionnement des appuis parasismiques

Les règles parasismiques Algériennes RPA99 version 2003 décrivent les principes généraux de conception et de calcul requis pour l'étude des ouvrages résistants aux séismes. Ces règles sont applicables à toutes les constructions courantes. Et le code ne donne aucune indication sur le calcul des bâtiments sur appuis parasismiques [10]. Pour cette raison on doit recourir à d'autres règlements mondiaux pour mener des calculs sur les structures isolées. Parmi les codes les plus connus dans le monde, on a choisi les codes américains (UBC-97 et IBC-2000) pour la suite de notre étude.

Pour le dimensionnement des appuis parasismiques on doit passer par 3 étapes. La première étape consiste la sélection des données, la deuxième étape a pour objectif de calculer les paramètres d'appui et finalement la dernière étape est celle de la vérification de dimensionnements [13].

II.3.1 Dimensionnement d'appui en élastomère fretté avec amortisseur en barreau de plomb

Les étapes de dimensionnement sont les suivantes :



Collecte des données :

1- Proposer la déformation angulaire γ_{max} et le coefficient d'amortissement effectif ξ_{eff} de l'appui.

2- Choisir la période de conception T_D de la structure isolée.

3- Déterminer les coefficients caractérisant le site comme suit :

Z : Coefficient d'accélération de zone sismique.

N : Coefficient dépendant de la proximité de la faille active. (Tableau II.1).

S_r : Coefficient caractérisant le type de sol (Tableau II.2).

4- Choisir la qualité du caoutchouc et ses constants E (module de Young), G (module de cisaillement) et k (constante de matière) qui sont données dans le tableau II.3.

Tableau II-1 : Valeur de coefficient N

Distance de la faille	magnitude		
	≥ 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 II-2 : Valeur de coefficient S_r

Type de sol	valeur
Sol ferme S1	1.0
Sol moyen S2	1.4
Sol meuble S3	2.3
Sol très meuble S4	2.7

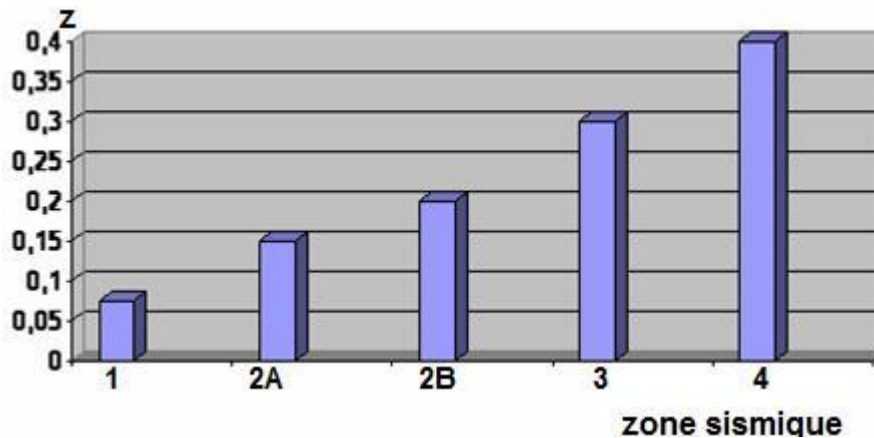


Figure II.10: Les facteurs de zones sismiques de l'UBC-97 [11]

Tableau II-3 : Valeur de E ; G et K

Qualité du caoutchouc IRHD \pm 2	Module de Yong E (N/cm ³)	Module de cisaillement G (N/cm ²)	Facteur de modification k
30	92	30	0.93
35	118	37	0.89
40	150	45	0.85
45	180	54	0.8
50	220	64	0.73
55	325	81	0.64
60	445	106	0.57
65	585	137	0.54
70	735	173	0.53
75	940	222	0.52



Calcul des paramètres :

1. Rigidité effective

$$K_{eff} = \frac{P}{\delta}$$

P : Charge verticale de la combinaison

(G+Q). g : Pesanteur.

2. Déplacement de conception de l'appui :

$$\delta = \frac{ZSN_I}{4^2}$$

B_D : Facteur d'amortissement (Tableau II.11).

Tableau II-4 : Facteur d'amortissement B_D

Amortissement effectif β_{eff}	Facteur d'amortissement B _D
$\leq 2\%$	0.8
5%	1
10%	1.2
20%	1.5
30%	1.7
40%	1.9
50%	2

3. Hauteur totale du caoutchouc t_r :

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

4. Force élastique Q_d :

$$Q_d = 2 K_{eff} \beta_{eff} D$$

5. Rigidité élasto-plastique horizontale de LBR:

$$K_d = K_{eff} - \text{---}$$

6. Surface du barreau de plomb :

$$A_p = \text{---}$$

Où : σ_{el} : Contrainte élastique du barreau de plomb.

7. Choisir le facteur de forme S qui doit vérifier la condition suivante :

$$\frac{K}{K_v} = \frac{\text{---}}{\text{---}} = \frac{\text{---}}{\text{---}} = \frac{\text{---}}{\text{---}} \geq 400 \text{ pour } S > 10$$

Où :

K_v: La rigidité verticale de l'appui.

K_h : La rigidité horizontale de l'appui.

E_c : Le module de compression de l'ensemble (caoutchouc- frette), $E_c = \frac{E_c}{(1+2 \nu)}$

A : L'air de la section transversale (la surface chargée) de l'appui (voir Fig.1).

k : Facteur de modification. S : Facteur de forme, $S = \frac{A_f}{A}$

A_f : L'air de la surface latérale (la surface libre) de l'appui (voir Fig.1).

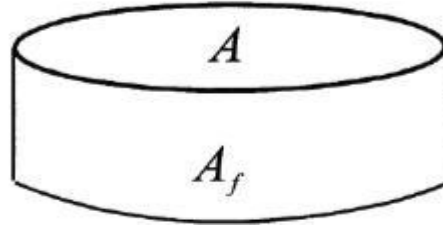


Figure II-11 : La surface chargée A et la surface libre A_f

8. La surface transversale A de l'appui :

a. La surface transversale effective A_0 :

$$\sigma_c = \frac{F}{A_0} \leq 7.84 \text{ MPa}$$

Où :

σ_c : La contrainte admissible.

b. la surface transversale effective A_1 : $\gamma_c = 6S\varepsilon_c = 6S \leq \varepsilon_3^b$

ε_b : L'allongement du caoutchouc à la rupture. ε_c :

Déformation verticale due à la compression.

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta L}{L}$$

c. la surface transversale effective A_2 :

$$A_{sf} = \frac{A_f}{S}$$

Où :

A_{sf} : La surface transversale minimale.

K_r : La rigidité élastique de l'appui ; $K_d = K_r (1 + 12 \frac{h}{L})$

Utiliser A_{sf} pour déterminer les dimensions de l'appui, puis calculer la surface transversale effective A_2 :

$$A_2 = \frac{L}{4} (B - D) \quad \text{pour un appui rectangulaire.}$$

$$A_2 = \frac{L}{4} (\beta - \sin \beta) \quad \text{pour un appui circulaire.}$$

Avec : $\beta = 2 \cos^{-1}(\frac{D}{B})$

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

d. $A = \max (A_0, A_1, A_2)$

9. L'épaisseur d'une seule couche de caoutchouc t et N le nombre 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 :

Pour un appui rectangulaire $S = 2(1 + \frac{L}{B})$

Pour un appui circulaire $S = \frac{L}{D}$

b. Déterminer le nombre de couches de caoutchouc N :

$N = \frac{A}{t}$

10. L'épaisseur d'une seule frette d'acier t_s :

Où : t_{s+1} Les épaisseurs des couches de caoutchouc situées en dessous et en dessus d'une frette d'acier.

$F_s = 0.6 F_y$

F_y : La limite élastique des frettes.

Tous les paramètres déterminés de l'appui doivent vérifier les conditions de résistance au cisaillement et de stabilité expliquées ci-dessus. Si cette vérification n'est pas satisfaisante, il faut refaire toutes les étapes.

➤ **Vérification**

L'appui calculé doit satisfaire les conditions suivantes :

1. La résistance au cisaillement sous la charge verticale P : $\gamma_c = 6S\epsilon_c = 6S \leq \epsilon_3^b$
2. la stabilité au flambement :

$$\sigma_c = \text{---} < \sigma_{cr} = \text{---}$$

avec :

σ_c : La contrainte de compression appliquée sur l'appui. σ_{cr} : La contrainte critique de flambement.

3. La résistance au cisaillement sous un séisme :

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

avec :

$$\gamma_{sc} = 6S \text{---}, \gamma_{eq} = \text{---}; \gamma_{sr} = \text{---}^2 \text{ sachant que} = \text{---}^{12}$$

Où :

γ_{sc} : Le cisaillement dû à la compression.
 : Charge verticale de la combinaison sismique.

γ_{eq} : Cisaillement dû au séisme.

γ_{sr} : Cisaillement dû à la rotation.

: Angle de rotation de l'appui produit par le séisme. e : Excentricité. $e = 5\% l_x$

l_x, l_y : Les dimensions en plan de la structure.

4. Condition de non roulement :

$$D \leq \delta_{roll-out} = \text{---}$$

Où : h : la hauteur total de l'appui.

L : la plus petit dimension en plan de l'appui rectangulaire ou le diamètre d de l'appui circulaire.

Vérification du diamètre du barreau : $1.25 \leq \text{---} \leq 5$ Avec : H_p : Hauteur du barreau.

d_p : Diamètre du barreau.

Les étapes de dimensionnement sont résumées dans l'organigramme suivant :

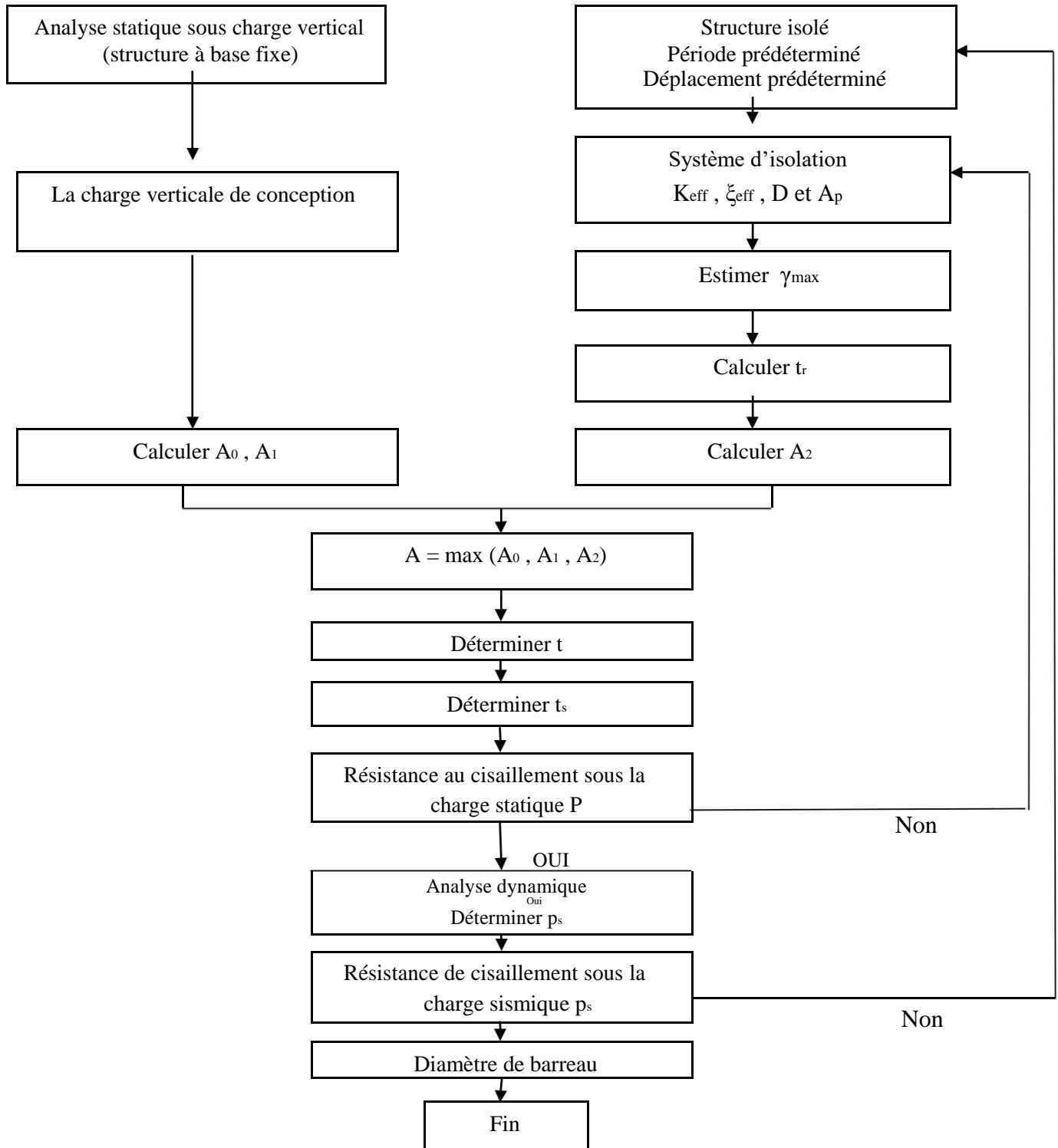


Figure II.12 : Organigramme de dimensionnement LRB.

II.3.2 Appuis en ilastomère frettée avec amortisseur élevée HDR (High Damping Rubber Bearing)

Les étapes de dimensionnement sont les suivantes :



Collecte des données

1- Proposer la déformation angulaire γ_{max} et le coefficient d'amortissement effectif ξ_{eff} de l'appui.

2- Choisir la période de conception T_D de la structure isolée.

3- Déterminer les coefficients caractérisant le site comme suit :

Z : Coefficient d'accélération de zone sismique.

N : Coefficient dépendant de la proximité de la faille active. (Tableau II.1).

S_r : Coefficient caractérisant le type de sol (Tableau II.2).

4- Choisir la qualité du caoutchouc et ses constants E (module de Young), G (module de cisaillement) et k (constante de matière) qui sont données dans le tableau II.3.



calcul des paramètres

1. Rigidité effective

$$K_{eff} = \frac{P}{\delta}$$

P : Charge verticale de la combinaison (G+Q).

g : Pesanteur.

2. Déplacement de conception de l'appui :

$$\delta = \frac{P}{K_{eff}} = \frac{P}{ZSN_i}$$

B_D : Facteur d'amortissement (Tableau II.4).

3. Hauteur totale du caoutchouc t_r

$$t_r = \gamma_{max}$$

Où : σ : Contrainte élastique du barreau de plomb

4. Choisir le facteur de forme S qui doit vérifier la condition suivante :

$$\frac{K}{k_s} = \frac{K}{k_s} = \frac{K}{k_s} = \frac{K}{k_s} \geq 400 \text{ pour } S > 10$$

Où :

K_v : La rigidité verticale de l'appui.

K_h : La rigidité horizontale de l'appui.

E_c : Le module de compression de l'ensemble (caoutchouc- frette), $E_c = \dots$

A : L'air de la section transversale (la surface chargée) de l'appui (voir Fig.1).

k : Facteur de modification. S : Facteur de forme, $S = \dots$

: L'air de la surface latérale (la surface libre) de l'appui (voir Fig.1).

5. La surface transversale A de l'appui :

a. La surface transversale effective A_0 :

$$\sigma_c = \dots \leq 7.84 / ^2$$

Où :

σ_c : La contrainte admissible.

b. la surface transversale effective A_1 : $\gamma_c = 6S\epsilon_c = 6S \leq \epsilon_3^b$

ϵ_b : L'allongement du caoutchouc à la rupture. ϵ_c :

Déformation verticale due à la compression.

$$\epsilon_c = \dots = \dots$$

c. la surface transversale effective A_2 :

$$A_{sf} = \dots$$

Où :

A_{sf} : La surface transversale minimale.

K_r : La rigidité élastique de l'appui ; $K_r = K_d (1 + 2 \frac{D}{L})$

Utiliser A_{sf} pour déterminer les dimensions de l'appui, puis calculer la surface transversale effective A_2 :

$A_2 = \frac{L(B - D)}{4(\beta - \sin \beta)}$ pour un appui rectangulaire.
 pour un appui circulaire.

Avec : $\beta = 2 \cos^{-1}(\frac{D}{L})$

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

d. $A = \max (A_0, A_1, A_2)$

6. L'épaisseur d'une seule couche de caoutchouc t et N le nombre 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 :

Pour un appui rectangulaire $S = \frac{A_0}{A}$

Pour un appui circulaire $S = \frac{A_0}{A}$

b. Déterminer le nombre de couches de caoutchouc N :

$N = \frac{A_0}{t}$

8. L'épaisseur d'une seule frette d'acier t_s :

Où : $+1$ Les épaisseurs des couches de caoutchouc situées en dessous et en dessus d'une frette d'acier.

$F_s = 0.6 F_y$

F_y : La limite élastique des frettes.

Tous les paramètres déterminés de l'appui doivent vérifier les conditions de résistance au cisaillement et de stabilité expliquées ci-dessus. Si cette vérification n'est pas satisfaisante, il faut refaire toutes les étapes.

➤ **Vérification**

L'appui calculé doit satisfaire les conditions suivantes :

1. La résistance au cisaillement sous la charge verticale P : $\gamma_c = 6S\epsilon_c = 6S \leq \epsilon_3 b$
2. la stabilité au flambement :

$$\sigma_c = \frac{P}{S} < \sigma_{cr}$$

$$\sigma_c = \begin{cases} \frac{1}{20} \frac{E_c I_c}{l^2} & \text{pour un appui circulaire.} \\ \frac{1}{10} \frac{E_c I_c}{l^2} & \text{pour un appui rectangulaire.} \end{cases}$$

avec :

σ_c : La contrainte de compression appliquée sur l'appui. σ_{cr} : La contrainte critique de flambement.

3. La résistance au cisaillement sous un séisme :

$$\gamma_{sc} + \gamma_{eq} + \gamma_{sr} = 0.75 \epsilon_b$$

avec :

$$\gamma_{sc} = 6S \frac{P}{S}, \gamma_{eq} = \frac{P}{S} e; \gamma_{sr} = \frac{12}{l^2} \frac{P}{S} \text{ sachant que } e = \frac{12}{l^2} \frac{P}{S}$$

Où :

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

P : Charge verticale de la combinaison sismique.

γ_{eq} : Cisaillement dû au séisme.

γ_{sr} : Cisaillement dû à la rotation.

θ : Angle de rotation de l'appui produit par le séisme. e : Excentricité. $e = 5\% l_x$

l_x, l_y : Les dimensions en plan de la structure.

4. Condition de non roulement :

$$D \leq \delta_{roll-out} = \frac{h}{10}$$

Où :

h : la hauteur total de l'appui.

L : la plus petit dimension en pan de l'appui rectangulaire ou le diamètre d de l'appui circulaire.

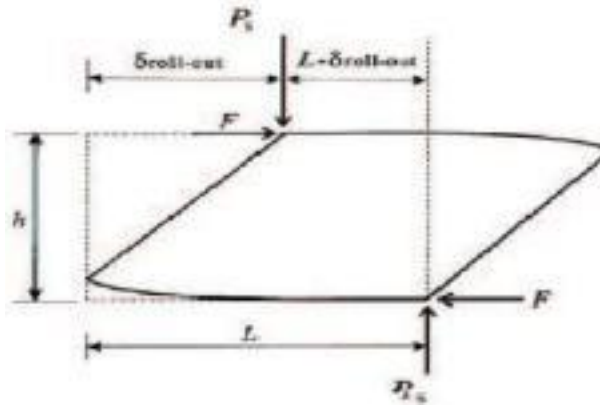


Figure II.13 Appui sous charge sismique [13].

$\delta_{\text{roll-out}}$: Déplacement de l'appui sous charge sismique.

$$F h = P_s (L - \delta_{\text{roll-out}})$$

F : Force de cisaillement agissant sur l'appui.

Les étapes de dimensionnement sont résumées dans l'organigramme suivant :

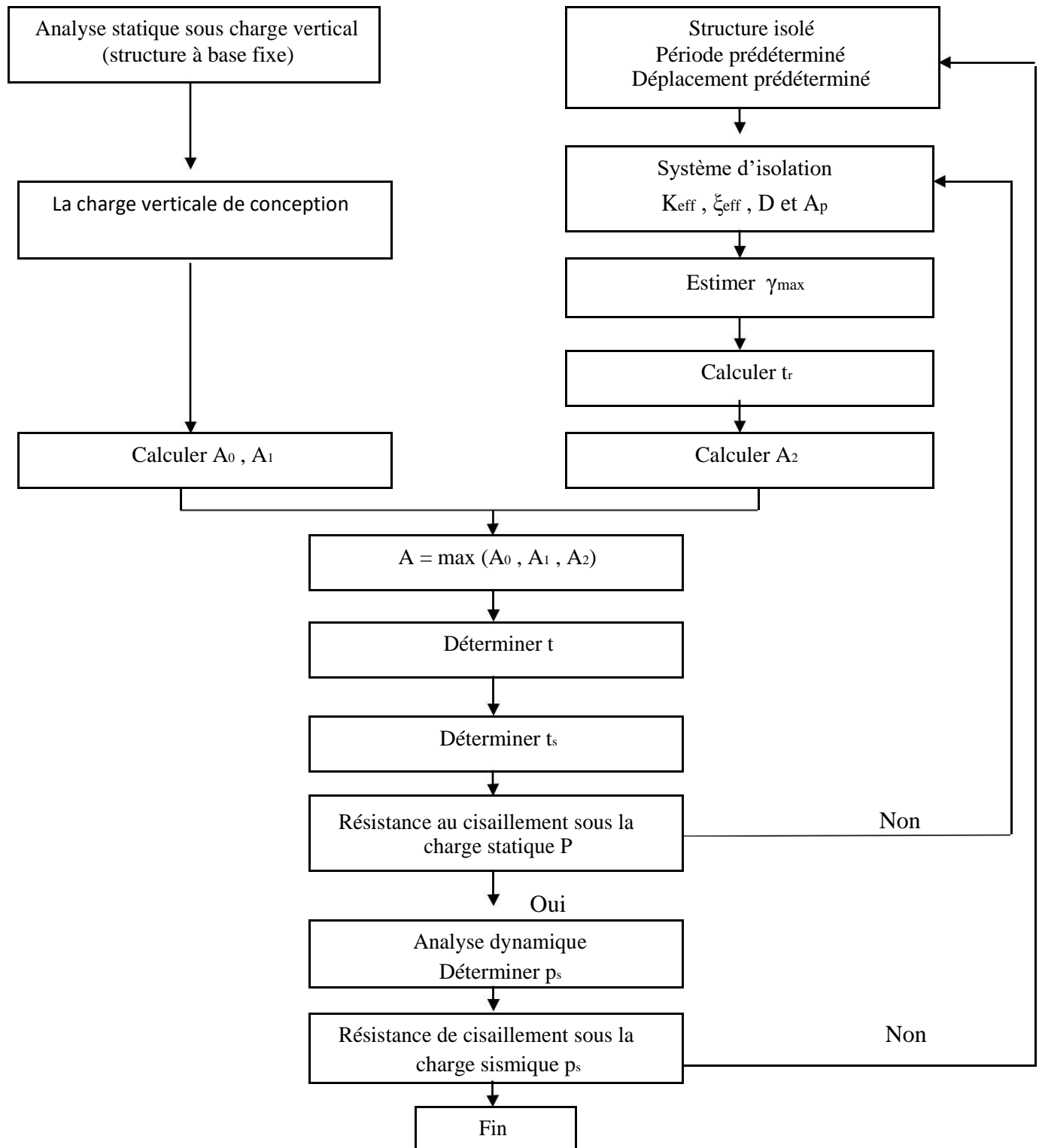


Figure II.14 : Organigramme de dimensionnement HDR.

II.3.3 Appuis à Pendule glissant

Les étapes de dimensionnement sont les suivantes :



Collecte des données :

1. Choisir la période de conception T_D de la structure isolée.
2. Déterminer les coefficients caractérisant du site :
 Z : Coefficient d'accélération de zone sismique.
 N : Coefficient dépendant de la proximité de la faille active.
 (Tableau.1). S_r : Coefficient caractérisant le type de sol (Tableau.2).
3. Proposer le déplacement de conception D .
4. Coefficient de frottement μ .



Calcul des paramètres :

1. Rayon de la surface sphérique R_{FPS} :

$$R_{FPS} = \frac{g}{(z)^2}$$

Avec :

g : la pesanteur.

2. rigidité effective de l'appui k_{eff} :

$$\sum k_{eff} = \frac{W}{2\mu} + \frac{W}{2\mu}$$

$$k_{eff} = \frac{\sum k_{eff}}{n}$$

Avec

W : Poids totale de la structure.

n : Nombre d'appui.

3. Amortissement effectif de l'appui ξ_{eff} :

$$\xi_{eff} = \frac{2\mu}{W}$$

4. Déplacement vertical de l'appui :

$$\delta_{v,2}$$

5. Diamètre de la surface sphérique d :

$$d > 2 D$$



Vérification

$$F_e = \frac{F_f}{W} \geq \mu \quad \rightarrow \quad \frac{F_e}{W} \geq \mu$$

Avec

F_e : force de rappel.

F_f : force de frottement.

Cette condition assure le retour de l'appui à sa position original par conséquent le recentrage de la structure isolée.

II.4 Conclusion

On a parlé un peu dans ce chapitre sur la modélisation mathématique des appuis parasismiques. Et avant d'entamer les analyses numériques des structures isolées, on a exposé en détail sur la méthodologie de dimensionnement des appuis parasismiques.

La détermination exacte du comportement sismique des structures n'est pas du tout facile, mais pour avoir des bonnes approches sur leur comportement il faut un dimensionnement des appuis parasismique exact ainsi une bonne quantification de l'intensité sismique et une bonne modélisation des structures à analyser.

Chapitre III

Les méthodes de calcul des structures

Partie II

Etude pratique de la technique
d'isolation sismique des structures à la
base.

Chapitre IV

Présentation de la structure de l'étude et prédimensionnement

IV.1 Introduction

Le prédimensionnement des éléments résistants (Les planchers, Les poutres, Les poteaux) est une étape régie par des lois empiriques. Cette étape représente le point de départ et la base de la justification à la résistance, la stabilité et la durabilité de l'ouvrage aux sollicitations suivantes :

- Sollicitations verticales

Elles sont dues aux charges permanentes et aux surcharges d'exploitation de plancher, poutrelle, poutres et poteaux et finalement transmises au sol par les fondations.

- Sollicitations horizontales

Elles sont généralement d'origine sismique et sont requises par les éléments de contreventement constitués par les portiques.

Le prédimensionnement de tous les éléments de l'ossature est conforme aux règles B.A.E.L 91,CBA93 et R.P.A 99 V2003.

IV.2 Présentation de la structure

La structure est un bâtiment à usage d'habitation en R+2, Le contreventement du bâtiment est assuré dans les deux directions par des portiques en béton armé :

- Dimensions en plan : $L_x = 20.4$ m, $L_y = 13$ m.
- Hauteur totale : $(3.1 \times 3) = 9.3$ m.
- Le bâtiment est implanté dans une zone de forte sismicité (**zone**

III). Le vue en plans est représentée dans la figure suivante :

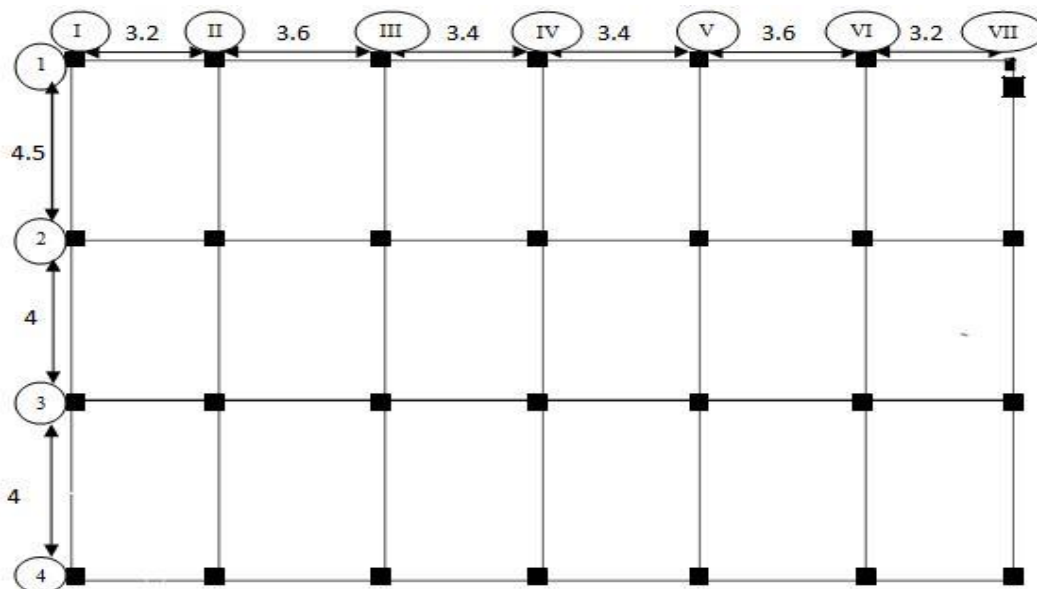


Figure I.1 vue en plans de la structure

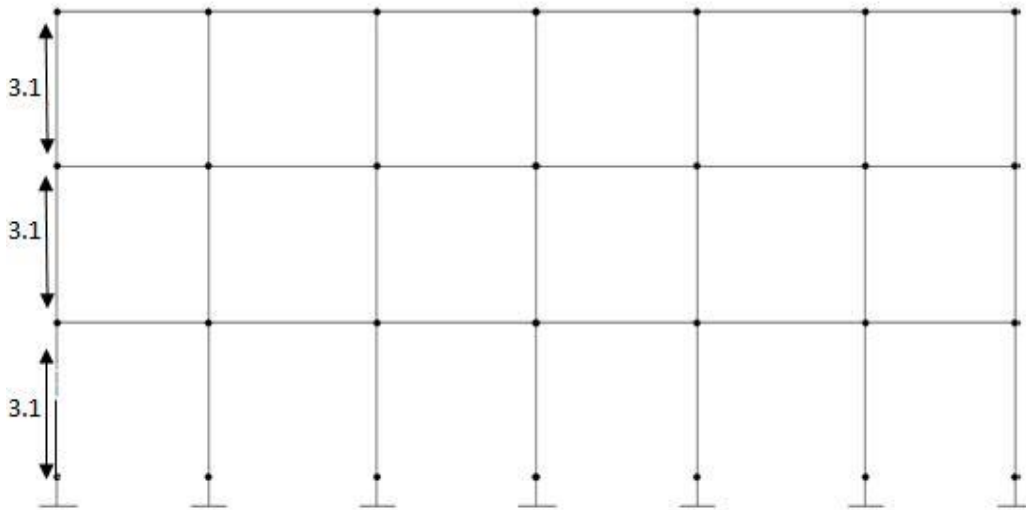


Figure I.2 vue en élévation de la structure

IV.3 Descente de Charges

La descente de charges a pour but de déterminer les charges et les surcharges revenant à chaque élément porteur au niveau de chaque plancher.

Les tableaux suivants illustrent la descente de charges pour l'étude de notre bâtiment :

Tableau I-1 Descente de charges d'étage courant

Désignations	Poids volumique [KN/m ³]	épaisseurs[m]	Poids [KN/m ²]
Revêtement carrelage	22	0.02	0.44
Mortier de pose	20	0.02	0.40
Lit de sable	18	0.02	0.36
Dalle en corps creux	-	0.16+0.04	2.80
Enduit en plâtre	10	0.02	0.20
Cloison de séparation	-	0.15	1.3
Charge permanent et charge d'exploitation		G	5.50
		Q	1.50

Tableau I-2 Descente de charges de Plancher terrasse

Désignations	Poids volumique [KN/m ³]	épaisseurs[m]	Poids [KN/m ²]
Protection en gravillon	17	0.05	0.85
Étanchéité multicouche	10	0.01	0.10
Isolation thermique en liège	4	0.04	0.16
Forme de pente	22	0,12	2.64
Dalle en corps creux	-	0.16+0.04	2.80
Enduit en plâtre	10	0.02	0.20
Charge permanent et charge d'exploitation		G	6.75
		Q	1.00

Tableau I-3 Descente de charges de Cloison extérieure

Désignations	Poids volumique [KN/m ³]	épaisseurs[m]	Poids [KN/m ²]
Enduit extérieur	20	0.02	0.40
Brique creuse	-	0.15	1.30
Brique creuse	-	0.10	0.90
Enduit intérieur	18	0.015	0.27
Charge permanent		G	2.04

Tableau I-4 Descente de charges d'escalier

Désignations	Poids volumique [KN/m ³]	épaisseurs[m]	Poids [KN/m ²]
Volée			
Revêtement carrelage horizontal	22	0.02	0.44
Mortier de pose horizontal	20	0.01	0.2
Revêtement carrelage vertical	22	0.02 cos α	0.25
Mortier de pose vertical	20	0.01 cos α	0.11
Poids propre d marche	25	0.17/2	2.12
Poids propre de paillasse	25	0.14/ cos α	4.02
Enduit en platre inferieure de paillasse	10	0.01/ cos α	0.11
Charge permanente et charge d'exploitation		G	7.25
		Q	2.50
Pallier			
Revêtement carrelage	22	0.02	0.44
Mortier de pose	20	0.02	0.40
Poids propre de palier	25	0.14	3.5
Enduit en plâtre	10	0.01	0.1
Charge permanente et charge d'exploitation		G	4.44
		Q	2.50

• Acrotère

La surface transversale de l'acrotère est la suivante $S = [(0.1+0.07)/ (2)] \times 0.22 + (0.1 \times 0.6)$

$$= 0.0787 \text{ m}^2$$

Ainsi le poids propre pas mètre linéaire est donné par

$$G = 0.0787 \times 25 = 1.97 \text{ KN/ml}$$

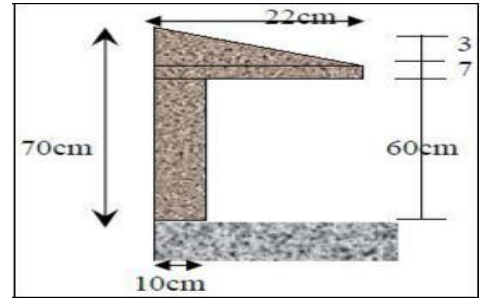


Figure I.3 Type d'Acrotère

IV.4 Prédimensionnement des éléments résistants

IV.4.1 Le plancher

Dans notre structure, les planchers sont à corps creux, les corps creux n'interviennent pas dans la résistance de l'ouvrage sauf qu'ils offrent un élément infiniment rigide dans le plan de la structure.

L'épaisseur des dalles dépend le plus souvent des conditions d'utilisation et de résistance.



L'épaisseur de plancher est conditionnée par : $h \geq \dots$

L : est la portée de la poutrelle mesurée du nu des appuis. h : est la hauteur de la poutrelle.

$$h \geq \frac{360 - 30 \cdot 22.5}{22.5 \cdot 330} = 14.66 \text{ cm.}$$

On adopte: $h = 20$

$$\text{cm. } h = (16 + 4) \text{ cm.}$$

16 cm pour le corps creux et **4 cm** pour la dalle de compression.

Remarque : la section minimale des poteaux donnée par RPA est 30x30 cm.

IV.4.2 Les Poutres

a. Poutre principal

$$\text{On a : } L/15 \leq h \leq L/10$$

$$0.3h \leq b \leq 0.7 h$$

Où :

h, b : sont la hauteur et la largeur de la poutre.

L : longueur libre entre nus d'appuis.

Mais il faut toutefois respecter les conditions de l'article 7.5.1 du RPA99 version 2003 suivantes

:

- $b \geq 20\text{cm}$.
- $h \geq 30\text{cm}$.
- $h/b \leq 4$.

On a : $L=450\text{ cm}$

$$450/15 \leq h \leq 450/10 \rightarrow 30 \leq h \leq$$

45 On retient donc : **$h = 40\text{ cm}$**

$$0.3h \leq b \leq 0.7 h \rightarrow 12 \leq b \leq 28$$

On retient donc : **$b = 30\text{ cm}$** , ce qui vérifie les conditions du RPA.

b. Poutre secondaire

On a : $L/15 \leq h \leq L/10$

$$0.3h \leq b \leq 0.7 h$$

Où :

h, b : sont la hauteur et la largeur de la poutre.

L : longueur libre entre nus d'appuis.

Mais il faut toutefois respecter les conditions de l'article 7.5.1 du RPA99 version 2003 suivantes

:

- $b \geq 20\text{cm}$.
- $h \geq 30\text{cm}$.
- $h/b \leq 4$.

On a : $L=360\text{ cm}$

$$360/15 \leq h \leq 360/10 \rightarrow 24 \leq h \leq$$

36 On retient donc : **$h = 35\text{ cm}$**

$$0.3h \leq b \leq 0.7 h \rightarrow 10.5 \leq b \leq 24.5$$

On retient donc : **$b = 25\text{ cm}$** , ce qui vérifie les conditions du RPA.

Finalement, Nous adapterons les poutres de dimensions suivantes :

Poutres principales : $h= 40\text{ cm}$; $b = 30\text{ cm}$

Poutres secondaires : $h = 35\text{ cm}$; $b = 25\text{ cm}$

IV.4.3 Les poteaux

Les sections des poteaux les plus utilisées en béton armé sont les sections carrées, rectangulaires et parfois circulaires. Dans notre cas nous avons adopté des sections carrées.

Pour le prédimensionnement des poteaux nous avons considéré les poteaux qui supportent le plus grand poids, autrement dit la plus grande surface offerte.

Toutefois il faudra satisfaire les conditions de l'article 7.4.1 de l'RPA99 version 2003.

- $\text{Min}(b_1, h_1) \geq 25$ en zones I et IIa.
- $\text{Min}(b_1, h_1) \geq 30$ en zones IIb et III.
- $\text{Min}(b_1, h_1) \geq h_e / 20$
- $1/4 < (b_1/h_1) < 4$

Considérons « B » la section du béton à calculer et « B_r » représente la section réduite de la section B tel que :

$$B = a^2 \text{ et } B_r = (a-0,02)^2.$$

Et d'autre part :

$$B_r \geq \beta N_u / [(f_{bu} / 0,9) + 0,85(f_e / \gamma_s) (A / B_r)]$$

En zone IIb et III, $A_{\min} = 0,9 \% B \leftrightarrow A / B_r = 0,009$.

Avec : $f_{bu} = 0,85 f_{c28} / \gamma_b$

$f_{c28} = 25 \text{ MPA}$.

$\gamma_b = 1,5$.

$\gamma_s = 1,15$.

$f_e = 400 \text{ MPA}$.

A : Section d'acier comprimé.

: Coefficient de correction dépendant de l'élancement mécanique l des poteaux qui prend les valeurs suivantes :

$$= 1 + 0,2(1/35)^2 \quad \text{si } l \leq 50.$$

$$= 0,85 \sqrt{l/1500} \quad \text{si } 50 < l < 70.$$

On fixe un élancement mécanique $l = 35$ pour rester toujours dans le domaine de la compression centrée d'où : $\beta = 1,2$

$$AN : B_r \geq 0,064 N_u.$$

Pour déterminer le coffrage des poteaux, on prend le poteau le plus sollicité (qui correspond la plus grande surface offerte)

$$S = (2 + 2.25) * (1.8 + 1.7) = 14.875 \text{ m}^2.$$

• Charge Permanente :

$$G_{\text{tot}} = (G_{\text{ter}} + 2 G_{\text{ec}}) S + [(N_{\text{PP}} + N_{\text{PS}}) n_{\text{étag}}] = 323.67 \text{ KN}.$$

• Charge d'exploitation : ($n < 5$ niveaux pas de dégression)

$$Q_{\text{tot}} = (Q_{\text{ter}} + 2 Q_{\text{ec}}) S = 59.5 \text{ KN}.$$

Avec :

G_{tot} : Charge permanente cumulée à un niveau donné.

Q_{tot} : Surcharge d'exploitation.

N_{pp} : Poids propre des poutres principales

N_{ps} : Poids propre des poutres secondaires

n : Nombre d'étage supporté par chaque poteau.

• La charge totale pondérée N_{ult} :

$$N_{\text{u}} = (1.35 G_{\text{tot}} + 1.5 Q_{\text{tot}})$$

$$N_{\text{u}} = 526.2 \text{ KN}.$$

$$\text{Donc : } B_r \geq 33.68 \text{ cm}^2.$$

Poteau carré : $a=b=\sqrt{B_r}+0.02=0.078 \text{ m}$

Donc on prend des poteaux carré dont les dimensions : **$a = b = 30 \text{ cm}$** .

IV.4.4 Les escaliers

• Hauteur de l'étage : $H = 310 \text{ cm}$.

• Le giron : **$g=30\text{cm}$** .

• La hauteur de la marche :

$$\text{D'après la formule de Blondel : } 59 < 2h+g < 66 \leftrightarrow 14,5 < h < 18$$

On prend : **$h=17\text{cm}$** .

• Le nombre de contremarches : $N_c = H/h = 310/17 \leftrightarrow N_c =$

20. Soit 10 contremarches par volée.

• Nombre de marches par volée : $n = (N_c/2) - 1 = 10 - 1 \leftrightarrow n = 9$.

• Inclinaison de la paillasse : $\text{tg} \alpha = 17/30 \leftrightarrow \alpha = 29,54^\circ$

• La projection horizontale de la paillasse : $L_1 = g (n - 1) = 0,3 \times (9 - 1) = 2.4 \text{ m}$

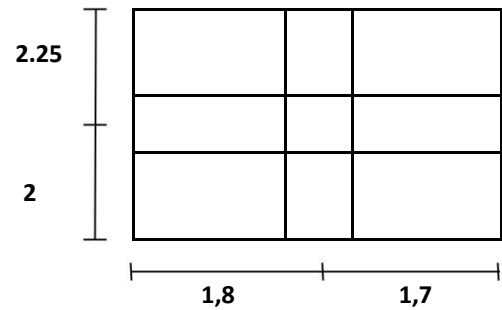


Figure I.4: La surface offerte

- Longueur de la paillasse : $L = 2.4 / \cos \alpha \leftrightarrow L = 2.8 \text{ m}$
- Epaisseur de la paillasse : $L/30 \leq e \leq L/20 \leftrightarrow 9.34 \leq e \leq 14$ Nous prendrons : $e = 14 \text{ cm}$.

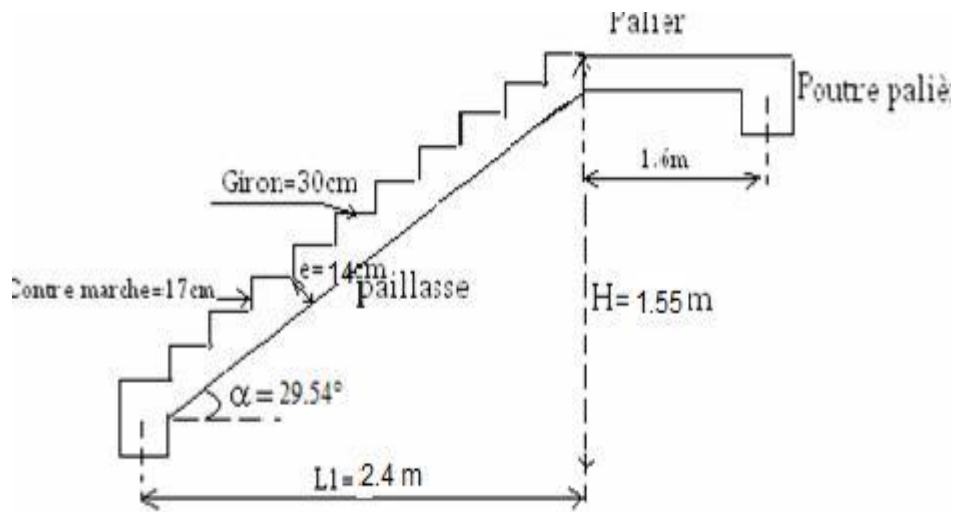


Figure I.5 : Coupe longitudinale de l'escalier

Chapitre V

Etude comparative des réponses
dynamiques d'une structure avec et
sans le système d'isolation

V.1 Introduction

Pour identifier l'influence de l'isolation à la base sur le comportement non linéaire des structures, une étude comparative 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 programme d'analyse dynamique des structures (SAP2000) et sous la même excitation dynamique.

V.2 Programmes de calcul des structures

Plusieurs programmes sont adaptés particulièrement pour le calcul des structures isolées permettent l'analyse et la conception des divers dispositifs d'isolation.

Le SAP2000 est un logiciel professionnel adapté aux constructions en béton armé, en acier, ou mixtes, il a été spécialement développé pour le calcul des bâtiments. Plusieurs types d'analyses sont disponibles dans ce logiciel, ce qui lui permet d'être l'un des plus performants dans sa catégorie. L'analyse dynamique disponible dans le SAP2000 comporte l'analyse modale, l'analyse spectrale et l'analyse temporelle qu'on va l'utiliser pour la suite de notre étude.

V.3 Modélisation des structures

La modélisation par SAP2000 consiste en les étapes suivantes :

1. Définir l'unité (kn/m).
2. Entrer la géométrie du modèle.
3. Définir matériaux.
4. Définir les conditions d'appuis.
5. Définir les sections.
6. Définir les cas de charges statiques (Q et G).
7. Définir les cas de charges dynamiques (méthode temporelle).

La vue en 3D de la structure modélisée est représentée dans la **Figure V.1** :

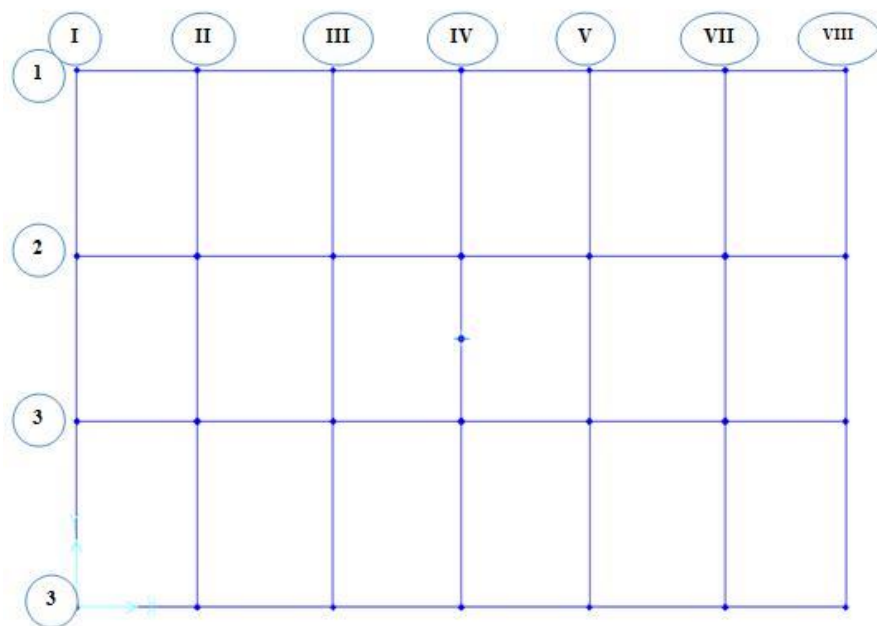


Figure II.1 : vue en plan de la structure

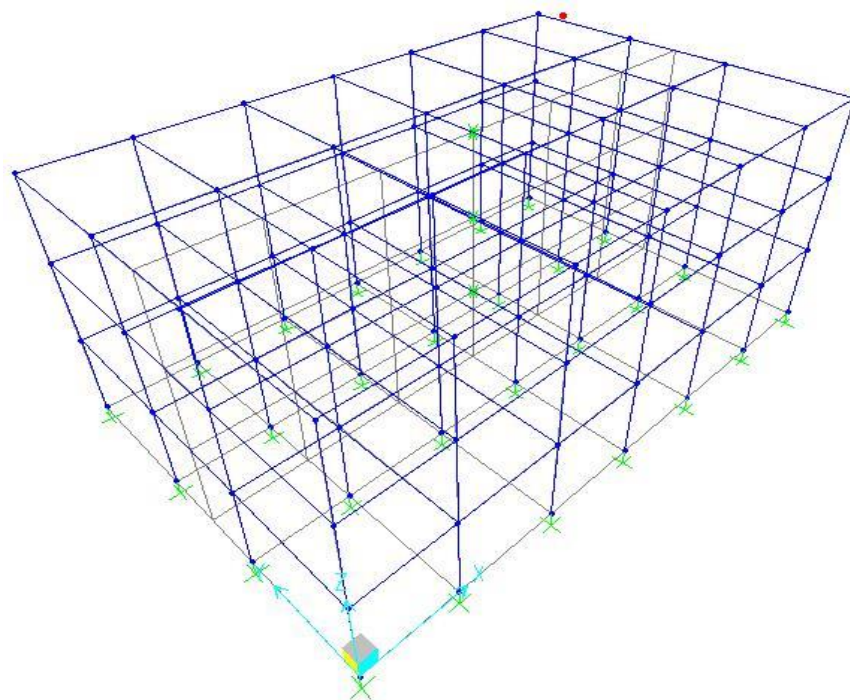


Figure II.2 : structure sans système d'isolation

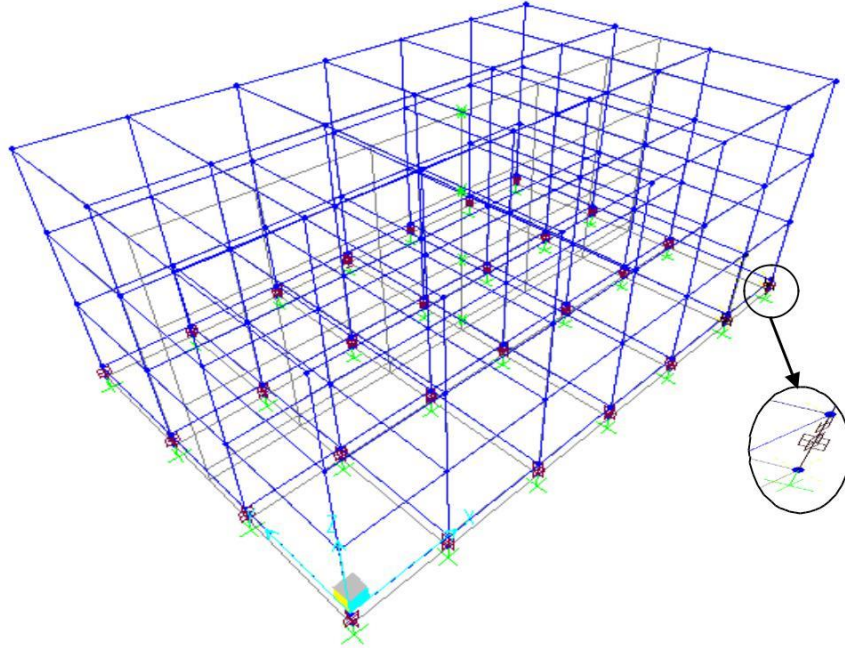


Figure II.3 : structure avec système d'isolation

Calcul du poids total de la structure W_i et l'inertie massique I_{mi}

: W : est égal à la somme des poids W_i des 3 niveaux.

$$W = \sum W_i \text{ Avec : } W_i = G_i + b Q_i$$

G : poids dû aux charges permanentes.

Q : charge d'exploitation.

b : Coefficient de pondération en fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation.

Dans notre cas : $b = 20\%$ (habitation)

Donc à chaque niveau : $W_i = W_{Gi} + 0.2 W_{Qi}$.

L'inertie massique : $I_{mi} = \frac{W_i}{W} \cdot w_i$.

Tableau II.1 : poids et énergie massique de chaque niveau

Niveau	Poids (kn)	Inertie massique (kn.m)
1	2400.7	11706.61
2	2377.84	11594.15
3	2426.42	11831.94

V.4 Description des systèmes d'isolation

V.4.1 Dimensionnement de l'appui parasismique (LRB)

Parmi les appuis passés en revue, notre choix est porté sur les appuis en élastomère fretté (LRB) avec barreau de plomb.

Le système d'isolation consiste donc en 28 appuis placés de façon concentrique sous chaque Poteau. Chaque appui doit être calculé sous la charge qui lui revient. À cause de la régularité de la structure en plan et en élévation ainsi que la symétrie du chargement, le calcul va être réduit à un appui qui supporte la plus grande charge verticale.

Il y a trois étapes nécessaires à suivre :

• Données

La déformation angulaire $\max = 50\%$.

Le coefficient d'amortissement effectif de l'appui $\text{eff} = 10\% \implies B_D = 1.2$.

La période de conception $T_D = 2.5$.

Le coefficient sismique : $C = ZSN_I = 0.4$.

la qualité du caoutchouc choisit est : IRHD = 60 correspond les valeurs suivantes :

$$E = 4.45 \text{ Mpa} ; G = 1.06 \text{ Mpa} ; K = 0.57$$

L'allongement à la rupture $b = 500\%$.

• Calcul les paramètres mécanique et géométriques

1- La détermination de la rigidité horizontale effective k_{eff} et du déplacement maximum de conception D de l'appui :

$$K_{\text{eff}} = \frac{443.55}{\left(\frac{2}{2.5}\right)^2} = 285.31 \text{ KN/m}$$

$$D = \left(\frac{9.81}{2.5} \right)^{0.4} = 0.21 \text{ m}$$

2- Le calcul de la hauteur totale du caoutchouc t_r :

$$t_r = \frac{D}{\gamma_{max}} = \frac{0.21}{0.5} = 0.42$$

3- Force élastique Q_d :

$$Q_d = 2 K_{eff} \beta_{eff} D = 2 \times 285.31 \times 0.1 \times 0.21 = 9.41 \text{ KN.}$$

4- Rigidité élasto-plastique horizontale de LBR:

$$K_d = K_{eff} = 285.31 - 0.21^{9.41} = 240.5 \text{ KN/m.}$$

5- Surface du barreau de plomb :
 $A_p = \frac{Q_d}{\gamma_{max}} = \frac{9.41}{12.54} \text{ cm}^2$ donc $d_p = 3.99 \text{ cm}$; on prend $d_p = 9 \text{ cm}$.

(Théoriquement $f_{py} = 10.5 \text{ Mpa}$. Expérimentalement $f_{py} = 7$ à 8.5 Mpa . on prend $f_{py} = 7.5 \text{ Mpa}$).

6- calcul le facteur de forme S qui doit vérifier la condition suivante :

$$\frac{K}{K_0} = \frac{K}{K_0} = \frac{K}{K_0} = \frac{K}{K_0} \geq 400 \rightarrow \geq 8.51 \text{ on prend } s=20.$$

7- La surface transversale A de l'appui :

a. La surface transversale effective A_0 :

$$\sigma_c = \frac{Q_d}{A_0} \leq 7.84 \text{ / }^2 \Rightarrow \frac{443.55}{A_0} \leq 7.84 \Rightarrow A_0 \geq 0.0567 \text{ m}^2.$$

b. la surface transversale effective A_1 :

$$\gamma_c = 6S \epsilon_c = 6S \epsilon_{3b} \Rightarrow A_1 \geq \frac{6 \times 20 \times 443.55}{35 \times 2033650} \Rightarrow A_1 \geq 0.0157 \text{ m}^2.$$

c. la surface transversale effective A_2 :

$$A_{sf} = \frac{Q_d}{\gamma_c} = \frac{9.41}{12.54} \text{ cm}^2$$

$$K_r = K_d / (1 + 12 \dots) = 189.95 \text{ Kn/m.}$$

$$\text{Donc } A_{sf} = \dots = 0.07 \text{ m}^2.$$

le diamètre d correspond au A_{sf} est $d = 0.3 \text{ m}$.

Utiliser A_{sf} pour déterminer les dimensions de l'appui, puis calculer la surface transversale effective A_2 :

Pour un appui circulaire :

$$A_2 = \frac{1}{4} (\beta - \sin \beta) ; \text{ Avec } : \beta = 2 \cos^{-1}(\dots) = 2 \cos^{-1}(0.21,3) = 1.59 \text{ rad } A_2 = 0.015 \text{ m}^2.$$

$$A = \max (A_0 ; A_1 ; A_2) = 0.0567 \text{ m}^2$$

$A_{re} = 0.045 \text{ m}^2$ est la section réduit et. Le diamètre d correspond au A_{re} est $d = 0.4 \text{ m}$ →
 $A = 0.1256 \text{ m}^2$

8- L'épaisseur d'une seule couche de caoutchouc t et N le nombre des couches de caoutchouc :

Pour un appui circulaire :

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

$$S = 4 \Rightarrow t = 4 \dots = 0.5 \text{ cm} \Rightarrow \text{on prend } : t = 1 \text{ cm } \text{ b. Déterminer le nombre de couches de caoutchouc } N : \dots$$

$$N = \dots = 42$$

9- L'épaisseur d'une seule frette d'acier t_s :

$$t_s \geq \frac{2(\dots)}{\dots} = \frac{2(0.01+0.01)443.55}{\dots} = 0.23 \text{ cm on prend } t = 2 \text{ mm.}$$

10- La hauteur totale de l'appui :

$$h = t_r + 41 \times 0.2 + 2 \times 2.5 = 55.2 \text{ cm on prend } h = 56 \text{ cm.}$$

11- Calcul de la rigidité vertical k_v et k_h :

$$K_v = \dots = 608158.19 \text{ Kn/m. } 0.42$$

$$k_h = \dots = 316.90 \text{ Kn/m.}$$

• Vérification

1. La résistance au cisaillement sous la charge verticale P :

$$\gamma_c = 6S\varepsilon_c = 6S \frac{443.55}{6 \times 20 \times 10^3} = 0.208 \leq \frac{\varepsilon_b}{5} = 1.66 \rightarrow \text{c.v}$$

2. la stabilité au flambement :

$$\sigma_c = 466.65 < \sigma_{cr} = \frac{106020.04}{25.64} = 353.44 < 8076.19 \rightarrow \text{c.v}$$

3. La résistance au cisaillement sous un séisme :

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

$$\gamma_{sc} = 6S \frac{466.65}{6 \times 20 \times 10^3} = 0.21.$$

$$\gamma_{eq} = \frac{0.21}{0.42} = 0.5$$

$$\gamma_{sr} = \frac{0.42 \times 0.0043}{2 \times 0.42 \times 0.01} = 0.0043 ; e = 5\% l_x = 0.05 \times 20.4.$$

$$\gamma_{sr} = \frac{0.42 \times 0.0043}{2 \times 0.42 \times 0.01} = 0.08$$

$$\gamma_{sc} + \gamma_{eq} + \gamma_{sr} = 0.79 \leq 0.75 \varepsilon_b = 3.75 \rightarrow \text{c.v}$$

4. Condition de non roulement :

$$D \leq \delta_{\text{roll-out}} = \frac{0.4 \times 466.65}{106020.04} = 0.29$$

$$\delta_{\text{roll-out}} = \frac{0.4 \times 466.65}{106020.04} = 0.29$$

$$D = 0.21 \leq \delta_{\text{roll-out}} = 0.29 \rightarrow \text{c.v}$$

5. Vérification du diamètre du barreau :

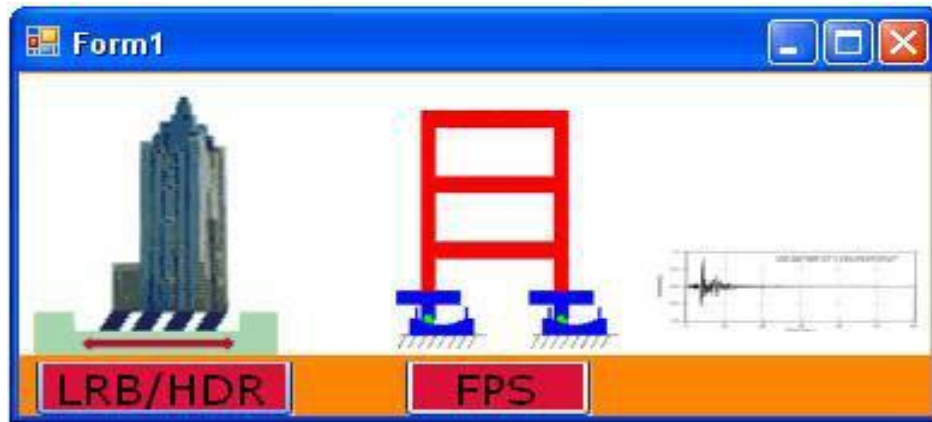
$$1.25 \leq \frac{0.42}{0.01} \leq 5 \Rightarrow 1.25 \leq \frac{0.42}{0.01} = 4.66 \leq 5 \rightarrow \text{c.v}$$

Les résultats obtenus sont donnée dans le tableau suivant :

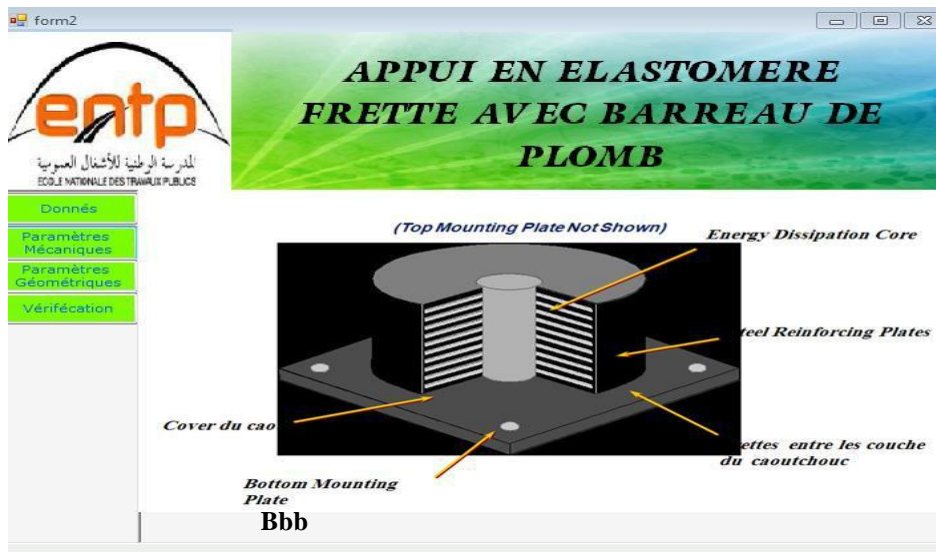
Tableau II.2 : les paramètres mécaniques et géométriques de l'appui intermédiaire

K_{eff} (kn/m)	D (m)	Q_D (kn)	K_d (kn/m)	A_p (cm ²)	d_p (cm)	t_r (cm)	s	t (cm)	N	t_s (mm)	H (cm)	K_h (kn/m)	K_v (kn/m)
285.13	0.21	9.41	240.5	12.54	9	42	20	1	42	2	56	316.90	608158.19

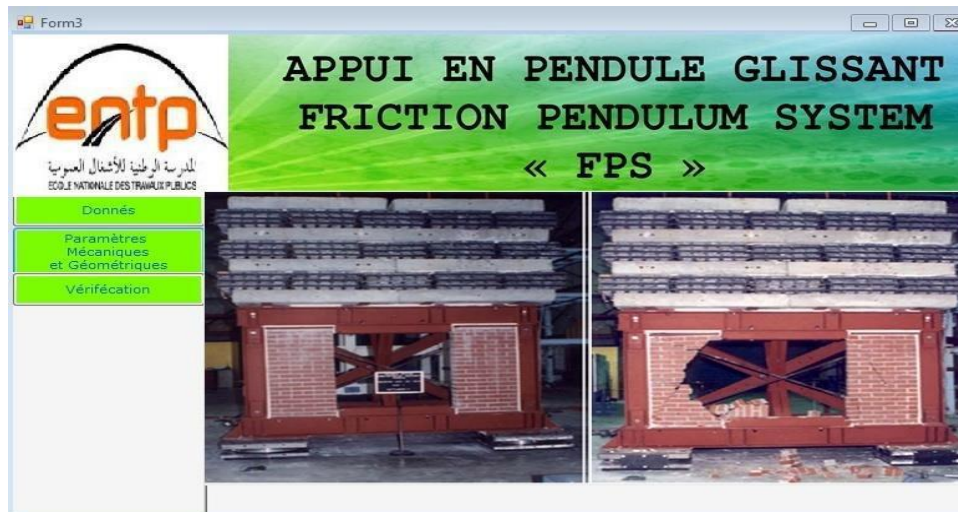
Pour le cas de notre travail nous avons utilisé un programme de dimensionnement de trois types d'appuis « LRB, HDR et FPS » [14] pour la vérification de notre calcul.



(a) – Interface du programme de dimensionnement



(b) – Dimensionnement des appuis en élastomère frété avec barreau de plomb



(c) – Dimensionnement des appuis en pendule glissante

Figure II.4 : présentation du programme de dimensionnement des trois types d'appuis « LRB, HDR et FPS »

V.4.2 Loi de comportement des Appuis

Les formules utilisé pour calculer les lois de comportement des appuis c'est comme suit :

1. Rigidité linéaire :

$$K_u = \alpha K_d$$

$$= 2405 \text{ kn/m.}$$

2 Déplacement minimal :

$$D_y = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$= 0.0043 \text{ m.}$$

3. Force minimal:

$$F_y = K_u D_y$$

$$= 10.45 \text{ kn/m}$$

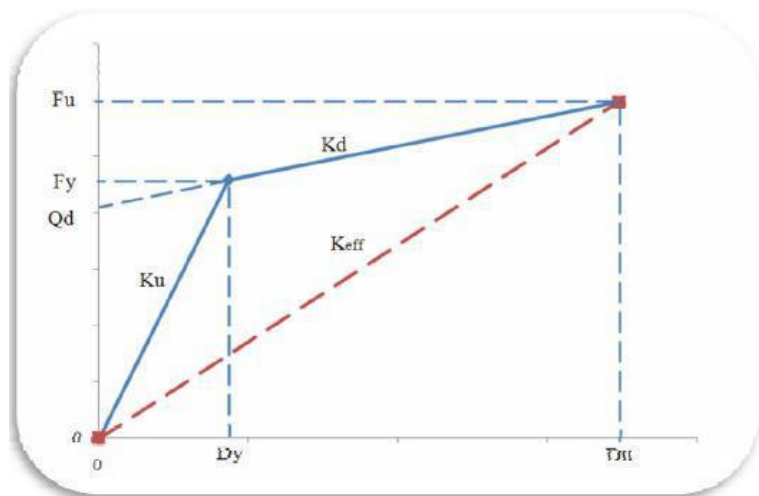


Figure II.5 : Lois de comportement des appuis

V.4.3 Définition des propriétés des isolateurs dans Sap2000

NLLink Directional Properties

Identification

Property Name: RUBBER
 Direction: U1
 Type: Isolator1
 NonLinear: No

Linear Properties (1)

Effective Stiffness: 608158.2
 Effective Damping: 0.

OK Cancel

NLLink Directional Properties

Identification

Property Name: RUBBER
 Direction: U2
 Type: Isolator1
 NonLinear: Yes

Linear Properties (2)

Effective Stiffness: 285.31
 Effective Damping: 0.1

Shear Deformation Location

Distance from End-J: 0.

NonLinear Properties (3)

Stiffness: 2405.
 Yield Strength: 10.46
 Post Yield Stiffness Ratio: 0.1

OK Cancel

1. La valeur de la rigidité verticale effective.
2. Les valeurs des propriétés linaires de l'appui (k_{eff} , c_{eff}).
3. les valeurs des propriétés non linéaires de l'appui.

NLLink Directional Properties

Identification

Property Name: RUBBER
 Direction: U3
 Type: Isolator1
 NonLinear: Yes

Linear Properties (2)

Effective Stiffness: 285.31
 Effective Damping: 0.1

Shear Deformation Location

Distance from End-J: 0.

NonLinear Properties (3)

Stiffness: 2405.
 Yield Strength: 10.46
 Post Yield Stiffness Ratio: 0.1

OK Cancel

V.5 Description de l'excitation sismique

La méthode d'analyse utilisée dans ce cas c'est l'analyse dynamique temporelle (par accélérogrammes). C'est la méthode la plus précise pour l'analyser de comportement non linéaire du système d'isolation et étudier les réponses des deux structures en fonction du temps.

Les deux composantes horizontales d'accélérogrammes utilisées dans l'analyse sont celles du séisme du 21 mai 2003 de Boumerdès et d'Alger enregistrées à la station de Dar El Beida [1] avec une accélération maximale de 0.537g pour la composante E-W et de 0.499g pour la composante N-S. Ces deux composantes sont appliquées respectivement dans le sens longitudinal et le sens transversal de chaque structure. Les accélérogrammes et le contenu fréquentiel de ses deux composantes sont représentés sur les figures suivantes :

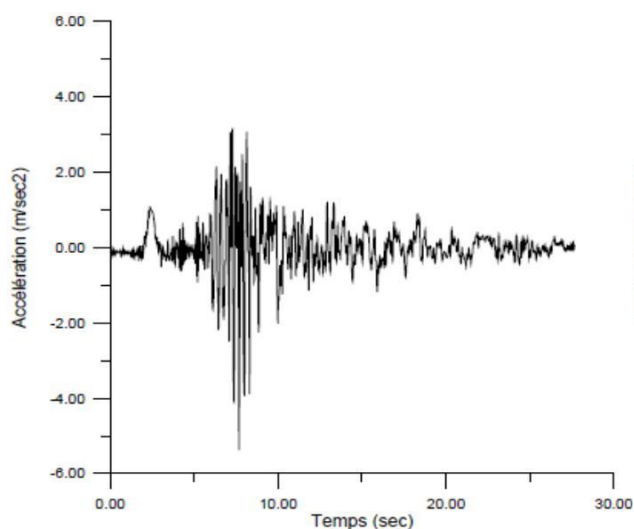


Figure II.6 : Accélérogramme de la composante E-W du séisme de 21 mai 2003 (station Dar El Beida)

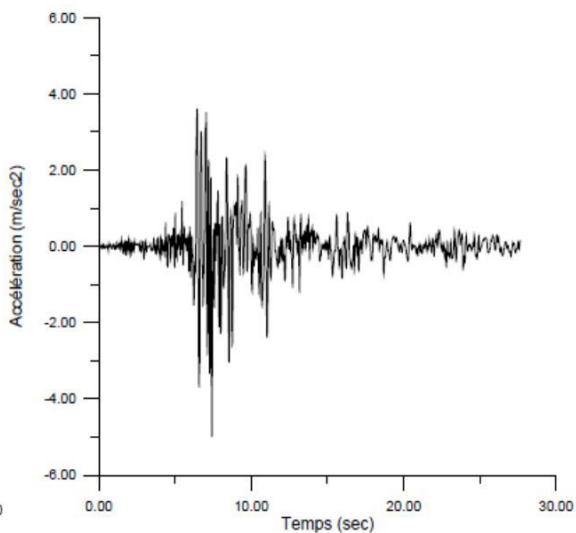


Figure II.7 : Accélérogramme de la composante N-S du séisme de 21 mai 2003 (station Dar El Beida)

V.6 Comparaison des résultats et discussion

V.6.1 Périodes et facteurs de contribution modale

Les résultats obtenus de l'analyse des 2 structures (isolé et encastré) sont représenté dans le tableau et les figures suivant :

Tableau II-3 : Périodes et facteurs de contribution modale de la structure encastree

mode	Périodes (sec)	U _x (%)	U _y (%)	U _x cumulé(%)	U _y cumulé(%)
1	0.7381	86.0017	0.000	86.0017	0.000
2	0.6949	0.000	86.7700	86.0017	86.7700
3	0.5977	0.000	0.000	86.0017	86.7700
4	0.2309	11.1888	0.000	97.1904	86.7700
5	0.2224	0.000	10.6801	97.1904	97.4502

Tableau II-4 : Périodes et facteurs de contribution modale de la structure isolée

mode	Périodes (sec)	U _x (%)	U _y (%)	U _x cumulé(%)	U _y cumulé(%)
1	2.5230	99.7748	0.000	99.7748	0.000
2	2.5110	0.000	99.8301	99.7748	99.8301
3	2.1593	0.000	0.000	99.7748	99.8301
4	0.4529	0.1283	0.000	99.9932	99.8301
5	0.4427	0.000	0.1643	99.9932	99.9932

L'objectif principal de l'isolation sismique c'est l'allongement de période fondamentale de la structure isolée à une valeur plus élevée que dans le cas du bâtiment à base fixe. On remarque dans le tableau récapitulatif, la variation brusque de la période du premier mode de vibration (de 0,74 sec dans la structure encastree à 2.52sec dans la structure isolée), ce qui montre l'efficacité du système d'isolation.

Pour la structure isolée, le mode fondamental a un facteur de contribution modale dépassant les 99% , ce qui nous permet de dire que la réponse de cette structure est régie par le premier mode, par contre , la structure a base fixe donne un facteur de contribution moins de 87% pour le premier mode de vibration.

V.6.2 Les déplacements

Les figures suivantes montrent une comparaison entre les déplacements des étages de la structure encastree et la structure isolée à la base dans les deux directions X et Y :

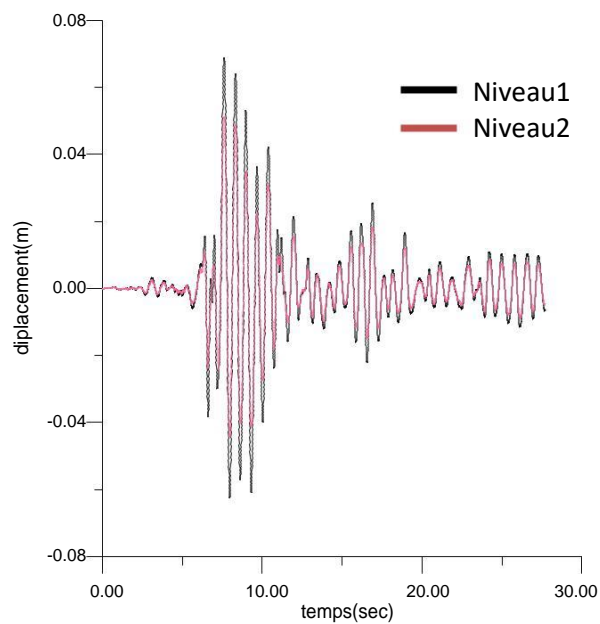


Figure II.8 : Déplacement des niveaux 1 et 2 de structure sans système d'isolation (x)

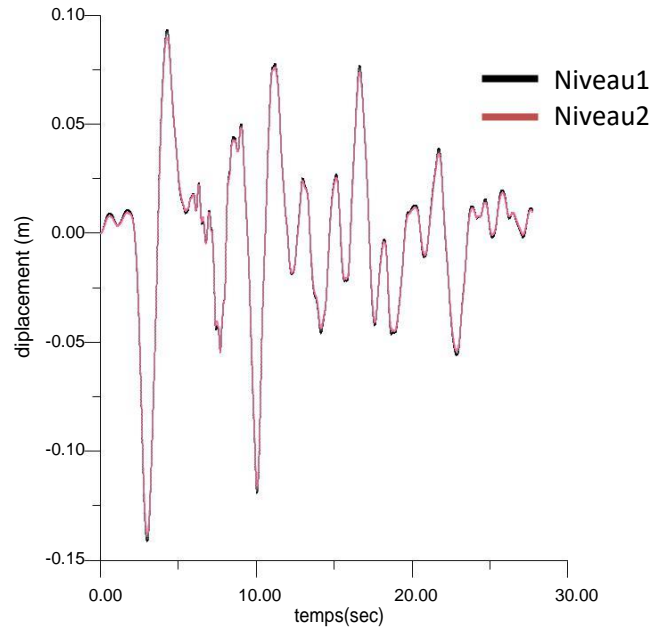


Figure II.9: Déplacement des niveaux 1 et 2 de structure avec système d'isolation (x)

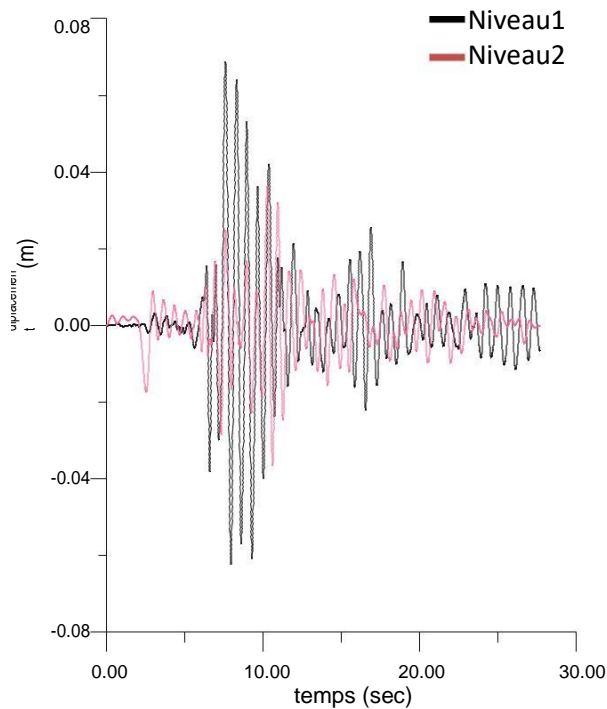


Figure II.10 Déplacement des niveaux 1 et 2 de structure sans système d'isolation (y)

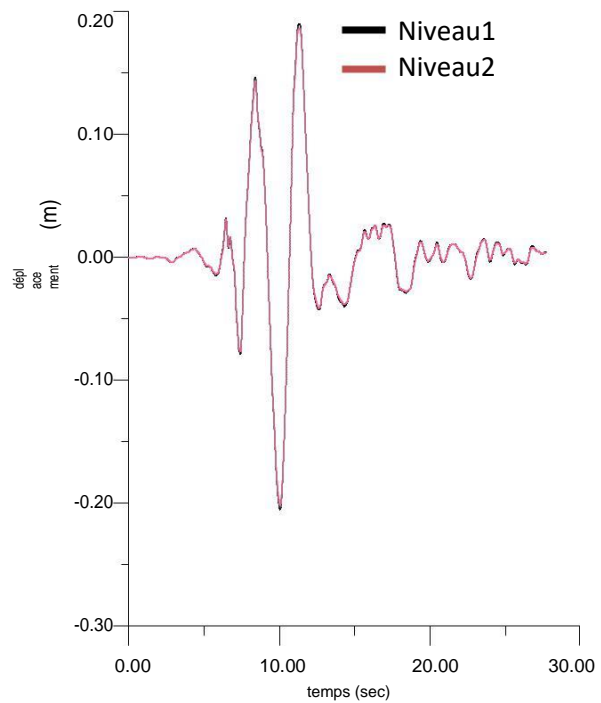


Figure II.11 Déplacement des niveaux 1 et 2 de structure avec système d'isolation (y)

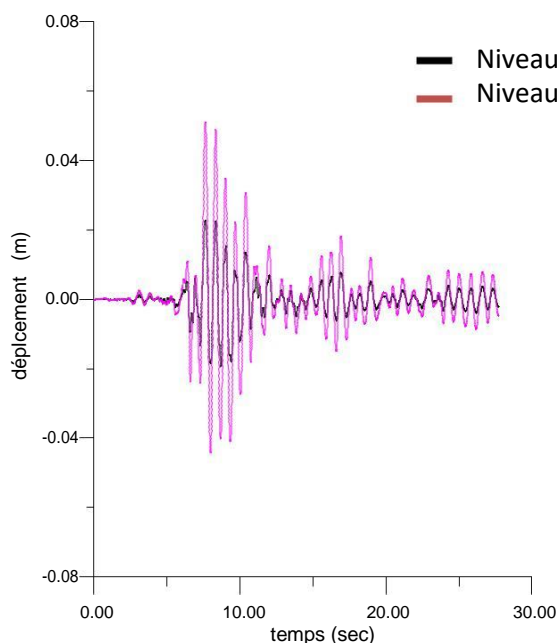


Figure II.12 : Déplacement de niveaux 2 et 3 de la structure sans système d'isolation(x)

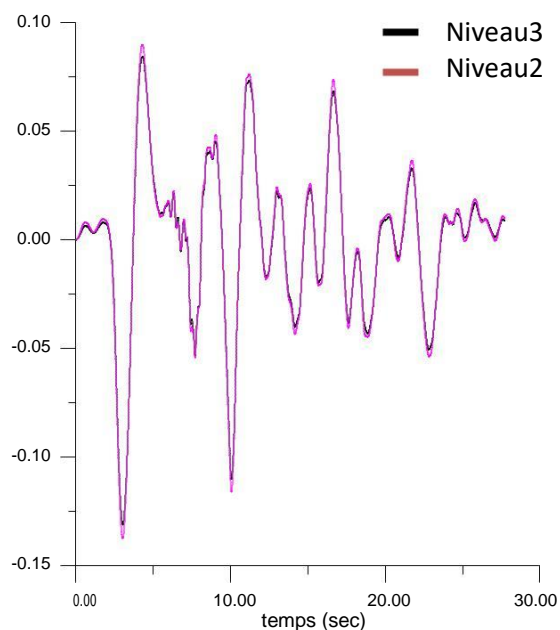


Figure II.13 : Déplacement de niveaux 2 et 3 de la structure avec système d'isolation(x)

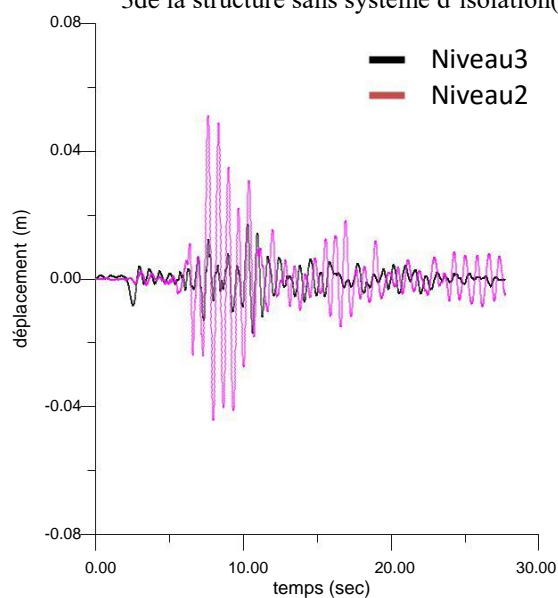


Figure II.14 : Déplacement de niveaux 2 et 3 de la structure sans système d'isolation(y)

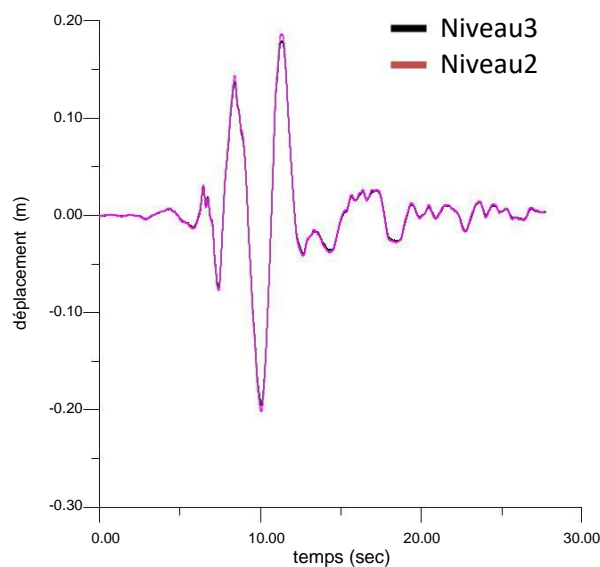


Figure II.15 : Déplacement de niveaux 2 et 3 de la structure avec système d'isolation(y)

La détermination des déplacements inter-étages et leurs distributions sur toute la hauteur de la structure est indispensable pour l'évaluation des performances sismiques car les dommages structuraux sont liés directement aux déplacements inter-étages.

Les figures V.8, à V.15 montrent que la structure isolée vibre comme un corps rigide avec des déplacements inter-étages presque nuls, et des déplacements de conception considérablement importants. Par contre, la structure encastrée présente un déplacement inter étage très important et un déplacement de conception inférieure à celle de la structure isolée, ceci est causé par les grands déplacements de la base de cette dernière.

V.6.3 Les accélérations

Les figures suivantes montrent une comparaison des accélérations du premier et du avant dernier niveau de la structure isolée et la structure encastrée dans les deux directions X et Y :

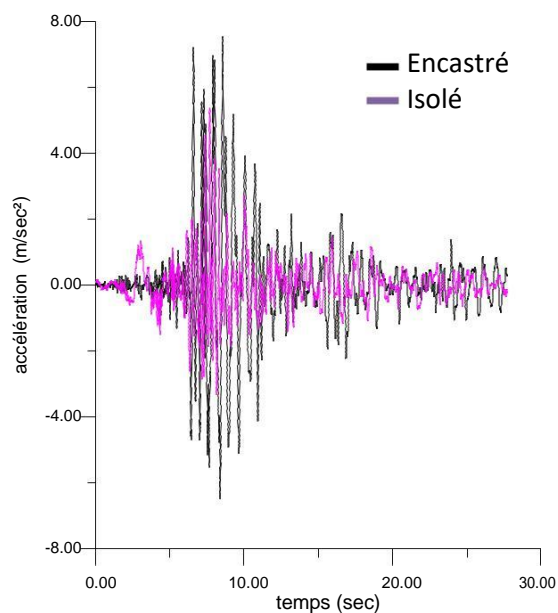


Figure II.16 : accélérations Structure isolé et encastré niveau 1 (x)

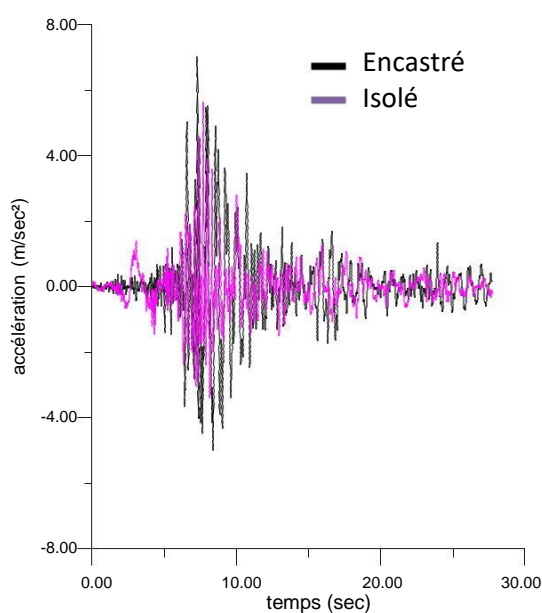


Figure II.17 : accélérations Structure isolé et encastré niveau 2 (x)

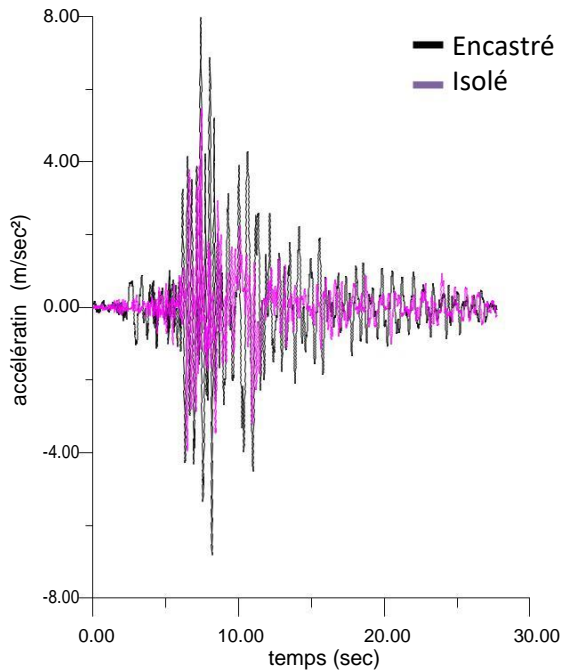


Figure II.18 accélération des Structures isolé et encastré niveau 1 (y)

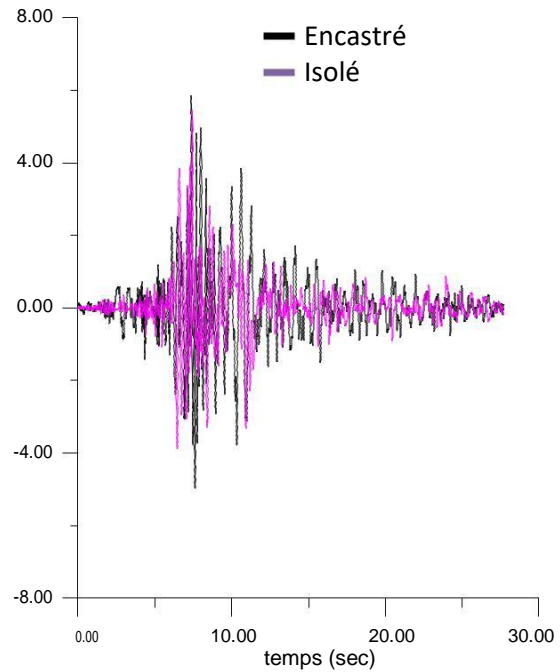


Figure II.19 accélération des Structure isolée et encastré niveau 2 (y)

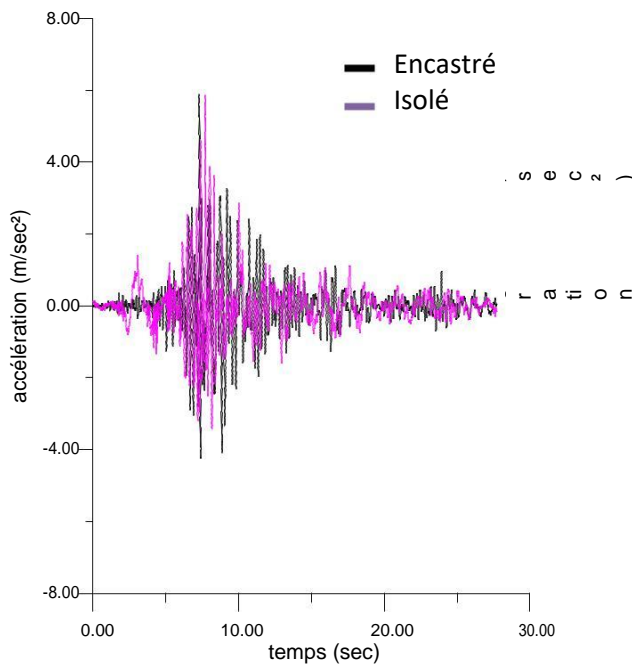


Figure II.20 accélération des Structures isolé et encastré niveau 3 suivant X

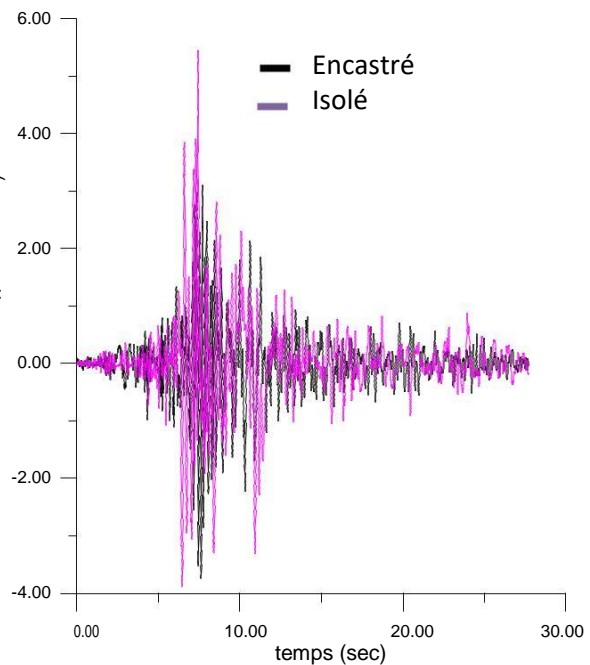


Figure II.21 accélération des Structure isolée et encastré niveau 3 suivant Y

La remarque tirée de ces comparaisons est que les accélérations de la structure isolée sont réduites par rapport à la structure encastrée, et les valeurs des accélérations mesuré dans le premier niveau sont élevé par rapport aux celles des autres niveaux. Ceci est dû à l'allongement

de la période de la structure isolée et le découplage de mouvement de sol par rapport à la structure qui provoque une diminution de la vitesse d'oscillation de structure.

V.6.4 Les efforts tranchants

Les figures suivantes montrent une comparaison des efforts tranchants à la base de la structure isolée et la structure encastree dans les deux directions X et Y :

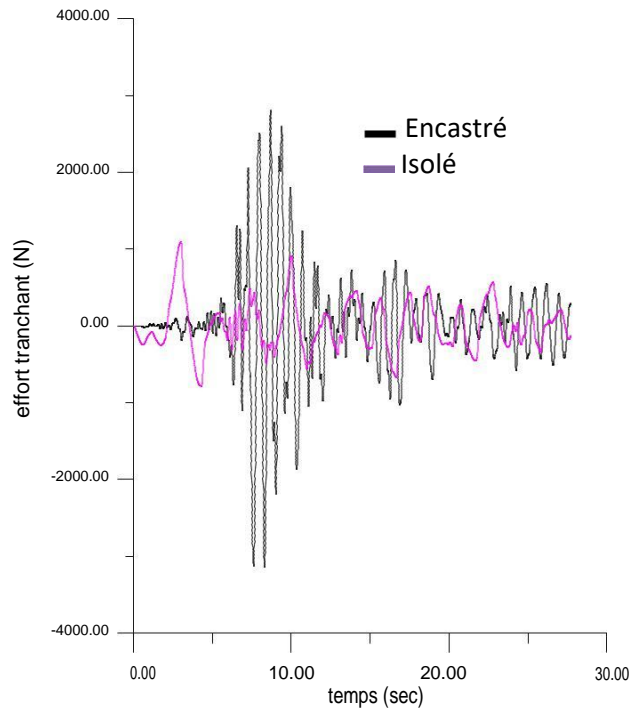


Figure II.22 : L'effort tranchant à la base des structures isolée et encastree suivant X

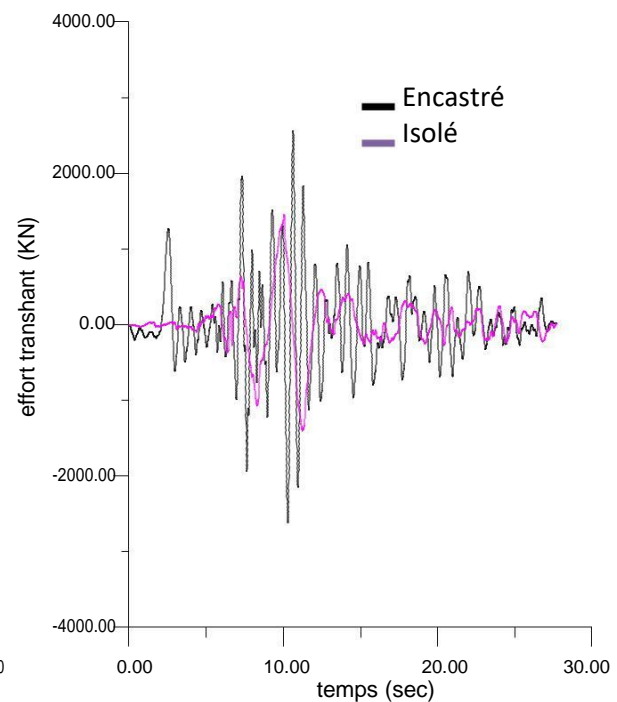


Figure II.23 : L'effort tranchant à la base des structures isolée et encastree suivant Y

Les figures V.22 et V.23 montrant que les efforts tranchant à la base de la structure encastree sont plus élevée a celle de la structure isolé c.à.d que c'est le système d'isolation qui réduit les efforts tranchants à la base a cause de la dissipation d'énergie au niveau de l'appui parasismique.

V.6.5 Déplacement des appuis

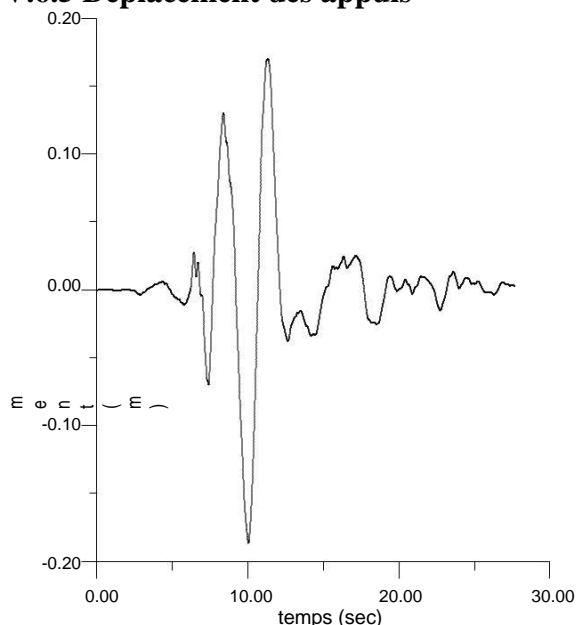


Figure II.24 Déplacement de l'isolateur suivant X

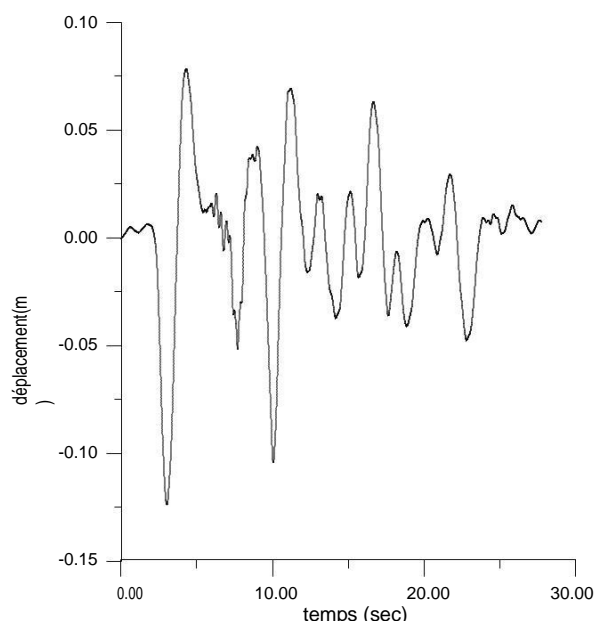


Figure II.25 Déplacement de l'isolateur suivant Y

Pour bien comprendre l'effet de l'effort sismique sur un appui parasismique on a étudié le déplacement de ce dernier au cours du séisme dans les 2 sens x et y.

Les figures V.24 et V.25 montrant que le système d'isolation se déplace dans le sens x avec une valeur importante par rapport a celle dans le sens y qui explique le facteur de contribution modale des deux modes supérieures, donc on peut dire que le rôle d'un isolateur est d'absorber les déformations avant que cette énergie ne soit transférée à la superstructure, qui permette à la structure de se déforme comme un bloc rigide.

Le Tableau V.5 est un résumé de l'étude comparative de la structure avec et sans le système d'isolation.

Tableau II-5 : Comparaison des réponses maximales pour les deux structures isolée et encastree

Paramètre maximaux	Niveaux	directions	Structure encastree	Structure isolée	Pourcentage de réduction(%)	
Déplacement (m)	1	x	$2.28.10^{-2}$	$1.91.10^{-1}$	- une réduction de déplacement inter-étage de 18.2% dans la direction X	
		y	$1.71.10^{-2}$	$1.95.10^{-1}$		
	2	x	$5.11.10^{-2}$	$1.37.10^{-1}$		- une réduction de déplacement inter-étage de 21.05% dans la direction Y
		y	$3.66.10^{-2}$	$2.01.10^{-1}$		
	3	x	$6.87.10^{-2}$	$1.47.10^{-1}$		
		y	$4.81.10^{-2}$	$2.05.10^{-1}$		
Accélération (m/sec ²)	1	x	5.88	5.87	0.17	
		y	3.74	5.39	-	
	2	x	7.03	5.62	20.05	
		y	5.85	5.44	7.00	
	3	x	8.6	5.37	37.56	
		y	7.96	5.46	31.40	
Effort tranchant (kn)	Base	x	3146	1094	65.22	
		y	2617	1449	44.63	

V.7 Etude comparative des réponses dynamiques des structures isolées à la base sous différents systèmes d'isolation

Dans cette partie on va faire une étude comparative entre deux structures, l'une est isolée avec l'isolateur LRB (élastomère fretté avec amortisseur en barreau de plomb) et l'autre avec FPS (appui en pendule glissant).

Cette étude a pour but de comprendre le comportement des structures isolées avec les deux isolateurs à fin de faire une comparaison entre les résultats obtenus. Nous allons considérer la

même excitation sismique (séisme du 21 mai 2003 de Boumerdès et d'Alger enregistrées à la station de Dar Beidha).

Pour l'appui LRB on a déjà fait le dimensionnement dans ce chapitre

V.7.1 Dimensionnement des appuis en pendules glissants (FPS)

• Données

La période de conception $T_D = 2.5$.

Le coefficient sismique : $C = ZSN_I = 0.4$.

Coefficient de frottement $\mu = 0.07$.

• Calcul des paramètres

1. Rayon de la surface sphérique R_{FPS} :

$$R_{FPS} = g (T_{2\pi D})^2 = 9.81 (2 \times 3^{2.5} \cdot 1.4)^2 = 1.55 \text{ m}$$

2. rigidité effective de l'appui k_{eff} :

$$k_{eff} = \frac{1}{\mu} + \frac{1}{B_D}$$

D (déplacement de conception) est calculé selon le code UBC :

$$D = \left(\frac{1}{4} \right)^{\frac{2.5}{1.5}} ZSN_I$$

Le coefficient d'amortissement effectif de l'appui $\xi_{eff} = 20\% \implies B_D = 1.5$.

$$D = \left(\frac{1}{4} \right)^{\frac{2.5}{1.5}} 0.4 = 0.16 \text{ m}$$

Donc :

$$k_{eff} = \frac{1}{\mu} + \frac{1}{B_D} = \frac{1}{0.07} + \frac{1}{1.5} = 7800.53 \text{ kn/m}$$

3. On vérifie l'amortissement effectif de l'appui ξ_{eff} :

$$\xi_{eff} = \frac{2\mu}{1 + \frac{1}{B_D^2}} = \frac{2 \cdot 0.07}{1 + \frac{1}{1.5^2}} = 25.7\% \longrightarrow \text{ok}$$

4. Déplacement vertical de l'appui :

$$\delta_v = \frac{D^2}{2} = \frac{0.16^2}{2} = 8.25 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

5. Diamètre de la surface sphérique d :

$$d > 2D \longrightarrow d > 2 \times 0.16 = 0.32 \text{ m. On prend } d = 35 \text{ cm.}$$

• **Vérification**

$$\text{---} \geq \mu \quad \longrightarrow \quad \frac{0.16}{100} = 0.1 \geq 0.07 \quad \longrightarrow \quad \text{ok.}$$

Les caractéristiques du système d'isolation sont résumées dans le Tableau.VI.1 :

Tableau.VI.1 : Les dimensions du système d'isolation en pendules glissants

T _D (s)	R (m)	D (m)	W (KN)	k _{eff} (KN/m)	ξ _{eff} (%)	δ _v (cm)	d (cm)
2.5	1.55	0.16	7204.96	7800.53	20	0.82	35

V.7.2 Comparaison des résultats obtenus

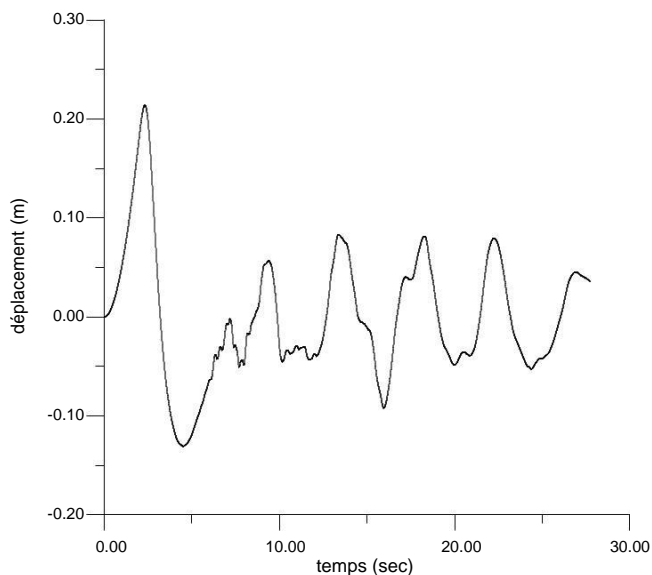
Les courbes ci-dessous montrent les déplacements, les accélérations, les efforts tranchants et les déplacements inter étages des deux structures.

V.7.3 les périodes

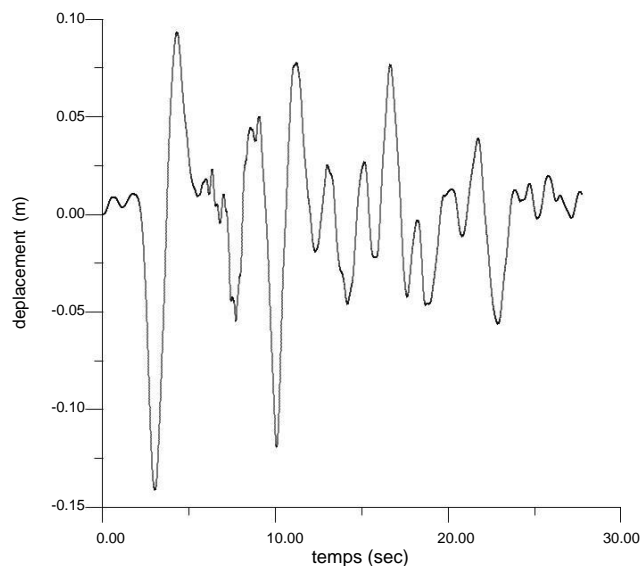
D'après l'analyse dynamique des deux structures, on peut dire que la période obtenue pour la structure isolée avec le système LRB (2.52 sec) est plus grande par rapport à la valeur de la période obtenue par la structure isolée par le système FPS (1.99).

V.7.4 les déplacements

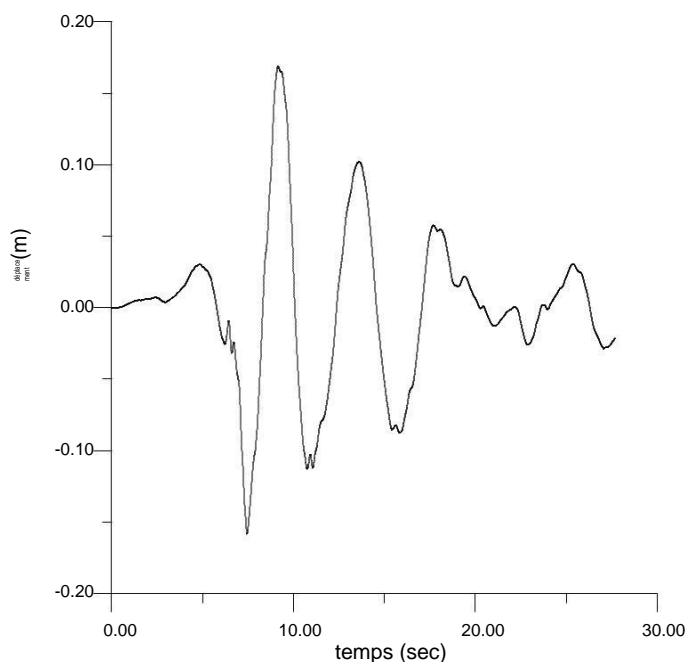
Les déplacements du dernier niveau des deux structures sont représentés dans les figures suivantes :



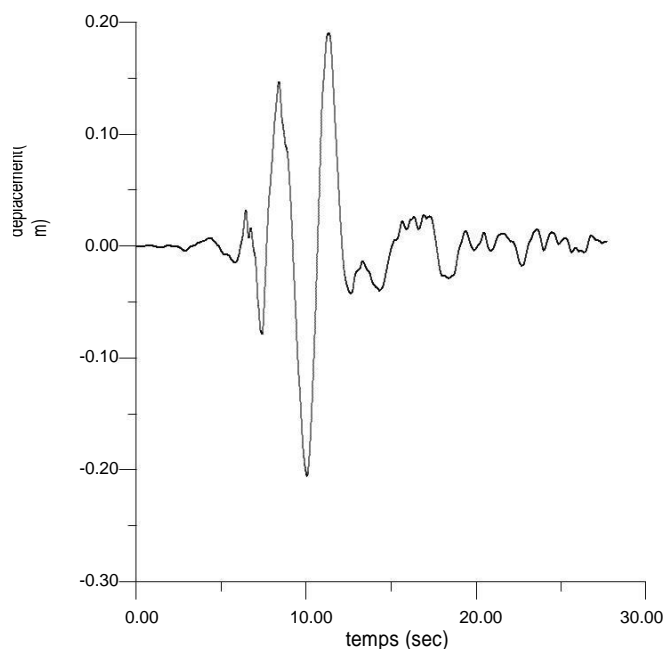
a) Déplacements d'appui en pendule glissant suivant x



b) Déplacements d'appui en élastomère frettée suivant x



c) Déplacements d'appui en pendule glissant suivant y



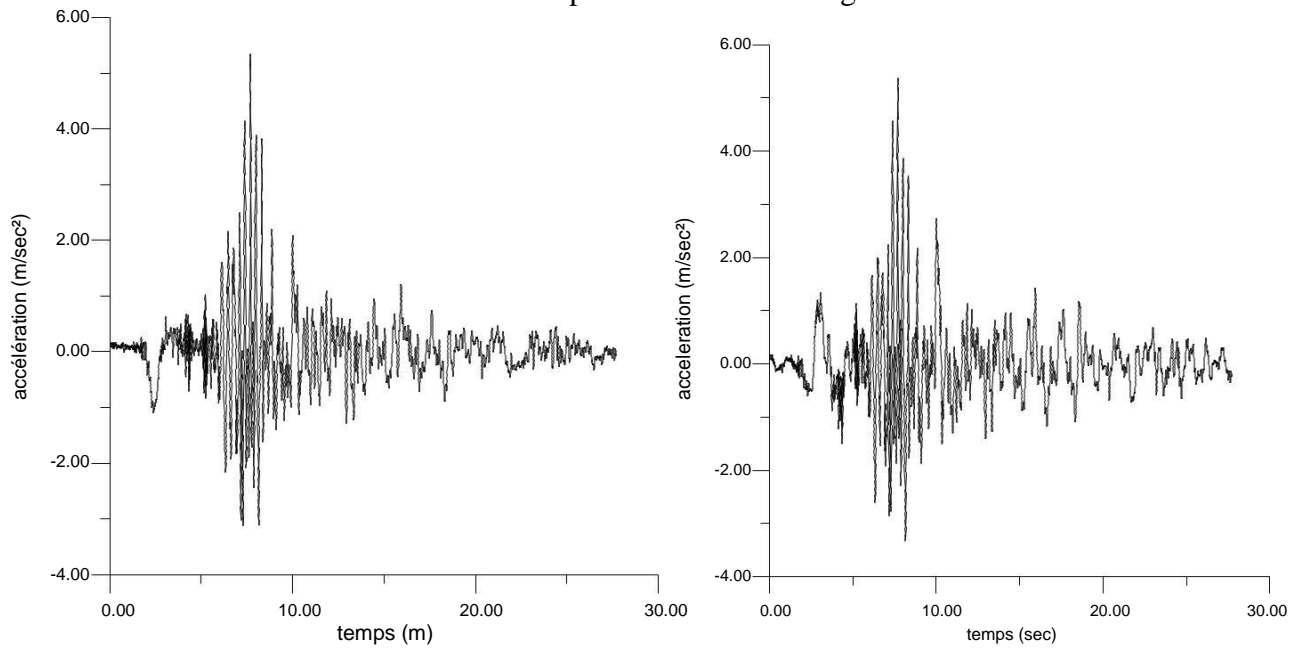
d) Déplacements d'appui en élastomère frettée suivant y

Figure II.26 : comparaison des valeurs de déplacement des deux structures isolée avec les deux système d'isolation

La remarque tirée de cette comparaison est que les déplacements enregistrés au niveau de la structure isolée par le système LRB sont moins importants que les déplacements enregistrés au niveau de la structure isolée par le système FPS.

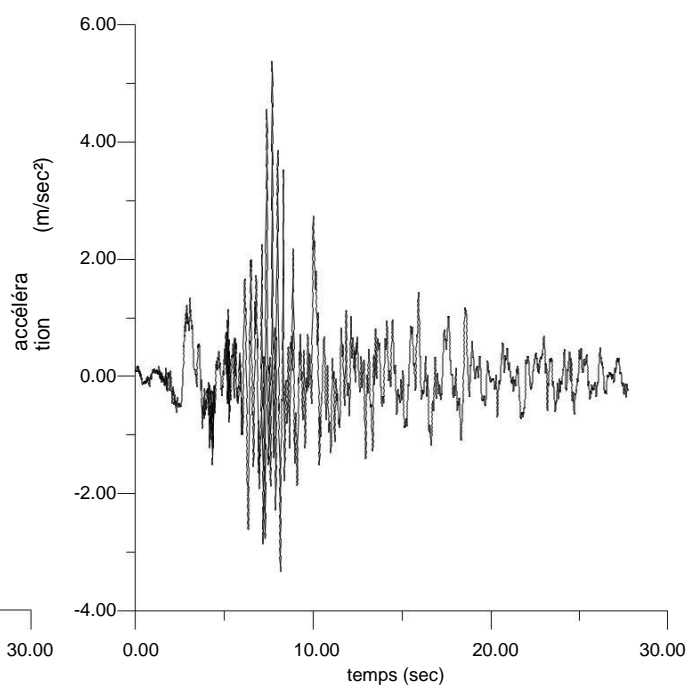
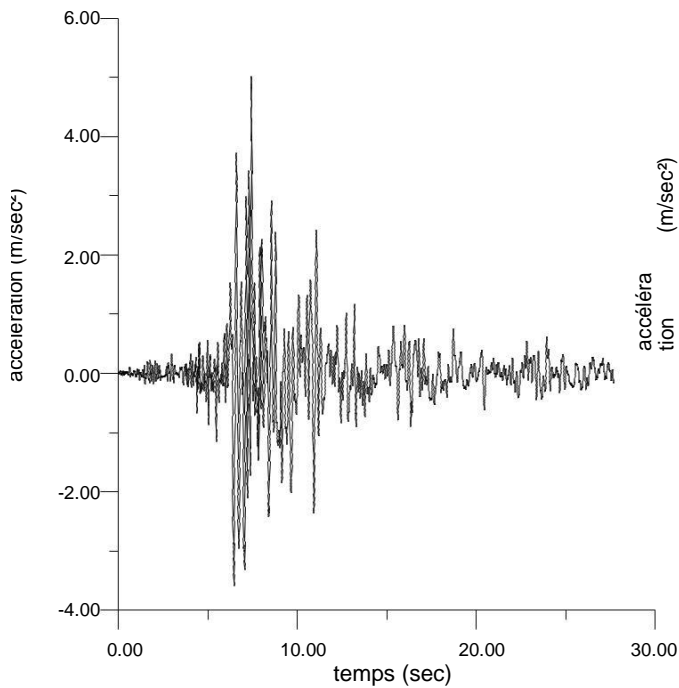
V.7.5 les accélérations

Les accélérations des deux structures sont représentées dans les figures suivantes :



a) Accélérations d'appui en pendule glissant suivant x

b) Accélérations d'appui en élastomère frettée suivant x



c) Accélérations d'appui en pendule glissant suivant y

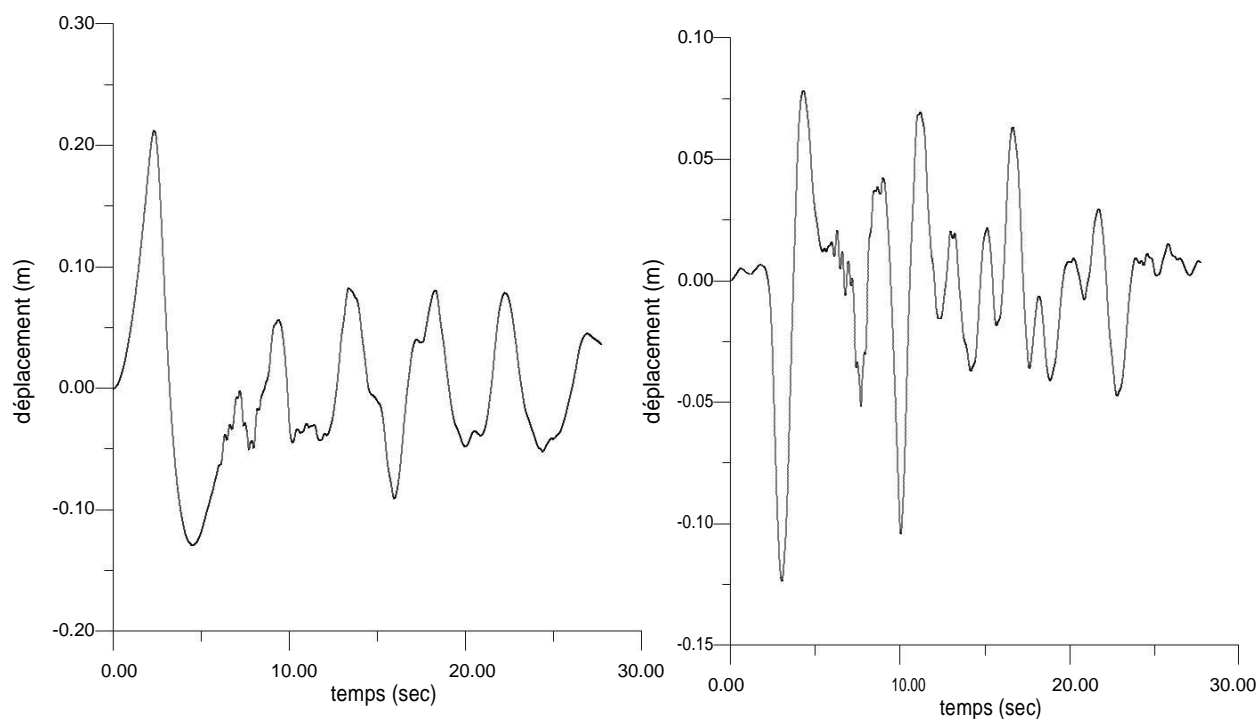
d) Accélérations d'appui en élastomère frettée suivant y

Figure II.27 : comparaison des valeurs des accélérations des deux structures isolée avec les deux système d'isolation

Les accélérations données par la structure isolée avec le système FPS sont moins importants que les accélérations données par la structure isolée par l'autre système.

V.7.6 les déplacements d'appui

Les déplacements des appuis (appui intermédiaire) des deux structures sont représentés dans les figures suivantes :



a) Déplacement d'appui en pendule glissant suivant (x) b) Déplacement d'appui en élastomère frettée suivant x

Figure II.28 : comparaison des valeurs des déplacements des deux appuis

La remarque tirée de cette comparaison est que les déplacements d'appui enregistrés au niveau de la structure isolée par le système FPS sont plus importants que les efforts tranchants enregistrés au niveau de la structure isolée par le système LRB.

V.7.7 Les déplacements inter étage

Les figures ci-dessous montrent une comparaison des déplacements des deux derniers niveaux

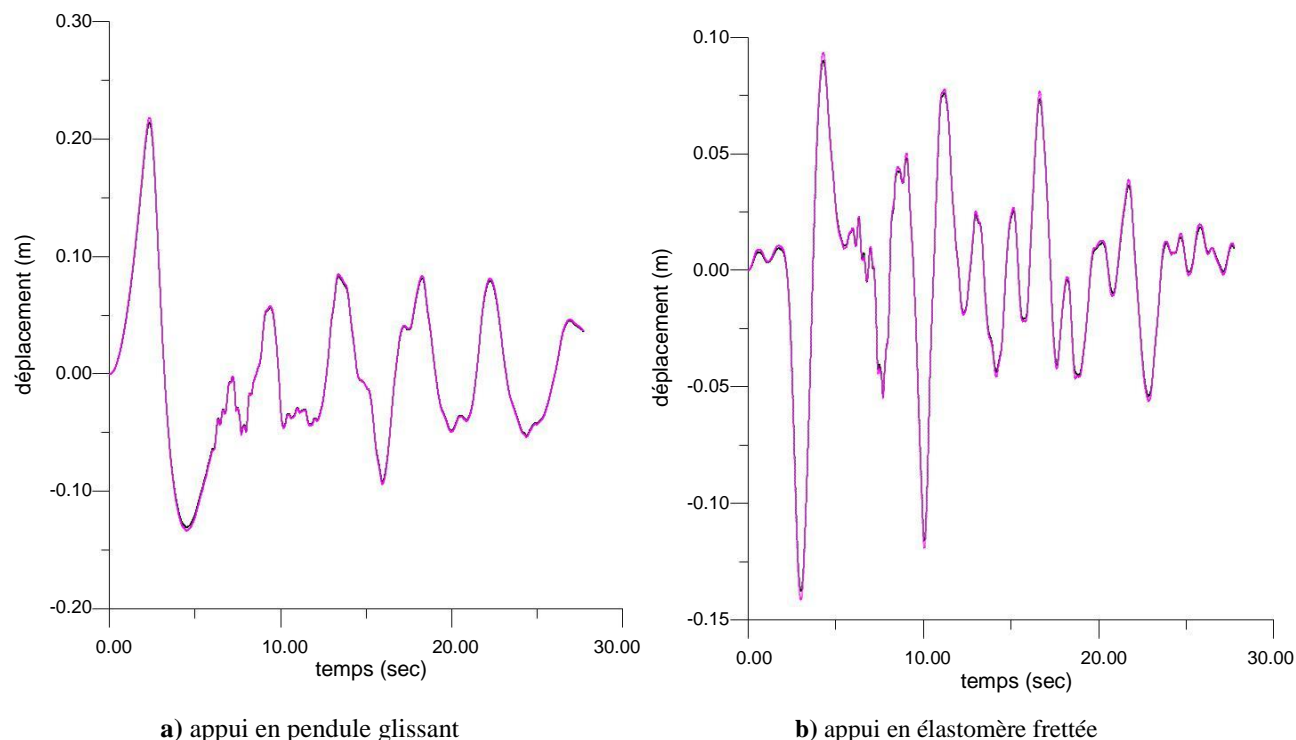


Figure II.29 : comparaison des valeurs des déplacements inter étage des deux structures isolées avec les deux systèmes d'isolation

Les deux systèmes d'isolations utilisés dans ce cas montrent un déplacement inter étages presque nul qui permet à la structure de se déplacer comme un seul bloc.

V.8 Conclusion

D'après les comparaisons précédentes entre la structure encastree et la structure isolée on peut conclure ce qui suit :

- - Les périodes de la structure isolée sont plus élevées (presque 3 fois) aux périodes de la structure encastree.
- - Pour la structure isolée, la réponse dynamique est régie par le premier mode de vibration.
- - Les déplacements de la structure isolée sont plus élevés par rapport aux déplacements de la structure encastree. Par conséquent, les appuis dans ce cas doivent être jumelés par des

amortisseurs pour contrer les grands déplacements de la structure et protéger les structures voisines.

- - La structure isolée déplacée comme un corps rigide par ce que les déplacements dans cette structure sont localisés principalement aux niveaux des appuis.
- - Les déplacements inter étage d'une structure encastree sont plus importants, par contre ces déplacements sont négligeables au niveau d'une structure isolée.
- - Les accélérations d'une structure isolée sont réduites par rapport aux accélérations d'une structure encastree.
- - Les efforts tranchants mesurés à la base d'une structure isolée sont moins importants aux efforts tranchant à la base d'une structure encastree.

La comparaison entre les réponses des deux structures isolée avec les systèmes FPS et LRB montre ce qui suit :

- - l'analyse dynamique des 2 structures montre que la période de la structure isolée avec les appuis en élastomère fretté est plus grand a celle de la structure isolée par des appuis en pendule glissant pour la même déplacement de conception , donc les appuis en élastomère fretté sont augmenté la période mieux que les appuis en pendule glissant.
- -le déplacement de conception et d'appui enregistré au niveau de la structure isolée avec le système FPS sont plus grand à celle de la structure isolée avec le système LRB, cela veut dire que les appuis en élastomère frettée offrent plus de confort pour les occupants du bâtiment ainsi qu'une bonne protection pour les ouvrages voisins.

Conclusion général

Conclusion

Lors d'un séisme catastrophique, 90% des victimes sont dus à l'effondrement des constructions sur leurs occupants. Ainsi, la meilleure réponse au risque sismique est de construire des bâtiments respectent les normes de construction parasismiques. L'objectif de la construction parasismique est de trouver des techniques de conceptions parasismiques permettant aux habitations de résister aux secousses sismiques. Il s'agit de sauvegarder le maximum de vies humaines en évitant l'effondrement des structures.

Ce travail représente une solution aux constructions qui ayant la possibilité de voir des endommagements lors d'un séisme. D'abord, quelques éléments de concepts de contrôle passif ont été passés en revue, qui est les isolateurs parasismiques et les amortisseurs parasismiques. Les deux types de contrôle sont utilisés dans le but de protéger la structure contre les effets de l'excitation sismique. En suite, on a parlé un peu de la modélisation mathématique des appuis parasismiques et avant d'entamer les analyses numériques des structures isolées, on a exposé en détail sur la méthodologie de dimensionnement des appuis parasismiques. Pour avoir un comportement sismique exact de la structure il faut une bonne quantification de l'intensité sismique ainsi une bonne modélisation des structures à analyser.

Pour représenter les charges sismiques appliquées sur la construction, on a choisi la méthode d'analyse temporelle parmi Les méthodes et les règlements de calcul des structures isolées. Cette méthode est plus précise pour la représentation de l'action sismique ainsi que pour le calcul non linéaire des structures isolées. Pour comprendre bien la réponse des structures aux sollicitations sismiques, on a fait une étude comparative entre une structure avec isolation sismique et d'autres sans isolation sismique. Les résultats obtenus d'après cette étude montrant que l'isolation sismique est plus efficace pour minimiser les dommages structuraux et sauver des vies pendant et immédiatement après un séisme. Si un tremblement de terre frappe une structure isolée sismiquement, les déplacements se concentreront aux appuis et la structure pourra balancer plus doucement selon le mouvement du sol comparativement à une structure non isolée (à base fixe). Ainsi, les déplacements seront principalement absorbés par les appuis plutôt que par la structure. Les accélérations enregistrées au niveau de la structure isolée sont inférieures à celle de la structure encadrée. Donc, les appuis parasismiques filtreront aussi l'accélération transmise par le sol. Cette filtration a pour effet d'isoler la structure. Comme les efforts tranchants transmis aux membrures sont moins élevés, la structure sera plus stable. Les déplacements de conception enregistrée au niveau des structures encadrées sont moins que les déplacements des

structures isolés. Par conséquence, les appuis dans ce cas doit être jumelés par des amortisseurs pour contrôler les grands déplacements de la structure et protéger les structures voisines.

L'évolution dans le domaine du génie parasismique devrait être suivie par une adoption de cette nouvelle technique dans les futurs règlements algériens, car l'incorporation des règles de conception et de construction des structures isolées dans le code RPA 99 est recommandée tout en gardant un certain degré de simplicité d'application. Ainsi, le comportement d'un structure isolée est variée selon différents paramètres c'est pour ça, il faut faire une étude comparative pour comprendre bien l'effet de l'isolateur sur le comportement des bâtiments pour atteindre les résultats les plus favorables.

En fin, les constructions parasismiques menées des systèmes d'isolation sismique à la base offrent une meilleure protection contre les tremblements de terre. Le risque sismique peut être notablement réduit sur les constructions neuves qui présentent d'emblée un bon comportement et une bonne résistance face aux séismes. De même, la réhabilitation des structures par cette technique améliore la sécurité sismique de ces dernières faces aux séismes de moyennes ou fortes intensités.

Références

- [1] **OUNIS HADJ Mohamed**, « conception des systèmes d'isolation parasismique des ouvrages en génie civil », 208p, doctorat en science : génie civil option : interaction sol-structure, 17 Juin 2014. Université Mohamed Khider– Biskra.
- [2] **MEGHOUCHE Djedjiga**, « Effet des conditions de contact sur la réponse dynamique des structures », p89, Mémoire de Magister, Génie Civil Option : Sol – Structure. Université M'hamed Bougara-Boumerdes.
- [3] **Association française du génie parasismique**, 2004, Guide de la conception parasismique des bâtiments, France.
- [4] **NAIT ZERRAD Ilyas** et **BENMOUNA Nabil**, « analyse de l'effet des systèmes de dissipation passive dans le contreventement des bâtiments », 2014, p73, Mémoire.
- [5] **CASSANDRA Dion**, « étude numérique et expérimentation du comportement dynamique des ponts avec isolateurs et amortisseurs sismiques », 144p, maîtrise ès sciences appliquées, DÉPARTEMENT DES GÉNIES CIVIL, GÉOLOGIQUE ET DES MINES ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL, GÉNIE CIVIL, 2010. UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL.
- [6] **la prévention du risque sismique**, géoscience pour une terre durable , France www.planseisme.fr consultés le 05/05/2017.
- [7] **AZOUZ Hamid**, les isolateurs parasismiques, le bulletin du l'habitat, ministère de l'habitat et de l'urbanisme, direction de la planification et de la coopération, numéro 2, juin 2007.
- [8] **EL-FETNI Ali**, « Analyse par Critère de Performance des Structures équipées de Dissipateurs d'énergie » ,2012, 150p, mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de magister, Modélisation des matériaux et structures. Université Mohamed Khider – Biskra.

[9] **IKHLEF Boualem**, « technique d'isolation sismique : analyse et comparaison des codes existants », 2005, 121 p, mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de magister en: génie civil spécialité : construction. USTHB.

[10] **ABBAS Oussama Abdelfateh** et **BENYOUCEF Abdelkaderé** , « L'influence de l'isolation à la base sur la réduction des demandes sismiques », mémoire de fin d'étude En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Travaux publics, 99p, 2009, ENSTP

[11] **BENAYAD Karim**, « comportement dynamique des ouvrages sur isolateurs de base », 101p, Magistère en Génie Civil, Option: Seismic Risk and Earthquake Engineering. Université Abou Bakr Belkaid – Tlemcen.

[12] **KACZKOWSKI Nicolas**, développement des capacités de conception parasismique des ponts conception basée sur le principe d'isolation et l'emploi de dispositifs amortisseurs visqueux, 184p, Garreau Sylvain ingénieur d'affaires, Freyssinet international & Cie, 2012.

[13] **Yeong-Bin Yang and Kuo-Chun Chang**. (2002). chapter 17: Base Isolation, Earthquake engineering handbook. CRC Press.

[14] **isolation et renforcement –institut séisme**, l'école centrale paris, l'école normale supérieure de Cachan et le CNRS, 2012, <http://www.institut-seism.fr>. consultée le 28/03/2017.

[15] **RPA2003**, Reglement Parasismiques Algerian.

[16] **UBC 97**, United Building Code.

[17] **IBC** , International Building Code.