

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de Tlemcen
Faculté de Technologie
Département de Génie Civil



Mémoire pour l'Obtention du Diplôme
Master en Génie Civil

Option : Ingénierie des structures.

Thème :

EFFET DES ISOLATEURS DE BASE SUR LA REPOSE
DYNAMIQUE D'UN BATIMENT

Présenté le 12 Juin 2016 par :

BENAHMED NOURIA

LASRI SOUMIA

Devant le Jury composé de :

Pr. MEGNOUNIF A.
Dr. MATALLAH M.
Dr. DJAFOUR N.
Dr. BENADLA Z.
Dr. HAMDAOUI K.

Président
Examineur
Examinatrice
Encadreur
Encadreur

Année Universitaire 2015-2016

Remerciements

Préambule à ce modeste travail, nous tenons à remercier ALLAH le tout puissant de nous avoir donné le courage et nous mener à bien notre projet de fin d'étude et de nous avoir guidé au cours de l'année, ainsi durant toutes les années précédentes.

Nos sincères remerciements s'adressent du fond du cœur à nos encadreurs Dr. BENADLA Z. et Dr. HAMDAOUI K. qui nous ont orientés durant toute la préparation de ce projet de fin d'étude et qui nous ont fourni les conseils nécessaires.

On tient à remercier profondément les membres du jury et Prof. MEGNOUNIF A., Dr. MATALLAH M et Dr. DJAFOUR N. pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de juger ce travail.

Nous tenons aussi à remercier également Melle MEDJAHED AMINA qui a contribué à notre travail, ainsi pour ses précieux conseils techniques et pour le temps mis à notre disposition.

Sans oublier tout le personnel du CTC-Tlemcen, pour leur accueil chaleureux et leur disponibilité et leur encouragement particulièrement Mr SELKA HOUARI qui nous a beaucoup aidé dans la maîtrise du logiciel ETABS 2015.

Merci à toutes et à tous...

Nouria, Soumia

Dédicace

Je voudrais dédier ce travail, à mes chers parents qui ont sacrifié leurs vies pour notre bien.

Pour mes sœurs : Fouzia, Faiza et Nawel.

Pour mes frères : Fayçal et abdelhak et à tout ma famille.

À ma chère binôme : Soumia et toute sa famille.

À toute les membres de ma promotion « IS »

À tous les professeurs qui m'ont enseigné et encadré.

Merci à tous...

BENAHMED NOURIA

Dédicace

*C'est avec grand respect et gratitude que de tiens à exprimer toute ma reconnaissance
et ma sympathie et dédier ce travail modeste à :*

*Mes chers parents qui ont toujours été présents pour me protéger, m'encourager et me
soutenir tant moralement que matériellement pour que je puisse atteindre mon but.*

Merci mes parents, que Dieu vous protège.

Mon cher frère Mohamed et mes chères sœurs Charihane et Marwa.

Toute la famille : LASRI et BENDIAF.

Ma chère binôme Nouria et à toute sa famille.

Tous les membres de ma promotion IS.

Tous les professeurs qui m'ont enseigné et encadré

Toutes les personnes que j'aime et qui m'aiment.

LASRI SOUMIA

Résumé

La protection sismique des structures est une exigence qui est de plus en plus encadrée par les codes du domaine génie parasismique. L'isolation à la base est une des technologies les plus répandues dans ce domaine, par conséquent, elle offre une meilleure réduction d'effet sismique sur le bâtiment en termes de déplacement relatifs, d'accélération et des efforts tranchants.

L'objectif de notre recherche est d'évaluer la performance de ce système d'isolation en utilisant deux types d'appuis différents. Pour cela une analyse dynamique a été effectuée par le logiciel ETABS 2015 sur un bâtiment à huit niveaux avec trois configurations ; base fixe, base isolée chaque type à part, puis un couplage entre les deux types d'appui, en choisissant une seule répartition. Le but est de démontrer l'efficacité de ce système par les meilleurs résultats.

Suite à une comparaison des trois systèmes cités auparavant, le couplage entre les deux types d'appui reste le meilleur et donne des résultats satisfaisants.

Mots clés : ETABS, méthodes d'analyse dynamique, réponse sismique, isolateurs de base, bâtiment.

Abstract

The seismic protection of structures is a requirement, which is framed more and more by the codes of the parasismic engineering field. The base isolation is one of the most replied technologies in this field; therefore, it offers a better reduce of seismic effect on the building in terms of relative displacement, acceleration and shear forces.

The aim of our research is to evaluate the performance of the isolation system using two different types of support. Therefore, a dynamic analysis was performed by the ETABS 2015 software on an eight-level building with three configuration; fixed base, base isolated with each type , then by coupling between the two types of support by choosing a single distribution. The aim is to demonstrate the effectiveness of this system the best results.

Following a comparison between the three systems, the coupling between the two types of support is the best and provides satisfied results.

Keywords: ETABS, methods for dynamic analysis, seismic response, base isolators, building.

المخلص

حماية المباني من الزلزال هو شرط يتم تأطيره بشكل متزايد وفقا لمعايير المجال الزلزالي. عزل القاعدة هي واحدة من أكثر التكنولوجيات الواردة في هذا المجال، بحيث تقدم أفضل تقليص لتأثير الزلازل على المبنى من حيث الانتقال النسبي، التسارع وقوى القص.

الهدف من بحثنا هو تقييم أداء نظام العزل باستخدام نوعين مختلفين من الدعم. لذا تم إجراء تحليل حركي بواسطة برنامج "إيتابس 2015" على مبنى مكون من ثمانية طوابق؛ قاعدة ثابتة، قاعدة معزولة بكل نوع على حدة، ثم الجمع بين هذين النوعين من الدعم عن طريق اختيار توزيع واحد. الهدف من ذلك هو إثبات فعالية هذا النظام على أفضل النتائج.

بعد المقارنة بين الأنظمة الثلاثة المذكورة من قبل، توصلنا الى ان الجمع بين هذين النوعين من الدعم هو الأفضل، بحيث يقدم نتائج مرضية.

الكلمات المفتاحية: الإيتابس، طرق التحليل حركي، الاستجابة للزلازل، عازل قاعدي، بناية.

SOMMAIRE

| | |
|-----------------------------|------|
| Remerciements | i |
| Dédicace | ii |
| Dédicace | iii |
| Résumé | iv |
| Abstract | v |
| ملخص | vi |
| Sommaire | vii |
| Liste des figures | x |
| Liste des tableaux | xiii |
| Notations et symboles | xv |

| | |
|----------------------------|---|
| Introduction Générale..... | 1 |
|----------------------------|---|

CHAPITRE I : Généralités sur les appuis parasismiques.

| | |
|---|----|
| I.1 Introduction..... | 4 |
| I.2 Historique sur les isolateurs | 5 |
| I.3 Application des systèmes d'isolation..... | 6 |
| I.4 Principe de l'isolation à la base | 8 |
| I.5 Les différents systèmes d'isolation parasismique..... | 11 |
| I.5.1 Les appuis parasismiques | 11 |
| I.5.2 Amortisseurs parasismiques..... | 20 |
| I.6 Choix entre les types d'appui parasismique | 23 |
| I.7 Les avantages de l'isolation parasismique | 23 |
| I.8 Les inconvénients de l'isolation parasismique | 24 |

| | |
|------------------------------------|----|
| I.9 Synthèse bibliographique | 24 |
| I.10 Conclusion | 28 |

CHAPITRE II : Fonctionnement et dimensionnement des appuis parasismiques.

| | |
|---|----|
| II.1 Introduction | 30 |
| II.2 Fonctionnement des appuis parasismiques | 30 |
| II.2.1 Appuis à déformation | 30 |
| II.2.2 Appuis à glissement | 32 |
| II.2.3 Modèle de calcul de la structure isolée | 34 |
| II.3 Les méthodes de l'analyses et dimensionnement des appuis parasismiques | 39 |
| II.3.1 Description des codes parasismiques | 39 |
| II.3.2 Les niveaux d'intensités du mouvement sismique..... | 39 |
| II.3.3 Méthode de calcul d'analyse des structures isolées | 40 |
| II.3.4 Méthodologie de dimensionnement des appuis parasismiques | 52 |
| II.4 Conclusion | 5 |

Chapitre III : Descente des charges et pré dimensionnement

| | |
|--|----|
| III.1 Introduction | 57 |
| III.2 Présentation de l'ouvrage | 57 |
| III.2.1 Caractéristiques géométriques | 57 |
| III.2.2 Caractéristique des matériaux | 57 |
| III.3 Détermination de l'épaisseur du plancher à corps-creux | 59 |
| III.4. Dimensionnement des poutrelles | 59 |
| III.5 Descente des charges | 60 |
| III.5.1 Les planchers | 60 |
| III.5.2 Balcon en dalle pleine..... | 61 |
| III.5.3 Maçonnerie | 62 |
| III.5.4 L'acrotère | 63 |
| III.5.5 Les escaliers..... | 64 |

| | |
|---|----|
| III.6 Pré dimensionnement des éléments structuraux..... | 67 |
| III.6.1 Pré dimensionnement des poutres | 67 |
| III.6. Pré dimensionnement des poteaux | 69 |
| III.7 Conclusion..... | 74 |

Chapitre IV : Etude comparative de la structure avec et sans le système d'isolation

| | |
|---|-----|
| IV.1 Introduction..... | 77 |
| IV.2 Présentation du logiciel | 77 |
| IV.3 Description de l'excitation sismique..... | 78 |
| IV.4 Description du système d'isolation | 79 |
| IV.5 Modélisation avec le logiciel ETABS..... | 82 |
| IV.6 Résultats | 85 |
| IV.6.1 Les périodes, les pulsations et les facteurs de contribution modale..... | 85 |
| IV.6.2 Déplacement..... | 88 |
| IV.6.3 Accélération..... | 90 |
| IV.6.2 Effort tranchant..... | 93 |
| IV.7 Conclusion | 95 |
| Conclusion générale | 97 |
| Références bibliographiques | 99 |
| Annexe A..... | A-1 |
| Annexe B..... | B-1 |

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I : Généralités sur les isolateurs.

| | |
|---|----|
| Figure I. 1 : Mise en place des isolateurs sur les massifs d'une structure..... | 4 |
| Figure I. 2 : Schéma historique de développement de l'isolation à la base..... | 5 |
| Figure I. 3 : Vue en plan et en élévation du SENDI MT BUILDING..... | 6 |
| Figure I. 4 : Hôtel de ville de San Francisco et PASEDNA Californie [11]..... | 7 |
| Figure I. 5 : Hôpital Pierre Zobda-Quitman sur appuis parasismique [12][13]..... | 7 |
| Figure I. 6 : Schéma du réacteur expérimental Jules Horowitz (Cadarache, France) avec ses appuis parasismiques visibles dans la partie inférieure..... | 7 |
| Figure I. 7 : la Grande Mosquée d'Alger est conçue pour accueillir 120 000 fidèles..... | 8 |
| Figure I. 8 : La position des appuis parasismiques dans un bâtiment..... | 8 |
| Figure I. 9 : Deux types de structure : une conventionnelle encastree dans le sol, et une autre protégée contre les séismes par un système d'isolation à la base..... | 9 |
| Figure I. 10 : Principe de l'isolation sismique, réduction de l'accélération grâce au décalage de la période..... | 10 |
| Figure I. 11 : Comparaison entre deux structures isolée..... | 11 |
| Figure I. 12 : Appuis à déformation..... | 13 |
| Figure I. 13 : Appuis en élastomère à fort taux d'amortissement..... | 14 |
| Figure I. 14 : Appuis en élastomère avec noyau de plomb [28]..... | 15 |
| Figure I. 15 : Exemples de types de l'appareil d'appui..... | 14 |
| Figure I. 16 : Appui à pot..... | 16 |
| Figure I. 17 : Des exemples de l'appui à pot..... | 16 |
| Figure I. 18 : Appuis à glissement..... | 17 |
| Figure I. 19 : Appuis en pendules glissants FPS..... | 18 |
| Figure I. 20 : Appuis à déformation et à glissement..... | 18 |
| Figure I. 21 : Appuis à roulement..... | 19 |
| Figure I. 22 : Le principe de fonctionnement d'appuis à bille..... | 20 |
| Figure I. 23 : Amortisseur hystérésis (élasto-plastique)..... | 21 |
| Figure I. 24: Amortisseur hydraulique..... | 22 |
| Figure I. 25 : Amortisseur à friction..... | 22 |
| Figure I. 26 : Un TMD pendulaire de 800 tonnes dans un bâtiment de 508m de hauteur (tour de Taipei 101) Taiwan. | 23 |

CHAPITRE II : Fonctionnement et dimensionnement des appuis parasismiques.

| | |
|---|----|
| Figure II. 1 : Principe et fonctionnement de LDRB..... | 30 |
| Figure II. 2 : Principe et fonctionnement de LRB..... | 31 |
| Figure II. 3 : Principe et fonctionnement du FP..... | 32 |
| Figure II. 4 : Principe et fonctionnement de FPS..... | 33 |
| Figure II. 5 : Modèle de structure isolée..... | 34 |
| Figure II. 6 : Modèle mathématique..... | 34 |
| Figure II. 7 : La forme des modes propres de la structure isolée..... | 37 |
| Figure II. 8 : Boucles d'hystérésis sous chargement cyclique..... | 43 |
| Figure II. 9 : Déplacements du système d'isolation..... | 46 |
| Figure II. 10 : Dimensions en plan..... | 46 |

Chapitre III : Descente des charges et pré dimensionnement.

| | |
|---|----|
| Figure III. 1 : Plan de coffrage..... | 58 |
| Figure III. 2 : Nervure..... | 59 |
| Figure III. 3 : Plancher terrasse inaccessible..... | 60 |
| Figure III. 4 : Plancher étage courant..... | 61 |
| Figure III. 5 : Balcon..... | 62 |
| Figure III. 6 : Coupe transversale du Mur extérieure..... | 62 |
| Figure III. 7 : Coupe transversale du Mur intérieur..... | 63 |
| Figure III. 8 : Dimension de l'acrotère..... | 63 |
| Figure III. 9 : Schéma d'un escalier..... | 64 |
| Figure III. 10 : Section supportée par le poteau le plus sollicité..... | 69 |
| Figure III. 11 : La dégression des charges d'exploitation..... | 71 |

Chapitre IV : Etude comparative de la structure avec et sans le système d'isolation

| | |
|--|----|
| Figure IV. 1 : Accélérogramme du séisme de Boumerdès et d'Alger de 21 mai 2003 avec un PGA = 0,33 g (station de Keddara)..... | 78 |
| Figure IV. 2 : Les caractéristiques mécaniques de l'isolateur HDRB..... | 79 |

| | |
|---|----|
| Figure IV. 3 : plan de détail pour l'emplacement des appuis..... | 82 |
| Figure IV. 4 : Modèle de la structure fixe proposée à l'étude..... | 84 |
| Figure IV. 5 : Modèle de la structure isolée par l'appui HDRB proposée à l'étude..... | 84 |
| Figure IV. 6: Modèle de la structure isolée par l'appui FPS proposée à l'étude..... | 85 |
| Figure IV. 7 : Modèle de la structure isolée par un couplage de deux appuis HDRB et FPS proposée à l'étude..... | 85 |
| Figure IV. 8 : Comparaison des périodes et des pulsations pour les quatre modèles..... | 87 |
| Figure IV. 9 : Comparaison des déplacements maximaux de différents niveaux pour les quatre modèles dans la direction X..... | 88 |
| Figure IV. 10 : Comparaison des déplacements maximaux de différents niveaux pour les quatre modèles dans la direction Y..... | 88 |
| Figure IV. 11 : Comparaison des déplacements du dernier étage pour les quatre modèles dans la direction X..... | 89 |
| Figure IV. 12 : Comparaison des déplacements du dernier étage pour les quatre modèles dans la direction Y..... | 90 |
| Figure IV. 13 : Comparaison des accélérations maximales de différents niveaux pour les quatre modèles dans la direction X..... | 91 |
| Figure IV. 14 : Comparaison des accélérations maximales de différents niveaux pour les quatre modèles dans la direction Y..... | 91 |
| Figure IV. 15 : Comparaison des accélérations de dernier étage pour les quatre modèles dans la direction X..... | 92 |
| Figure IV. 16 : Comparaison des accélérations de dernier étage pour les quatre modèles dans la direction Y..... | 93 |
| Figure IV. 17 : Comparaison des efforts tranchant de différentes niveaux pour les quatre modèles dans les deux directions X et Y..... | 94 |
| Figure IV. 18 : Comparaison des efforts tranchant à la base pour les quatre modèles dans la direction X..... | 94 |
| Figure IV. 19 : Comparaison des efforts tranchants à la base dans l'intervalle [5-20] pour les quatre modèles dans la direction X..... | 95 |
| Figure IV. 20 : Comparaison des efforts tranchants à la base pour les quatre modèles dans la direction Y..... | 95 |

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I : Généralités sur les isolateurs.

| | |
|---|----|
| Tableau I. 1 : Caractéristique de caoutchouc..... | 11 |
| Tableau I. 2 : Les propriétés de caoutchouc..... | 11 |

CHAPITRE II : Fonctionnement et dimensionnement des appuis parasismiques.

| | |
|---|----|
| Tableau II. 1 : Coefficient sismique CVD..... | 42 |
| Tableau II. 2 : Facteur de la zone sismique Z..... | 42 |
| Tableau II. 3 : Facteur de proximité de la faille active N_v | 42 |
| Tableau II. 4 : Type de failles sismiques..... | 43 |
| Tableau II. 5 : Coefficients sismiques CVM..... | 43 |
| Tableau II. 6 : Coefficient de réponse au séisme capable maximum MM | 43 |
| Tableau II. 7 : Les coefficients d'amortissement BD et BM..... | 44 |
| Tableau II. 8 : Valeurs de l'analyse dynamique données en fonction des valeurs de l'analyse statique..... | 50 |

Chapitre III : Descente des charges et pré dimensionnement.

| | |
|---|----|
| Tableau III. 1 : Caractéristiques géométriques du plancher..... | 57 |
| Tableau III. 2 : Descente des charges du plancher terrasse inaccessible avec gravillon..... | 57 |
| Tableau III. 3 : Descente des charges de l'étage courant et RDC..... | 58 |
| Tableau III. 4 : Descente des charges de balcon en dalle pleine..... | 58 |
| Tableau III. 5 : Descente des charges des murs double parois..... | 59 |
| Tableau III. 6 : Descente des charges de garde-corps..... | 60 |
| Tableau III. 7 : Evaluation des charges et des surcharges pour le palier..... | 63 |
| Tableau III. 8 : Evaluation des charges et des surcharges pour le paillasson..... | 63 |
| Tableau III. 9 : Coefficients de dégression de surcharge..... | 68 |
| Tableau III. 10 : Dimensions des sections du poteau..... | 69 |

Chapitre IV : Etude comparative de la structure avec et sans le système d'isolation.

| | |
|--|----|
| Tableau IV. 1 : Les caractéristiques de l'appui HDRB..... | 80 |
| Tableau IV. 2 : Les caractéristiques de l'appui FPS..... | 81 |
| Tableau IV. 3 : Comparaison entre les périodes les pulsations et les facteurs de contribution pour les quatre modèles..... | 86 |

NOTATIONS ET SYMBOLES

- b** : Dimensions de la structure.
- c** : L'amortissement.
- c_{eq}** : Coefficient d'amortissement équivalent.
- d** : Diamètre de la surface sphérique de l'appui FPS.
- e** : Excentricité.
- f_{c28}** : La résistance à la compression du béton à 28 jours.
- f_{t28}** : La résistance à la traction du béton.
- g** : accélération de la pesanteur.
- h_x** : Hauteur du niveau x.
- h_i** : Hauteur du niveau i.
- h_t** : Hauteur de l'appui HDRB.
- i** : Rayon de giration.
- k** : La rigidité.
- k_{eff}** : La rigidité effective du système d'isolation.
- l_f** : longueur de flambement.
- m** : La masse de la structure.
- m_s** : La masse de la structure.
- m_b** : La masse de la base.
- n_a** : Nombre des frettes d'acier.
- q₁, q₂** : Coefficients modaux dépendants du temps.
- t_r** : Epaisseur d'une seule couche en élastomère.
- t_e** : L'épaisseur des plaques d'extrémité.
- t_a** : L'épaisseur des frettes d'acier.
- u_b** : Déplacement absolu de la base.
- u_s** : Déplacement absolu de la structure.
- v_b** : Déplacement relatif de la base.
- v_s** : Déplacement relatif de la structure.
- y** : Distance entre le centre de rigidité du système d'isolation.
- A** : Section de l'appui.
- A, B, C** : Types de la faille sismique.

B_D : Coefficient d'amortissement correspond au tremblement de terre de conception DBE.

B_M : Coefficient d'amortissement correspond au tremblement de terre de conception MCE.

C_{VD} : Coefficient sismique correspond au tremblement de terre de conception DBE.

C_{VM} : Coefficient sismique correspond au tremblement de terre de conception MCE.

D : Le déplacement de conception.

D_y : Déplacement à la plastification.

D_{TD} : Déplacement totale de la conception correspond au tremblement de terre DBE.

D_{TM} : Déplacement totale de la conception correspond au tremblement de terre MCE.

D'_D : Le déplacement maximal du système d'isolation correspond au tremblement de terre DBE.

D'_M : Le déplacement maximal du système d'isolation correspond au tremblement de terre MCE.

E_{ij} : Le module d'élasticité instantané.

F_b, F_s : Les forces sismiques.

F_f : La force de frottement

F_D : Force maximum correspond au tremblement de terre DBE.

F_M : Force minimum correspond au tremblement de terre MCE.

F_x : Force appliquée au-dessus du secteur du bâtiment selon la distribution de masse au niveau x.

F_y : Force limite élastique.

G : Module de cisaillement de l'élastomère.

$K_{D,eff}$: Rigidité effective du système d'isolation correspond au tremblement de terre de conception DBE.

K_H : Rigidité horizontale de l'élastomère.

$K_{M,eff}$: Rigidité effective du système d'isolation correspond au tremblement de terre de conception MCE

K_{Dmax} : Rigidité effective maximale correspond au correspond au tremblement de terre DBE.

K_{Dmin} : Rigidité minimale de système d'isolation correspondant au déplacement minimum.

K_{Mmin} : Rigidité minimale de système d'isolation correspondant au déplacement maximum.

K_1 : Rigidité élastique.

K_2 : Rigidité post-élastique.

L_1, L_2 : Les facteurs de participation du premier et du deuxième mode dans la réponse

M_M : Coefficient de réponse au séisme capable maximum.

N : est la charge verticale reprise par l'appui qui reprise sous le poteau.

N_S : L'effort normal maximal à la base du poteau déterminé par la descente de charge.

N_V : Coefficient de proximité de la faille active.

Q : La résistance caractéristique.

R : Rayon de la surface sphérique d'appui FPS.

R_1 : Facteur de réduction de force de conception.

S : facteur de forme.

S_A : Spectre d'accélération

S_A : Type de profil de sol très rocheux.

S_B : Type de profil de sol rocheux.

S_C : Type de profil de sol très dense et roche molle.

S_D : Type de profil de sol raide.

S_D : Le déplacement spectral du mouvement du sol.

T : Période de la structure à base fixe.

T_M : La période effective de la structure d'isolation en seconde correspondant au tremblement de terre maximum MCE.

T_D : La période effective de la structure d'isolation en seconde correspondant au tremblement de terre de conception DBE.

V_b : Force sismique.

V_s : Force du cisaillement minimale.

W : Le poids total de la structure.

W_x : Poids du niveau x.

W_i : Poids du niveau i.

Z : Coefficient de zone sismique.

ξ : Coefficient d'amortissement.

ω : Fréquence propre.

μ : coefficient de frottement.
 ξ_s : Facteur d'amortissement de la structure.
 ξ_b : Facteur d'amortissement du système isolé.
 ω_b : Fréquence propre du système isolé.
 ω_b : pulsation propre du système isolé.
 ω_s : pulsation propre de la structure.
 ϕ_1, ϕ_2 : La matrice modale.
 β_b : Coefficient d'amortissement du système isolé.
 β_1, β_2 : Les rapports d'amortissements modaux pour la structure et le système d'isolation.
 γ_{\max} : est la contrainte de cisaillement maximale.
 σ_{bc} : La contrainte limite de service du béton en compression.
 λ : Élancement du poteau.
 Δ : Déplacement statique due à un déplacement de support unitaire.
 ΔE : L'énergie totale dissipée.
 $[C]$: Matrice de masse globale de la structure.
 $[K]$: Matrice d'amortissement de la structure.
 $[M]$: Matrice de rigidité de la structure.
 $\{\ddot{V}\}$: Vecteur d'accélération de la structure.
 $\{\dot{V}\}$: Vecteur vitesse de la structure.
 $\{V\}$: Vecteur de déplacement de structure.
EDC : énergie dissipée par cycle.
FPS: Friction Pendulum System.
HDRB: High Damping Rubber Bearing.
LDRB: Low Damping Rubber Bearing.
LRB: Low Rubber Bearing.
TMD: Tuned Mass Damper.

INTRODUCTION GENERALE

Les risques naturels sont à l'origine de situations socio-économiques coûteuses et quelque fois graves en termes de pertes humaines et matérielles. Parmi ces risques naturels : les séismes.

Ils sont parmi les catastrophes naturelles les plus fréquentes et les plus dévastatrices de la planète. Ces phénomènes engendrent, en effet, de graves dégâts matériels et humains. Cependant, les séismes, contrairement aux autres catastrophes naturelles, tuent surtout du fait de l'effondrement des structures et des chutes des objets.

Durant ces dernières années, la terre a tremblé à divers points du globe. Malheureusement, les pertes dues à ces tremblements de terre n'ont pas toujours été que matérielles. Quelques tristes événements se rappellent à nous lorsque l'on évoque le terme séisme ; 1980 à El Asnam 2633 morts et 29747 maisons détruites, 1985 au Mexique 10000 morts, 30000 bâtiments détruits et 68000 autres partiellement endommagés, 1988 en Arménie plus de 25000 morts, 1989 en Iran 40000 morts, 1993 en Inde 15000 morts, 1995 à Kobe 6437 morts et 105000 logements ont été détruits, 2003 à Boumerdès 200 décès et 10000 constructions détruites...

La protection parasismique des bâtiments constitue une prévention efficace contre les effets des tremblements de terre, car plus de 90% des pertes en vies humaines sont dues à l'effondrement des ouvrages [1]. C'est pourquoi les ingénieurs et les architectes ont donné les principes d'une bonne conception parasismique à l'aide de différents exemples tirés des leçons des séismes passés.

Quelques règles de construction peuvent, en effet, éviter l'effondrement des bâtiments lors des tremblements de terre :

- Le respect de la réglementation ;
- Une mise en œuvre soignée ;
- Une conception architecturale parasismique ;
- Isolation à la base.

L'isolation à la base est l'un des systèmes de contrôle passif, le plus utilisé au monde, surtout pour les pays de forte sismicité. Elle consiste à mettre entre la superstructure et la fondation des dispositifs qui ont une déformabilité très importante.

Ces les dispositifs sont les appareils d'appuis et les amortisseurs, mais notre choix, notre choix est basé sur les appuis parasismiques. Ces derniers sont fabriqués par des matériaux résistants du caoutchouc et de l'acier, pour cela notre recherche, on va répondre aux problématiques suivantes :

- Quel sont les différents appareils d'appuis les plus influent en terme d'impact et de matériaux utilisés ?
- Est-ce que l'emplacement de ces appareils d'appuis influe sur la réponse dynamique d'un bâtiment ?
- Comment se fait la réduction sismique ?

Le but de ce travail est d'évaluer la contribution des isolateurs de base dans la réduction des effets sismiques des bâtiments par une modélisation des appuis parasismiques de type appui en élastomère à fort amortissement HDRB (High Damping Rubber Bearing) et appui en pendule glissant FPS (Friction Pendulum System).

Ce mémoire s'articule, autour de quatre chapitres en plus une introduction générale, dont laquelle la problématique est introduite, et une conclusion générale qui synthétise le travail.

Le chapitre I est consacré à la recherche bibliographique concernant les isolations à la base. Dans celle-ci, une vue globale sur ces derniers est exposé : l'historique, le principe et les types des isolateurs parasismiques.

Le chapitre II est divisé en deux sections. La première présente la loi de comportement de quelques types des isolateurs et la méthode de calcul d'une structure isolée à deux degré de liberté. La deuxième donne les différentes méthodes d'analyse et dimensionnement des appuis parasismiques selon le code American Uniform Building code (UBC 97) [2].

Le chapitre III contient le pré dimensionnement des différents éléments résistants (poteaux poutres) de la structure, la descente des charges et l'étude des éléments secondaires selon les codes de calcul : BAEL91 [3], RPA99, version 2003 [4] et DTR B.C. 2.2 [5].

Le dernier chapitre IV est consacré pour la modélisation de la structure avec et sans système d'isolation à l'aide du logiciel ETABS version 15.1 La comparaison entre les deux structures sous l'effet du séisme du 21 mai 2003 de Boumerdès.

Enfin, une conclusion général qui synthétise le travail.

I.1 Introduction

Les constructions sont liées au sol par leurs fondations (figure I.1). Elles assurent une solidité de la superstructure face aux vibrations potentielles causées par les séismes. Pour cela, il faut intégrer un système de conception parasismique au niveau de la fondation pour minimiser les charges sismiques, par exemple ; l'isolation parasismique à la base.



Figure I. 1 : Mise en place des isolateurs sur les massifs d'une structure.

Dans notre pays, l'isolation parasismique est une technique de sécurité relativement nouvelle dans l'arsenal de l'ingénieur civil.

Elle consiste à découpler la structure des mouvements du sol induits par un tremblement de terre, afin d'empêcher des dommages à la structure. En d'autres termes, lors d'un séisme, la structure devrait idéalement rester immobile par rapport à un repère fixe dans l'espace (repère absolu ou inertiel).

Pour réaliser un tel découplage (ou isolation sismique), différents appareils parasismiques, connus sous le nom d'isolateurs, sont installés de manière stratégique à divers emplacements de la structure, leur permettant ainsi de remplir leur tâche correctement lors d'un tremblement de terre.

I.2 Historique sur les isolateurs

L'isolation à la base est une technologie existe depuis le début du 20^{ème} siècle [6]. L'idée d'isolation parasismique est intervenue après plusieurs expériences et recherches.

En Turquie, les bâtiments des églises ont été construits sur une couche de sable, ils sont naturellement isolés [7].

En 1906 un bâtiment est construit à Munich en Allemagne. Le bâtiment est édifié sur une plaque de base rigide. Cette plaque devait supporter l'édifice et reposait librement sur un manteau d'élément sphérique fabriqué à partir d'un matériau très dur [7].

En 1909 un médecin de Calantarients déposait un brevet sur les bâtiments parasismique sur joint libre.

Le premier concept d'isolation était de placer une structure entière sur des appuis à rouleaux. Ce système est incapable de supporter les charges sismiques, il est donc inacceptable [7].

Cependant, la première utilisation du caoutchouc dans une application du principe de protection parasismique modernes dans le monde n'ont été réalisées que dans les années 70 à 80, sur une école élémentaire à Skopje (en ex-Yougoslavie) [6]. Ce bâtiment, achevé en 1969, était constitué d'une structure de trois étages reposée sur des blocs de caoutchoucs simple. Elle a été installée aussi sur un bâtiment public en Nouvelle-Zélande en 1981 [8].

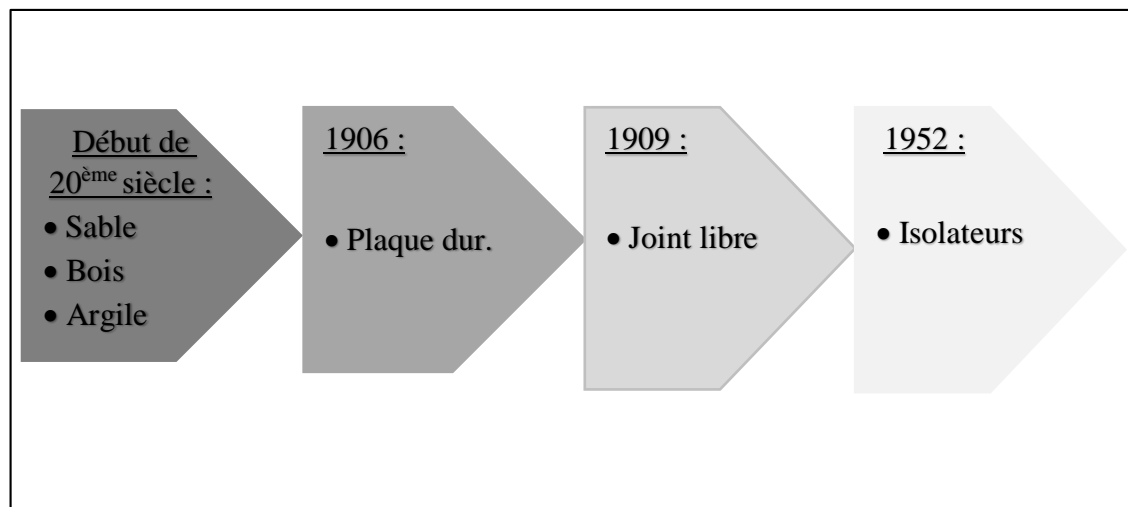


Figure I. 2 : Schéma historique de développement de l'isolation à la base.

I.3 Application des systèmes d'isolation

La technique d'isolation sismique a maintenant évolué dans des régions à forte sismicité comme, le Japon, les Etats-Unis d'Amérique, la France et l'Italie.

- Au Japon

C'est au Japon qu'on trouve le plus grand nombre des structures isolées ; environ 2000 édifices de haute taille, et plusieurs milliers de pont, cependant le premier bâtiment isolé à la base était construit est SENDI MT BUILDING (figure I.3) [9].

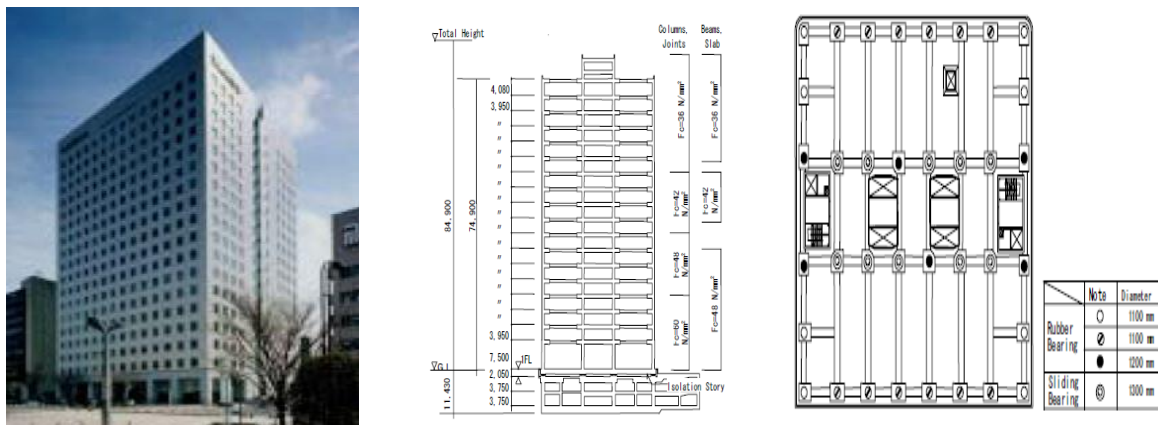


Figure I. 3 : Vue en plan et en élévation du SENDI MT BUILDING.

- Aux Etats-Unis

Les Etats-Unis n'ont installé la technologie que sur 150 constructions environ, principalement des grands bâtiments publics qui ont une importance historique ou une fonction stratégique, comme les hôpitaux, les casernes de pompier ou les commissariats de police, ainsi que 300 à 400 ponts [10]. On cite :

En 1985, le centre de la justice et de la loi de la communauté de Foot Hill à San Andreas à Rancho Cucamonga en Californie, est devenu la première nouvelle construction au monde équipé de 98 appuis avec du caoutchouc naturel à haut taux d'amortissement

Le Centre Accélérateur Linéaire de Stanford, a été rénové en 1987 en utilisant des isolateurs de type appui en élastomère avec noyau de plomb LRB (Lead- Plug Bernin).

En 1998, un aéroport international est construit à San Francisco, il est édifié sur 272 appuis parasismiques de type appui en pendule glissant FPS (Friction Pendulum System).

Autres exemples sont cités dans la figure I.4.



Figure I. 4 : Hôtel de ville de San Francisco et PASADENA Californie [11].

- En France

Les isolateurs ont été développés dans les années 70 et appliqués non seulement aux ponts, mais aussi aux bâtiments, les hôpitaux (Ex ; figure I.5 présente l'hôpital Pierre Zobda-Quitman sur appuis parasismiques (isolation à la base ; 283 isolateurs et 36 amortisseurs) et structures des centrales nucléaires (figure I.6).



Figure I. 5 : Hôpital Pierre Zobda-Quitman sur appuis parasismique [12][13].

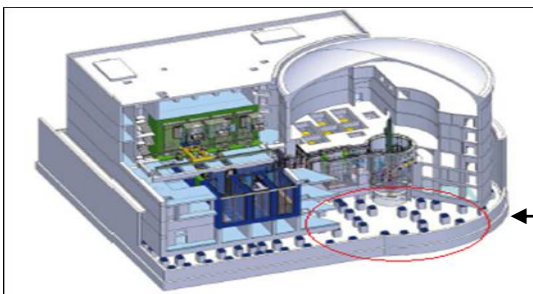


Figure I. 6 : Schéma du réacteur expérimental Jules Horowitz (Cadarache, France) avec ses appuis parasismiques visibles dans la partie inférieure.

- En Algérie

Le CTC-Chlef a récemment finalisé la construction du siège de son agence à Aïn Defla, construit sur des appuis parasismiques à base d'élastomère. La Grande Mosquée d'Alger est un autre projet qui édifiée sur une combinaison des appuis parasismiques (figure I.7) et des amortisseurs. [14][15].

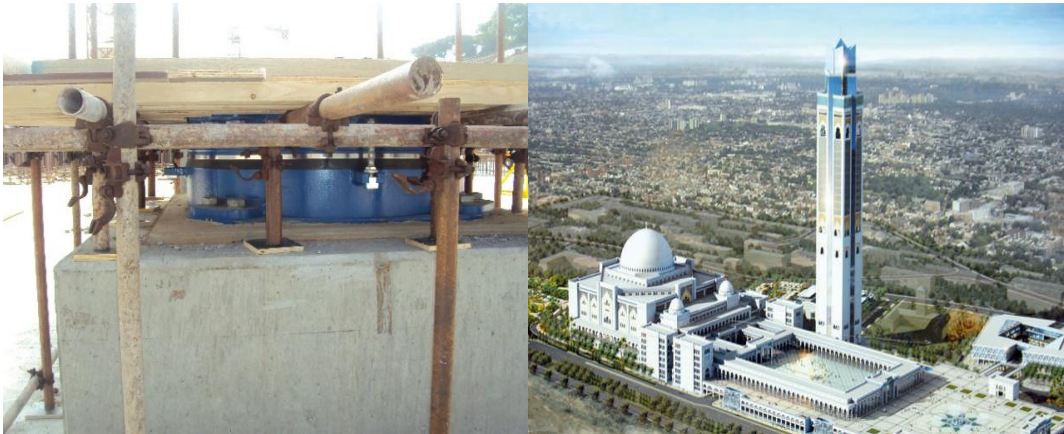


Figure I. 7 : la Grande Mosquée d'Alger est conçue pour accueillir 120 000 fidèles.

I.4 Principe de l'isolation à la base

L'isolation à la base est un système de contrôle passif, consiste à mettre entre la fondation et la superstructure (figure I.8), des dispositifs qui ont une déformabilité horizontale très importante (pour pouvoir dissiper la déformation transmise au bâtiment) et une rigidité verticale très élevée (pour supporter le poids du bâtiment).



Figure I. 8 : La position des appuis parasismiques dans un bâtiment.

La majeure partie de l'énergie d'un séisme est regroupée dans une bande de fréquence de 2 à 10 Hz, donc elle risque de subir une excitation conséquente si la fréquence fondamentale d'une structure encastrée au sol se situe dans cet intervalle. A cet égard, l'utilisation de systèmes d'isolation pour les structures conventionnelles sont plus sûres et plus performantes par ce que l'ajout de ces isolateurs, aura comme effet de réduire la fréquence fondamentale de la structure jusqu'à des valeurs typiquement situées en dessous de 0,5 Hz, et ainsi les efforts qu'exercent les séismes sur la structure isolée sont normalement de l'ordre de 3 à 10 fois plus petites que les efforts pouvant s'appliquer à la structure à base fixe [16][17].

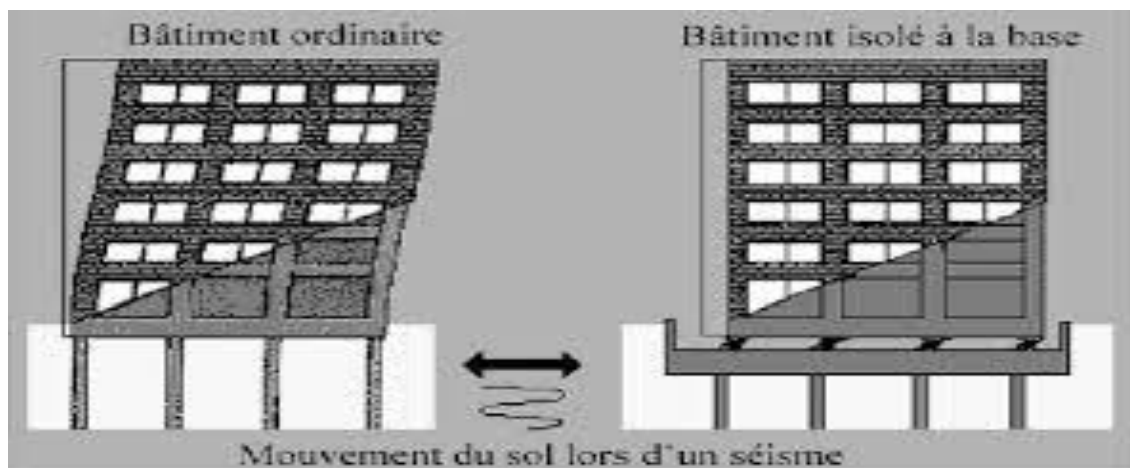


Figure I. 9 : Deux types de structure : une conventionnelle encastrée dans le sol, et une autre protégée contre les séismes par un système d'isolation à la base.

Les isolateurs sismiques fournissent une flexibilité suffisante dans la direction horizontale (parallèle au sol) de l'isolateur passif, d'où la réduction de la fréquence fondamentale de vibration, afin que la période naturelle de la structure diffère le plus possible de la période naturelle du tremblement de terre, et par conséquent, atteindre une diminution des accélérations au niveau de la base des bâtiments. En revanche, l'augmentation de la période engendre des déplacements plus importants se concentrent au niveau de l'isolateur. Dans ce cas, l'intégration des unités d'isolation ou de l'usage d'un dispositif parallèle et externe du dispositif de dissipation d'énergie (amortisseurs) est requise pour contrôler les mouvements et réaliser une conciliation efficace entre la réduction de la force et l'accroissement du déplacement [16][18][19].

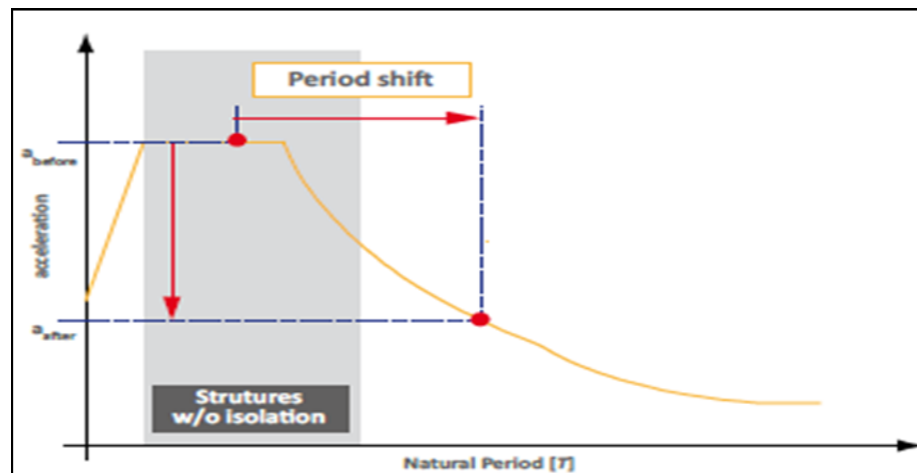


Figure I. 10 : Principe de l'isolation sismique, réduction de l'accélération grâce au décalage de la période.

Les système des isolations sismiques sont situés généralement à la base et doivent permettre un déplacement horizontal de 15cm ou plus [19].

Remarque

Si le système est une combinaison d'un appui parasismique et d'amortisseurs, donc les appuis réduisent les efforts mais augmentent les déplacements par contre les amortisseur réduisent les déplacements en dissipant l'énergie. Cette combinaison permet de protéger la structure [20]. Elle est utilisée pour la grande mosquée d'Alger.

La figure I.11 ci-après présente schématiquement l'effet de cette combinaison « l'appui et l'amortisseurs » sur un bâtiment los d'un séisme.

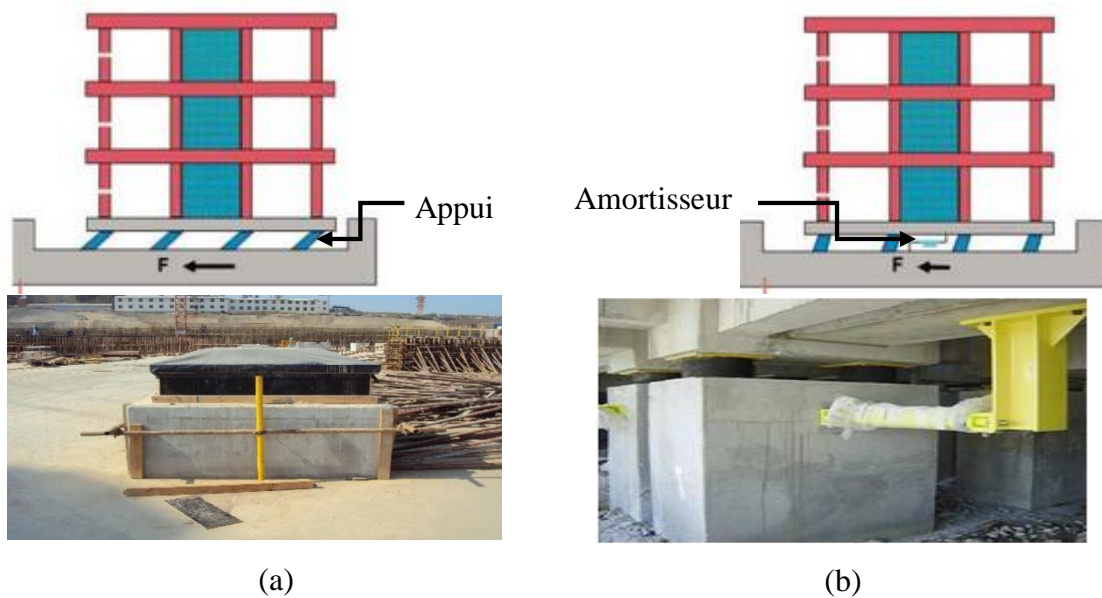


Figure I. 11 : Comparaison entre deux structures isolée.

(a) Structure isolé par un appui. (b) Structure isolé par un appui et un amortisseur.

I.5 Les différents systèmes d'isolation parasismique

Un système d'isolation à la base combine deux mécanismes principaux :

- Les appuis parasismiques ;
- Un mécanisme de dissipation d'énergie (amortisseur) ;

I.5.1 Les appuis parasismiques

Les appuis parasismiques ont un grand intérêt pour la plupart des pays concernés par le risque sismique. L'appareil d'appui est l'élément clé qui permet la liberté de mouvement entre une structure et son assise, tout en assurant la transmission des efforts verticaux et les rotations.

Il en existe plusieurs types, certaines ont déjà été utilisés, d'autre sont restés au stade d'étude théorique ou d'essais. Parmi ces catégories et selon leur mode de fonctionnement, on distingue :

- Appuis à déformation ou élastomère ;
- Appuis à pot ;
- Appuis à glissement ;
- Appuis à déformation et glissement ;
- Appuis à roulement ;

I.5.1.1 Appuis à déformation

À partir de 1952 et grâce à l'idée d'Eugène Freyssinet d'associer caoutchouc et les frettes en acier en un seul produit, que s'est généralisé l'emploi de plaques d'élastomère fretté en tant qu'appuis d'ouvrages d'art [21].

Le caoutchouc est un matériau qui peut être obtenu soit naturellement et c'est alors un polymère de l'isoprène, soit de façon synthétique qui lui est produit industriellement à partir de dérivés du pétrole [22].

Tableau I. 1 : Caractéristiques de caoutchouc.

| Caoutchouc naturel | Le caoutchouc synthétique |
|--|--|
| 1) Une bonne résistance à la traction | 1) Une excellente résistance au vieillissement |
| 2) Un excellent allongement à rupture | contrairement à Caoutchouc naturel |
| 3) Une tendance à la cristallisation | 2) Un très faible taux de fluage sous charge |
| 4) Un bon comportement aux sollicitations dynamiques | 3) Une bonne résistance au déchirement |

Tableau I. 2 : Les propriétés de caoutchouc.

| Qualité du caoutchouc IRHD \pm 2 | Le module d'élasticité. E (N/cm ²) | Le module de cisaillement G (N/cm ²) | Le poids volumique 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 | 753 | 173 | 0,53 |
| 75 | 940 | 222 | 0,52 |

Les frettes en acier sont systématiquement en acier de nuance S 235 ou d'un acier présentant un allongement minimal à la rupture équivalent (un allongement au moins égal à celui d'un acier S235). L'épaisseur des frettes doit être inférieure ou égale à 2 mm.

Les appuis en élastomères sont les plus courants, ils sont utilisés depuis les années 60. Ils représentent plus de 90 % des appareils d'appui utilisés sur les ponts en France [22].

Entre la structure et les fondations, on intercale des couches de l'acier pour la rigidité verticale et des couches de frette pour résister au poids de la structure en évitant une déformation verticale (figure I.12). Le fait d'ajouter des couches d'élastomère au dispositif permet une flexibilité horizontale ainsi un déplacement de la superstructure en bloc dans le sens contraire au déplacement du sol. De ce fait, il réduit considérablement le déplacement relatif des étages. Plus, les élastomères sont élastiques/flexibles, moins les charges sismiques ressenties par le bâtiment sont importantes. Cependant une trop grande flexibilité des appuis diminue considérablement la stabilité de l'ouvrage en temps normal Ces appuis sont donc appelés à juste titre « à déformation » car ils se déforment pour diminuer les effets des secousses sur le bâtiment [23][24][25].

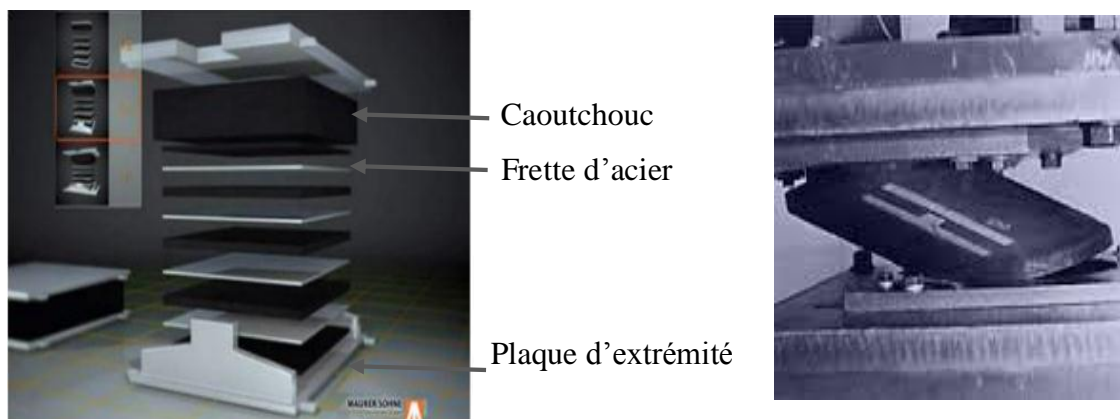


Figure I. 12 : Appuis à déformation.

Il existe plusieurs types d'appareils d'appuis en élastomères qui sont utilisés en réalité, tels que l'appui en élastomère à fort taux d'amortissement HDRB (High Damping Rubber Bearing), appui en élastomère à faible taux d'amortissement LDRB (Low Damping Rubber Bearings) et l'appui en élastomère avec noyau de plomb LRB.

I.5.1.1.1 Appuis en élastomère à fort taux d'amortissement HDRB

Les appuis HDRB (figure I.13) ont été principalement développés aux USA, au Japon et en Italie. Ils sont composés de couches alternées de matériau élastomère qui est obtenu après une étape de vulcanisation du latex et de plaques d'acier. Ils fournissent un haut coefficient d'amortissement (supérieur à 10%) ainsi qu'une grande capacité de déplacement et un module de cisaillement réduit. Ces caractéristiques sont obtenues par l'ajout d'additifs de type résine ou huile au matériau élastomère.

Les plaques de renforcement en acier sont complètement incorporées et scellées dans le matériau élastomère et ainsi protégées contre la corrosion. Le caoutchouc est fixé par vulcanisation aux plaques de connexion supérieure et inférieure. Les appuis peuvent également être fournis avec des plaques d'ancrage, permettant ainsi un remplacement plus facile de l'appareil si des travaux de maintenance sont nécessaires [19] [26] [28].



Figure I. 13 : Appuis en élastomère à fort taux d'amortissement

I.5.1.1.2 Appuis en élastomère avec noyau de plomb

Les appuis LRB (figure I.14) sont des systèmes à base d'élastomère combinés avec un système d'hystérésis. Cet appui est similaire à l'appui précédent, sauf qu'en plus, il est doté en son centre d'un noyau de plomb généralement cylindrique ainsi les valeurs d'amortissement associées à de tels systèmes sont plus élevées que celles des appuis HDRB (jusqu'à 30%). Ce noyau de plomb travaillera en flexion car il n'est pas flexible comme les élastomères. Le noyau de plomb a pour objectif d'avoir une rigidité initiale lorsqu'il n'y a pas de séisme pour éviter que la structure ne bouge pas sous l'effet du vent ou des vibrations causés par le passage des gens ou bien des voitures par exemple et il joue aussi le rôle d'amortisseur grâce au phénomène d'hystérésis car il travaille en flexion sur le plan horizontal. Cependant, le noyau de plomb à un petit défaut, il transmet les accélérations de haute fréquence, donc réduit l'efficacité de l'isolation [27] [18] [28].

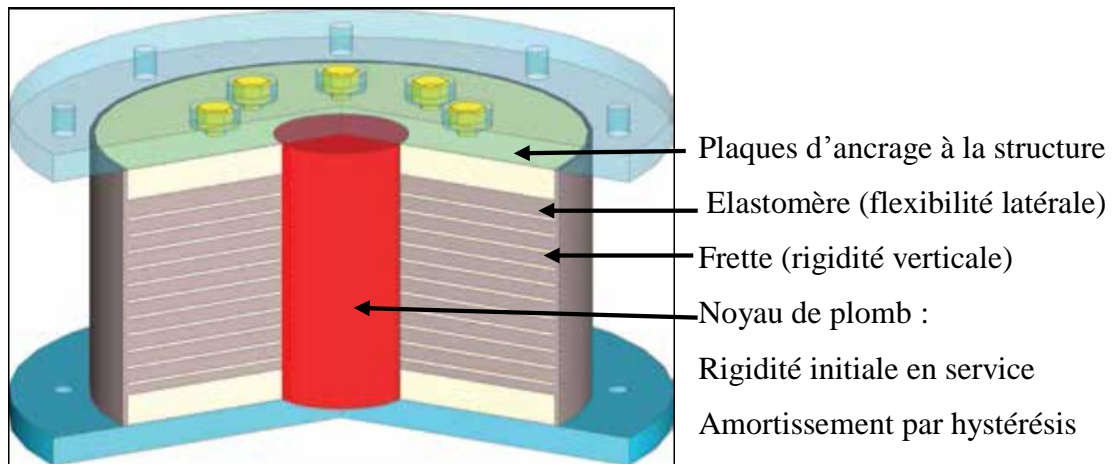


Figure I. 14 : Appuis en élastomère avec noyau de plomb [28].

I.5.1.1.3 La norme française NF EN 1337-3

Cette norme définit six types d'appareils d'appuis [29] :

Type A : appareil d'appui à une seule frette enrobée.

Type B : appareil d'appui comportant au moins deux frettes et entièrement enrobé.

Type C : appareil d'appui comportant des plaques métalliques extérieures.

Type D : appareil d'appui glissant comportant en surface une feuille de PTFE.

Type E : appareil d'appui glissant comportant en surface une plaque métallique en contact avec la feuille de PTFE (polytétrafluoroéthylène).

Type F : Appareil d'appui non fretté et en bande.

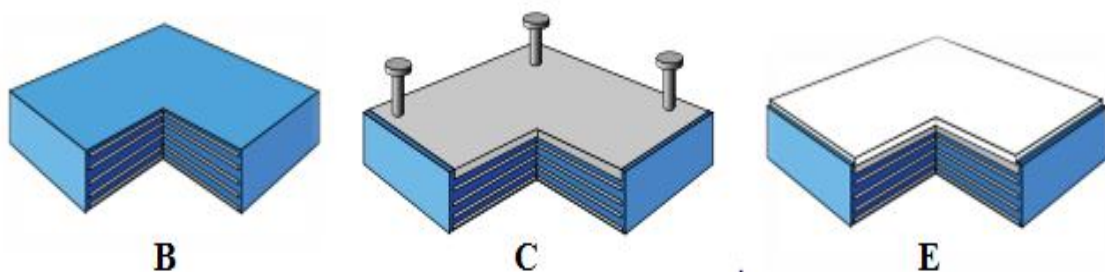


Figure I. 15 : Exemples de types d'appareils d'appui.

I.5.1.2 Appuis à pot

Les appuis à pot sont fabriqués avec un disque en élastomère au centre d'un assemblage de pièces d'acier. Ils reprennent les efforts verticaux et les efforts horizontaux correspondants, ainsi que les mouvements longitudinaux et transversaux.

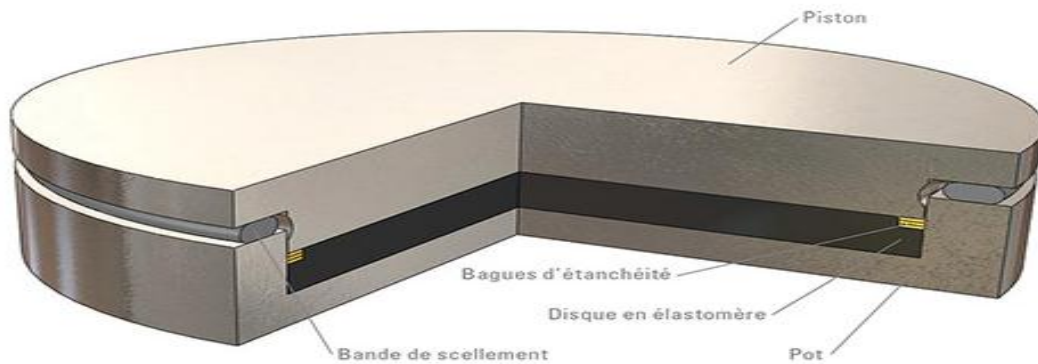


Figure I. 16 : Appui à pot.

I.5.1.2.1 Les types de l'appui à pot [30]

Dans la littérature, on trouve les types d'appui à pot suivants :

- Appuis fixes PF ;
- Appuis multidirectionnels PM ;
- Appuis multidirectionnels à guidage latéral PMG ;
- Appuis multidirectionnels à guidage central PCMG ;
- Appuis avec dispositifs anti-soulèvement ;

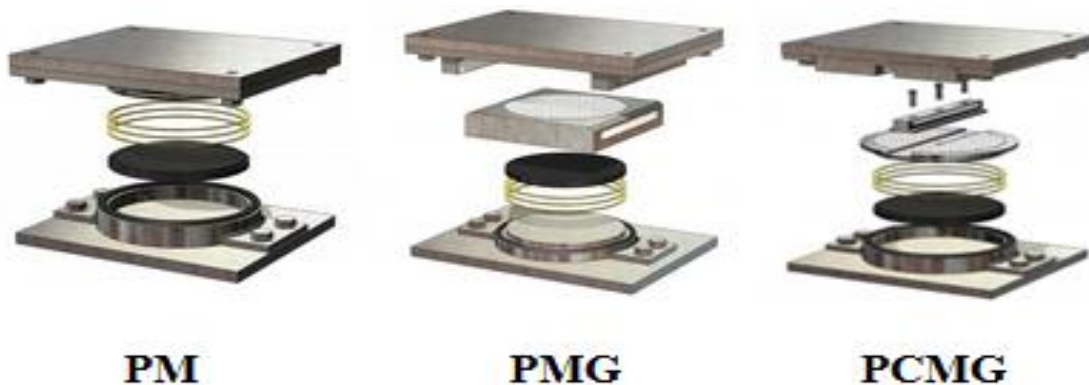


Figure I. 17 : Des exemples de l'appui à pot.

I.5.1.3 Appuis à glissement

Ce système a un principe similaire à celui des appuis à déformation. Cependant la technique est sensiblement différente, il consiste à isoler les fondations de la structure par une partie mobile, la grande différence est que là, il n'y a pas de matériau qui se déforme mais tous simplement deux blocs glissants l'un contre l'autre. Lors d'un séisme, on laisse la structure glisser contre la fondation à l'aide de contacts de glissement, l'interface de glissement permet de dissiper l'énergie sismique par friction.

Les appuis sont conçus pour supporter des forces verticales ainsi diminuer les forces horizontales et prendre en compte les rotations par le biais d'une embase sphérique et d'une partie inférieure d'embase de forme concave. De plus, la forme concave de la partie supérieure assure une protection optimale, car même si les forces sont très importantes il n'y a pas d'effet de butée du plot de glissement contre les plots de retenue, car la vitesse est fortement diminuée [23][31].

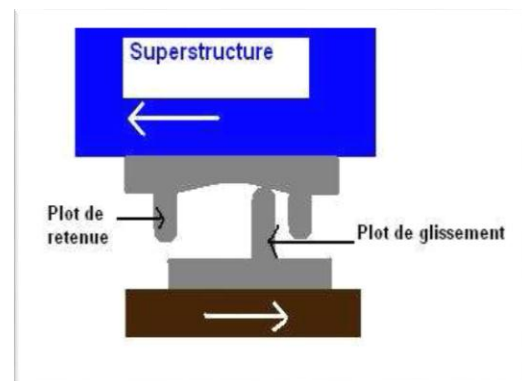


Figure I. 18 : Appuis à glissement.

Dans la famille des appuis à glissement, l'appui en pendule glissant (FPS) (figure I.19) est le plus retrouvé. C'est un système qui utilise une interface de glissement sous forme de cuvette (portion d'une sphère) qui confère à la structure un mouvement global similaire à un pendule. Le rayon de courbure et le coefficient de frottement de l'interface sont les caractéristiques clé qui contrôlent la période d'isolation et la quantité d'énergie dissipée du système.

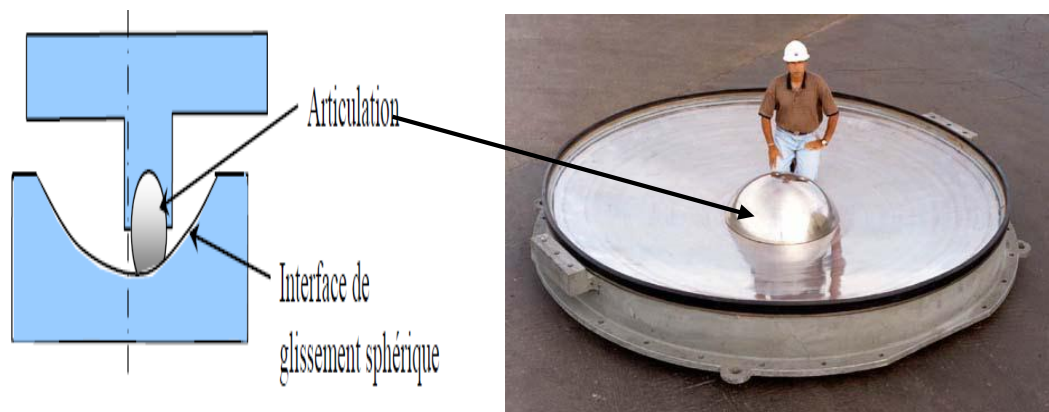


Figure I. 19 : Appuis en pendules glissants FPS.

I.5.1.4 Appuis à déformation et à glissement

Ce système d'appuis résulte de l'association de plaques de glissement et des appuis à déformation (figure I.20). Cette association supprime l'inconvénient pour ces derniers en cas de sols mous. Dans un premier temps, le système se déforme latéralement grâce à la distorsion de l'élastomère. Lorsque la force nécessaire à l'accroissement de la distorsion devient supérieure à la force de frottement entre les plaques, qui ne se produit que lors des séismes de très forte intensité, le glissement commence. Pendant un séisme violent ce système de protection sismique est très efficace, il peut produire plusieurs glissements.

Ce type d'appui entraîne une réduction à la fois des accélérations et des déplacements en superstructure et conduit ainsi à une diminution importante des efforts tranchants à la base

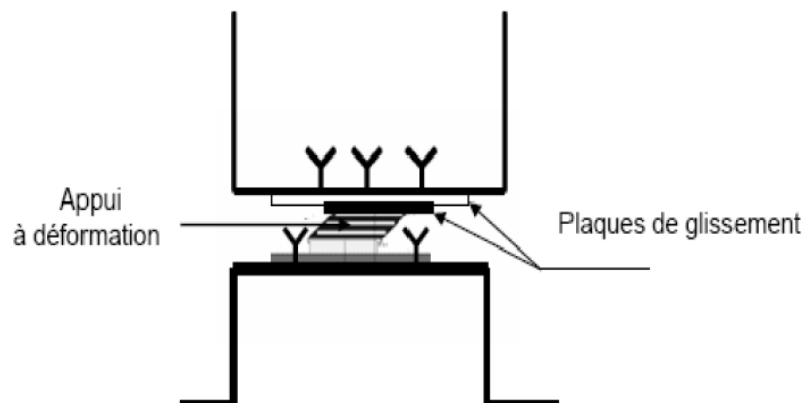


Figure I. 20 : Appuis à déformation et à glissement.

I.5.1.5 Appuis à roulement

Ce système se compose de deux plaques en acier (plates ou incurvées) superposées et séparées des rouleaux (figure I.21). Selon la qualité du matériau du rouleau ou du roulement à billes, la résistance du système peut être suffisante pour contrarier aux charges de services.

Dans la pratique, généralement des billes sont employées pour obtenir une isolation parasismique travaillant dans plusieurs directions, mais, dans certains cas, des tiges sont appliquées pour le découplage unidirectionnel. Les propriétés de ce système sont plus avantageuses par rapport à celles du système de pendule de glissement, parce que le frottement du premier est moins de celui du dernier.

Ce système est souvent utilisé pour la fabrication des machines contenant des vibrations. Et il est rarement utilisé dans les constructions de bâtiments à cause de son inconvénient majeur qui réside dans le blocage (non mobilité) de la bille centrale durant les années sans séisme, qui s'expose à son grippage en perdant sa capacité initiale pour un roulement correct pendant un séisme.

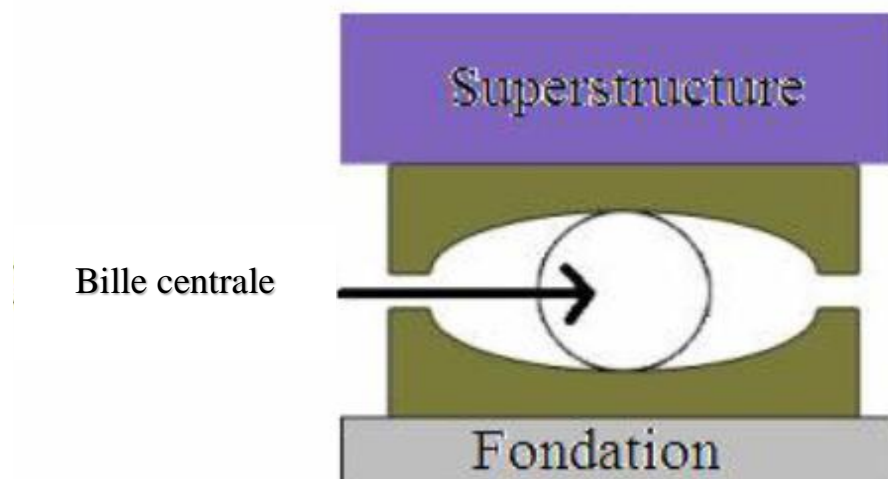


Figure I. 21 : Appuis à roulement.

Le principe de fonctionnement est presque identique à celui du système de pendule de glissement. Dans ce système, au lieu d'un glisseur articulé, une bille est employée et mise entre deux surfaces concaves opposantes et le radius de courbure des surfaces concaves, est remplacé dans ce système par le radius de la bille adéquat pour atténuer l'effet séismique. La configuration et la situation initiales sous la charge sismique sont illustrées dans la figure I.22.

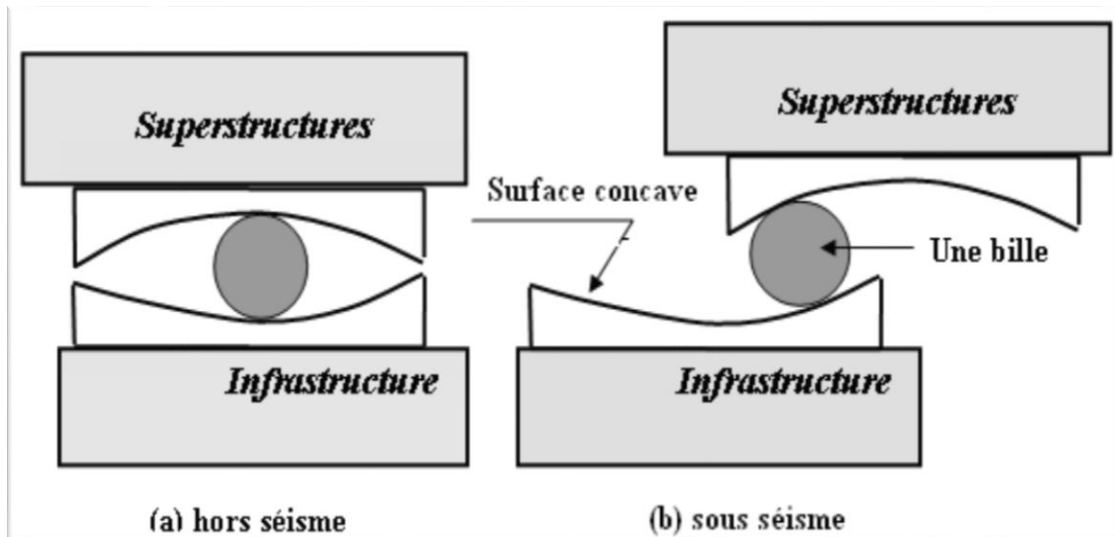


Figure I. 22 : Le principe de fonctionnement d'appui à bille.

I.5.2 Amortisseurs parasismiques

Les amortisseurs permettent d'absorber et donc dissiper l'énergie emmagasinée par la structure pendant le tremblement de terre. Ces amortisseurs peuvent être installés dans l'appui antisismique ou bien installés en parallèle. Ils ont pour but de limiter la déformation de l'appui ainsi que le déplacement de la structure.

On distingue différents types de dispositifs :

- Amortisseur hystérésis (élasto-plastique) ;
- Amortisseur hydraulique ;
- Amortisseur à friction ;
- Amortisseur de masse accordée TMD (Tuned Mass Damper) ;

I.5.2.1 Amortisseur hystérésis (élasto-plastique)

Ce dispositif est constitué de poutre principalement constituée de matériaux très ductiles ; plomb, acier, alliages ductiles... Cette poutre flexible relie les fondations à la structure, elle est encastrée dans les fondations mais pas dans la structure. Ce dispositif n'a pas de fonction porteuse donc ne joue pas le rôle de pilier sur la structure mais comme une barre de maintien dans les déplacements horizontaux.

Ce système est associé à un appui parasismique « appui à déformation ou élastomère » (figure I. 23). Il est surtout utilisé comme aide à l'isolation pour absorber une partie du déplacement vertical et diminuer celui-ci en exerçant une résistance aux déplacements horizontaux et non verticaux. Il ne demande pas d'entretien, et leur utilisation est facile [23][25].

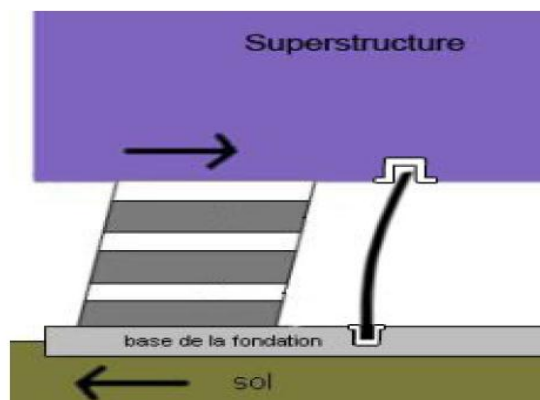


Figure I. 23 : Amortisseur hystérésis (élasto-plastique).

I.5.2.2 Amortisseur hydraulique

Ces systèmes sont constitués de tube cylindrique dans lequel une pièce mobile sépare le volume du cylindre en deux chambres isolées l'une de l'autre (figure I. 24). La tige est plongée dans un fluide très dense comme l'huile hydraulique, le bitume ou la pâte silicone, pour permettre le déplacement de longue durée et pour absorber une grande quantité d'énergie provoquée par le mouvement sismique. Ils permettent à la superstructure de reprendre sa position initiale après un séisme sans dommages. L'inconvénient de ces amortisseurs est l'influence de la température du fluide sur la sa densité [23] [32].

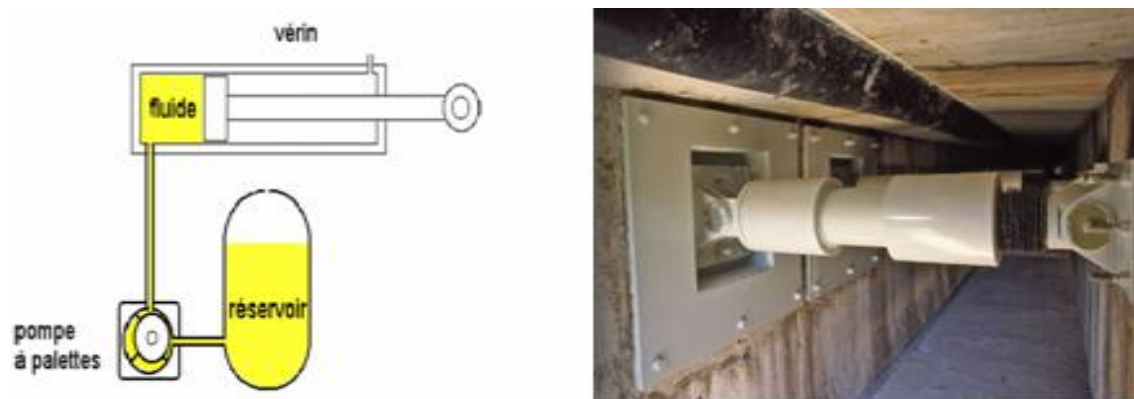


Figure I. 24: Amortisseur hydraulique.

I.5.2.3 Amortisseur à friction

Le principe des amortisseurs de types frottement sec est de dissiper le maximum de l'énergie exercée lors du chargement dynamique et de l'emmagasiner sous forme de énergie thermique par friction. Ils sont placés à des endroits stratégiques de la superstructure (figure I.25) pour assurer une meilleure résistance aux séismes [23].



Figure I. 25 : Amortisseur à friction.

I.5.2.4 Amortisseur de masse accordée (TMD)

Ces systèmes sont les plus couramment utilisés dans différents champs d'application en génie civil tel que les bâtiments, les ouvrages d'art et surtout les buildings de grande hauteur. Ces dispositifs sont retrouvés notamment les grandes tours du monde tel que la Taipei 101 (figure I.26), Burdj Khalifa. Ce dispositif est un concept assez simple mais très efficace et peu coûteux, il s'agit d'un pendule. En effet une grosse masse est reliée à la structure par des ressorts ou bien des câbles. Quand un séisme frappe la base de la tour elle se met à osciller c'est ainsi que le pendule qui est un dispositif oscillatoire va absorber cette énergie en oscillant dans le mouvement inverse de la tour [33][34].



Figure I. 26 : Un TMD pendulaire de 800 tonnes dans un bâtiment de 508m de hauteur (tour de Taipei 101) Taiwan.

I.6 Choix entre les types d'appuis parasismiques

L'isolation à la base exige un choix de type d'appui parasismique selon les normes, leurs propriétés, et le coût. Par ailleurs il faut prendre en compte leur efficacité et leurs réparations à long terme. Étant donné que le caoutchouc est un matériau qui se dilate et se rétrécit, donc il est nécessaire d'accomplir des vérifications périodiques dans le but d'assurer sa flexibilité au cours du temps. Par contre, les appuis à roulement et à glissement n'exigent aucun entretien.

En outre, l'état du sol est une autre raison qui influe sur le choix des appuis comme les appuis à déformation qui se détériorent dans les sols mous donc ils perdent leur productivité à long terme. Ainsi les appuis à glissement s'accordent mieux à cause des faibles coefficients de frottement des plaques donc la réponse de la superstructure est indépendante du contenu fréquentiel du mouvement sismique.

Les appuis à roulement sont très peu utilisés en raison de leurs inconvénients, dont les principaux sont le grippage éventuel du système en l'absence durable de mouvement, et leur faible capacité d'amortissement.

I.7 Les avantages de l'isolation parasismique

- Le degré de protection pouvant être acquis est très éminent au niveau requis par les règles parasismiques pour les ouvrages à risque normal. Les ouvrages restent habituellement exploitables, même après les séismes terribles ;
- Les dégâts sont faibles ou presque nuls à l'équipement et aux éléments non structuraux ;

- En principe après un séisme les appuis restent immaculés et sont opérationnels face aux nouvelles secousses ;
- La diminution des charges sismiques permet de calculer la structure en hypothèse de comportement élastique. Ce calcul est bien maîtrisé et plus fiable que celui des constructions habituellement susceptibles de subir des déformations plastiques, qui font concept d'hypothèses approximatives ;
- Les inconvénients associés à une forme dissymétrique ou complexe des structures sont restreints, car leur comportement sur appuis dépend principalement de la répartition de la rigidité de ces derniers et non plus de celle du bâtiment ;

I.8 Les inconvénients de l'isolation parasismique

- Les bâtiments construits sur des appuis parasismique (escaliers, tuyauterie,...) ou reliant la structure avec ses abords immédiats (réseaux, marches extérieures,...) doivent être élaborés de façon à admettre sans préjudices les déplacements relatifs de la superstructure et des fondations. Ces proportions sont impérieuses dans le cas des réseaux de gaz, de défense contre l'incendie et des réseaux récipiens des fluides polluants ;
- La largeur des joints de séparation entre deux bâtiments doit être considérable car les déplacements des blocs pouvant atteindre des valeurs décimétriques ;
- Les changements à venir de la structure, des cloisons, des façades et d'autres éléments lourds ou rigides ne doivent pas rectifier d'une façon expressive le comportement dynamique originaire du bâtiment pris en compte pour le dimensionnement des appuis, sous peine de provoquer des montants d'adaptation élevés ;

I.9 Synthèse bibliographique

Dans cette partie, une synthèse des différentes études antérieures sera présentée. L'objectif de la lecture de ces documents était de nous familiariser avec le sujet des isolateurs de base. Et surtout de savoir comment ces dispositifs sont modélisés. Nous avons pu développer les connaissances nécessaires sur les systèmes de protection parasismique qui concerne l'utilisation des isolateurs de base dans les bâtiments et leur effet sur la conception de ces derniers lors des séismes importants. Nous résumons

brièvement les points essentiels de notre recherche bibliographique.

Meghouche.D [35] a étudiée l'effet d'un choix judicieux des conditions de contact et des dissipateurs d'énergie sur la réponse dynamique d'un bâtiment à huit niveaux en béton armé par une comparaison de réponse en déplacements, déplacements inter étages, accélérations et efforts tranchants, à l'aide du programme numérique d'analyse dynamique (ANSYS) et sous la même excitation dynamique. L'étude est basée sur le principe de l'analyse dynamique des réponses temporelles. La composante horizontale d'accélérogrammes utilisée dans l'analyse est celle du séisme du 21 mai 2003 de Boumerdès et d'Alger enregistrée à la station de Dar Beida avec une accélération maximale de (0.537 g). Cette composante est appliquée dans le sens longitudinal de la structure qui contient un système d'isolation consiste en 16 appuis du type élastomères à amortissement élevée placé d'une façon concentrique sous chaque poteau. Les résultats trouvés montrent que le système d'isolation capte les déformations et filtre les accélérations de sorte que la superstructure se déplace essentiellement selon un mode rigide subissant de faibles accélérations et des déformations quasi-nulles et par conséquent une réduction des risques des tremblements de terre.

Bencharif.R et Terchi.B [36] ont étudié le rôle des appuis parasismiques dans la réduction des effets sismiques sur les bâtiments et de déduire les paramètres influant sur le comportement du système combiné (le système d'isolation et la superstructure). Dans leur étude, ils ont essayé de vérifier l'influence de la hauteur des structures isolées sur l'efficacité du système d'isolation et l'influence du type de système d'isolation sur la réponse dynamique des structures isolées. Leur principale conclusion est que les structures hautes reposant sur des appuis parasismiques se déforment plus que les structures encadrées de même niveau et que les appuis en élastomère fretté offrent plus de sécurité et d'économie.

Ounis.H.M et Ounis.A [37] visent dans cet article d'illustrer l'effet de l'amortissement sur la réponse d'un bâtiment de base isolée. Une étude paramétrique est entraînée, en tenant compte de la variation progressive du taux d'amortissement (08 % à 35%) sous différents types d'excitations sismiques (près et champ lointain). Une analyse temporelle est utilisée pour déterminer la réponse de la structure en termes de déplacement relatif des différents niveaux de l'immeuble. Les résultats montrent que l'efficacité de l'isolateur augmente avec le taux d'amortissement supposé, pour autant que

cette dernière est inférieure ou égale à 20 %. Au-delà de cette valeur, l'isolateur devient moins pratique. En outre, une forte déviation de la capacité de l'énergie par le système LRB (de roulements de caoutchouc plomb) est enregistrée.

Djellouli.L [38] ce travail de recherche compte sur la modélisation d'un dispositif de dissipation d'énergie de type visqueux fluide linéaire comme système de protection parasismique afin de contrôler la réponse dynamique des structures durant les mouvements sismiques. Le programme numérique utilisé pour la modélisation et l'analyse des structures est l'ETABS. Pour montrer l'effet du dissipateur d'énergie sur les réponses des structures, des études comparatives ont été effectuées sur trois structures de cinq, de dix et de vingt niveaux avec et sans dissipateur d'énergie mené d'un amortissement supplémentaire de 15%, 20% et 30%. Les trois structures ont été étudiées sous l'effet des composantes du séisme d'El Centro (Impérial Valley) (1979) enregistrées par la station Array avec des accélérations maximales, $PGA= 0.376g$ et $PGA= 0.436g$ respectivement. Et les composantes du séisme de Loma Prieta (1989) enregistrées par la station Hollister avec une accélération maximale $PGA= 0.369g$ et $PGA=0.178g$ respectivement. Ces composantes sont appliquées dans le sens X et le sens Y respectivement. D'après les résultats des analyses numériques, il conclut que L'addition des amortisseurs supplémentaires à fluide visqueux réduit d'une manière significative la réponse de la structure en termes de déplacement, de vitesse, d'accélération et d'effort tranchant, ces dissipateurs sont plus efficaces pour les structures flexibles qui sont soumises aux excitations fortes. Ainsi l'emplacement des dissipateurs est un facteur très important pour réduire la réponse sismique des structures.

Benayad.k [39] a introduit une recherche théorique et expérimentale pour étudier le comportement dynamique des ouvrages sur les isolateurs de base. L'étude est menée de faire une comparaison sur un bâtiment administratif de quatre étages avec et sans système d'isolation parasismique à l'aide du programme numérique d'analyse dynamique des structures, le logiciel SAP 2000. Cependant il a utilisé trois systèmes d'isolation : Isolateurs en caoutchouc fretté (NRB), Isolateurs en caoutchouc fretté avec amortisseur en barreau de plomb (LRB) et Isolateurs en pendules glissants(FPS).la structure a été étudiée sous l'effet de deux séismes de différentes intensités, le premier : le séisme de Northridge, le deuxième : le séisme de Loma Prita. Les résultats montrent que la réponse des structures isolées par un seul type d'isolateur, est caractérisée par des avantages et

des inconvénients. A ce propos, l'introduction d'une combinaison intelligente des différents types d'isolateurs entre l'infrastructure et la superstructure d'un bâtiment, est considérée comme la meilleure solution.

Nait Zerrad.I et Benmouna.N [40] ont étudié l'effet des appuis parasismiques dans la réduction des réponses dynamiques des bâtiments et ont déduit les paramètres influant sur le comportement du système combiné (la base et la superstructure). L'étude a permis d'analyser la différence de comportement de la structure métallique avec et sans système d'isolation à la base sous une charge sismique par le code de calculs SAP 2000. Les résultats montrent que l'utilisation des systèmes d'isolation peut générer une réduction qui peut être très significative de la réponse de la structure et que le pendule à friction (FPS) reste mieux adapté pour réduire efficacement les réponses d'un bâtiment métallique soumis aux efforts sismiques.

Mahi.M.H et Bouali.A [41] applique un système (TMD) pour l'amélioration de la réponse sismique des structures bâtiments et concluent d'après les résultats numériques obtenus que, le système TMD soit efficace pour la réduction du déplacement et, ainsi, peut être utilisé une telle mesure de control effectif des structures sous un séisme. Dans l'étude, l'efficacité du TMD contrôlant les bâtiments de 8 et 10 étages soumis aux tremblements d'El Centro est examinée. Dans l'analyse des faits historiques utilisant les tremblements d'El Centro, les résultats numériques démontrent que l'amplitude du déplacement structural ayant le système TMD est considérablement aussi lente que les déplacements de la même structure sans aucun mécanisme de contrôle. Par exemple, le TMD réduit le déplacement de 45.3%. Finalement, basé sur des recherches dans l'étude, quand le mode premier du bâtiment MRF domine la réaction structurale, une réduction de la réaction du bâtiment MRF utilisant le TMD sous un chargement de tremblement peut être achevée. Donc, il peut être remarqué que l'effet des paramètres TMD optimal peut être un problème qui a besoin d'études approfondies. En plus, la diminution du déplacement maximum des structures affaiblit avec une augmentation du nombre d'étages, qui a aussi besoin de plus d'étude.

I.10 Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté le concept général des isolateurs à la base et ses différents sous-systèmes (appuis parasismiques et amortissements) en dotant leurs importantes caractéristiques, leurs comportements, leurs avantages et inconvénients ainsi que leurs effets sous l'action sismique. Dans le chapitre qui suit, on va présenter la méthodologie de dimensionnement de ces appuis selon le code américain (UBC97) en notant aussi la procédure d'analyse dynamique des structures à base isolée.

II.1 Introduction

Le rôle principal des appuis parasismiques est de dilapider l'énergie de déformation et de rendre la structure flexible. Pour cela, le dimensionnement des appuis devrait être plus crédible pour que l'estimation de leur attitude soit bien déterminée.

Ce chapitre est divisé en deux parties ; la première partie concerne le fonctionnement et les équations mathématiques et analytiques des appuis parasismiques, tandis que la deuxième partie est dédiée aux méthodes d'analyse et dimensionnement de ces appuis selon le code américain UBC97.

II.2 Le fonctionnement des appuis parasismiques

Dans cette partie, on va convertir le principe de fonctionnement des appareils d'appui en un modèle mathématique afin d'écrire les équations de mouvement. Ceci en vue d'analyser le comportement du système (l'isolation + superstructure).

II.2.1 Appuis à déformation

On définit les équations de mouvements des appuis parasismiques à déformation définis au chapitre I. Il s'agit du LDRB et le LRB.

II.2.1.1 Appuis en élastomère à faible taux d'amortissement LDRB

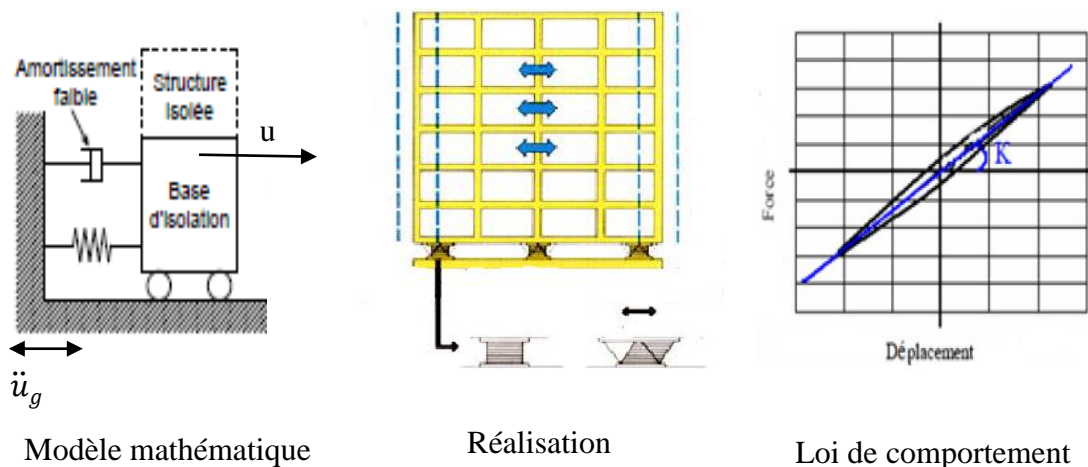


Figure II. 1 : Principe et fonctionnement de LDRB.

L'équation du mouvement est :

$$m(\ddot{u} + \ddot{u}_g) + c\dot{u} + ku = 0 \quad (II.1)$$

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m\ddot{u}_g \quad \rightarrow \quad \ddot{u} + 2\xi\omega\dot{u} + \omega^2u = -\ddot{u}_g \quad (II.2)$$

Où :

m : La masse de la superstructure.

ξ : coefficient d'amortissement

ω : pulsation propre.

\ddot{u}_g : L'accélération du sol.

II.2.1.2 Appuis en élastomère à fort amortissement en barreau de plomb LRB

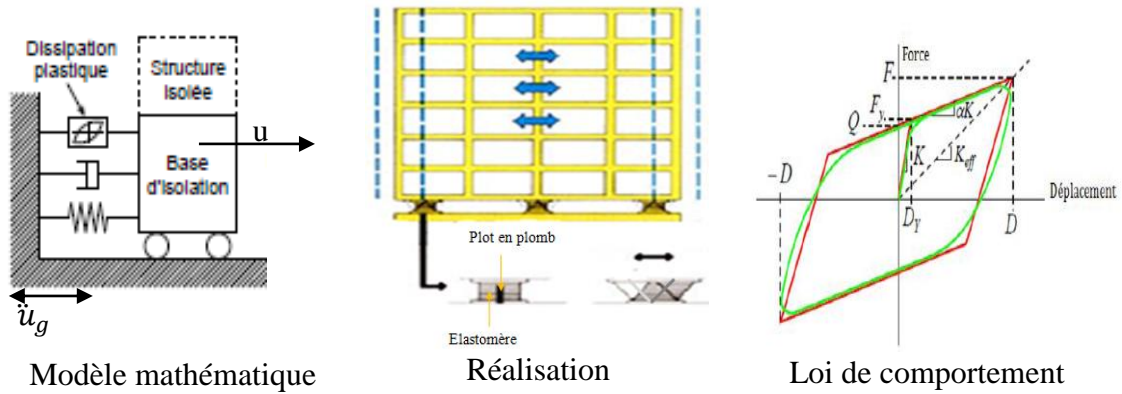


Figure II. 2 : Principe et fonctionnement de LRB.

L'équation du mouvement :

$$m\ddot{u} + c_{eq}\dot{u} + k_{eff}u = -m\ddot{u}_g \quad (II.3)$$

k_{eff} : La rigidité effective du système d'isolation donnée par la formule suivante :

$$K_{eff} = \frac{F^+ - F^-}{D^+ - D^-} \quad (II.4)$$

c_{eq} : Le coefficient d'amortissement équivalent, défini par :

$$c_{eq} = 2\xi_{eq}\sqrt{mk_{eff}} \quad (II.5)$$

$$2\xi_{eq} = \frac{2}{\pi} \left[\left(\frac{\Delta E}{k_{eff}(|D^+| + |D^-|)^2} \right) \right] \quad (II.6)$$

Où :

ΔE : L'énergie totale dissipée.

D : Le déplacement de conception.

II.2.2 Appuis à glissement

Les appuis à glissement qu'on va présenter dans cette section, sont les FP et les FPS.

II.2.2.1 Appuis à frottement pur FP

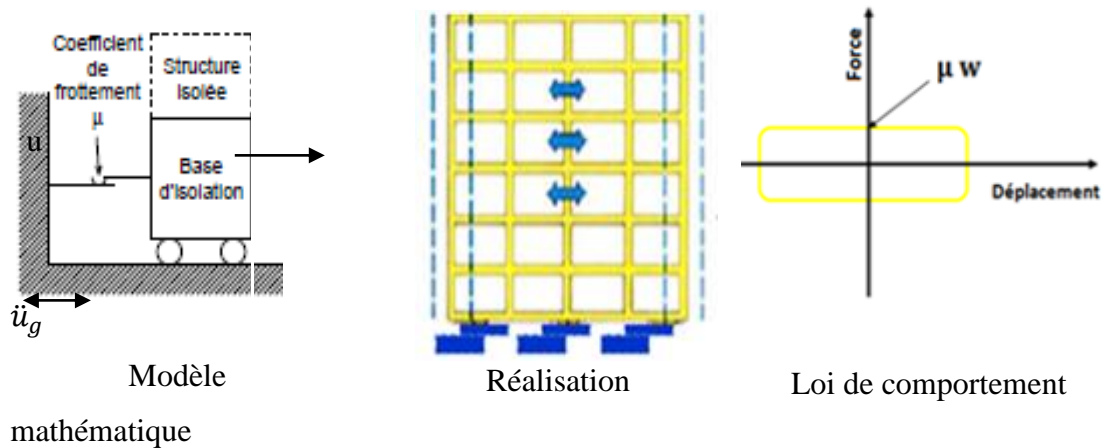


Figure II. 3 : Principe et fonctionnement du FP.

Pendant la phase de glissement, le mouvement est décrit par l'équation suivante :

$$m(\ddot{u} + \ddot{u}_g) + F_f = 0 \quad (II.7)$$

La force de frottement dans les plaques est donnée par la formule suivante :

$$F_f = \mu mg \operatorname{sgn}(\dot{u}) \quad (II.8)$$

L'équation de mouvement du système devient :

$$m(\ddot{u} + \ddot{u}_g) + \mu mg \operatorname{sgn}(\dot{u}) = 0 \quad (II.9)$$

$$\ddot{u} + \mu g \operatorname{sgn}(\dot{u}) = -\ddot{u}_g \quad (II.10)$$

Où :

μ : Le coefficient de frottement.

g : L'accélération de la pesanteur.

$\operatorname{sgn}(\dot{u})$: Le signe de la direction de la vitesse tel que :

$$\text{Si } \dot{u} > 0 \Rightarrow \operatorname{sgn}(\dot{u}) = +1$$

$$\text{Si } \dot{u} < 0 \Rightarrow \operatorname{sgn}(\dot{u}) = -1$$

$$\text{Si } \dot{u} = 0 \Rightarrow \operatorname{sgn}(\dot{u}) = 0$$

$\mu g - \ddot{u}_g \geq 0$: Cette relation exprime la condition d'attachement, si cette condition n'est pas vérifiée, il y aura glissement.

II.2.2.1 Appuis à en pendules glissants FPS

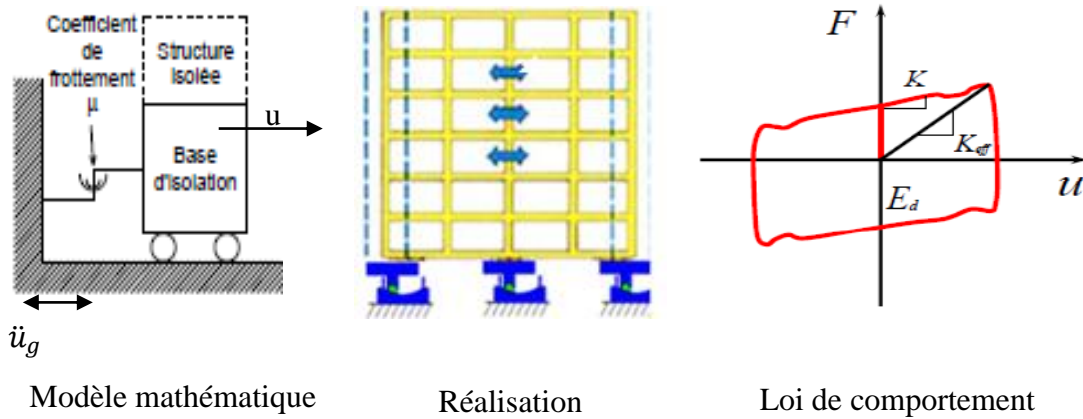


Figure II. 4 : Principe et fonctionnement de FPS.

La force latérale développée dans ce système est :

$$F = \frac{W}{R}u + \mu W \text{sgn}(\dot{u}) \quad (\text{II.11})$$

Où :

R : Rayon de courbure de la surface sphérique.

W : Poids de la structure.

L'équation du mouvement est :

$$m(\ddot{u} + \ddot{u}_g) + F = 0 \quad (\text{II.12})$$

$$m\ddot{u} + m\ddot{u}_g + \frac{W}{R}u + \mu W \text{sgn}(\dot{u}) = 0 \quad (\text{II.13})$$

Remarque :

Le rapport de rigidité est donné par le poids et le rayon de courbure ; donc on aura l'équation suivante :

$$m\ddot{u} + \omega^2 u + \mu W \text{sgn}(\dot{u}) = -m\ddot{u}_g \quad (\text{II.14})$$

Où :

$$\omega^2 = \frac{g}{R}$$

II.2.3 Modèle de calcul de structure isolée

Pour comprendre le comportement des structures isolées qui sont considérées comme des systèmes de plusieurs degrés de liberté, il est utile de faire une analyse par un modèle simplifié à 2 DDL présenté sur la figure II.5.

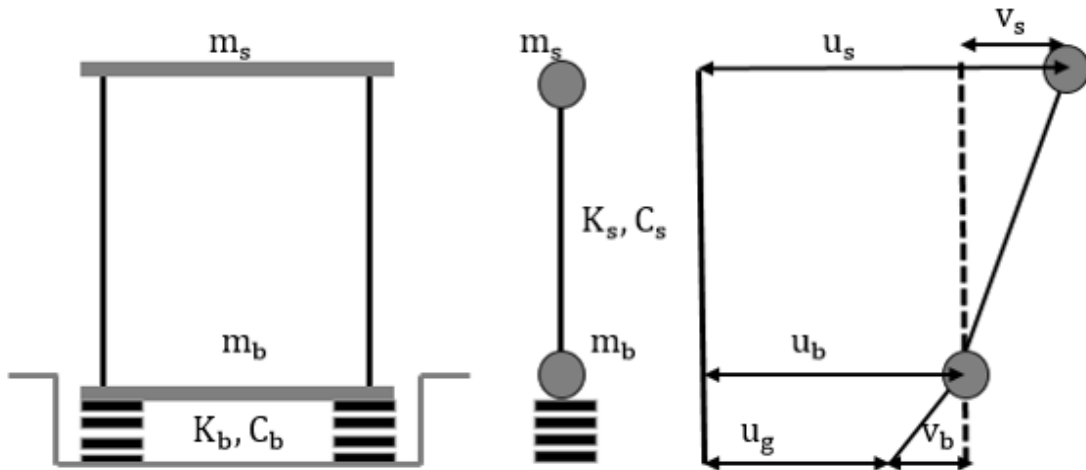


Figure II. 5 : Modèle de structure isolée.

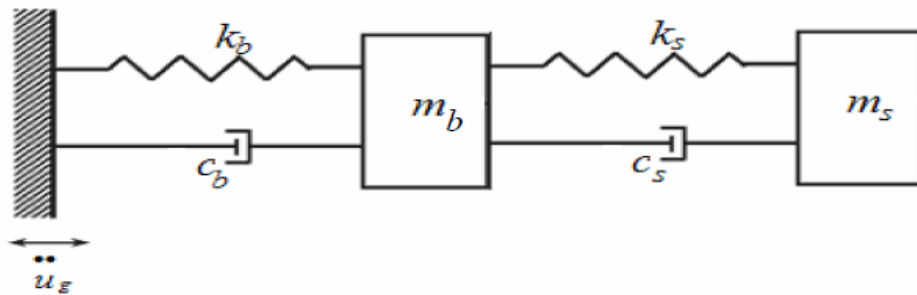


Figure II. 6 : Modèle mathématique.

Avec

u_b, u_s sont les déplacements absolus de m_b et m_s respectivement.

v_b, v_s sont les déplacements relatifs de m_b et m_s respectivement.

\ddot{u}_g est l'accélération du sol.

Où :

$$\begin{cases} v_s = u_s - u_b \\ v_b = u_b - u_g \end{cases}$$

- Les équations du mouvement :

Les équations du mouvement du modèle structural, une fois excitée par un séisme en termes de déplacements absolus sont :

$$m_s \ddot{u}_s + C_s(\dot{u}_s - \dot{u}_b) + K_s(u_s - u_b) = 0 \quad (\text{II.15})$$

$$m_b \ddot{u}_s + m_b \ddot{u}_b + C_b(\dot{u}_b - \dot{u}_g) + K_b(u_b - u_g) = 0 \quad (\text{II.16})$$

D'où en termes de déplacements relatifs, les équations précédentes deviennent :

$$m_s(\ddot{v}_s + \ddot{v}_b + \ddot{u}_g) + C_s(\dot{v}_s + \dot{u}_b - \dot{u}_b) + K_s(v_s + u_b - u_b) = 0 \quad (\text{II.17})$$

$$m_s(\ddot{v}_s + \ddot{v}_b + \ddot{u}_g) + m_b(\ddot{v}_b + \ddot{u}_g) + C_s(\dot{v}_b + \dot{u}_g - \dot{u}_g) + K_b(v_b + u_g - u_g) = 0$$

$$m_s \ddot{v}_s + m_s \ddot{v}_b + C_s \dot{v}_s + K_s v_s = -m_s \quad (\text{II.18})$$

$$(m_s + m_b) \ddot{v}_b + m_s \ddot{v}_b + C_b \dot{v}_b + K_b v_b = -(m_s + m_b) \ddot{u}_g$$

Sous forme matricielle, les équations du mouvement deviennent :

$$[M]\{\ddot{V}\} + [C]\{\dot{V}\} + [K]\{V\} = [M]\{r\}\ddot{u}_g \quad (\text{II.19})$$

Où :

$$\begin{bmatrix} m_b + m_s & m_s \\ m_s & m_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{v}_b \\ \ddot{v}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} C_b & 0 \\ 0 & C_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{v}_b \\ \dot{v}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_b & 0 \\ 0 & k_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_b \\ v_s \end{Bmatrix} = - \begin{bmatrix} m_b + m_s & m_s \\ m_s & m_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix} \ddot{u}_g$$

Avec

$$M = m_s + m_b$$

$$\text{Donc : } \gamma = \frac{m_s}{M}, \omega_s^2 = \frac{K_s}{m_s}, \omega_b^2 = \frac{K_b}{M}$$

Où :

Les facteurs d'amortissement ξ_b et ξ_s sont donnés par :

$$2\omega_b \xi_b = \frac{C_b}{m + m_b} \text{ et } 2\omega_s \xi_s = \frac{C_s}{m}$$

Les équations de mouvement deviennent :

$$\ddot{v}_b + \gamma \ddot{v}_s + 2\omega_b \xi_b \dot{v}_b + \omega_b^2 v_b = -\ddot{u}_g \quad (\text{II.20})$$

$$\ddot{v}_b + \ddot{v}_s + 2\omega_s \xi_s \dot{v}_s + \omega_s^2 v_s = -\ddot{u}_g \quad (\text{II.21})$$

$$\begin{bmatrix} 1 & \gamma \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{v}_b \\ \ddot{v}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} 2\omega_b \xi_b & 0 \\ 0 & 2\omega_s \xi_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{v}_b \\ \dot{v}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \omega_b^2 & 0 \\ 0 & \omega_s^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_b \\ v_s \end{Bmatrix} = - \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix} \ddot{u}_g$$

Les pulsations propres sont déterminées par la relation suivante :

$$\det([k] - \omega_n^2[M]) = 0 \quad (II.22)$$

$$\det\left(\begin{bmatrix} k_b & 0 \\ 0 & k_b \end{bmatrix} - \omega_n^2 \begin{bmatrix} M & m_s \\ m_s & m_s \end{bmatrix}\right) = 0 \quad \rightarrow \quad \det\left(\begin{bmatrix} \omega_b^2 & 0 \\ 0 & \omega_s^2 \end{bmatrix} - \omega_n^2 \begin{bmatrix} 1 & \gamma \\ 1 & 1 \end{bmatrix}\right) = 0$$

L'équation caractéristique pour la détermination des pulsations propres ω_n est donnée par :

$$(1 - \gamma)\omega_n^4 - (\omega_s^2 - \omega_b^2)\omega_n^2 + \omega_s^2\omega_b^2 = 0 \quad (II.23)$$

Les solutions de cette équation sont alors :

$$\omega_1^2 = \frac{1}{2(1-\gamma)} \left\{ (\omega_s^2 + \omega_b^2) - [(\omega_s^2 + \omega_b^2)^2 - 4(1-\gamma)\omega_s^2\omega_b^2]^{\frac{1}{2}} \right\} \quad (II.24)$$

$$\omega_2^2 = \frac{1}{2(1-\gamma)} \left\{ (\omega_s^2 + \omega_b^2) + [(\omega_s^2 + \omega_b^2)^2 - 4(1-\gamma)\omega_s^2\omega_b^2]^{\frac{1}{2}} \right\} \quad (II.25)$$

Posons $\varepsilon = \frac{\omega_b^2}{\omega_s^2}$ qui varie entre 10^{-1} et 10^{-2} vu que $\omega_b \ll \omega_s$

Les deux équations de ω_1 et ω_2 , en tenant compte de ε , se réduisent à :

$$\omega_1^2 = \omega_b^2(1 - \gamma\varepsilon) \quad (II.26)$$

$$\omega_2^2 = \frac{\omega_s^2}{(1-\gamma)}(1 + \gamma\varepsilon) \quad (II.27)$$

Du fait que ε est de l'ordre de 10^{-2} , il peut être suffisamment précis dans beaucoup de cas de prendre comme approximation pour ω_1 et ω_2 les premiers termes :

$$\omega_1^2 = \omega_b^2 \quad (II.28)$$

$$\omega_2^2 = \frac{\omega_s^2}{(1-\gamma)}(1 + \gamma\varepsilon)$$

(II.29)

Les modes propres de vibration de la structure associés aux fréquences approximatives sont déterminés par l'équation suivante :

$$([k] - \omega_n^2[M])\{\phi^n\} = \{0\} \quad (II.30)$$

$$\left(\begin{bmatrix} \omega_b^2 & 0 \\ 0 & \omega_s^2 \end{bmatrix} - \omega_n^2 \begin{bmatrix} 1 & \gamma \\ 1 & 1 \end{bmatrix}\right) \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \end{Bmatrix} = 0$$

$$(\omega_b^2 - \omega_n^2)\phi_b^n - \omega_n^2\gamma\phi_s^n = 0 \quad (II.31)$$

$$-\omega_n^2\phi_b^n + (\omega_s^2 - \omega_n^2)\phi_s^n = 0 \quad (II.32)$$

Le premier mode $\phi_1 = \begin{Bmatrix} 1 \\ \varepsilon \end{Bmatrix}$ correspond à la pulsation ω_1 .

Le deuxième mode $\phi_2 = \begin{Bmatrix} 1 - \frac{1}{\gamma}(1-\gamma)\varepsilon \\ \gamma \end{Bmatrix}$ correspond à la pulsation ω_2 .

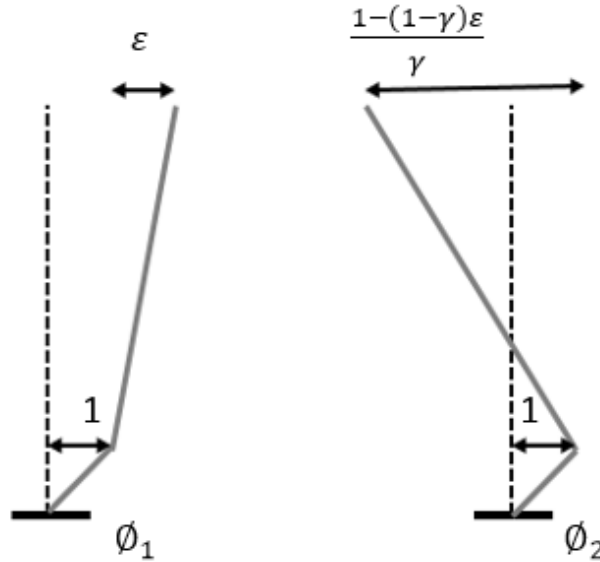


Figure II. 7 : La forme des modes propres de la structure isolée.

Après que les deux modes sont obtenus, les déplacements relatifs v_b, v_s peuvent être écrits comme suit :

$$\begin{Bmatrix} v_b \\ v_s \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_b^1 & \phi_b^2 \\ \phi_s^1 & \phi_s^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} q_1 \\ q_2 \end{Bmatrix}$$

q_1, q_2 : Coefficients modaux dépendants du temps, ils sont donnés par :

$$q_1 = \frac{L_1}{\omega_1} \int_0^t \ddot{u}_g(t - \tau) e^{-\tau\omega_1\beta_1} \sin \omega_1 \tau d\tau \quad (II.33)$$

$$q_2 = \frac{L_2}{\omega_2} \int_0^t \ddot{u}_g(t - \tau) e^{-\tau\omega_2\beta_2} \sin \omega_2 \tau d\tau \quad (II.34)$$

L_1, L_2 : Les facteurs de participation du premier et du deuxième mode dans la réponse, ils sont donnés par :

$$\begin{cases} L_1 = 1 - \gamma\varepsilon \\ L_2 = \gamma\varepsilon \end{cases}$$

Du fait que, $\gamma < 1$ et que ε est de l'ordre de 10^{-2} , le facteur de participation dans la réponse pour le deuxième mode qui entraîne la déformation dans la structure est très petit. Par conséquent, ce résultat montre l'efficacité des systèmes d'isolation, car quand la valeur de la fréquence du deuxième mode est translatée à une valeur plus élevée que celle associée au cas d'une structure à base fixe, le décalage entre ces deux valeurs isole la structure du mouvement fort du séisme.

β_1, β_2 : Les rapports d'amortissements modaux pour la structure et le système d'isolation, ils sont donnés par :

$$\beta_1 = \beta_b \left(1 - \frac{3}{2}\gamma\varepsilon\right) \quad \text{et} \quad \beta_2 = \frac{1}{(1-\gamma)^{\frac{1}{2}}} \left(\beta_s + \gamma\beta_b\varepsilon^{\frac{1}{2}}\right) \quad (\text{II.35})$$

Par la suite, les valeurs maximales de q_1 et q_2 sont données par :

$$|q_1|_{\max} = L_1 S_D(\omega_1, \beta_1) \quad \text{et} \quad |q_2|_{\max} = L_2 S_D(\omega_2, \beta_2) \quad (\text{II.36})$$

Où :

$S_D(\omega, \beta)$: Le déplacement spectral du mouvement du sol.

Ainsi, les déplacements v_s, v_b maximums sont donnés par :

$$|v_s|_{\max} = \varepsilon S_D(\omega_b, \beta_b) \quad (\text{II.37})$$

$$|v_b|_{\max} = S_D(\omega_b, \beta_b) \quad (\text{II.38})$$

En fin les forces sismiques F_s, F_b sont données par :

$$F_s = m_s \left\{ S_A^2(\omega_1, \beta_1) + \varepsilon^2 (1 - \gamma)^2 (1 - 2\varepsilon)^2 S_A^2(\omega_2, \beta_2) \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (\text{II.39})$$

$$F_b = m_b \omega_b^2 \left\{ (1 - \gamma\varepsilon)^2 \frac{S_A^2(\omega_1, \beta_1)}{\omega_1^4} + \gamma\varepsilon^2 \frac{S_A^2(\omega_2, \beta_2)}{\omega_2^4} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (\text{II.40})$$

II.3 Les méthodes d'analyse et dimensionnement des isolateurs

Le principe d'isolation à la base a été utilisé dans de nombreux pays. La réalisation des appareils d'appuis parasismiques a connu une activité sur le plan commercial.

II.3.1 Description des codes parasismiques

Les règlements parasismiques se diffèrent d'un pays à un autre selon l'aléa sismique, les méthodes de calcul, le système d'isolation et la superstructure.

En Algérie, la dernière version du règlement parasismique Algérien est le RPA 99 version 2003, qui expose les principes généraux de conception et de calcul pour l'étude des ouvrages vis-à-vis des séismes.

Ainsi, le code ne fournit aucune note sur le calcul des bâtiments à bases isolées. C'est la raison pour laquelle qu'on doit faire recours à d'autres règlements mondiaux pour régir les calculs sur les structures isolées, on a choisi le code américain UBC-97, le plus utilisé.

Le code UBC97 (the Uniform Building Code) prescrit que le système d'isolation doit être stable pour le déplacement requis, et avoir des propriétés qui ne se dégradent pas sous le chargement cyclique répété. Le concept du code est de contrôler les dommages causés à la structure et de son contenu en prenant comme avantage le fait que l'isolation sismique permet une réponse élastique dans la structure.

II.3.2 Les niveaux d'intensité du mouvement sismique

L'UBC-97 adopte une approche à deux niveaux du mouvement sismique, qui sont :

II.3.2.1 Le tremblement de terre de conception DBE

Le tremblement de terre de conception DBE (Design Basis Earthquake) terme utilisé principalement pour les bâtiments et pour concevoir le système d'isolation. Ce niveau du séisme a une probabilité de 10% pour être excédé en 50 ans ; la période de retour dans les codes de construction est généralement de 475 ans mais dans les nouveaux codes de construction aux états unis et au canada la période de retour de référence est de 2500 ans [42].

II.3.2.2 Les tremblements de terre maximum MCE

Les tremblements de terre maximums MCE (Maximum Credible Earthquake) correspondent au niveau maximum de séisme qui peut être envisagé sur un site où se trouve la structure. Le MCE a une probabilité de 10% pour être dépassé en 100 ans avec une période de retour de 10 000 ans pour les zones de faible à modérée sismicités. Ce niveau est employé pour vérifier la stabilité du système d'isolation [42].

Le séisme de référence est généralement défini par les paramètres macrosismiques suivant ; intensité épiscoptrale, profondeur focale, distance épiscoptrale et sismicité induite par le site.

II.3.3 Méthodes de calcul et d'analyse des structures isolées

Toutes les méthodes d'analyse d'une structure à base fixe permettent le calcul des forces sismiques d'une structure isolée mais avec une procédure plus complexe qui représente le comportement non linéaire du système d'isolation. Pour cela, on a adopté les recommandations du code Américain UBC 97. Les structures isolées à la base peuvent être analysées suivant trois approches différentes :

- La méthode statique équivalente.
- La méthode d'analyse modale spectrale.
- La méthode d'analyse dynamique par accélérogrammes.

II.3.3.1 La méthode statique équivalente

Cette méthode est applicable pour les structures satisfaisant aux conditions préconisées par le code UBC97 :

- La structure est située au moins 10 kilomètres de tous les failles actives.
- La structure est située sur des profils de sol de type : S_A (Très rocheux), S_B (Rocheux), S_C (Sol très dense et roche molle) ou S_D (Profil de sol raide).
- La structure au-dessus de l'interface d'isolation est égale à ou moins de quatre étages ou de 20 m de hauteur.
- La période effective maximale du système d'isolation T_M est égale à ou moins 3 secondes.
- La période effective de conception du système de l'isolation T_D est plus grande trois fois que la période de la structure à base fixe.
- La structure au-dessus du système d'isolation est de configuration régulière.

Le système d'isolation est défini par tous les attributs suivants :

- La rigidité effective du système d'isolation au déplacement de conception est plus grande qu'un tiers de la rigidité effective à 20% du déplacement de conception.
- Le système d'isolation est capable de produire une force de reconstitution.
- Le système d'isolation a des propriétés de force-déplacement qui sont indépendantes du taux de chargement.
- Le système d'isolation a des propriétés de force-déplacement qui sont indépendantes de la charge verticale bilatérale.

Caractéristique de déformation du système d'isolation :

- Les déplacements et les forces latérales minimums de conception de tremblement de terre sur les structures du système d'isolation seront basés sur les caractéristiques de déformation du système.
- Les caractéristiques de déformation du système d'isolation incluront explicitement les effets du système de vent-contrainte si un tel système est employé pour répondre aux exigences de conception de ce document.
- Les caractéristiques de déformation du système d'isolation seront basées sur les essais correctement justifiés selon le code UBC 97.

a/ Les périodes effectives de la structure

- La période effective de conception du système de d'isolation T_D

T_D : La période effective de la structure d'isolation en seconde correspondant au tremblement de terre de conception DBE calculé selon la formule suivante :

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{Dmin} g}} \quad (II.41)$$

- La période effective maximale du système d'isolation T_M

T_M : La période effective de la structure d'isolation en seconde correspondant au tremblement de terre maximum MCE calculé selon la formule suivante :

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{Mmin} g}} \quad (II.42)$$

Avec

g : Accélération de la pesanteur.

W : Poids de la structure.

K_{Dmin} et K_{Mmin} : Les valeurs minimales des rigidités effectives $K_{D,eff}$ et $K_{M,eff}$ du système d'isolation en kips/inch (KN/mm) correspondant au déplacement de conception D_D et D_M respectivement dans la direction horizontale. Elles sont déterminées à partir des boucles d'hystérésis (force-déplacement) obtenues à partir des essais de chargements cycliques sur les isolateurs de prototype.

Les valeurs minimales des rigidités effectives sont données par les équations suivantes :

$$K_{D,eff} = \frac{F_D^+ - F_D^-}{D_D^+ - D_D^-} \quad (II.43)$$

$$K_{M,eff} = \frac{F_M^+ - F_M^-}{D_M^+ - D_M^-} \quad (II.44)$$

Avec

$F_D^+, F_D^-, F_M^+, F_M^-, D_D^+, D_D^-, D_M^+$ et D_M^- : sont respectivement les forces et les déplacements maximums ou minimums correspondant aux niveaux de réponse de DBE ou MCE sur les systèmes d'isolation de prototypes employés dans les essais sous chargements cycliques.

Les rigidités $K_{D,min}, K_{D,max}$ sont respectivement les valeurs minimales et maximales de $K_{D,eff}$ correspondant au déplacement minimum de conception D_D et $K_{M,min}, K_{M,max}$ sont respectivement les valeurs minimales et maximales de $K_{M,eff}$ correspondant au déplacement maximum D_M .

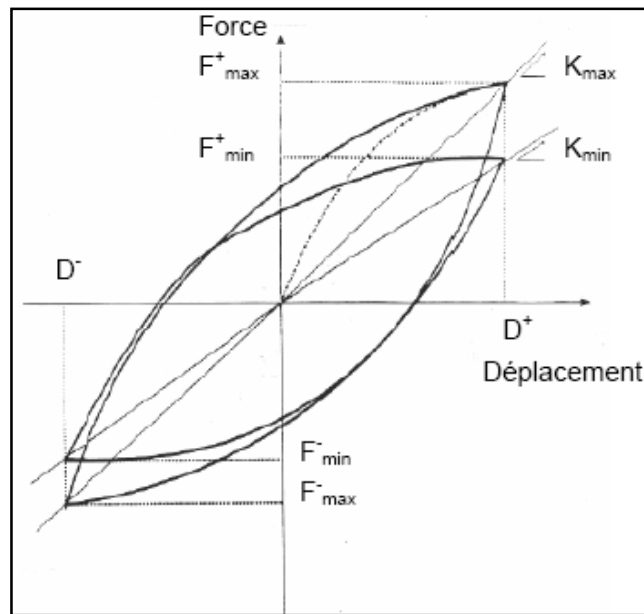


Figure II. 8 : Boucles d'hystérésis sous chargement cyclique.

b/ Les déplacements latéraux minimums

- Déplacement de conception :

Le système d'isolation sera conçu et construit pour résister aux déplacements latéraux minimums de tremblement de terre qui agit en direction de chacune des axes horizontaux principaux de la structure selon la formule suivante :

$$D_D = \frac{\left(\frac{g}{4\pi^2}\right)C_{VD}T_D}{B_D} \quad (\text{II.45})$$

- Déplacement maximum :

Le déplacement maximum du système d'isolation, D_M , dans la direction la plus critique de la réponse horizontale sera calculé selon la formule :

$$D_M = \frac{\left(\frac{g}{4\pi^2}\right)C_{VM}T_M}{B_M} \quad (\text{II.46})$$

Avec

C_{VD} et C_{VM} : Coefficients sismiques.

B_D et B_M : Coefficients d'amortissement.

C_{VD} est en fonction du facteur de zone sismique et du type de profil du sol. Il est donné selon l'UBC 97 (chapitre 16, sous chapitre 5, Tableau 16-R) comme suit :

Tableau II. 1 : Coefficient sismique C_{VD} .

| Type de profil de sol | Facteurs de zone sismique | | | | |
|--------------------------|---------------------------|--------|-------|-------|---------------------|
| | Z=0,075 | Z=0,15 | Z=0,2 | Z=0,3 | Z=0,4 |
| S_A | 0,06 | 0,12 | 0,16 | 0,24 | 0,32N _V |
| S_B | 0,08 | 0,15 | 0,2 | 0,3 | 0,4 N _V |
| S_C | 0,13 | 0,25 | 0,32 | 0,45 | 0,56 N _V |
| S_D | 0,18 | 0,32 | 0,4 | 0,54 | 0,64 N _V |
| S_E | 0,26 | 0,5 | 0,64 | 0,84 | 0,96 N _V |

Z : Coefficient de zone sismique, ses valeurs sont données selon UBC 97 (chapitre 16, sous chapitre 5, Tableau 16-I) comme suit :

Tableau II. 2 : Facteur de la zone sismique Z.

| Zone | I | IIA | IIB | III | IV |
|----------|-------|------|-----|-----|-----|
| Z | 0,075 | 0,15 | 0,2 | 0,3 | 0,4 |

N_V : Coefficient de proximité de la faille active. Il est en fonction de type de la faille sismique. Ces valeurs sont données selon l'UBC97 (chapitre 16, sous chapitre 5, tableau 16-T) comme suit :

Tableau II. 3 : Facteur de proximité de la faille active N_V.

| Type de faille sismique | Proximité de la faille active | | | |
|----------------------------|-------------------------------|------|-------|---------|
| | ≤ 2 Km | 5 Km | 10 Km | ≥ 15 Km |
| A | 2 | 1,6 | 1,2 | 1 |
| B | 1,6 | 1,2 | 1 | 1 |
| C | 1 | 1 | 1 | 1 |

A, B, C : sont les types de la faille sismique. Ils sont en fonction de Magnitude de moment maximum M et Taux de glissement sismique moyen annuel SR.

Tableau II. 4 : Type de failles sismiques

| Type de failles sismiques | M | SR |
|---|--------------|---------------|
| A : Failles capables de produire de grandes magnitudes et ont un taux élevé d'activité sismique | $M \geq 7,0$ | $SR \geq 7,0$ |
| B : Tout autre type de faille hors A et C | $M \geq 7,0$ | $SR < 5$ |
| | $M < 7,0$ | $SR > 2$ |
| | $M \geq 6,5$ | $SR < 2$ |
| C : Failles capables de produire des magnitudes modérées avec un taux relativement faible de l'activité sismique | $M < 6,5$ | $SR \leq 2$ |

C_{VM} est en fonction du type de profil de sol et de l'intensité maximum capable de tremblement de terre $M_M Z N_V$. Il est donné selon l'UBC97 (chapitre 16, sous chapitre 4, Tableau A-16-G) comme suit :

Tableau II. 5 : Coefficients sismiques C_{VM} .

| Type de profil de sol | L'intensité maximum capable de tremblement de terre | | | | |
|-----------------------|---|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|
| | $M_M Z N_V = 0,075$ | $M_M Z N_V = 0,15$ | $M_M Z N_V = 0,20$ | $M_M Z N_V = 0,30$ | $M_M Z N_V \geq 0,40$ |
| S_A | 0,06 | 0,12 | 0,16 | 0,24 | $0,8 M_M Z N_V$ |
| S_B | 0,08 | 0,15 | 0,2 | 0,3 | $1,0 M_M Z N_V$ |
| S_C | 0,13 | 0,25 | 0,32 | 0,45 | $1,4 M_M Z N_V$ |
| S_D | 0,18 | 0,32 | 0,40 | 0,54 | $1,6 M_M Z N_V$ |
| S_E | 0,26 | 0,50 | 0,64 | 0,84 | $2,4 M_M Z N_V$ |

M_M : Coefficient de réponse au séisme capable maximum. Il est en fonction d'intensité de tremblement de terre de conception $Z N_V$. Il est donné selon l'UBC97 (chapitre 16, sous chapitre 4, Tableau A-16-D) comme ci-après :

Tableau II. 6 : Coefficient de réponse au séisme capable maximum M_M .

| | | | | | | |
|---------------------------|-------|------|------|------|------|-------------|
| $Z N_V$ | 0,075 | 0,15 | 0,20 | 0,30 | 0,40 | $\geq 0,50$ |
| M_M | 2,67 | 2,0 | 1,75 | 1,5 | 1,25 | 1,20 |

B_D et B_M : Les Coefficients d'amortissement sont donnés en termes d'amortissement effectif β correspondant respectivement au tremblement de terre de conception et maximum DBE et MCE. Il est donné selon l'UBC97 (chapitre 16, sous chapitre 4, Tableau A-16-C) comme suit :

Tableau II. 7 : Les coefficients d'amortissement B_D et B_M .

| β | $\leq 2\%$ | 5% | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% |
|------------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| B_D, B_M | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,5 | 1,7 | 1,9 | 2 |

- Déplacement total :

Le déplacement total de la conception D_{TD} et le déplacement total maximum D_{TM} des éléments, dû à la torsion réelle et accidentelle. Cette dernière est calculée en fonction de la distribution spatiale de la rigidité latérale du système d'isolation et l'emplacement le plus désavantageux de l'excentricité de masse.

Remarque :

D_{TD} et D_{TM} ne seront pas pris en tant que moins que cela prescrit par les formules :

$$D_{TD} = D_D \left[1 + y \frac{12 e}{b^2 + d^2} \right] \geq 1,1 D_D \quad (\text{II.47})$$

$$D_{TM} = D_M \left[1 + y \frac{12 e}{b^2 + d^2} \right] \geq 1,1 D_M \quad (\text{II.48})$$

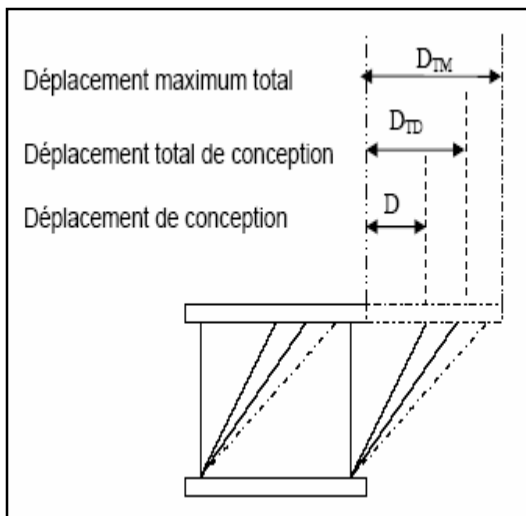


Figure II. 9 : Déplacements du système d'isolation.

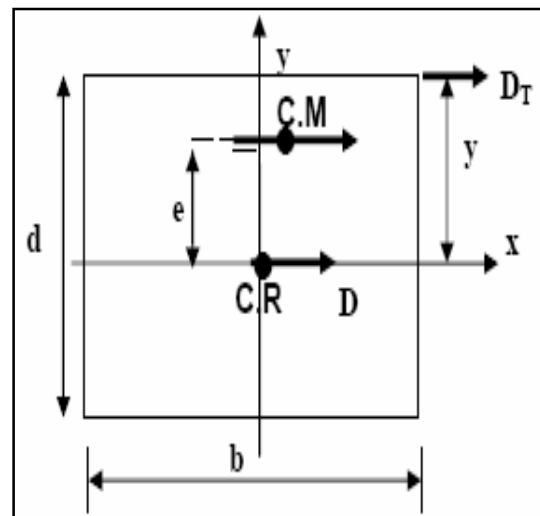


Figure II. 10 : Dimensions en plan

c/ Les forces sismiques

Les systèmes d'isolations et tous les éléments structuraux au-dessus du système d'isolation seront conçus et construits pour résister à une force sismique latérale minimum V_b , en utilisant toutes les dispositions appropriées pour une structure non isolée :

$$V_b = K_{Dmax} D_D \quad (II.49)$$

La force sismique minimale prise pour le calcul des éléments au-dessus du système d'isolation est égale à :

$$V_s = \frac{K_{Dmax} D_D}{R_I} \quad (II.50)$$

Où :

R_I : Facteur basé sur le type de système de la force latérale résistant utilisé pour la structure au-dessus du système d'isolation. Selon UBC 97 : $1.6 < R_I < 2.0$

- La force sismique V_s ne devrait pas être prise inférieure à :
 - La force de conception correspondante à la charge du vent.
 - La force latérale exigée pour activer entièrement le système d'isolation multipliée par 1.5.
- Distribution verticale de la force sismique :

Toute la force sera répartie sur la structure au-dessus de l'interface d'isolation selon la formule :

$$F_x = \frac{V_s W_x h_x}{\sum_{i=0}^n W_i h_i} \quad (II.51)$$

Où :

W_x et W_i : Poids des niveaux x et i respectivement.

h_x et h_i : Hauteurs des niveaux x et i respectivement au-dessus du niveau d'isolation.

À chaque niveau indiqué comme x , la force F_x appliquée au-dessus du secteur du bâtiment selon la distribution de masse au niveau. Les efforts dans chaque élément seront calculés comme effet de la force F_x , appliqué aux niveaux appropriés au-dessus de la base.

d/ Les déplacements inter-étages

Le déplacement inter-étages de la structure au-dessus du système d'isolation ne dépassera pas le rapport :

$$\frac{0.01}{R_I} \quad (II.52)$$

II.3.3.2. La méthode d'analyse modale spectrale

Cette méthode, à l'opposé de la méthode statique équivalente, elle permet d'analyser de nombreuses structures isolées. Elle est exigée dans le cas où la régularité de la structure est au-dessus du plan d'isolation. Egalement, la superstructure doit être de plus de quatre étages ou 20m de hauteur.

- La période effective de la structure isolée (t_d) est trois fois plus grande que la période fondamentale de la structure à base fixe ($t_d > 3 t_f$).

a/ Les déplacements

Le déplacement total de conception du système d'isolation ne doit pas être pris inférieur à 90% de D_{TD} calculé à la méthode statique équivalente.

$$D_{TD} = D_D \left[1 + y \frac{12 e}{b^2 + d^2} \right] \geq 0,9 D_D$$

Le déplacement maximal du système d'isolation ne doit pas être pris inférieur à 80% de D_{TM} calculé à la méthode statique équivalente.

$$D_{TM} = D_M \left[1 + y \frac{12 e}{b^2 + d^2} \right] \geq 0,8 D_M$$

Les deux déplacements selon le code UBC97 seront évalués en utilisant les valeurs du D_{TD} et D_{TM} pour déterminer l'accordance, exception en remplaçant D_D par D'_D et D_M par D'_M selon les formules suivantes :

$$D'_D = \frac{D_D}{\sqrt{1 + \left(\frac{T}{T_D}\right)^E}} \quad (II.53)$$

$$D'_M = \frac{D_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{T}{T_M}\right)^2}} \quad (II.54)$$

Où :

T est la période de la structure à base fixe calculée auparavant.

Remarque :

Cette réduction tient compte de la flexibilité de la superstructure parce que les formules statiques supposent que la superstructure est rigide, par contre n'importe quelle flexibilité et déplacement de la superstructure tendraient à diminuer le déplacement dans le système d'isolation.

b/ Les forces sismiques

- La force sismique du système d'isolation ne doit pas être prise inférieure à 90% de V_b .
- La force sismique calculée pour une structure de configuration régulière, peut être prise inférieure à 80% de V_s mais pas inférieure à 60% de V_s .

c/ Les déplacements inter-étages

Le déplacement inter étage correspond à la fore latérale de conception, y compris le déplacement dû à la déformation verticale du système d'isolation ne dépassera pas la limite du rapport :

$$\frac{0.015}{R_I} \quad (II.55)$$

II.3.3.3 La méthode d'analyse par accélérogrammes

Le principe d'analyse dynamique par accélérogramme, est d'étudier l'effet des forces sur la structure en fonction du temps. Elle est convenable en particulier pour les systèmes d'isolation qui ne répondent pas aux conditions des méthodes cité auparavant.

Pour une étude sismique, cette méthode est la plus précise, pour le calcul non-linéaire des structures isolées. Elle exige l'utilisation d'un ou des accélérogrammes ainsi la disponibilité d'un programme numérique pour l'analyse.

- Les codes exigent l'application de la méthode d'analyse dynamique par accélérogramme dans les cas suivants :
 - La structure située sur un site de classe *E* (sols meuble ; mouvement de longue période) ou *F* (sols sujets aux problèmes de liquéfaction).
 - La structure isolée par des systèmes ayant un amortissement effectif supérieur à 30% (Par ce que les niveaux élevés de l'amortissement conduisent à la participation des modes supérieurs dans la réponse).

- La structure isolée par des systèmes qui ne peuvent pas produire une force de rappel significative.
- Les codes exigent d'autres conditions sur la manière dont les mouvements des sols utilisés comme réponses temporelles doivent être appliqués dans la conception et l'analyse des structures isolées, ces conditions sont :
 - Au moins trois paires des composantes horizontales du mouvement du sol enregistrées devraient être choisies et employées.
 - Les réponses temporelles devraient montrer les durées de mouvements forts conformément aux magnitudes et aux caractéristiques de source des mouvements du sol.
 - Les réponses temporelles développées pour les sites situés à moins de 15 kilomètres des failles actives majeures devraient incorporer les phénomènes de failles proches.
 - Si les enregistrements appropriés ne sont pas disponibles, des enregistrements simulés appropriés peuvent être employés pour composer tout le nombre des enregistrements requis.
 - Pour chaque composante des paires du mouvement du sol horizontal, un spectre de 5% d'amortissement doit être construit et le spectre résultant doit être combiné selon la combinaison SRSS (la racine carrée de la somme des carrés) des deux spectres.
 - Par suite, les réponses temporelles doivent être normalisées (multipliées par un facteur) telle que la valeur moyenne du spectre de SRSS ne tombe pas au-dessous de 1,3 du spectre de conception correspondant à 5% d'amortissement (DBE ou MCE) et par un excédent de plus de 10% sur un intervalle de période de $0,5 T_D$ à $1,25 T_M$ où T_D et T_M sont les périodes d'isolation effectives correspondantes respectivement au déplacement de conception et au déplacement maximum.
 - Si trois réponses temporelles sont employées, la conception doit être basée sur les valeurs maximales de réponse. Si sept réponses temporelles sont employées, la conception peut être basée sur les valeurs moyennes de réponse.

a/ Les déplacements

- Déplacement total :

Le déplacement total de la conception D_{TD} : $D_{TD} = D_D \left[1 + y \frac{12 e}{b^2+d^2} \right] \geq 0,9 D_D$

Le déplacement total maximum D_{TM} : $D_{TM} = D_M \left[1 + y \frac{12 e}{b^2+d^2} \right] \geq 0,8 D_M$

b/ Les forces sismiques

- La force sismique pour le système d'isolation ne doit pas être prise inférieure à 90% de V_b .
- La force sismique ne doit pas être prise inférieure à 80% de V_s et pas inférieure à 60% de V_s si la superstructure, est régulière en plan et en élévation.

c/ Les déplacements inter étages

Le déplacement inter-étages de la structure au-dessus du système de l'isolation calculé par cette méthode ne dépassera pas la limite du rapport :

$$\frac{0.02}{R_I} \tag{II.56}$$

Tableau II. 8 : Valeurs de l'analyse dynamique données en fonction des valeurs de l'analyse statique.

| Paramètre de conception | Méthode statique | Méthode dynamique | |
|---|--|--------------------------|-------------------------|
| | | Modale spectrale | Temporelle |
| Déplacement de conception | $D_D = \frac{(\frac{g}{4\pi^2})C_{VD}T_D}{B_D}$ | | |
| Déplacement maximum | $D_M = \frac{(\frac{g}{4\pi^2})C_{VM}T_M}{B_M}$ | | |
| Déplacement total de la conception | $D_{TD} = D_D \left[1 + y \frac{12 e}{b^2 + d^2} \right] \geq 1,1D_D$ | $D_{TD} \geq 0,9 D_D$ | $D_{TD} \geq 0,9 D_D$ |
| Déplacement total maximum | $D_{TM} = D_M \left[1 + y \frac{12 e}{b^2 + d^2} \right] \geq 1,1D_M$ | $D_{TM} \geq 0,8 D_D$ | $D_{TM} \geq 0,8 D_D$ |
| Force sismique pour le système d'isolation | $V_b = K_{Dmax}D_D$ | $\geq 0,8 V_b$ | $\geq 0,9 V_b$ |
| Force sismique pour une structure régulière | $V_s = \frac{K_{Dmax}D_D}{R_I}$ | $\geq 0,8 V_b$ | $\geq 0,6 V_b$ |
| Force sismique pour une structure irrégulière | $V_s = \frac{K_{Dmax}D_D}{R_I}$ | $\geq 1,0 V_b$ | $\geq 1,0 V_b$ |
| Déplacement inter-étages | $\leq \frac{0.01}{R_I}$ | $\leq \frac{0.015}{R_I}$ | $\leq \frac{0.02}{R_I}$ |

II.3.4 Méthodologie de dimensionnement des appuis parasismiques

La sécurité des bâtiments isolés à la base par des appuis parasismiques est uniquement une question de calculs et de dimensionnement, par l'ingénieur civil, de la structure porteuse et de l'appareil d'appui. Le dimensionnement de ces isolateurs s'effectue par des formules données par les codes UBC 97.

II.3.4.1 Dimensionnement de l'appui en élastomère à fort amortissement HDRB

1. Déterminer le type et la longueur de faille sismique, le type de profil de sol et les coefficients N_V , M_M , C_{VD} et C_{VM}
2. Le calcul des valeurs minimales des rigidités effectives $K_{D,min}$ et $K_{M,min}$:

$$K_{D,min} = \frac{4\pi^2 N}{T_D^2 g} \quad (II.57)$$

$$K_{M,\min} = \frac{4\pi^2 N}{T_M^2 g} \quad (\text{II.58})$$

Avec N est la charge verticale reprise par l'appui.

3. Le calcul de déplacement :

- Le déplacement de conception D_D :

$$D_D = \frac{\left(\frac{g}{4\pi^2}\right) C_{VD} T_D}{B_D} \quad (\text{II.59})$$

- Le déplacement maximal D_M :

$$D_M = \frac{\left(\frac{g}{4\pi^2}\right) C_{VM} T_M}{B_M} \quad (\text{II.60})$$

- Le déplacement total de conception $D_{T,D}$ et maximum $D_{T,M}$:

$$D_{T,D} = D_D \left[1 + y \frac{12 e}{b^2 + d^2} \right] \quad (\text{II.61})$$

$$D_{T,D} = D_M \left[1 + y \frac{12 e}{b^2 + d^2} \right] \quad (\text{II.62})$$

Avec

e : est l'excentricité réelle entre le centre de la masse de la structure au-dessus du système d'isolation et le centre de la rigidité de ce dernier, plus 5 % d'excentricité accidentelle

y : est la distance perpendiculaire entre l'élément d'appui d'angle considéré et le centre de la rigidité du système d'isolation selon la direction de calcul considérée.

b et d : sont les dimensions de la structure.

4. L'épaisseur des couches de caoutchouc t_r :

$$t_r = \frac{D_D}{\gamma_{\max}} \quad (\text{II.63})$$

Avec γ_{\max} : est la contrainte de cisaillement maximale.

5. Le calcul de section de l'appui A :

$$K_H = \frac{G A}{t_r} \quad (\text{II.64})$$

Avec G : Module de cisaillement de l'élastomère.

$$A = \frac{K_H t_r}{G} \quad (\text{II.65})$$

6. Calcul de l'énergie dissipée par cycle EDC :

$$EDC = 2\pi K_{\text{eff}} D_D^2 \beta \quad (\text{II.66})$$

7. La résistance caractéristique Q :

$$Q = \frac{EDC}{4D} \quad (\text{II.67})$$

8. Calcul de la rigidité post-élastique K_2 :

$$K_{\text{eff}} = K_2 + \frac{Q}{D} \quad \leftrightarrow \quad K_2 = K_{\text{eff}} - \frac{Q}{D} \quad (\text{II.68})$$

9. Calcul de la rigidité élastique K_1 :

On a le rapport entre K_1/K_2 varie entre 3 et 5 [43].

$$K_1 = 5K_2 \quad (\text{II.69})$$

10. Calcul de la force limite élastique F_y :

$$F_y = K_1 D_y \quad [7] \quad (\text{II.70})$$

Avec D_y : Déplacement à la plastification donné par la formule suivante :

$$D_y = \frac{Q}{K_1 - K_2} \quad [43] \quad (\text{II.71})$$

11. Calcul de la pulsation propre ω_H et la période T_H :

$$\omega_H = \sqrt{\frac{K_{HG}}{W}} \quad \text{et} \quad T_H = \frac{2\pi}{\omega_H} \quad (\text{II.72})$$

12. Détermination du facteur de forme S :

$$6S^2 = \frac{f_V^2}{f_H^2} \quad (\text{II.73})$$

13. Calcul de l'épaisseur de caoutchouc qui sépare deux frettes d'acier t_c :

$$t_c = \frac{a}{4S} \quad (\text{II.74})$$

14. Calcul du nombre des frettes d'acier n_a :

$$n_a = \frac{t_r}{t_c} - 1 \quad (\text{II.75})$$

15. Calcul de la hauteur totale de l'appui HDRB :

$$h_t = (2t_e) + (t_a n_a) + t_r \quad (\text{II.76})$$

Avec

t_e : L'épaisseur des plaques d'extrémité : 25 mm.

t_a : L'épaisseur des frettes d'acier : 2 mm.

II.3.4.2 Dimensionnement de l'appui en pendules glissants FPS

1. Déterminer le coefficient C_{VD}

2. Calcul du rayon de la surface sphérique :

$$R = g \left(\frac{T_D}{2\pi} \right)^2 \quad (II.77)$$

3. Calcul du déplacement D :

$$D_D = \frac{\left(\frac{g}{4\pi^2} \right) C_{VD} T_D}{B_D}$$

4. Calcul de la rigidité effective :

$$K_{\text{eff}} = \frac{N}{R} + \frac{\mu \times N}{D_D} \quad (II.78)$$

Avec μ est le coefficient de frottement qui est de 0.06 [44].

5. Calcul de la rigidité horizontale :

$$K_H = \frac{N}{R} \quad (II.79)$$

On vérifie β par la formule suivante :

$$\beta = \frac{2}{\pi} \frac{\mu}{\mu + D_D/R} \quad (II.80)$$

6. Détermination du déplacement vertical de l'appui :

$$D_V = \frac{D_D^2}{2R} \quad (II.81)$$

7. Calcul de diamètre de la surface sphérique d :

$$d > 2D_D \quad (II.82)$$

II.4 Conclusion

Dans ce chapitre, le système d'isolation sismique est traduit théoriquement par des équations de mouvements, pour les appareils d'appuis et le système isolé (de deux degrés de liberté). Ceci dans le but de comprendre leur principe de fonctionnement. Pour cela, trois méthodes de calcul ont été présentées. La méthodologie de dimensionnement des appuis parasismiques a été aussi intégrée. Par la suite, on va étudier une structure de type bâtiment à huit niveaux en se basant sur les principes des dimensionnement développés dans les règlements algériens (BAEL91, RPA99 et DTR B.C.2.2). A commencer par faire un pré dimensionnement et une descente des charges au chapitre III.

III.1 Introduction

Dans ce chapitre on va entamer le pré-dimensionnement de tous les éléments de la structure (poteaux, poutres, plancher) de telle manière à reprendre toutes les sollicitations et pour assurer une meilleure stabilité de l'ouvrage.

Le pré-dimensionnement de la structure est calculé conformément aux règles BAEL91, RPA 99 version 2003 et DTR B.C. 2.2.

III.2 Présentation de l'ouvrage

L'ouvrage à étudier est un bâtiment à usage d'habitation composé d'un RDC plus huit étages avec une terrasse inaccessible, l'étage courant contient deux appartements. Il est implanté à BOUMERDES ; une zone à moyenne sismicité, ZONE « IIa ».

L'ouvrage est une structure en béton armé avec une forme régulière (figure III.1) et dont les caractéristiques sont représentées comme suit :

III.2.1 Caractéristiques géométriques

- Les dimensions de l'ouvrage sont :
 - Longueur totale du bâtiment : 20,4 m.
 - Largeur totale du bâtiment : 9,6 m.
 - Hauteur totale du bâtiment : 27,88 m.
 - Hauteur du RDC : 3,4 m.
 - Hauteur d'étage : 3,06 m.

III.2.2 Caractéristiques des matériaux

- La masse volumique de béton armé : 2500 Kg/m³.
- La résistance à la compression du béton à 28 jours f_{c28} : 25 MPa.
- La résistance à la traction du béton f_{t28} : 2,1 MPa.
- Le module d'élasticité instantané E_{ij} : 32000 MPa.

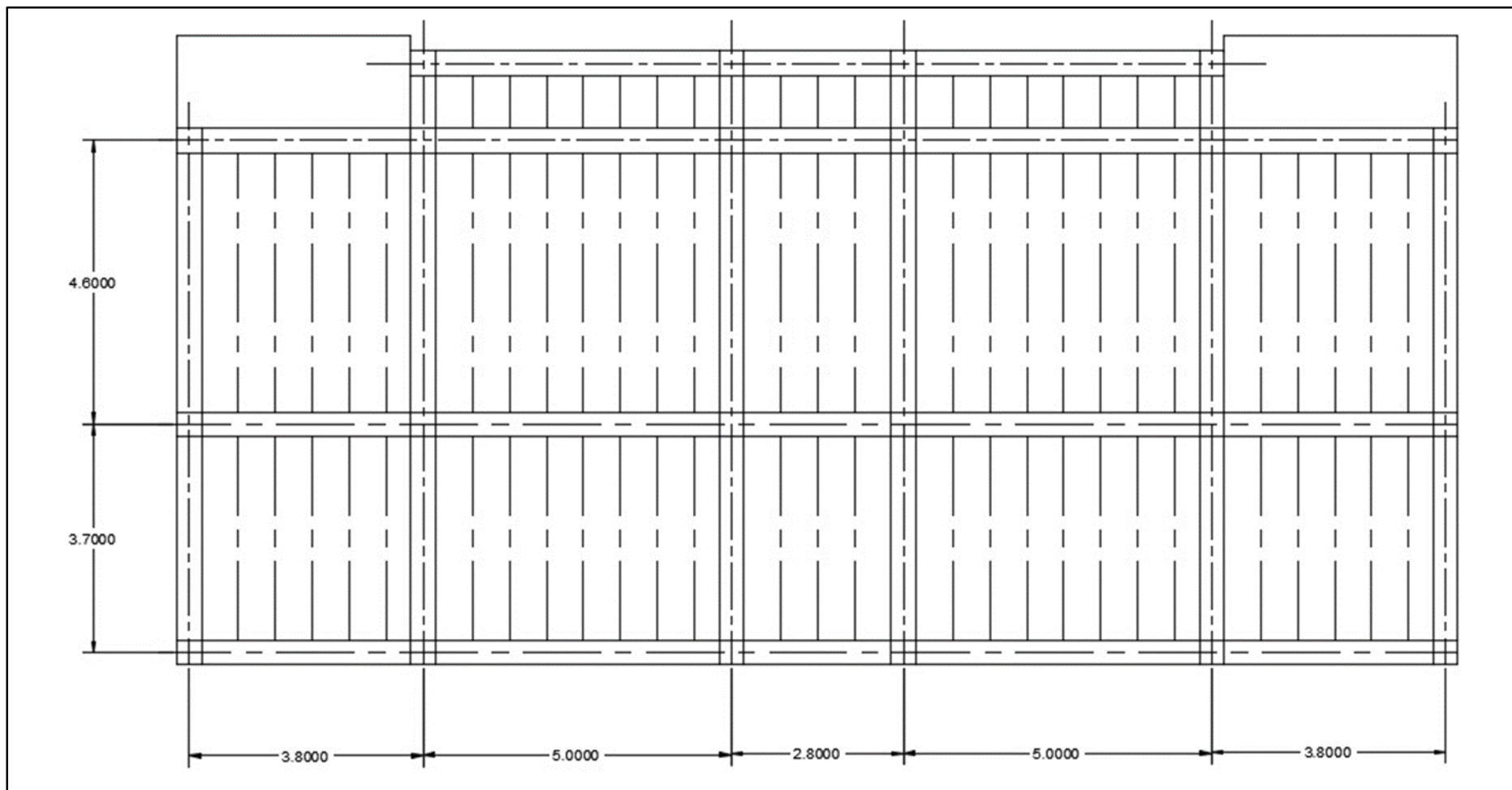


Figure III. 1 : Plan de coffrage.

III.3 Détermination de l'épaisseur du plancher à corps-creux

- Pour l'épaisseur du plancher h_t on utilise la condition de flèche :

$$\frac{h_t}{L} \geq \frac{1}{22,5}$$

L : La portée max d'une poutrelle : 4,60m.

$$h_t \geq \frac{460}{22,5} = 20,44 \text{ cm}$$

On adopte un plancher à corps creux de type (16+5) cm.

Avec

- 16 cm : Corps creux.
- 5 cm : Dalle de compression.

III.4 Dimensionnement des poutrelles

Les poutrelles travaillent comme une section en T. Elles sont disposées suivant le sens perpendiculaire aux poutres principales.

- La largeur de la table de compression est égale à $b = b_0 + 2b_1$.

Avec

$$b_0 = 12 \text{ cm} ; b_1 = \min \left\{ \frac{L_0}{2} ; \frac{L}{10} \right\} \text{ avec } L_0 = 65 - 12 = 53 \text{ cm.}$$

$$b_1 = \min \{ 26,5 ; 46 \} = 26,5 \text{ cm soit } b = 65 \text{ cm.}$$

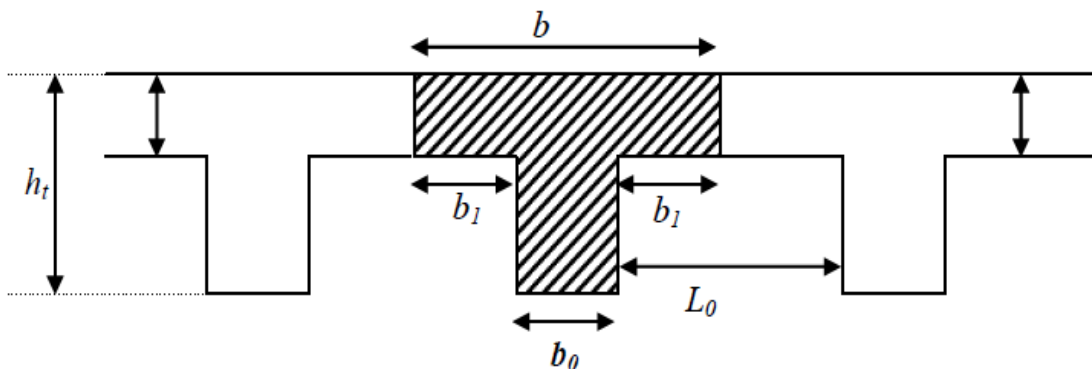


Figure III. 2 : Nervure

Tableau III. 1 : Caractéristiques géométriques du plancher.

| Caractéristiques géométriques | Valeur (cm) |
|-----------------------------------|-------------|
| Épaisseur de la dalle compression | 5 |
| Épaisseur de l'entrevous | 16 |
| Entraxe des nervures | 65 |
| Largeur des nervures | 12 |

III.5 Descente de charges

III.5.1 Les planchers

- Plancher terrasse inaccessible :

Tableau III. 2 : Descente des charges du plancher terrasse inaccessible avec gravillon.

| N° | Désignation | Ep (m) | ρ (KN/m ³) | G (KN/m ²) |
|----|------------------------|-----------|-----------------------------|------------------------|
| 1 | Gravillon | 0,05 | - | 0,20 |
| 2 | Étanchéité multicouche | 0,02 | - | 0,12 |
| 3 | Forme de pente | 0,06 | 22 | 1,32 |
| 4 | Isolation thermique | 0,04 | 3 | 0,12 |
| 5 | Plancher à corps creux | 0,16+0,05 | - | 2,85 |
| 6 | Enduit de plâtre | 0,02 | 10 | 0,2 |

- Charge permanente G : 4,81 KN/m².
- Charge d'exploitation Q : 1,00 KN/m².

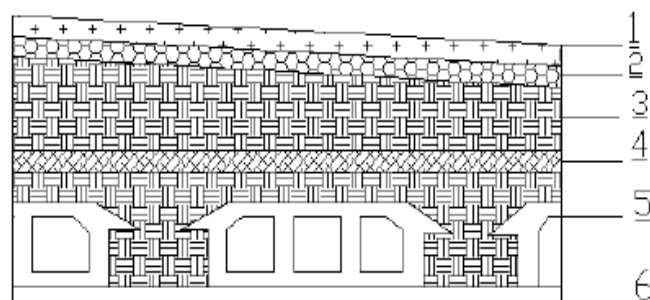


Figure III. 3 : Plancher terrasse inaccessible.

- Plancher étage courant, R D C :

Tableau III. 3 : Descente des charges de l'étage courant et RDC.

| N° | Désignation | Ep (m) | ρ (KN/m ³) | G (KN/m ²) |
|----|------------------------|-----------|-----------------------------|------------------------|
| 1 | Carrelage | 0,02 | 20 | 0,4 |
| 2 | Mortier de ciment | 0,02 | 20 | 0,4 |
| 3 | Lit de sable fin | 0,02 | 18 | 0,36 |
| 4 | Plancher à corps creux | 0,16+0,05 | - | 2,85 |
| 5 | Enduit en plâtre | 0,02 | 10 | 0,2 |
| 6 | cloisons | - | - | 0,9 |

- Charge permanente G : 5,11 KN/m².
- Charge d'exploitation Q : 1,5 KN/m².

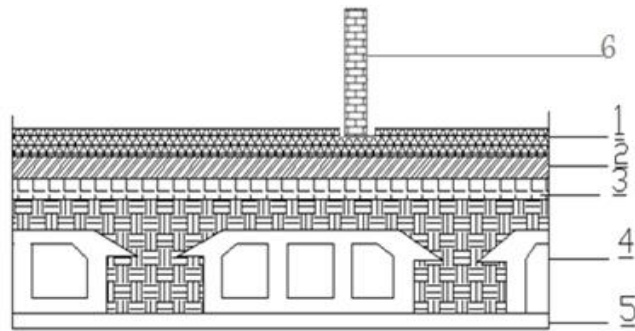


Figure III. 4 : Plancher étage courant.

III.5.2 Balcon en dalle pleine

Tableau III. 4 : Descente des charges de balcon en dalle pleine.

| N° | Désignation | Ep (m) | ρ (KN/m ³) | G (KN/m ²) |
|----|--------------------------|--------|-----------------------------|------------------------|
| 1 | Carrelage | 0,02 | 20 | 0,40 |
| 2 | Mortier de ciment | 0,02 | 20 | 0,40 |
| 3 | Lit de sable fin | 0,02 | 18 | 0,36 |
| 4 | Dalle pleine | 0,15 | 25 | 3,75 |
| 5 | Enduit en mortier ciment | 0,02 | 22 | 0,44 |

- Charge permanente $G : 5,35 \text{ KN/m}^2$.
- Charge d'exploitation $Q : 3,5 \text{ KN/m}^2$.

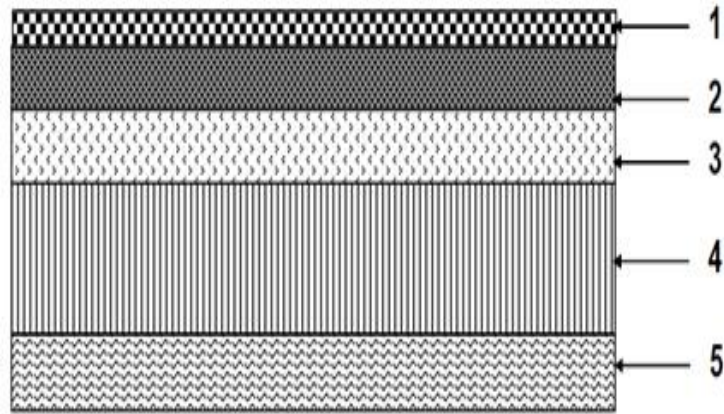


Figure III. 5 : Balcon.

III.5.3 Maçonnerie

- Maçonnerie extérieure « murs double parois » :

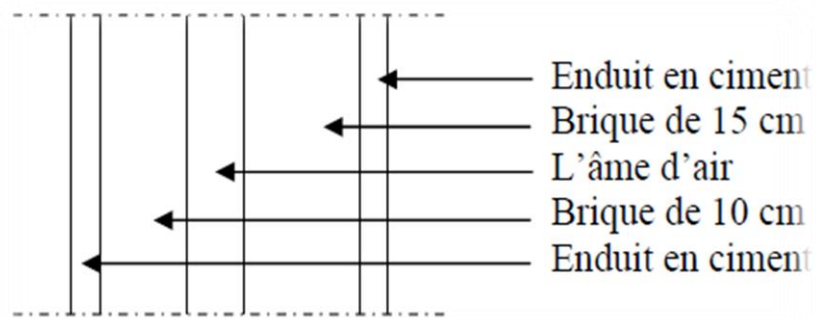


Figure III. 6 : Coupe transversale du Mur extérieur.

Tableau III. 5 : Descente des charges des murs double parois.

| N° | Désignation | Ep (m) | G (KN/m ²) |
|----|----------------------------|--------|------------------------|
| 1 | Enduit de ciment extérieur | 0,02 | 0 ,40 |
| 2 | Brique creuse | 15 | 1,30 |
| 3 | Brique creuse | 10 | 0,90 |
| 4 | Enduit en ciment | 0,02 | 0,40 |

- Charge permanente $G : 3 \text{ KN/m}^2$.

- Maçonnerie intérieure « murs simple parois » :

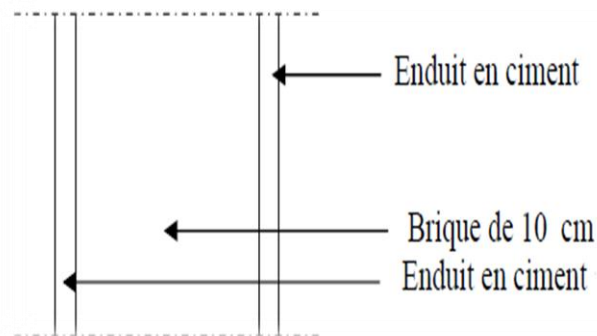


Figure III. 7 : Coupe transversale du Mur intérieur.

Tableau III. 6 : Descente des charges de garde-corps.

| N° | Désignation | Ep (m) | G (KN/m ²) |
|----|----------------------------|--------|------------------------|
| 1 | Enduit de ciment extérieur | 0,02 | 0 ,40 |
| 2 | Brique creuse | 10 | 0,90 |
| 3 | Enduit en ciment | 0,02 | 0,40 |

- Charge permanente $G = 1,7 \text{ KN/m}^2$.

III.5.4 L'acrotère

- La surface de l'acrotère :

$$S = (0,6 \times 0,1) + \frac{(0,1 \times 0,05)}{2} + (0,1 \times 0,05)$$

$$S = 0,0675 \text{ m}^2$$

- Poids propre de l'acrotère :

$$P = 25 \times 0,0675 \quad P = 1,6875 \text{ KN/m}$$

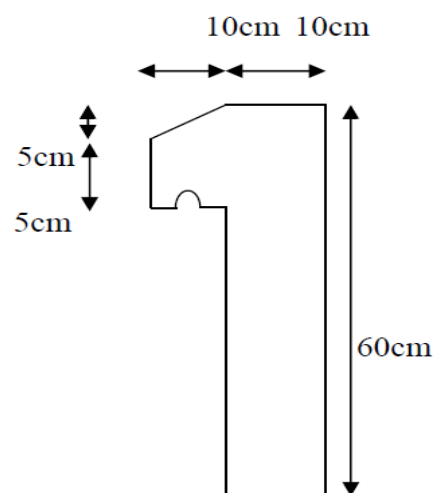


Figure III. 8 : Dimension de l'acrotère.

III.5.5 L'escalier

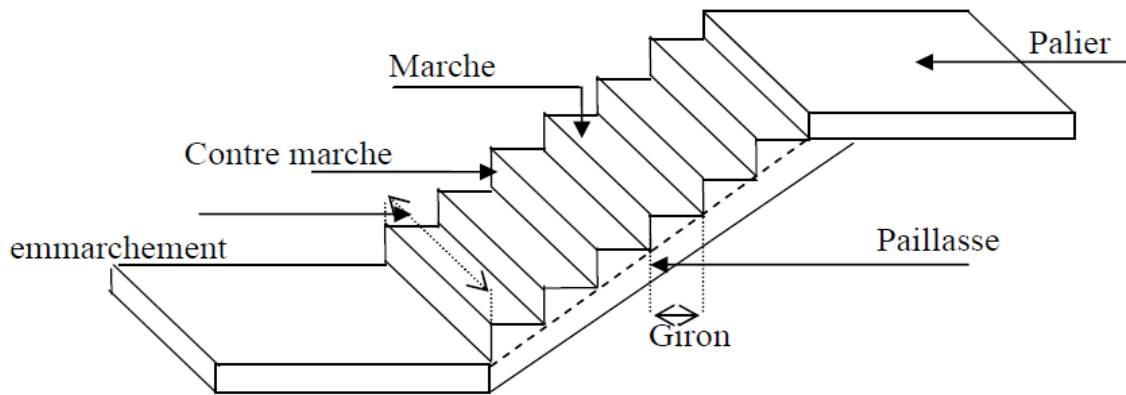


Figure III. 9 : Schéma d'un escalier.

III.5.5.1 Dimensions des escaliers

- Largeur des marches « g » et la hauteur des contremarches « h » :

D'après la formule de BLONDEL : $59 \leq 2h + g \leq 66$ cm

$$16 \leq h \leq 18 \quad \rightarrow \quad h = 17 \text{ cm}$$

$$59 - 2 \times 17 \leq g \leq 66 - 2 \times 17 \quad \rightarrow \quad 25 \leq g \leq 32 \quad \rightarrow \quad g = 30 \text{ cm}$$

- Nombre des marches :

$$N = \frac{H}{h}$$

Avec :

H : hauteur de l'étage courant ou RDC.

- Etage courant :

$$N = 306 / 17 \quad N = 18$$

On a 9 contre marches et 8 marches pour chaque volée.

- RDC :

$$N = 304 / 17 \quad N=20$$

On a 11 contre marches et 10 marches pour la première volée.

On a 9 contre marches et 8 marches pour la deuxième volée.

III.5.5.2 Les différents angles d'inclinaisons

- Dans notre cas nous avons deux types de volées :

▪ Type 1 :

$$\tan \alpha = 153 / 240 \quad \alpha = 32,52^\circ$$

▪ Type 2 :

$$\tan \alpha = 187/240 \quad \alpha = 37,92^\circ$$

III.5.5.3 Détermination de l'épaisseur du palier et paillasse

- Paillasse :

$$\frac{L_p}{30} < e_p < \frac{L_p}{20}$$

L_p : La longueur de volée.

▪ Type 1 :

$$L_p = \frac{1,53}{\sin 32,52} \rightarrow L_p = 2,846 \text{ m}$$

$$\frac{284,6}{30} < e_p < \frac{284,6}{20} \rightarrow 9,487 < e_p < 14,23$$

$e_p = 15 \text{ cm.}$

▪ Type 2 :

$$L_p = \frac{1,87}{\sin 37,92} \rightarrow L_p = 3,043 \text{ m}$$

$$\frac{304,3}{30} < e_p < \frac{304,3}{20} \rightarrow 10,14 < e_p < 15,215$$

$e_p = 15 \text{ cm.}$

III.5.5.4 Evaluation des charges et des surcharges pour l'escalier

- Palier :

Tableau III. 7 : Evaluation des charges et des surcharges pour le palier.

| N° | Désignation | Ep (m) | ρ (KN/m ³) | G (KN/m ²) |
|----|------------------------|--------|-----------------------------|------------------------|
| 1 | Poids propre du palier | 0,15 | 25 | 3,75 |
| 2 | Carrelage | 0,02 | 20 | 0,4 |
| 3 | Mortier de pose | 0,02 | 20 | 0,4 |
| 4 | Lit de sable | 0,02 | 18 | 0,34 |
| 5 | Enduit de plâtre | 0,015 | 10 | 0,15 |

- Charge permanente G : 5,06 KN/m².
- Charge d'exploitation Q : 2,5 KN/m².

- Paillasse :

Tableau III. 8 : Evaluation des charges et des surcharges pour la paillasse.

| N° | Désignation | Ep (m) | ρ (KN/m ³) | G (KN/m ²) |
|----|------------------------------------|--------|-----------------------------|------------------------|
| 1 | Revêtement en carrelage horizontal | 0,02 | 20 | 0,4 |
| 2 | Mortier de ciment horizontal | 0,02 | 20 | 0,4 |
| 3 | Lit de sable | 0,02 | 18 | 0,36 |
| 4 | Revêtement en carrelage vertical | 0,02 | (20 x 0,17)/0,30 | 0,23 |
| 5 | Mortier de ciment vertical | 0,02 | (20 x 0,17)/0,30 | 0,4 |
| 6 | Poids propre de la paillasse | 0,15 | 25/cos 32,52 | 4,47 |
| 7 | Poids propre des marches | - | (0,17 x 20)/2 | 1,7 |
| 8 | Garde- corps | - | - | 0,1 |
| 9 | Enduit en plâtre | 0,015 | 10/cos 32,52 | 0,18 |

- Charge permanente G : 8,24 KN/m².
- Charge d'exploitation Q : 2,5 KN/m².

III.6 Pré-dimensionnement des éléments structuraux

Pour assurer une meilleure stabilité de l'ouvrage, il faut que tous les éléments de la structure (poteaux, poutres) soient pré dimensionnés de telle manière à reprendre toutes les sollicitations.

III.6.1 Pré-dimensionnement des poutres

Le pré-dimensionnement est basé sur les règles B.A.E.L 91 et vérifié par les conditions imposées par les sismologues RPA 99 version 2003.

D'après les règles B.A.E.L 91 on a :

$$\frac{L}{15} \leq h \leq \frac{L}{10}$$

Avec

L : La plus grande portée entre les axes des poteaux.

h : Hauteur de la poutre.

⇒ Les vérifications des conditions par RPA99 version 2003 :

$$\left\{ \begin{array}{l} b \geq 20 \text{ cm} \\ h \geq 30 \text{ cm} \\ \frac{h}{b} \leq 4 \end{array} \right.$$

III.6.1.1 Les poutres principales

- Hauteur :

$$\frac{500}{15} \leq h \leq \frac{500}{10} \quad \rightarrow \quad 33,3 \leq h \leq 50$$

On prend : h = 45 cm.

- Largeur :

$$0,4h \leq b \leq 0,7h \quad 18 \leq b \leq 31,5$$

On prend : b = 40 cm.

- Vérification par RPA 99 version 2003 :

$$b \geq 20 \text{ cm} \quad \Leftrightarrow \quad 40 > 20 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{CV}$$

$$h \geq 30 \text{ cm} \quad \Leftrightarrow \quad 45 \geq 30 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{CV}$$

$$\frac{h}{b} \leq 4 \quad \Leftrightarrow \quad \frac{45}{40} = 1,125 < 4 \dots\dots\dots \text{CV}$$

III.6.1.2 Les poutres secondaires

- Hauteur :

$$\frac{460}{15} \leq h \leq \frac{460}{10} \quad \rightarrow \quad 30,67 \leq h \leq 46$$

On prend : h = 40 cm.

- Largeur :

$$0,4 h \leq b \leq 0,7 h \quad \rightarrow \quad 16 \leq b \leq 28$$

On prend : b = 35 cm.

- Vérification par RPA 99 version 2003 :

$$b \geq 20 \text{ cm} \quad \Leftrightarrow \quad 35 \geq 20 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{CV.}$$

$$h \geq 30 \text{ cm} \quad \Leftrightarrow \quad 40 \geq 30 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{CV.}$$

$$\frac{h}{b} \leq 4 \quad \Leftrightarrow \quad \frac{40}{35} = 1,142 < 4 \dots\dots\dots \text{CV.}$$

III.6.1.3 La poutre palière

- Hauteur :

$$\frac{280}{15} \leq h \leq \frac{280}{10} \quad \rightarrow \quad 18,67 \leq h \leq 28$$

On prend : h = 30 cm.

- Largeur :

$$0,4 h \leq b \leq 0,7 h \quad \rightarrow \quad 12 \leq b \leq 21$$

On prend : b = 30 cm.

- Vérification par RPA 99 version 2003

$$b \geq 20 \text{ cm} \quad \Leftrightarrow \quad 30 \geq 20 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{CV.}$$

$$h \geq 30 \text{ cm} \quad \Leftrightarrow \quad 30 = 30 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{CV.}$$

$$\frac{h}{b} \leq 4 \quad \Leftrightarrow \quad \frac{30}{35} = 1 < 4 \dots\dots\dots \text{CV.}$$

IV.6.2 Pré-dimensionnement des poteaux

Le pré-dimensionnement des poteaux se fait par la descente de charges pour le poteau le plus sollicité.

Les poteaux sont pré dimensionnés à l'ELS en compression simple en supposant que seul le béton reprend l'effort normal N_s tel que : $N_s = G + QN$

La section transversale du poteau le plus sollicité est donnée par :

$$A_p = \frac{N_s}{\sigma_{bc}}$$

Avec

N_s est l'effort normal maximal à la base du poteau déterminé par la descente de charge.

σ_{bc} est la contrainte limite de service du béton en compression.

$$\sigma_{bc} = 0,6f_{c28} = 15 \text{ MPa}$$

III.6.2.1 Calcul de l'aire du plancher supporté par le poteau le plus sollicité

$$\left. \begin{array}{l} S_1 = 1,9 \times 1,85 = 3,515 \\ S_2 = 1,9 \times 2,3 = 4,370 \\ S_3 = 2,5 \times 2,3 = 5,750 \\ S_4 = 2,5 \times 1,85 = 4,625 \end{array} \right\} \text{D'où } S_t = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = 18,26 \text{ m}^2$$

Avec

S_t est la surface brute.

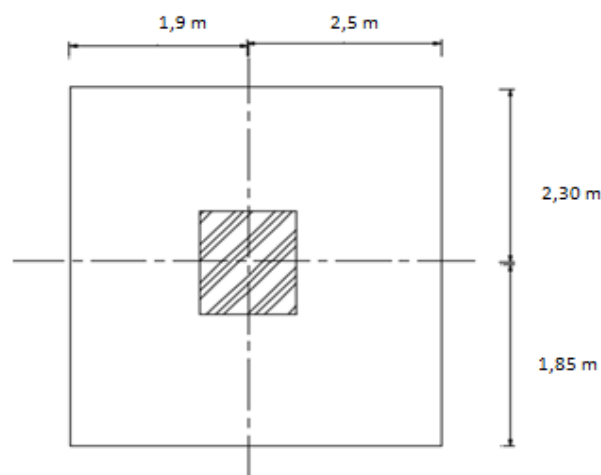


Figure III. 10 : Section supportée par le poteau le plus sollicité.

III.6.2.2 Calcul du poids propre des poutres revenant au poteau le plus sollicité

- Poutres principales :

$$G_{PP} = 0,4 \times 0,45 \times 25 \times 4,4 \quad \rightarrow \quad G_{PP} = 19,8 \text{ KN}$$

- Poutres secondaires :

$$G_{PS} = 0,35 \times 0,4 \times 25 \times 4,15 \quad \rightarrow \quad G_{PS} = 14,525 \text{ KN}$$

D'où :

$$G_t = G_{PP} + G_{PS} \quad \rightarrow \quad G_t = 34,325 \text{ KN}$$

III.6.2.3 Calcul du poids propre des planchers revenant au poteau

- Plancher terrasse inaccessible :

$$G_{Pt} = S_t \times G$$

D'où :

$$G_{Pt} = 18,26 \times 4,81 \quad \rightarrow \quad G_{Pt} = 87,831 \text{ KN.}$$

- Plancher courant :

$$G_{Pc} = S_t \times G$$

D'où :

$$G_{Pt} = 18,26 \times 5,11 \quad \rightarrow \quad G_{Pt} = 93,309 \text{ KN.}$$

III.6.2.4 Calcul du poids propre des poteaux

$$\text{Poteau d'étage courant: } G_{pot} = 25 \times 0,3 \times 0,35 \times 3,06 \quad \rightarrow \quad G_{pot} = 8,032 \text{ KN}$$

$$\text{Poteau RDC: } G_{pot} = 25 \times 0,3 \times 0,35 \times 3,4 \quad \rightarrow \quad G_{pot} = 8,925 \text{ KN}$$

III.6.2.5 Calcul des surcharges d'exploitation

- Plancher terrasse inaccessible :

$$Q = 18,26 \times 1 = 18,26 \text{ KN}$$

- Plancher étage courant et RDC (habitation) :

$$Q = 18,26 \times 1,5 = 27,39 \text{ KN}$$

III.6.2.6 Loi de dégression des charges d'exploitation

Les règles de BAEL91 nous recommandent une dégression de charges d'exploitation et ceci pour tenir compte de la non simultanéité du chargement sur tous les planchers (surcharges différentes).

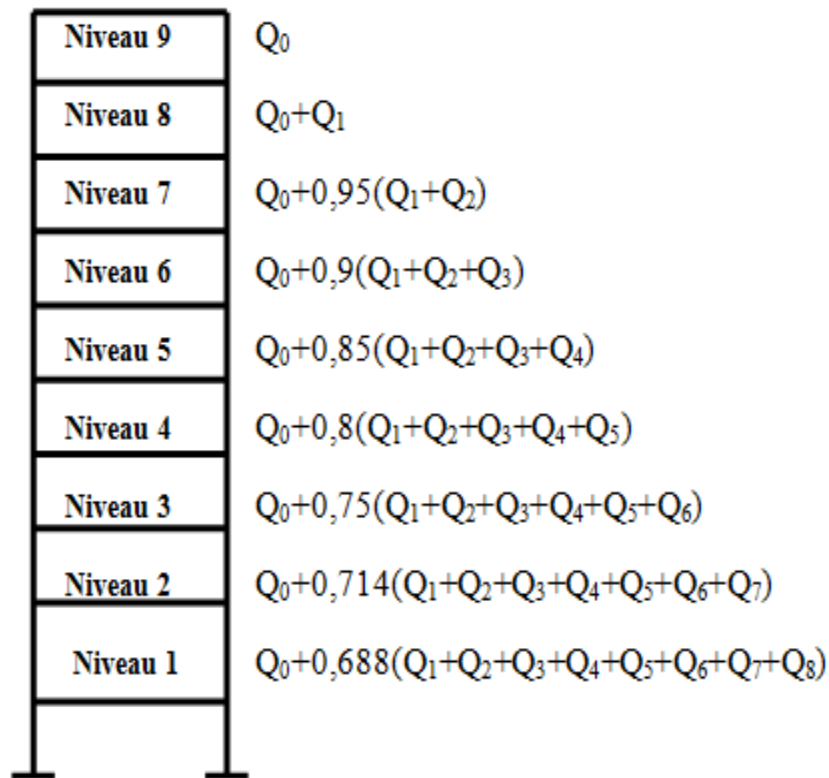


Figure III. 11 : La dégression des charges d'exploitation.

Avec

Q_0 : La charge d'exploitation sur la terrasse couvrant le bâtiment.

$Q_1, Q_2, Q_3 \dots \dots \dots Q_n$: Les charges d'exploitation respectives des planchers des étages 1, 2, 3,.....n.

Tableau III. 9 : Coefficients de dégression de surcharge.

| Niveau | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
|--------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| coeff | 1 | 1 | 0,95 | 0,9 | 0,85 | 0,8 | 0,75 | 0,714 | 0,688 |
| Q | 18,3 | 45,7 | 70,3 | 92,2 | 111,4 | 127,8 | 141,5 | 155,2 | 169,0 |

Tableau III. 10 : Dimensions des sections du poteau.

| Niveau | Poids poutres KN | Poids planchers KN | Poids poteaux KN | G KN | G _{CUM} KN | Q _{CUM} KN | N= G _C + Q _C KN | A _p cm ² | A _{p.adp} cm ² |
|--------|---------------------|-----------------------|---------------------|---------|------------------------|------------------------|--|-----------------------------------|---------------------------------------|
| 9 | 34,325 | 87,831 | 0 | 122,156 | 122,560 | 18,26 | 140,820 | 93,880 | 35*35 |
| 8 | 34,325 | 93,309 | 8,032 | 135,667 | 258,227 | 45,65 | 303,877 | 202,500 | 35*35 |
| 7 | 34,325 | 93,309 | 8,032 | 135,667 | 393,894 | 70,301 | 464,195 | 309,460 | 35*35 |
| 6 | 34,325 | 93,309 | 8,032 | 135,667 | 529,561 | 92,213 | 621,774 | 414,516 | 40*40 |
| 5 | 34,325 | 93,309 | 8,032 | 135,667 | 665,228 | 111,39 | 766,618 | 511,078 | 40*40 |
| 4 | 34,325 | 93,309 | 8,032 | 135,667 | 800,895 | 127,82 | 928,715 | 619,143 | 40*40 |
| 3 | 34,325 | 93,309 | 8,032 | 135,667 | 936,562 | 141,52 | 1078,082 | 718,721 | 45*45 |
| 2 | 34,325 | 93,309 | 8,032 | 135,667 | 1072,229 | 155,16 | 1227,389 | 818,259 | 45*45 |
| 1 | 34,325 | 93,309 | 8,925 | 136,559 | 1208,788 | 169,01 | 1377,798 | 918,532 | 45*45 |

- Vérification selon RPA 99 version 2003 :

$$\text{Min}(b, h) \geq 25 \quad \text{en zone IIa}$$

$$\text{Min}(b, h) \geq \frac{h_e}{20}$$

$$\frac{1}{4} \leq \frac{b}{h} \leq 4$$

▪ RDC et étage courant 1 et 2 :

$$\text{Min}(45,45) \geq 25 \dots\dots\dots \text{CV}$$

$$\text{Min}(45,45) \geq \frac{304}{20} = 17 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{CV}$$

$$\frac{1}{4} \leq \frac{45}{45} = 1 \leq 4 \dots\dots\dots \text{CV}$$

▪ Etage courant 3, 4 et 5 :

$$\text{Min}(40,40) \geq 25 \dots\dots\dots \text{CV}$$

$$\text{Min}(40,40) \geq \frac{3,06}{20} = 15,3 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{CV}$$

$$\frac{1}{4} \leq \frac{40}{40} = 1 \leq 4 \dots\dots\dots \text{CV}$$

▪ Etage courant 6, 7 et 8 :

$$\text{Min}(35,35) \geq 25 \dots\dots\dots \text{CV}$$

$$\text{Min}(35,35) \geq \frac{3,06}{20} = 15,3 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{CV}$$

$$\frac{1}{4} \leq \frac{35}{35} = 1 \leq 4 \dots\dots\dots \text{CV}$$

- Vérification d'effort normal réduit :

$$v = \frac{N_d}{Bf_{c28}} < 0,3$$

$$v = \frac{1377,798}{45 \times 45 \times 25} = 0,27 < 0,3 \dots\dots\dots \text{CV}$$

- Vérification au flambement :

$$\lambda = \frac{l_f}{i} < 50$$

▪ RDC :

$$i = \sqrt{\frac{I}{S}} = \sqrt{\frac{0,45 \times 0,45^3}{12 \times 0,45 \times 0,45}} = 0,130 \text{ m}$$

$$l_f = 0,7 \times 3,4 = 2,38 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{2,38}{0,130} = 18,307 < 50 \dots\dots\dots \text{CV}$$

▪ Etage courant 2 et 3 :

$$i = \sqrt{\frac{I}{S}} = \sqrt{\frac{0,45 \times 0,45^3}{12 \times 0,45 \times 0,45}} = 0,130 \text{ m}$$

$$l_f = 0,7 \times 3,06 = 2,142 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{2,142}{0,130} = 16,477 < 50 \dots\dots\dots \text{CV}$$

▪ Etage courant 3, 4 et 5 :

$$i = \sqrt{\frac{I}{S}} = \sqrt{\frac{0,40 \times 0,40^3}{12 \times 0,40 \times 0,40}} = 0,115 \text{ m}$$

$$l_f = 0,7 \times 3,06 = 2,142 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{2,142}{0,115} = 18,626 < 50 \dots\dots\dots \text{CV}$$

▪ Etage courant 6, 7 et 8 :

$$i = \sqrt{\frac{I}{S}} = \sqrt{\frac{0,35 \times 0,35^3}{12 \times 0,35 \times 0,35}} = 0,101 \text{ m}$$

$$l_f = 0,7 \times 3,06 = 2,142 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{2,142}{0,101} = 21,207 < 50 \dots\dots\dots \text{CV}$$

III.7 Conclusion

Durant ce chapitre on a fait un pré dimensionnement des éléments structuraux d'un bâtiment à huit niveaux, tout-en respectant les normes et les conditions des codes de calcul cités auparavant (BAEL 91 et RPA 99). Par la suite, on va entamer la modélisation de ce bâtiment en utilisant deux configurations. Tous d'abord, le bâtiment est supposé fixe, ensuite isolé. Pour cette étude le logiciel Etabs 2015 sera utilisé.

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre on va modéliser notre structure par le logiciel ETABS version 2015.1.0 avec quatre modèles et faire une comparaison entre les résultats donnés par ces modèles ;

- Le premier modèle : Structure à base fixe.
- Le deuxième modèle : Structure isolée avec un appui en élastomère à fort amortisseurs HDRB
- Le troisième modèle : Structure isolée avec un appui en pendule glissant FPS.
- Le quatrième modèle : Structure isolée avec un couplage de deux appuis répartis comme suit ;
 - Les poteaux d'angles et de rives sont isolés par l'appui HDRB.
 - Les poteaux centraux sont isolés par l'appui FPS.

IV.2 Présentation du logiciel ETABS

ETABS est un système sophistiqué, mais facile à utiliser. L'analyse à des fins particulières et programme de conception développés spécifiquement pour les systèmes de construction.

ETABS, Version 2015 dispose d'une interface graphique intuitive et puissante associée à la modélisation inégale, et les procédures de conception d'analyse, le tout intégré en utilisant une base de données commune.

Bien que rapide et facile pour les structures simples, ETABS peut également gérer des modèles les plus importants et les plus complexes de construction, y compris un large éventail de comportements non-linéaires, ce qui en fait l'outil de choix pour les ingénieurs structurels dans l'industrie du bâtiment.

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

IV.3 Description de l'excitation sismique

Comme on a présenté au chapitre II, les méthodes d'analyse des structures isolées, on a cité que parmi les méthodes d'analyse dynamique, la méthode d'analyse par accélérogramme et les raisons pour laquelle est disponible pour notre cas. Pour cela, on utilise le signal sismique du 21 mai 2003 de Boumerdès et d'Alger enregistrés à la station de Keddara avec une accélération maximale de (0,33 g) pour la composante longitudinale et de (0,33 g) pour la composante transversale. Ces deux composantes sont appliquées respectivement dans le sens longitudinal et transversal de la structure.

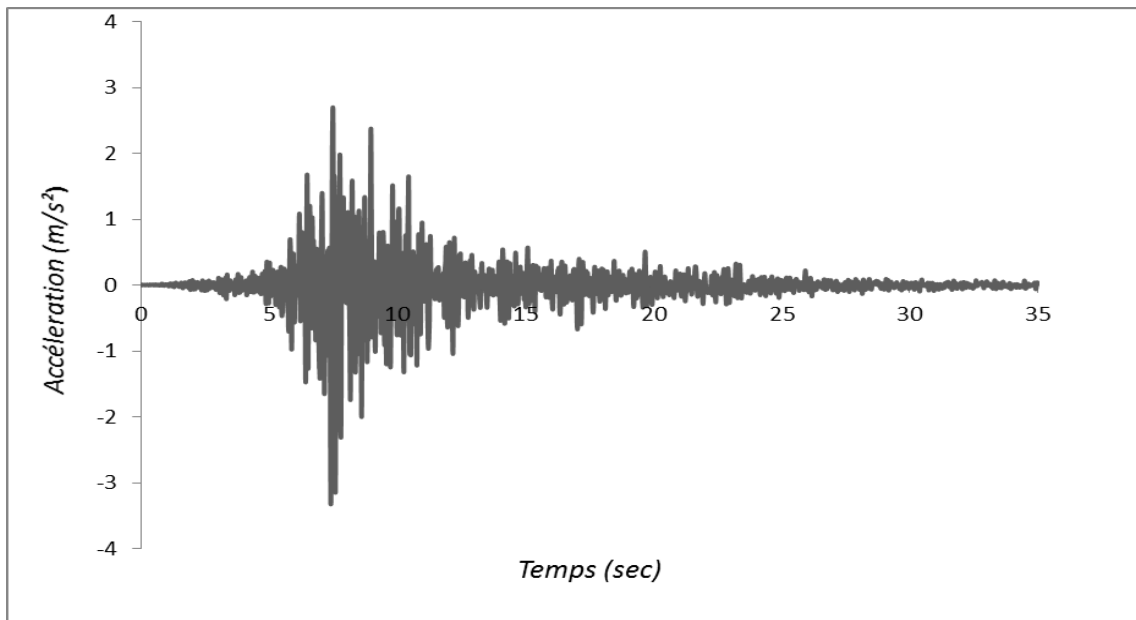


Figure IV. 1 : Accélérogramme du séisme de Boumerdès et d'Alger de 21 mai 2003 avec un PGA = 0,33 g (station de Keddara).

IV.4 Description du système d'isolation

Parmi les appuis passés en revue, les types des isolateurs parasismiques considérés pour l'étude sont un appui en élastomère à fort amortisseur HDRB et un appui en pendule glissant FPS.

Le système d'isolation à la base consiste à placer les 22 appuis dans la structure d'une façon concentrique sous chaque poteau. La figure IV.2 et les tableaux IV.1 et IV.2 présentent les caractéristiques de ces isolateurs, cependant les étapes de calcul de ces derniers sont présentées dans l'ANNEXES A.

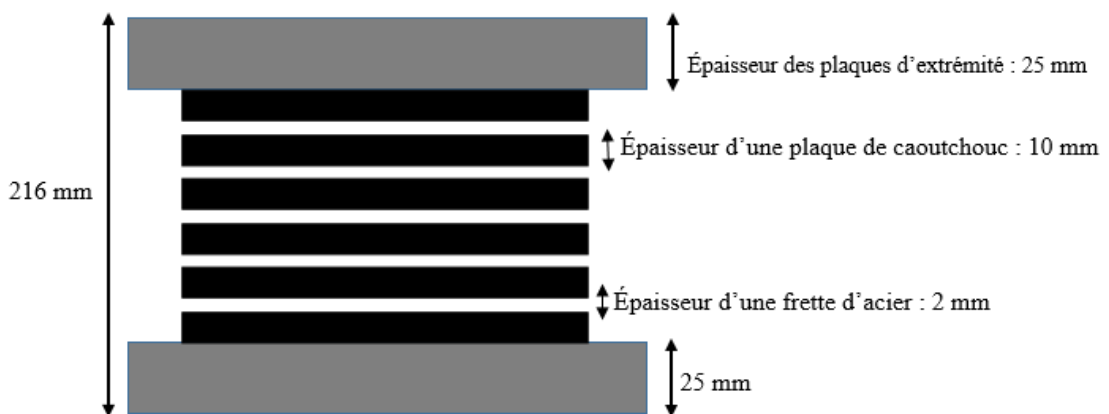


Figure IV. 2 : Les caractéristiques mécaniques de l'isolateur HDRB.

Tableau IV. 1 : Les caractéristiques de l'appui HDRB.

| Poteau | N | $\beta\%$ | K_{eff} (KN/m) | A (mm²) | a (mm) | EDC (KN) | Q (KN) | K_2 (KN/m) | K_1 (KN/m) | F_y(KN) | h_t (mm) |
|---------------|----------|-----------------------------|---|---------------------------|---------------|-----------------|---------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 1A | 1096,485 | 15 | 706,66 | 0,155 | 400 | 28530 | 34,456 | 539,452 | 2697,26 | 43,156 | 216 |
| 1B | 1587,955 | 15 | 1022,465 | 0,224 | 500 | 41,290 | 49,869 | 781,55 | 3907,75 | 62,524 | 216 |
| 1C | 1446,861 | 15 | 931,20 | 0,204 | 500 | 37,620 | 45,44 | 712,10 | 3560,50 | 56,968 | 216 |
| 2A | 1505,135 | 15 | 969,139 | 0,212 | 500 | 39,140 | 47,27 | 740,78 | 3703,90 | 59,262 | 216 |
| 2B | 2012,598 | 15 | 1295,888 | 0,283 | 550 | 52,330 | 63,205 | 990,55 | 4952,75 | 79,244 | 216 |
| 2C | 1656,072 | 15 | 1066,325 | 0,233 | 500 | 43,063 | 52,008 | 815,079 | 4075,395 | 65,206 | 216 |
| 3A | 1413,154 | 15 | 909,910 | 0,199 | 450 | 36,476 | 44,380 | 695,510 | 3477,55 | 55,641 | 216 |
| 3B | 1505,509 | 15 | 969,380 | 0,212 | 500 | 39,147 | 47,279 | 740,980 | 3704,90 | 59,278 | 216 |
| 3C | 1237,343 | 15 | 796,710 | 0,174 | 450 | 32,170 | 38,850 | 609,030 | 3045,15 | 48,722 | 216 |
| 4B | 1340,018 | 15 | 862,820 | 0,188 | 450 | 34,840 | 42,080 | 659,530 | 3297,65 | 52,762 | 216 |
| 4C | 1360,984 | 15 | 876,320 | 0,192 | 450 | 35,390 | 42,740 | 669,850 | 3349,25 | 53,588 | 216 |

Tableau IV. 2 : Les caractéristiques de l'appui FPS.

| Poteau | N (KN) | β % | μ | K_{eff} (KN/m) | K_H (KN/m) | R (m) | D_V (m) | d (m) |
|---------------|---------------|-----------------------------|-------------------------|---|--------------------------------|--------------|-----------------------------|--------------|
| 1A | 1096,485 | 20 | 0,06 | 1060,714 | 706,043 | 1,553 | 0,011 | 0,4 |
| 1B | 1587,955 | 20 | 0,06 | 1534,751 | 1022,508 | 1,553 | 0,011 | 0,4 |
| 1C | 1446,861 | 20 | 0,06 | 1398,385 | 931,655 | 1,553 | 0,011 | 0,4 |
| 2A | 1505,135 | 20 | 0,06 | 1454,706 | 969,170 | 1,553 | 0,011 | 0,4 |
| 2B | 2012,598 | 20 | 0,06 | 1945,167 | 1295,94 | 1,553 | 0,011 | 0,4 |
| 2C | 1656,072 | 20 | 0,06 | 1600,586 | 1066,369 | 1,553 | 0,011 | 0,4 |
| 3A | 1413,154 | 20 | 0,06 | 1365,807 | 909,950 | 1,553 | 0,011 | 0,4 |
| 3B | 1505,509 | 20 | 0,06 | 1455,067 | 969,419 | 1,553 | 0,011 | 0,4 |
| 3C | 1237,343 | 20 | 0,06 | 1195,886 | 796,743 | 1,553 | 0,011 | 0,4 |
| 4B | 1340,018 | 20 | 0,06 | 1295,120 | 862,850 | 1,553 | 0,011 | 0,4 |
| 4C | 1360,984 | 20 | 0,06 | 1315,385 | 876,358 | 1,553 | 0,011 | 0,4 |

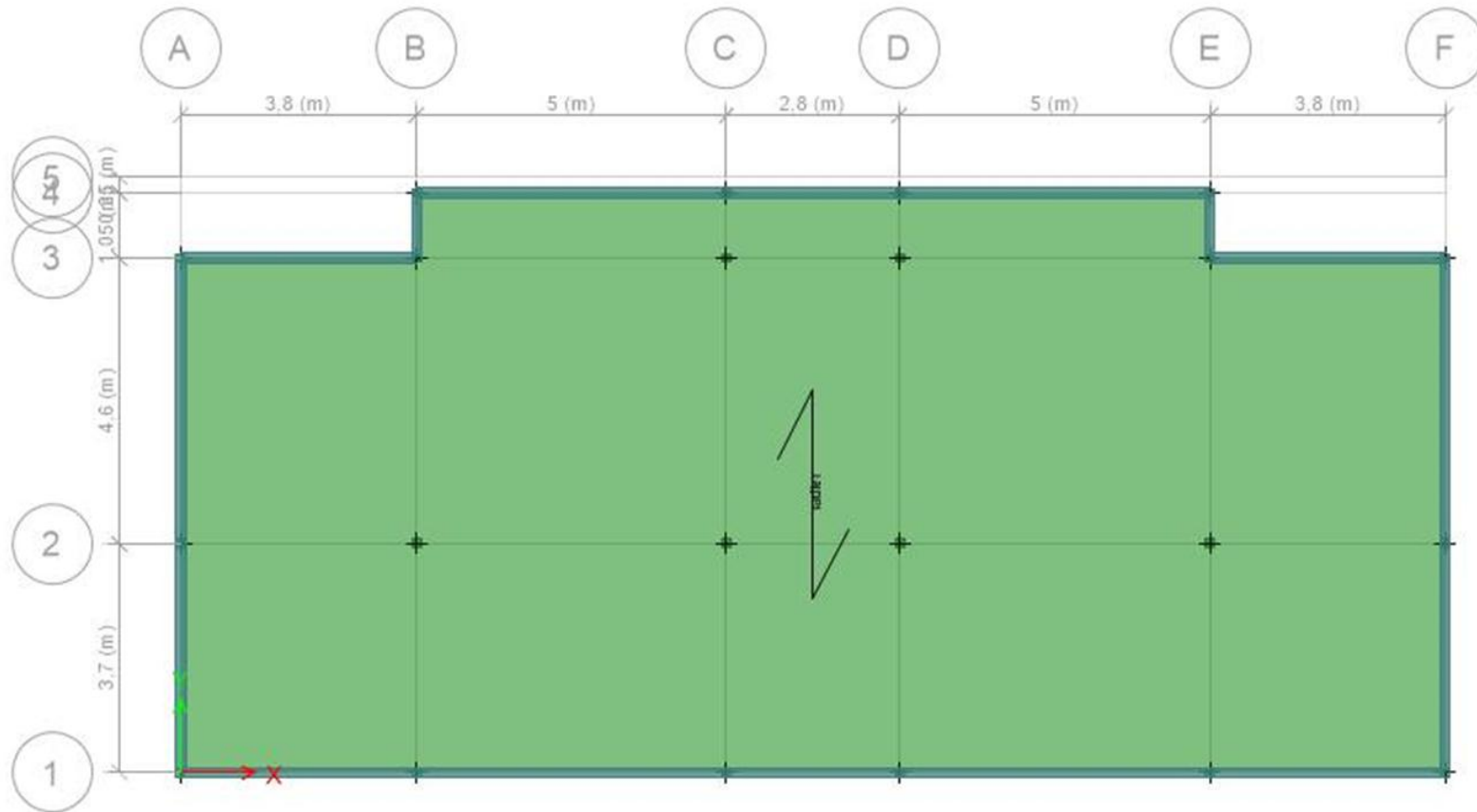
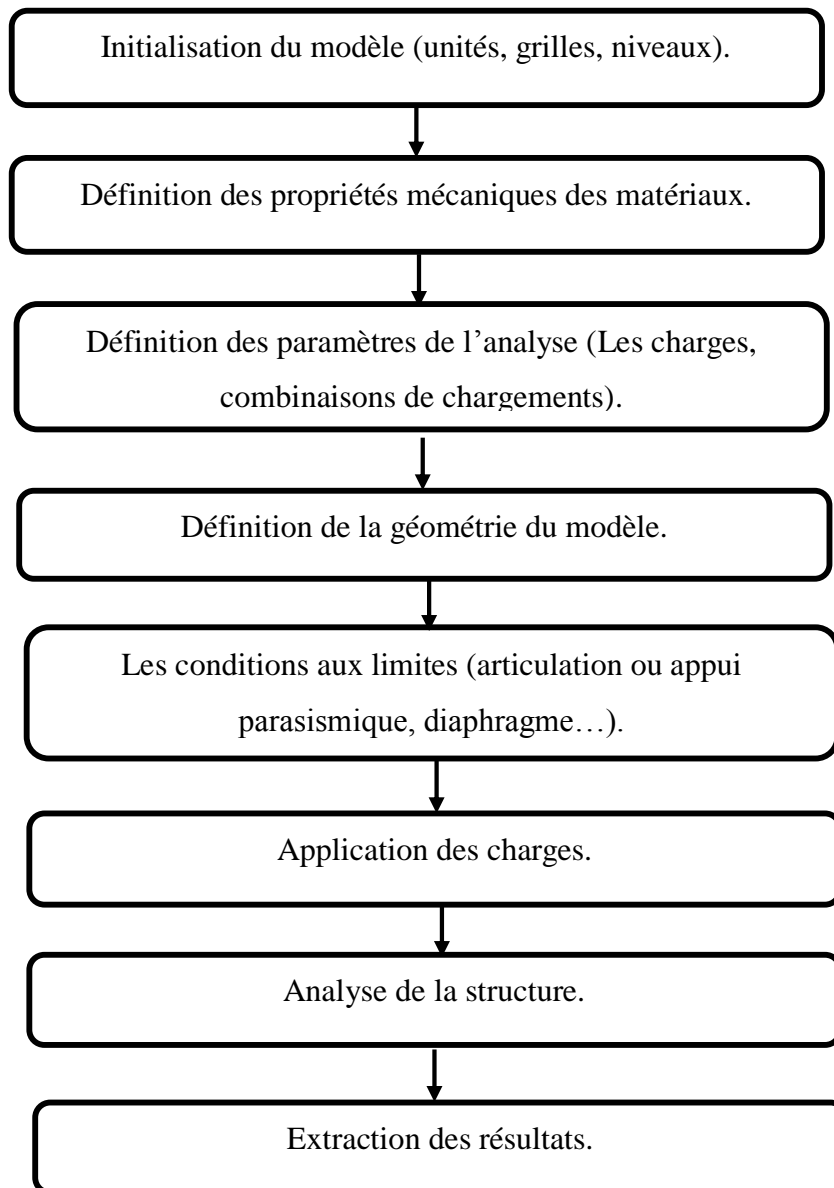


Figure IV.3 : plan de détail pour l'emplacement des appuis.

IV.5 Modélisation avec le logiciel ETABS

L'organigramme suivant résume la démarche de modélisation de la structure avec ETABS. Les détails de cette modélisation sont présentés dans l'ANNEX B.



Les différentes illustrations de la structure à base fixe et isolée modélisée sont représentées dans les figures suivantes :

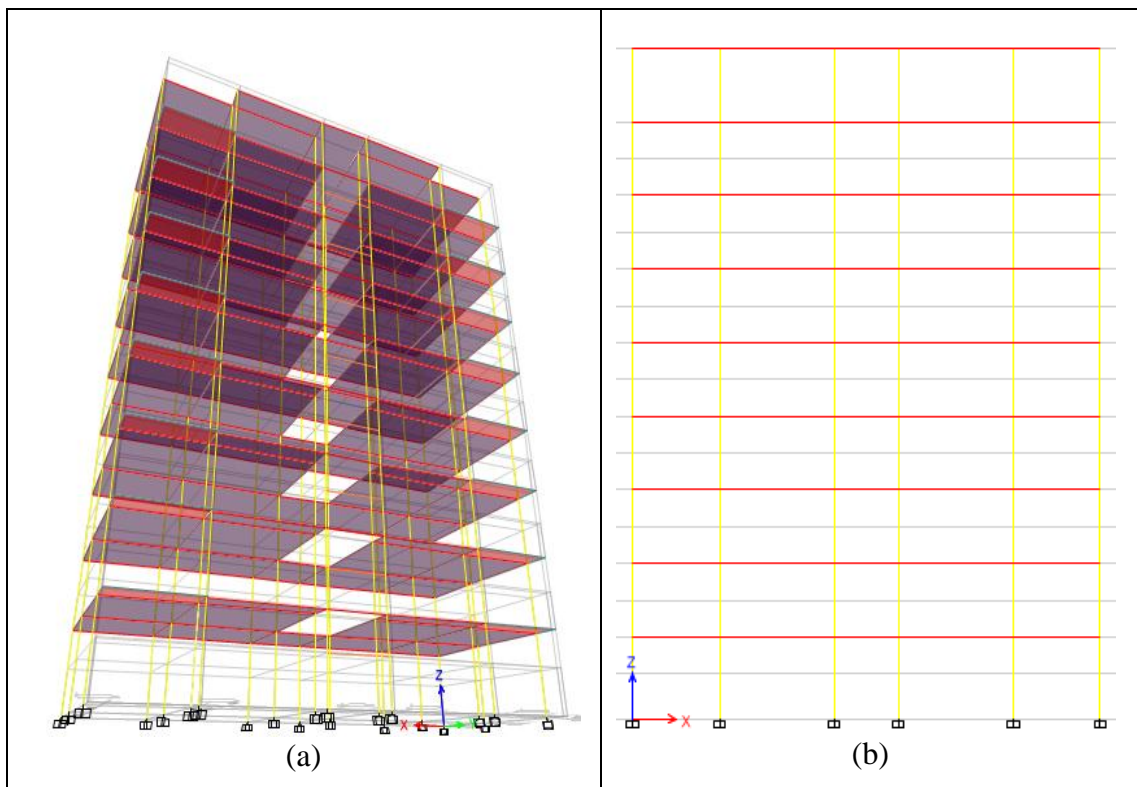


Figure IV. 4 : Modèle de la structure fixe proposée à l'étude.

(a) : Modèle de la structure en 3 D. (b) : Modèle de la structure en plan vertical.

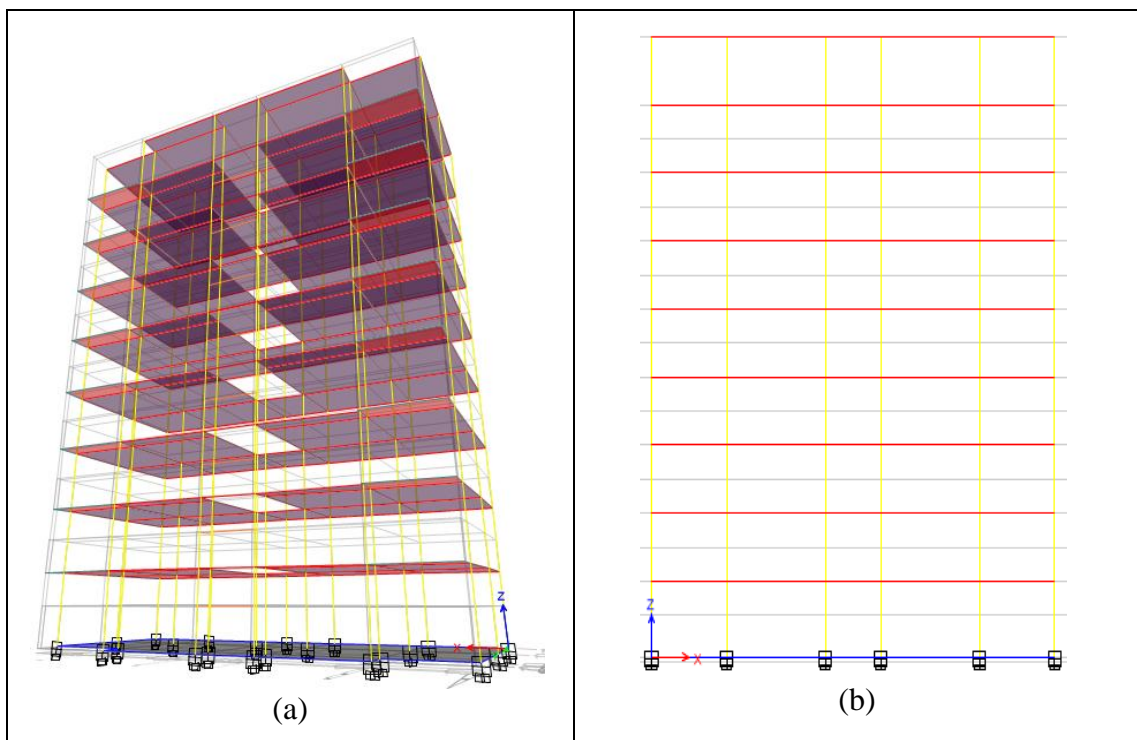


Figure IV. 5 : Modèle de la structure isolée par l'appui HDRB proposée à l'étude.

(a) : Modèle de la structure en 3 D. (b) : Modèle de la structure sur le plan vertical.

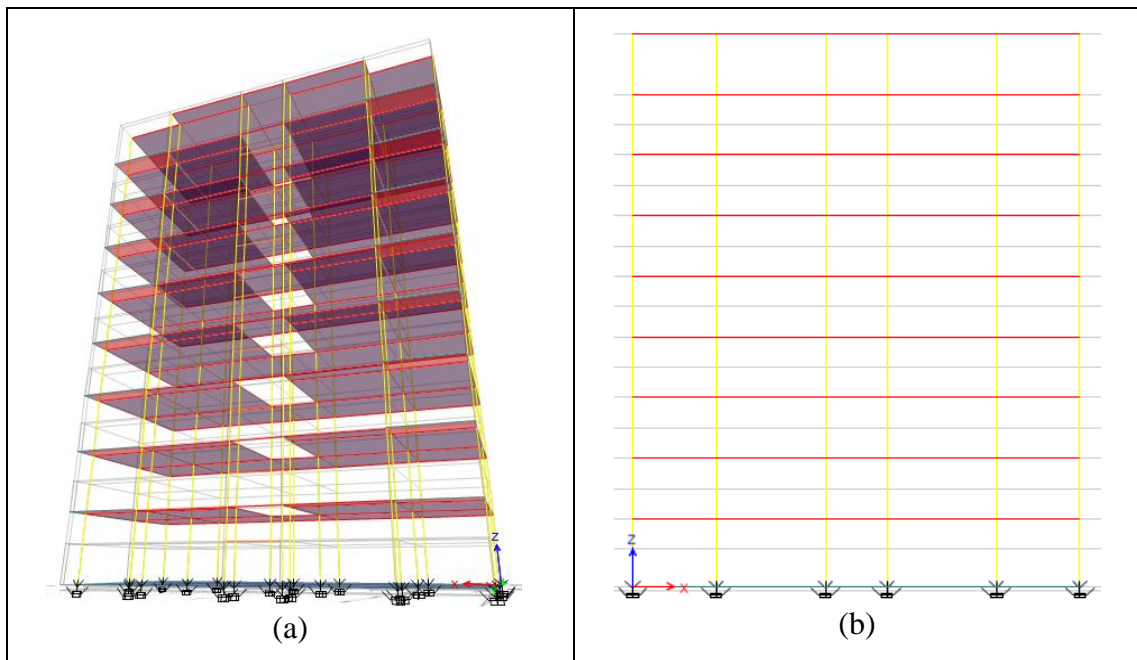


Figure IV. 6 : Modèle de la structure isolée par l'appui FPS proposée à l'étude.
(a) : Modèle de la structure en 3 D. (b) : Modèle de la structure sur le plan vertical.

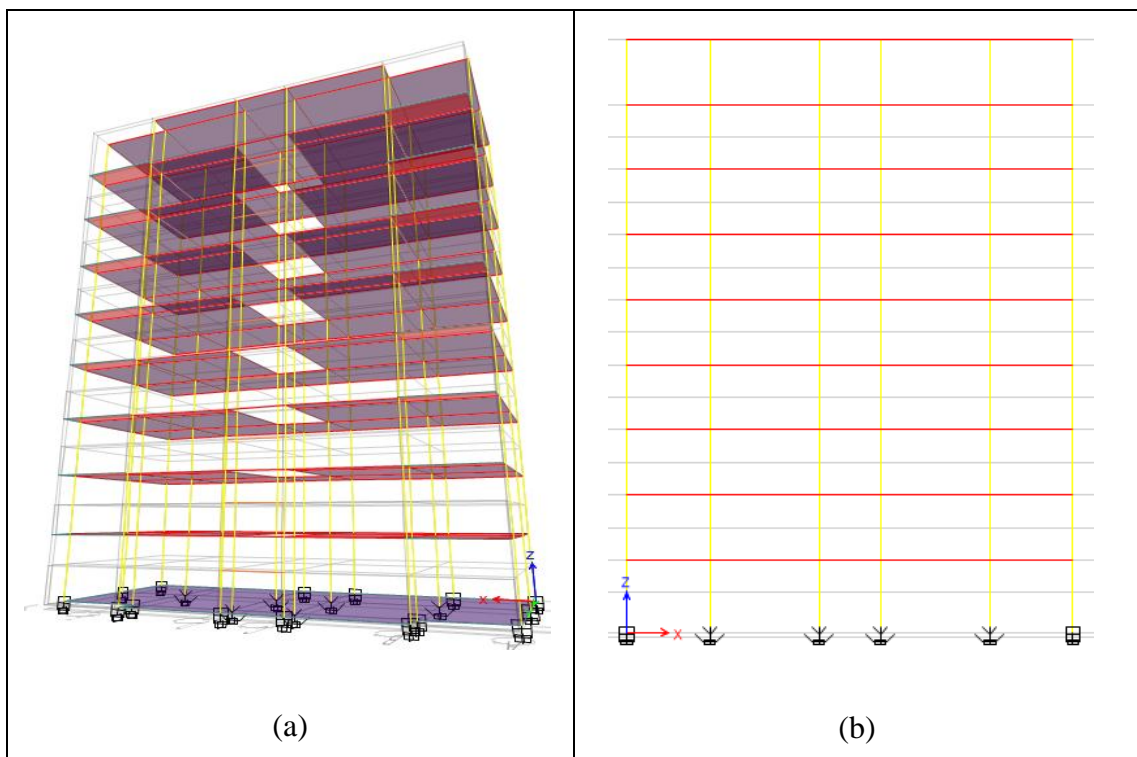


Figure IV. 7 : Modèle de la structure isolée par un couplage de deux appuis HDRB et FPS proposée à l'étude.
(a) : Modèle de la structure en 3 D. (b) : Modèle de la structure sur le plan vertical.

IV.6 Résultats

IV.6.1 Les périodes, les pulsations et les facteurs de contribution modale

Les résultats illustrés ci-dessous dans le tableau IV.3 et la figure IV.8 présentent la comparaison entre les périodes les pulsations et les facteurs de contribution modale.

Tableau IV. 3 : Comparaison entre les périodes, les pulsations et les facteurs de contribution pour les quatre modèles.

| Structure à base fixe | | | | | | Structure à base isolée | | | | | | | | |
|-----------------------|------------|-----------------------|------------|------------|------------|-------------------------|-----------------------|------------|------------|------------|------------|-----------------------|------------|------------|
| | | | | | | HDRB | | | | | FPS | | | |
| Mode | T (sec) | ω (Rad/sec) | $\sum U_x$ | $\sum U_y$ | $\sum R_z$ | T (sec) | ω (Rad/sec) | $\sum U_x$ | $\sum U_y$ | $\sum R_z$ | T (sec) | ω (Rad/sec) | $\sum U_x$ | $\sum U_y$ |
| 1 | 1,243 | 5,052 | 0 | 77,44 | 0 | 2,734 | 2,297 | 0 | 98,47 | 0 | 2,487 | 2,525 | 0 | 97,72 |
| 2 | 1,095 | 5,735 | 4,49 | 77,44 | 74,89 | 2,696 | 2,329 | 6,69 | 98,47 | 92,28 | 2,432 | 2,582 | 7,05 | 97,72 |
| 3 | 1,008 | 6,230 | 79,78 | 77,44 | 79,47 | 2,626 | 2,391 | 99,24 | 98,47 | 98,98 | 2,365 | 2,655 | 98,83 | 97,72 |
| 4 | 0,416 | 15,096 | 79,78 | 90,16 | 79,47 | 0,692 | 9,075 | 99,24 | 99,81 | 98,98 | 0,677 | 9,276 | 98,83 | 99,69 |
| 5 | 0,380 | 16,526 | 80,80 | 90,16 | 89,98 | 0,626 | 10,031 | 99,30 | 99,81 | 99,83 | 0,614 | 10,228 | 98,91 | 99,69 |
| 6 | 0,354 | 17,740 | 91,29 | 90,16 | 90,82 | 0,564 | 11,134 | 99,89 | 99,81 | 99,87 | 0,555 | 11,315 | 99,81 | 99,69 |
| 7 | 0,233 | 26,952 | 91,29 | 94,94 | 90,82 | 0,361 | 17,396 | 99,89 | 99,98 | 99,87 | 0,356 | 17,640 | 99,81 | 99,97 |
| 8 | 0,221 | 28,416 | 91,59 | 94,94 | 94,97 | 0,341 | 18,416 | 99,90 | 99,98 | 99,98 | 0,338 | 18,579 | 99,83 | 99,97 |
| 9 | 0,209 | 30,047 | 95,58 | 94,94 | 95,23 | 0,312 | 20,128 | 99,99 | 99,98 | 99,99 | 0,309 | 20,323 | 99,98 | 99,97 |
| 10 | 0,159 | 39,496 | 95,58 | 96,88 | 95,23 | 0,245 | 25,632 | 99,99 | 100 | 99,99 | 0,244 | 25,737 | 99,98 | 100 |
| 11 | 0,152 | 41,315 | 95,73 | 96,88 | 96,82 | 0,23 | 27,304 | 99,99 | 100 | 100 | 0,230 | 27,304 | 99,98 | 100 |
| 12 | 0,146 | 43,013 | 97,20 | 96,88 | 96,99 | 0,219 | 28,675 | 100 | 100 | 100 | 0,218 | 28,807 | 100 | 100 |

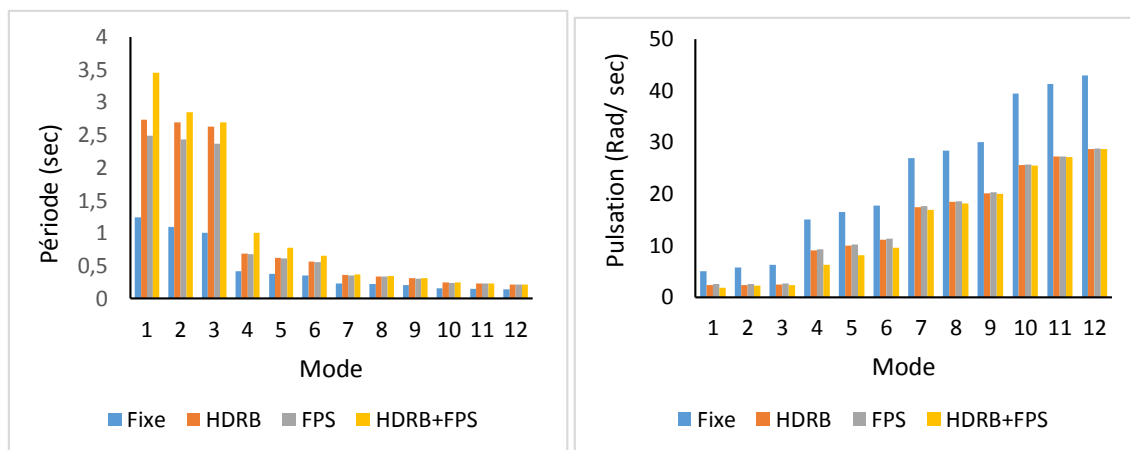


Figure IV. 8 : Comparaison des périodes et des pulsations pour les quatre modèles.

D'après le tableau IV.3 et l'histogramme de la figure IV.8 présentés ci-dessus, nous constatons les remarques suivantes :

- Les périodes sont augmentées et les pulsations sont réduites pour les modes de la structure isolée par rapport à celle de base encastree. En termes de pourcentage la période fondamentale montre une augmentation de 45%, 50% et 35% et une diminution de 45%, 50%, 35% pour la pulsation respectivement aux HDRB, FPS et (HDRB + FPS) par rapport à la base fixe.
- Le système de l'isolation ramène la période fondamentale de la structure à une valeur plus grande par rapport à celle obtenue pour la structure à base fixe. Ceci montre la souplesse de la structure due au rallongement de la période qui est obtenue par l'introduction d'un isolateur entre la fondation et la superstructure. En effet, ce décalage de la période est la raison primaire de l'efficacité de système d'isolation.
- Pour les quatre modèles, le mode fondamental a un facteur de participation modal dépassant 91 %, 99 %, 98,83% et 98,66% respectivement. Ce qui nous permet de dire que la réponse de la structure à base encastree est régie jusqu'au sixième mode par contre les autres modèles sont régies par le premier mode. Cela est significatif dans le cadre de l'analyse dynamique des structures car la contribution des modes supérieurs est complètement négligeable. Ce qui n'a pas été vérifié dans le cas de la structure encastree.

IV.6.2 Déplacement

IV.6.2.1 Déplacement maximal des niveaux

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

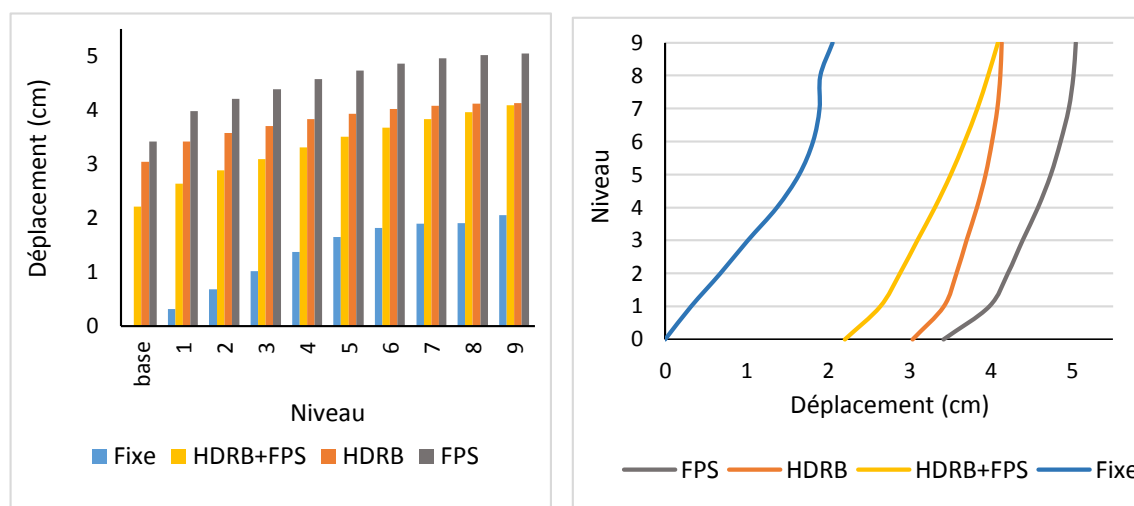


Figure IV. 9 : Comparaison des déplacements maximaux de différents niveaux pour les quatre modèles dans la direction X.

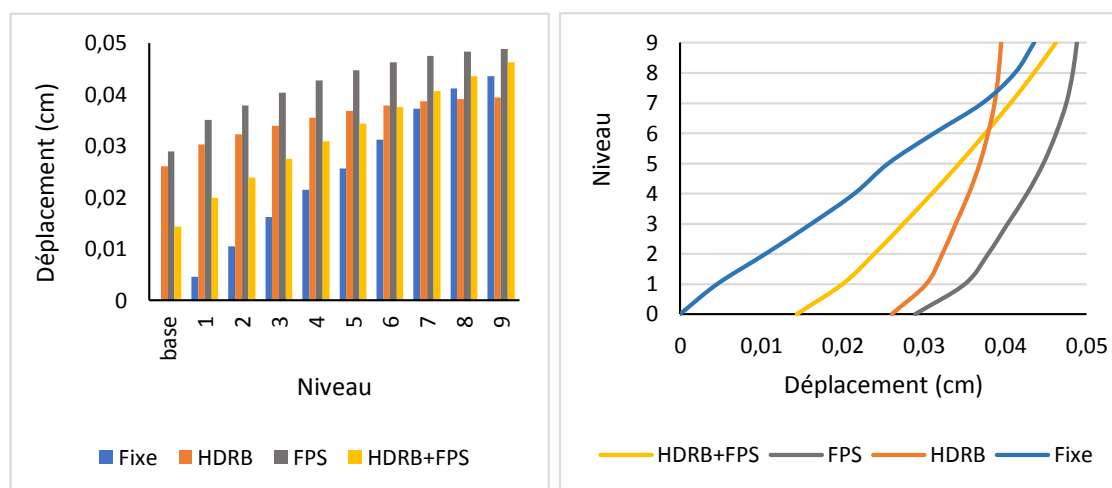


Figure IV. 10 : Comparaison des déplacements maximaux de différents niveaux pour les quatre modèles dans la direction Y.

D'après les figures ci-dessus on remarque que le déplacement maximal dans la direction X est égal à 2,055 cm, 4,085 cm, 4,1343 cm et 5,045 cm mais le déplacement maximal dans la direction Y est égal à 4,354 cm, 4,622 cm, 3,946 et 4,883 cm, pour les quatre modèles respectivement.

IV.6.2.2 Déplacement du dernier niveau

La figure IV.11 montre une comparaison entre le déplacement du dernier étage pour les quatre modèles dans la direction X :

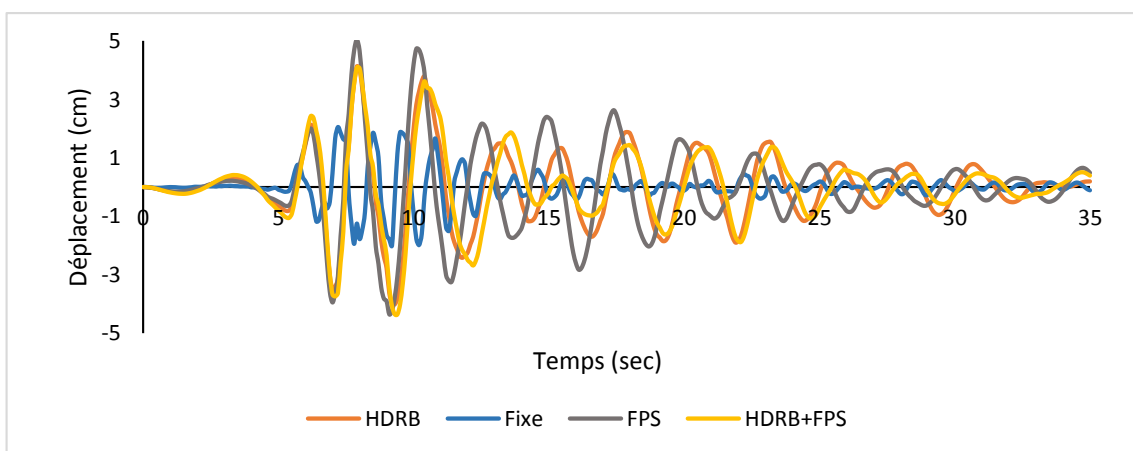


Figure IV.11 : Comparaison des déplacements du dernier étage pour les quatre modèles dans la direction X.

D'après la figure ci-dessus, nous remarquons que dans la direction X, les deux systèmes HDRB et (HDRB +FPS) augmentent le déplacement de 50% par rapport à la structure fixe et le troisième système FPS augmente le déplacement de 60 %.

La figure IV.12 montre une comparaison entre le déplacement du dernier étage pour les quatre modèles dans la direction Y :

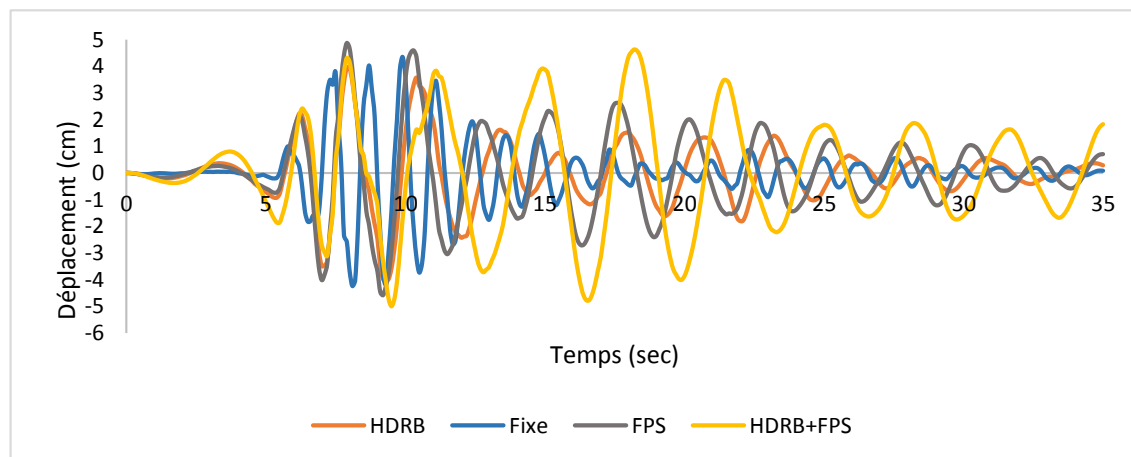


Figure IV.12 : Comparaison des déplacements du dernier étage pour les quatre modèles dans la direction Y.

La figure IV.12 montre que pour la structure à base isolée par le couplage de deux isolateurs de types (HDRB +FPS) l'augmentation de déplacement dans la direction Y est de 6% par rapport à la structure fixe et 10,83 % pour le système FPS. Par contre une réduction de déplacement de 10% pour le système de HDRB par rapport à la structure fixe.

D'après les graphes nous concluons que :

- Les déplacements inter-étages dans le cas de structure isolée sont négligeables vis-à-vis de la structure fixe. Ce qui veut dire que la structure isolée vibre comme un bloc rigide.
- Les déplacements de la structure isolée dans les deux directions X et Y sont plus appréciables (importants) relativement aux déplacements de la structure encastree. La relation est proportionnelle, la période augmente donc le déplacement augmente. Ceci est amené par les grands déplacements de la base isolée.
- Pour les structures isolées nous avons une relation inversement proportionnelle entre les périodes et les déplacements, les périodes augmentent donc les déplacements diminuent.

IV.6.3 Accélération

IV.6.3.1 Accélération maximale des niveaux

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

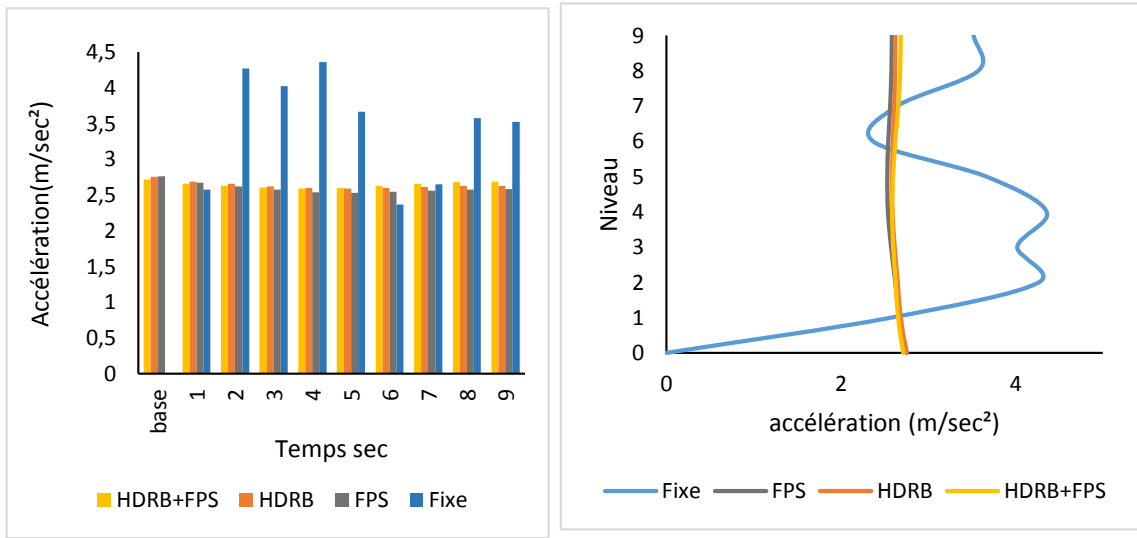


Figure IV. 13 : Comparaison des accélérations maximales de différents niveaux pour les quatre modèles dans la direction X.

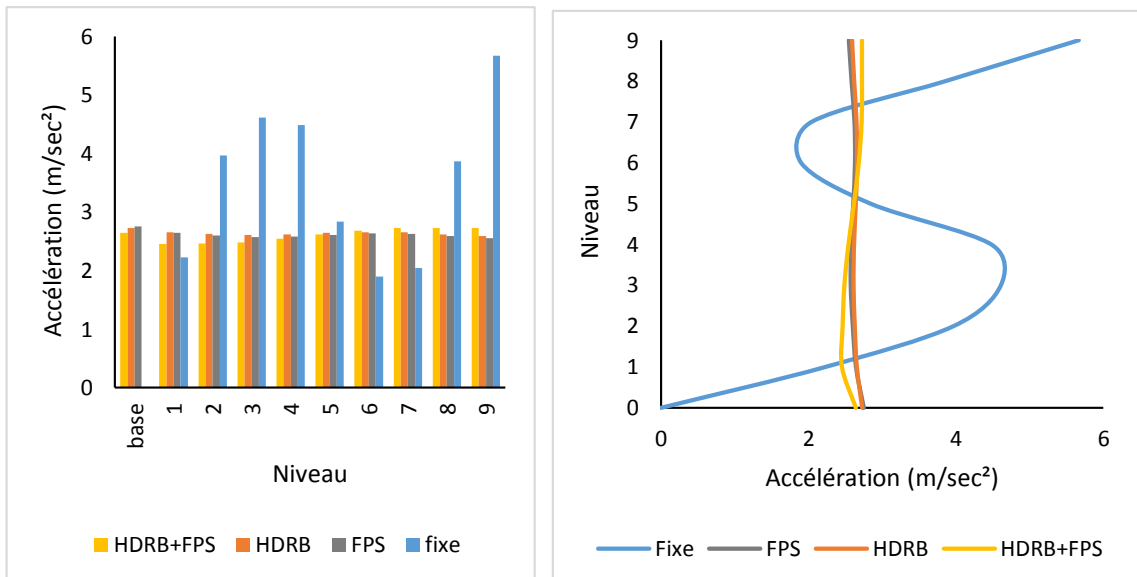


Figure IV. 14 : Comparaison des accélérations maximales de différents niveaux pour les quatre modèles dans la direction Y.

Les figures ci-dessus (Figure IV.13 et IV.14) appellent les remarques suivantes :

- Pour la structure à base fixe, les accélérations sont variables du premier jusqu'au dernier niveau, la structure vibre d'un coté à un autre. Les accélérations maximales sont $4,359 \text{ m/sec}^2$ et $5,669 \text{ m/sec}^2$ respectivement aux deux directions X e Y.
- Pour les trois modèles isolés, les accélérations sont approximativement identiques sur toute la hauteur, les accélérations maximales dans la direction X sont égales à $2,713 \text{ m/sec}^2$, $2,753 \text{ m/sec}^2$ et $2,757 \text{ m/sec}^2$ mais les accélérations maximales dans la direction Y sont égales à $2,728 \text{ m/sec}^2$, $2,730 \text{ m/sec}^2$ et $2,752 \text{ m/sec}^2$ respectivement aux bases isolées par (HDRB+ FPS), HDRB et FPS.

IV.6.3.2 Accélération de dernier niveau

La figure IV. 15 montre une comparaison entre l'accélération du dernier étage pour les quatre modèles dans les deux directions X :

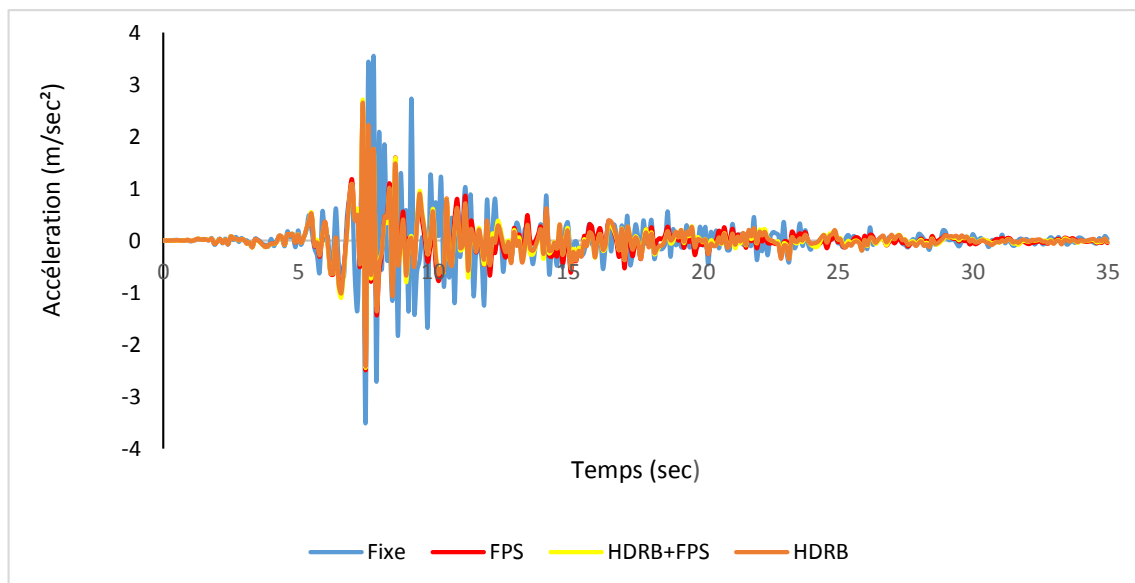


Figure IV. 15 : Comparaison des accélérations de dernier étage pour les quatre modèles dans la direction X.

La figure IV.15 montre que pour les structures à base isolée, l'accélération maximale dans la direction X enregistrés à 7,4 secondes qui valent 2,685 m/sec², 2,582 m/sec² et 2,626 m/sec² sont respectivement aux structures à base isolées par (HDRB+FPS), FPS, HDRB. Donc la réduction des accélérations par rapport à celle de la base fixe sont de l'ordre de 23,77% pour le couplage des isolateurs de type (HDRB+FPS), 26,71% pour les systèmes FPS et 25,64% pour les systèmes HDRB. La figure IV. 16 montre une comparaison entre l'accélération du dernier étage pour les quatre modèles dans les deux directions Y :

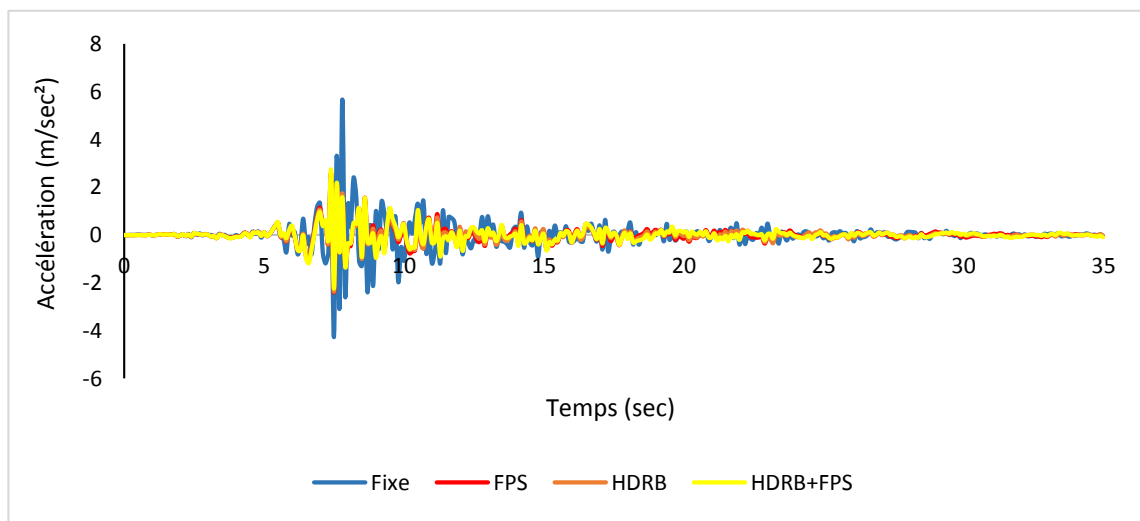


Figure IV. 16 : Comparaison des accélérations de dernier étage pour les quatre modèles dans la direction Y.

La figure IV.16 montre que l'accélération maximale dans la direction Y enregistrés à 7,4 secondes qui valent 2,728 m/sec², 2,551 m/sec² et 2,589 m/sec² sont respectivement aux structures isolées par (HDRB+FPS), FPS, HDRB. Donc la réduction des accélérations par rapport à celle de la base fixe sont de l'ordre de 51,878% pour le couplage des isolateurs de type (HDRB+FPS), 50% pour les systèmes FPS et 54,32% pour les systèmes HDRB.

D'après les graphes nous concluons que les accélérations de la structure isolée dans les deux directions X et Y sont moins importantes que les accélérations de la structure encastree. Ceci est dû au découplage entre le mouvement du sol et celui de la structure.

IV.6.4 Les efforts tranchants

IV.6.4.1 Les efforts tranchants pour différents niveaux

La figure IV.17 montre une comparaison entre les efforts tranchants de différents niveaux pour les quatre modèles dans les deux directions X et Y :

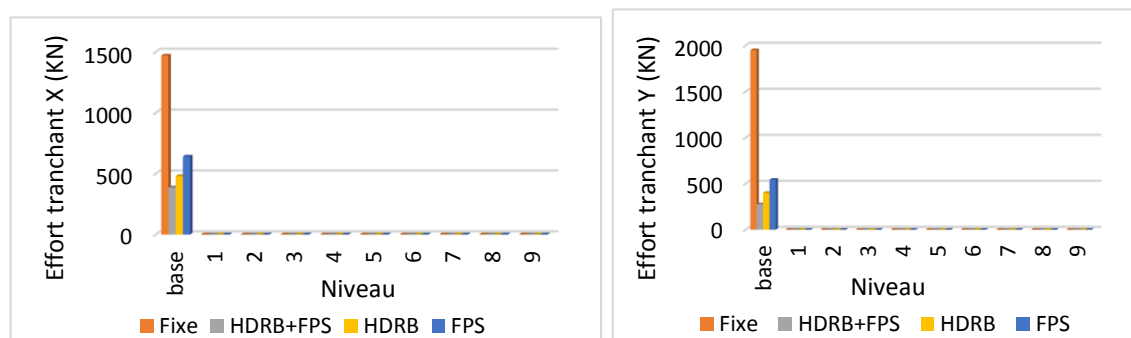


Figure IV. 17: Comparaison des efforts tranchants de différents niveaux pour les quatre modèles dans les deux directions X et Y.

D'après la figure ci-dessus, on remarque que les efforts tranchants se concentrent à la base par contre ils sont nuls pour les autres niveaux.

IV.6.4.2 Les efforts tranchants à la base

Les figures IV.18 et IV.19 montrent une comparaison entre les efforts tranchants à la base pour les quatre modèles dans les deux directions X :

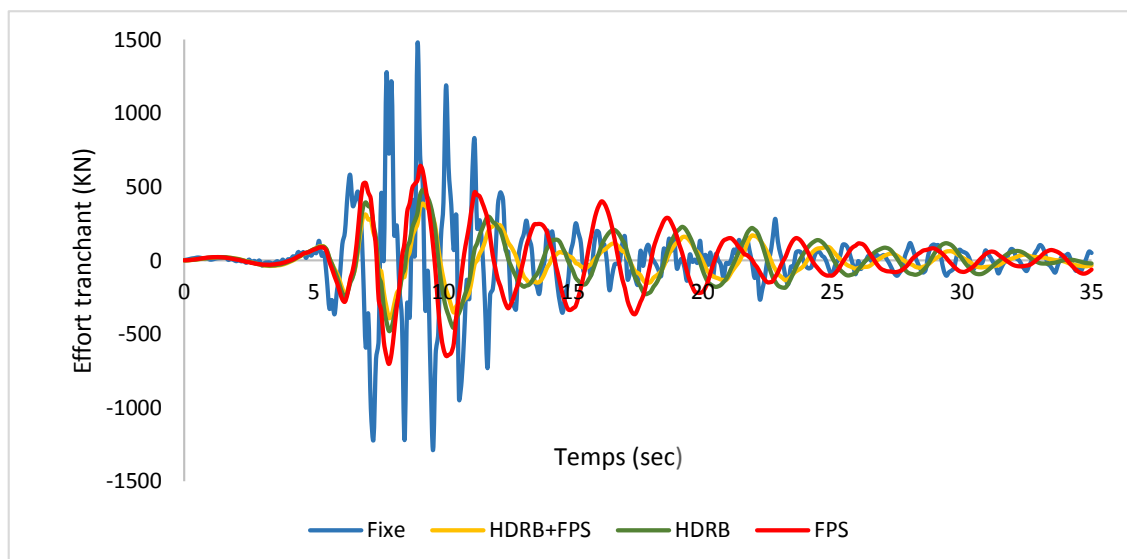


Figure IV. 18 : Comparaison des efforts tranchants à la base pour les quatre modèles dans la direction X.

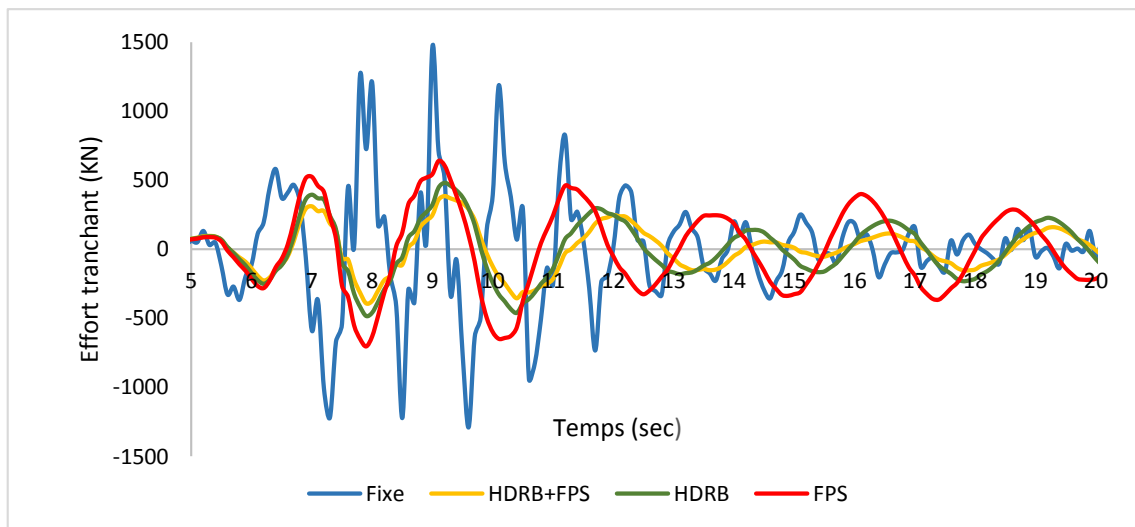


Figure IV. 19 : Comparaison des efforts tranchants à la base dans l'intervalle [5-20] sec pour les quatre modèles dans la direction X.

Les figures ci-dessus montrent une réduction de l'effort tranchant des structures isolées par rapport à celle d'une base fixe. La réduction est de l'ordre de 73,725%, 67,30% et 56,41% respectivement à des systèmes ; (HDRB+FPS), HDRB et FPS.

La figure IV.20 montre une comparaison entre les efforts tranchants à la base pour les quatre modèles dans direction Y :

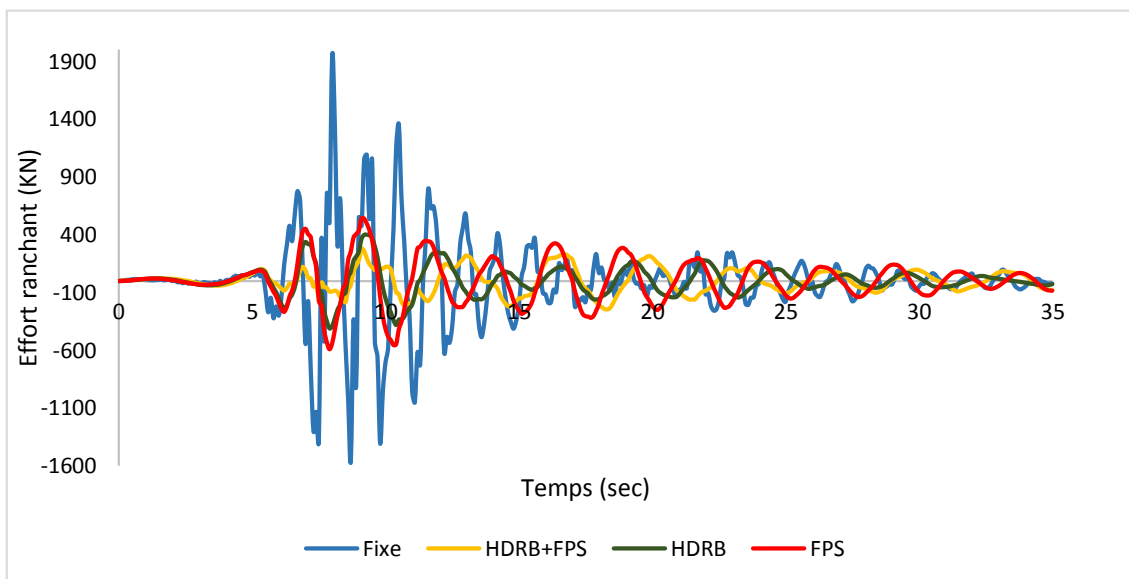


Figure IV. 20 : Comparaison des efforts tranchants à la base pour les quatre modèles dans la direction Y.

La figure IV.20 montre une réduction de l'effort tranchant des structures isolées par rapport à celle d'une base encastree. Les réductions sont estimées à 85,86 %, 79,5 % et 72,154% respectivement à des systèmes ; (HDRB+FPS), HDRB et FPS.

Les figures ci-dessus illustrent la variation des efforts tranchants à la base dans les deux directions X et Y pour les quatre modèles, et nous trouvons que les efforts tranchants à la base de la structure à base isolée dans les deux directions X et Y sont réduits par rapport à celle à base fixe, donc le système d'isolation réduit l'effort tranchant à la base. Ceci est dû à la réduction des accélérations transmises à la superstructure.

L'analyse montre l'efficacité du système de couplage (HDRB + FPS) pour la réduction des efforts tranchants à la base.

IV.7 Conclusion

Après l'analyse comparative entre les deux systèmes, isolé et à base fixe, on récapitule les résultats suivants :

- Les périodes du système isolé sont prolongées par rapport aux celles du système à base fixe.
- Les déplacements de la structure isolée sont plus considérables qu'aux déplacements de la structure à base fixe.
- Les déplacements inter-étages de la structure isolée sont quasi nuls. Cela signifie que la structure vibre presque comme un corps rigide.
- Les accélérations de la structure isolée sont moins importantes que celles de la structure à base fixe.
- Les efforts tranchants sont réduits par ce système d'isolation.
- L'efficacité du système de couplage (HDRB+FPS) par rapport aux autres systèmes de l'isolation.

CONCLUSION GENERALE

Pour affronter les actions sismiques et renforcer les structures, il est nécessaire d'adapter des conceptions parasismiques afin de minimiser les dégâts causés par les séismes. Pour cela, le plus convenable est d'ajouter un système de protection sismique. L'isolation à la base est un des concepts les plus applicables dans les ouvrages sujets à l'excitation sismique dans le but de minimiser les effets des excitations dynamiques par la réduction des déplacements relatifs, des accélérations et des efforts tranchants à la base.

Dans ce présent travail, on a étudié l'effet des isolateurs de base sur la réponse dynamique d'un bâtiment. Après avoir introduit les données nécessaires concernant les systèmes d'isolation à la base, (les types d'appuis parasismique, les amortisseurs les critères de choix entre eux).Egalement, le principe de dimensionnement et la méthodologie de calcul des appuis, notamment, les HDRB et FPS selon le code UBC97, ont été détaillé.

La structure choisie comme cas d'étude, est un ; bâtiment en béton armé à huit niveaux. Elle, a été dimensionnée selon les codes Algériens (D.T.R, B.A.E.L91 et RPA99).

La phase de modélisation, par le logiciel ETABS 2015, a été effectuée en supposant deux modèles ; (i) celui à base fixe qui sert pour représenter les structures non protégées, et (ii) à base isolée par deux types d'appuis (FPS et HDRB) en plus du modèle avec un couplage entre les deux.

Les résultats selon cette étude sont les suivants :

- Les périodes du système isolé sont prolongées par rapport aux celle du système à base fixe.
- Les déplacements de la structure isolée sont plus considérables vis-à-vis aux déplacements des structures à base fixe.
- Les déplacements inter étage de la structure isolée sont négligeables, cela signifie que la structure vibre presque comme un corps rigide.
- Les accélérations de la structure isolée sont moins importantes que celle de la structure à base fixe.
- Les efforts tranchants sont réduits par ce système d'isolation.
- L'efficacité du système de couplage (HDRB+FPS) par rapport aux autres systèmes de l'isolation.

Ceci nous permet de conclure que le système d'isolation à la base capte les déformations et filtre les accélérations d'une manière que la structure se déplace comme corps rigide acquérant des accélérations, déplacements relativement faibles et des efforts tranchants minimes. Donc, comme réponse à la problématique établie, l'effet sismique sur la réponse dynamique d'un bâtiment est réduit en utilisant ces appareils d'appuis.

Comme perspectives, on aura bien souhaité étudier les réponses dynamique de la structure en prenant en compte les paramètres suivants :

- Varier le degré d'amortissement du système d'isolation ;
- Assembler les différents types d'amortisseurs aux différents types d'appuis ;
- Changer la répartition des appuis couplés avec différents types ;
- Etudier l'influence de la hauteur des structures isolées sur l'efficacité du système d'isolation.

Cette technique devrait être améliorée au futur dans le domaine du génie parasismique en Algérie pour que la jonction des règles des structures isolées au code RPA99 soit recommandée tout en gardant un certain degré de simplicité d'application.

En fin, la technique d'isolation parasismique est un choix perçue d'ouvrage pour la diminution des dangers des séismes ainsi pour l'accomplissement d'un exploit sismique distinguée pour les structures nouvelles.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] ZACEK M., *Conception parasismique des bâtiments*, Lyon, France, 2010.
- [2] International Conference of Building Officials.1997.Uniform Building Code.
- [3] MOUGIN J.P., *Béton Armé aux Etats Limites 91* modifié99, deuxième Edition Eyrolles 2000.
- [4] Règles Parasismiques Algériennes RPA99 version 2003, Ministère de l'habitat Centre national de recherche appliqué en génie parasismique.
- [5] Charges Permanentes et Charges d'Exploitation.
- [6] GUIZANI L., Groupe Conseil Inc., *Isolation sismique et technologies parasismiques pour les ponts au Québec : Mise au point*.1997.
- [7] BONDONET G., *Élaboration d'un isolateur à la base original pour les ponts et viaducs au Canada*, Thèse de Doctorat, 1997, Montréal, Québec, 421 p.
- [8] INFO EXPOPROTECTION. *Protection parasismique/Place à l'amortissement* [En ligne] (page consultée le 07/12/2012) Disponible sur :
http://www.info.expoprotection.com/site/FR/Protection_parasismique_Place_a_la_mortissement,C1294,I1687,Zoomflaea423db172c96fda3a5635316b0e3,FromPage-N.htm.
- [9] YOZO S., OSAMU H, et TSUTOMU K., *Structural design of base isolation system for tall building in Japon*, 2004.
- [10] POLYMEDIA. La Revue POLYTECHNIQUE [En ligne] (page consultée le 29/01/2014) Disponible sur : <http://www.polymedia.ch/RpArticles/view/344>
- [11] DEPOSITPHOTOS. Image [En ligne]. Disponible sur :
<http://fr.depositphotos.com/25505429/stock-photo-pasadena-city-hall-dome.html>
- [12] CHU de Martinique, *Construction de nouveau plateau technique de l'hôpital* PIERE ZOBDA QUITMAN, 2013, France, 6 p.
- [13] CHU de Martinique, *Un nouveau plateau technique pour le CHU de Martinique*, 2013, France, 60-65 p
- [14] ConTaCt-Chlef , Contrôle Technique de la Construction, 2009, 4 p.
- [15] MALKI, L., *Procédés technologiques pour le bâtiment*, El Watan, 20 Novembre 2001.

- [16] CATALIN, S. T., *Commande de systèmes d'isolation antisismique mixte*, Thèse de Doctorat, 2013, Paris, France, 197 p.
- [17] SCRIBD. Les séismes [en ligne] Disponible sur :
<https://fr.scribd.com/doc/288762214/Les-seismes>
- [18] GUIZANI L., Les Industries Z-Tech Inc. *L'isolation sismique des ponts au Canada*, 1997.
- [19] MAGEBA *Dispositif de protection parasismique mageba pour la préservation des structures*, 2015, Bülach, Switzerland, 4 p.
- [20] DOUCEHYDRO. *Isolation à la base* [En ligne] Disponible sur :
<http://www.doucehydro.com/fr/catalogue-doucehydro-2013/Jarret/files/assets/basic-html/page27.html>
- [21] DAVIDOVICI, V. *Appuis parasismique. Sécurités des bâtiments-Constructions parasismiques* [En ligne] (page consultée le 03/03/2003) Disponible sur :
<http://www.inforisk.cg972.fr/spip.php?article2>
- [22] FRANÇOIS, J., FRAGNET, M., LACOSTE, G et al. *Appareils d'appui en élastomère fretté*, Edition ed. : Sétra, 20017. ISBN 978-2-11-095820-4.
- [23] Charly LAPORTE. *Systèmes parasismiques pour structures*. 25 p
- [24] GP. *Tpe sur le génie parasismique* [En ligne] Disponible sur :
http://gp.tpe.free.fr/index_fichiers/Page520.htm
- [25] CARRON, L. *Les systèmes parasismiques* [En ligne] (page consultée le 13/03/2015) Disponible sur : <https://prezi.com/-dgoweefektd/les-systemes-parassismiques/>
- [26] QUANG, T. N., *Etude du comportement du néoprène et d'appareils d'appui parasismique en néoprène frette*, Thèse de Doctorat, 2013, Strasbourg, France, 138 p.
- [27] KHAC, H. P., *Vulnérabilité et spectres de plancher des structures sismiquement isolées*, Thèse de Doctorat, 2010, 134 p.
- [28] GOODCO Z-TECH, *Appuis en élastomère*, 2010, Montréal, Canada, 20 p.
- [29] AFNOR. *Appareils d'appuis structuraux. Partie3 : Appareils d'appui en élastomère. NF EN1337-3* [en ligne]. (page consultée le 23/03/2008). ISBN 0335-3931. 86 p. Disponible sur : <https://fr.scribd.com/doc/214004745/NF-EN-1337-3>
- [30] GOODCO Z-TECH, *Appuis de type pot*, 2010, Montréal, Canada, 20 p.
- [31] SEISMES. *Séismes et Préventions* [En ligne] Disponible sur :
<http://seismes-projet-tpe.e-monsite.com/>

- [32] BATH, A., CARPARELLI, H. et CAVALLO, D. *Les bâtiments parasismiques*
[En ligne] Disponible sur : <http://tpebatimentsparasismiques.weebly.com/les-fondation.html>
- [33] BEN MEKKI, O., *Amortissement semi-actif des structures flexibles*, Thèse de Doctorat, 2006, Roma, Italie, 214 p.
- [34] PINKAEW, T., LUKKUNAPRASIT, P. et CHATUPOTE, P. *Seismic effectiveness of Tuned Mass Dampers for damage reduction of structures*, 2015.
- [35] MEGHOUCHE, D., *Effet des conditions de contact sur la réponse dynamique des structures*, Mémoire de Magister, Boumèrdes, Algérie, 111 p.
- [36] BENCHARIF, R. et TERCHI, B., *Contribution des appuis parasismiques dans la réduction des effets sismiques sur les bâtiments*, Projet de fin d'études, 2008, 149p.
- [37] OUNIS, H., OUNIS, A. et KAAB, M. *Effects of the damping on the seismic response of a base isolated building. Effect of damping on isolated building*, 2011, 20(2), ISSN : 2249-0566.
- [38] DJELLOULI, L., *Modélisation de système d'isolation parasismique pour le contrôle de la réponse dynamique des structures*, Mémoire de Magister, 2012, Biskra, Algérie, 169 p.
- [39] BENAYAD, K., *Comportement dynamique des ouvrages sur isolateurs de base*, Mémoire de Magister, 2013, Tlemcen, Algérie, 100 p.
- [40] NAIT ZERRAD, I. et BENMOUNA, N., *Analyse de l'effet des systèmes de dissipation passive dans le contreventement des bâtiments*, Mémoire de Master, 2014, Tlemcen, Algérie, 91 p.
- [41] MAHI, M. H. et BOUALI, A., *Application d'un système (TMD) pour l'amélioration de la réponse sismique des structures bâtiment*, Mémoire de Master, 2014, Tlemcen, Algérie, 98 p.
- [42] WIELAND, M., *Seismic Aspect of Dams : vingt et unième congrès des grands barrages*, Juin. 2003, Montréal, 120 p.
- [43] SIQUEIRA, G.H., *Evaluation de la vulnérabilité sismique des ponts routiers au Québec réhabilités avec l'utilisation d'isolateurs en caoutchouc naturel*, Thèse de Doctorat, 2013, Sherbrooke, Canada, 258 p.
- [44] Federal Emergency Management Agency (FEMA). *Seismically Isolated Structures*, FEAM P-751

A.1 Dimensionnement de deux types d'appuis parasismiques HDRB et FPS

Application

- Dimensionnement de l'appui en élastomère à fort amortissement HDRB :

Les données sont :

| | | | | |
|-------------------------|-------------------------|---------|-----------|---|
| $T_D = 2,5 \text{ sec}$ | $T_M = 3,0 \text{ sec}$ | $R = 2$ | $Z = 0,3$ | $\{\beta = 15\% \Rightarrow \begin{matrix} B_D = 1,35 \\ B_M = 1,35 \end{matrix}$ |
|-------------------------|-------------------------|---------|-----------|---|

$$\begin{cases} M \geq 7 \\ SR \geq 5 \end{cases} \Rightarrow \text{Type de faille sismique A}$$

La faille sismique est 11 Km. Le type de profil de sol est très dense.

- La détermination des coefficients N_V , M_M , C_{VD} et C_{VM} :

A partir de l'interpolation, on trouve un facteur de proximité de la faille active N_V qui égal à 1,16.

Pour $Z N_V = 0,348$ on a $M_M = 1,38$

D'après le Tableau II.1 et Tableau II.5, on trouve : $C_{VD} = 0,45$ et $C_{VM} = 0,672$

- Le calcul des valeurs minimales des rigidités effectives $K_{D,\min}$ et $K_{M,\min}$:

$$K_{D,\min} = \frac{4\pi^2 N}{T_D^2 g} \rightarrow K_{D,\min} = \frac{4\pi^2 \times 1097,485}{2,5^2 \times 9,81} = 706,66 \text{ KN/m}$$

$$K_{M,\min} = \frac{4\pi^2 N}{T_M^2 g} \rightarrow K_{M,\min} = \frac{4\pi^2 \times 1097,485}{3^2 \times 9,81} = 490,7 \text{ KN/m}$$

Avec

N est la charge verticale reprise par l'appui qui est reprise sous le poteau 1A.

- Le calcul de déplacement :

- Le déplacement de conception D_D :

$$D_D = \frac{\left(\frac{g}{4\pi^2}\right) C_{VD} T_D}{B_D} \rightarrow D_D = \frac{\left(\frac{9,81}{4\pi^2}\right) \times 0,45 \times 2,5}{1,35} = 0,207 \text{ m}$$

- Le déplacement maximal D_M :

$$D_M = \frac{\left(\frac{g}{4\pi^2}\right) C_{VM} T_M}{B_M} \rightarrow D_M = \frac{\left(\frac{9,81}{4\pi^2}\right) \times 0,672 \times 3}{1,35} = 0,309 \text{ m}$$

- Le déplacement total de conception $D_{T,D}$ et maximum $D_{T,M}$:

$$D_{TD} = D_D \left[1 + y \frac{12 e}{b^2 + d^2} \right] \rightarrow D_{TD} = 0,207 \left[1 + \frac{9,6}{2} \left(\frac{12 \times 1,045}{20,4^2 + 9,6^2} \right) \right] = 0,2315 \text{ m}$$

$$D_{TD} = D_M \left[1 + y \frac{12 e}{b^2 + d^2} \right] \rightarrow D_{TD} = 0,309 \left[1 + \frac{9,6}{2} \left(\frac{12 \times 1,045}{20,4^2 + 9,6^2} \right) \right] = 0,3456 \text{ m}$$

Avec

e : est l'excentricité réelle entre le centre de la masse de la structure au-dessus du système d'isolation et le centre de la rigidité de ce dernier, plus 5 % d'excentricité accidentelle

$$e = 0,05 \times 20,4 = 1,045 \text{ m}$$

y : est la distance perpendiculaire entre l'élément d'appui d'angle considéré et le centre de la rigidité du système d'isolation selon la direction de calcul considérée.

b et d : sont les dimensions de la structure.

- L'épaisseur des couches de caoutchouc t_r :

$$t_r = \frac{D_D}{\gamma_{\max}} \rightarrow t_r = \frac{0,207}{1,5} = 0,140 \text{ m}$$

γ_{\max} : est la contrainte de cisaillement maximale.

- Le calcul de section de l'appui A :

$$K_H = \frac{G A}{t_r}$$

Avec

G : Module de cisaillement de l'élastomère.

Qualité du caoutchouc IRHD ± 2 : 50, E = 220 N/cm², G = 64 N/cm² et K = 0,73

$$A = \frac{K_H t_r}{G} \rightarrow A = \frac{706,66 \times 0,140}{640} = 0,1546 \text{ m}^2$$

On pose que la section de l'appui à déformation à fort amortisseurs est carrée.

$$\text{Donc le côté de la section : } a = \sqrt{A} \rightarrow a = \sqrt{0,1546} = 0,393 \text{ m}$$

On prend : a = 400 mm

- Calcul de l'énergie dissipée par cycle EDC :

$$EDC = 2\pi K_{\text{eff}} D_D^2 \beta \rightarrow EDC = 2 \pi 706,66 \times 0,207^2 \times 0,15 = 28,53 \text{ KN}$$

- La résistance caractéristique Q :

$$Q = \frac{EDC}{4D} \rightarrow Q = \frac{28,53}{4 \times 0,207} = 34,46 \text{ KN}$$

- Calcul de la rigidité post-élastique K_2 :

$$K_{\text{eff}} = K_2 + \frac{Q}{D}$$

$$K_2 = K_{\text{eff}} - \frac{Q}{D} \quad \rightarrow \quad K_2 = 706,66 - \frac{34,612}{0,207} = 539,452 \text{ KN/m}$$

- Calcul de la rigidité élastique K_1 :

On a le rapport entre K_1/K_2 varie entre 3 et 5 [26].

$$K_1 = 5K_2 \quad \rightarrow \quad K_1 = 5 \times 539,452 = 2697,26 \text{ KN/m}$$

- Calcul de la force limite élastique F_y :

$$F_y = K_1 D_y \text{ [26]} \quad \rightarrow \quad F_y = 2697,26 \times 0,016 = 43,265 \text{ KN}$$

D_y : Déplacement à la plastification donnée par la formule suivante :

$$D_y = \frac{Q}{K_1 - K_2} \text{ [26]}$$

- Calcul de la pulsation propre ω_H et la période T_H :

$$\omega_H = \sqrt{\frac{K_{HG}}{W}} \quad \rightarrow \quad \omega_H = \sqrt{\frac{706,66 \times 9,81}{1097,485}} = 2,513 \text{ rad/sec}$$

$$T_H = \frac{2\pi}{\omega_H} \quad \rightarrow \quad T_H = \frac{2\pi}{2,513} = 2,5 \text{ sec}$$

- La détermination de facteur de forme S :

$$6S^2 = \frac{f_V^2}{f_H^2}$$

Avec

$$f_V = 10 \text{ hz}$$

$$f_H = \frac{1}{T_H} \quad \rightarrow \quad T_H = \frac{1}{2,5} = 0,4 \text{ hz}$$

$$\text{Donc : } S = \frac{10}{\sqrt{6} \times 0,4} = 10,2$$

Puisque le facteur de forme varie entre 5 et 30, donc on prend $S = 15$.

- Calcul de l'épaisseur de caoutchouc qui sépare deux frettes d'acier t_c :

$$t_c = \frac{a}{4S} \quad \rightarrow \quad t_c = \frac{400}{4 \times 15} = 6,67 \text{ mm} \quad \text{On prend } t_c = 10 \text{ mm}$$

- Calcul du nombre des frettes d'acier n_a :

$$n_a = \frac{t_r}{t_c} - 1 \quad \rightarrow \quad n_a = \frac{140}{10} - 1 = 13$$

- Calcul de la hauteur totale de l'appui HDRB :

$$h_t = (2t_e) + (t_a n_a) + t_r \quad \rightarrow \quad h_t = (2 \times 25) + (2 \times 13) + 140 = 216 \text{ mm}$$

Avec

t_e : L'épaisseur des plaques d'extrémité : 25 mm. Et t_a : L'épaisseur des frettes d'acier : 2 mm.

- Appuis en pendules glissants FPS :

Les données sont :

| | |
|-------------------------|----------------|
| $T_D = 2,5 \text{ sec}$ | $\beta = 20\%$ |
|-------------------------|----------------|

D'après le tableau II.1 $C_{VD} = 0.45$

- Calcul du rayon de la surface sphérique :

$$R = g \left(\frac{T_D}{2\pi} \right)^2 \quad \rightarrow \quad R = 9,81 \left(\frac{2,5}{2\pi} \right)^2 = 1,553 \text{ m}$$

- Calcul de déplacement D :

$$D_D = \frac{\left(\frac{g}{4\pi^2} \right) C_{VD} T_D}{B_D} \quad \rightarrow \quad D_D = \frac{\left(\frac{9,81}{4\pi^2} \right) \times 0,45 \times 2,5}{1,5} = 0,186 \text{ m}$$

- Calcul de la rigidité effective :

$$K_{\text{eff}} = \frac{N}{R} + \frac{\mu \times N}{D_D}$$

μ : Le coefficient de frottement est 0.06.

$$K_{\text{eff}} = \frac{1097,485}{1,553} + \frac{0,06 \times 1097,485}{0,186} = 1060,714 \text{ KN/m}$$

- Calcul de la rigidité horizontale :

$$K_H = \frac{N}{R} \quad \rightarrow \quad K_H = \frac{1096,485}{1,553} = 706,043 \text{ KN/m}$$

On vérifie β par la formule suivante :

$$\beta = \frac{2}{\pi} \frac{\mu}{\mu + D_D/R} = \frac{2}{\pi} \frac{0,06}{0,06 + 0,186/1,553} = 21,25\%$$

- La détermination du déplacement vertical de l'appui :

$$D_V = \frac{D_D^2}{2R} \quad \rightarrow \quad D_V = \frac{0,186^2}{2 \times 1,553} = 0,011 \text{ m}$$

Calcul de diamètre de la surface sphérique d :

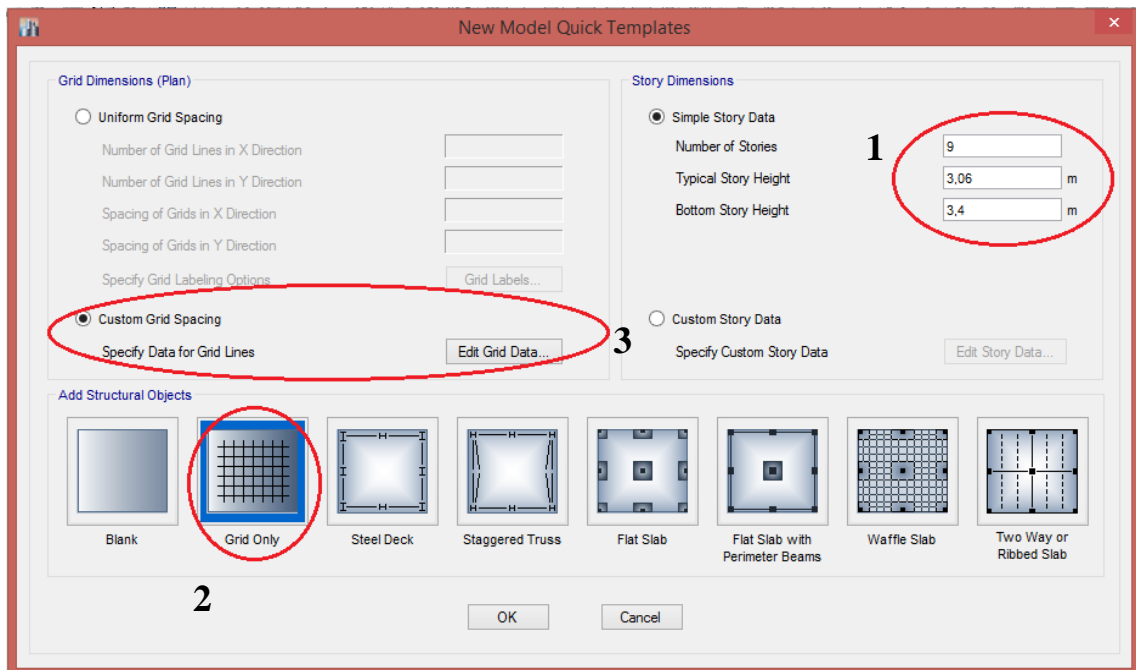
$$d > 2D_D \quad \rightarrow \quad d > 2 \times 0,186 = 0,372 \text{ m}$$

On prend $d = 0,4 \text{ m}$.

B.1 Etapes de modélisation

B.1.1 Initialisation du modèle (unités, grilles, niveaux)

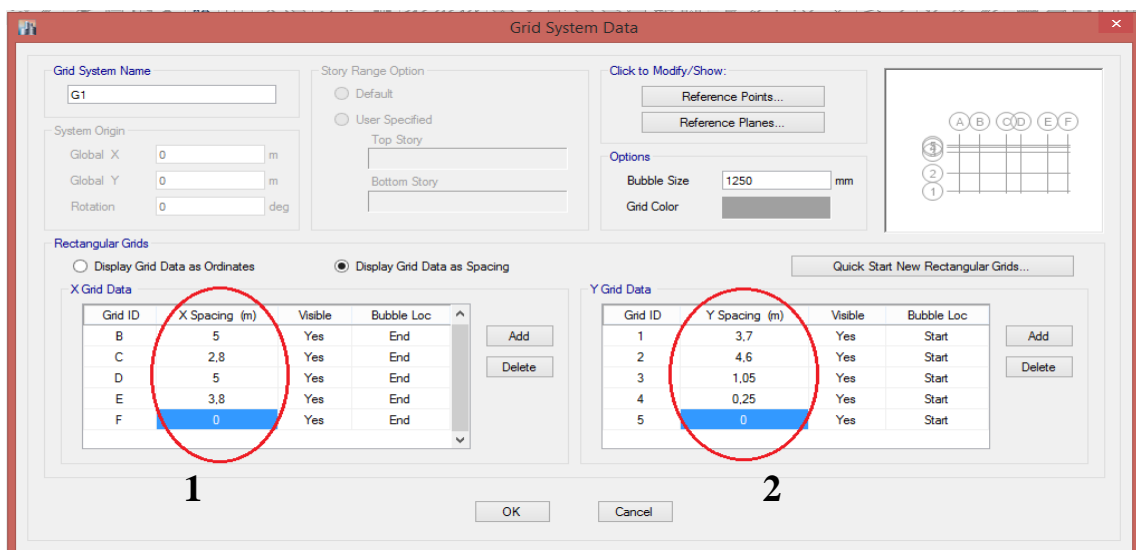
- 1) Démarrer le programme et choisir les unités par défaut.
- 2) Commencer un nouveau modèle : **File >New model.**



1 : Entrer le nombre des niveaux et la hauteur de l'étage et RDC.

2 : Cliquer sur Grid Only.

3 : Cliquer sur Custom Grid Spacing puis Edit Grid Data.



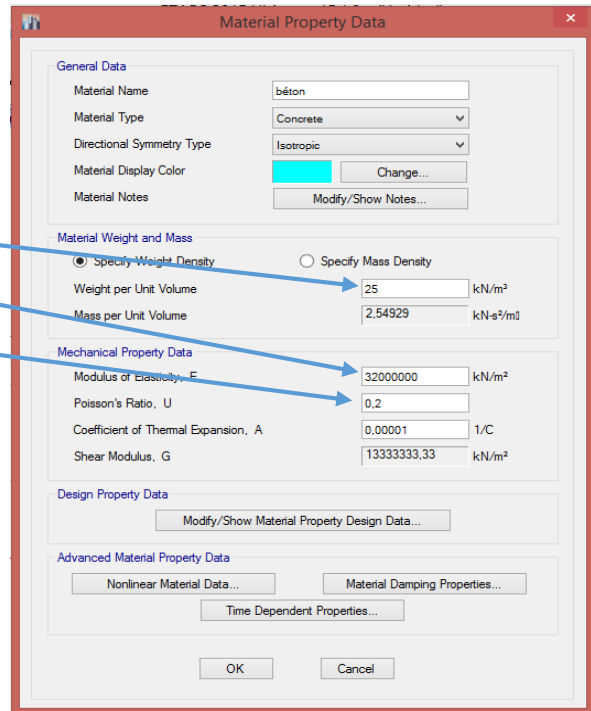
1, 2 : Spécifier les longueurs des portées suivant X et Y.

B.1.2 Définition des propriétés mécaniques des matériaux

1) Définir les propriétés mécaniques du béton :

Define > Material properties > Add New Material.

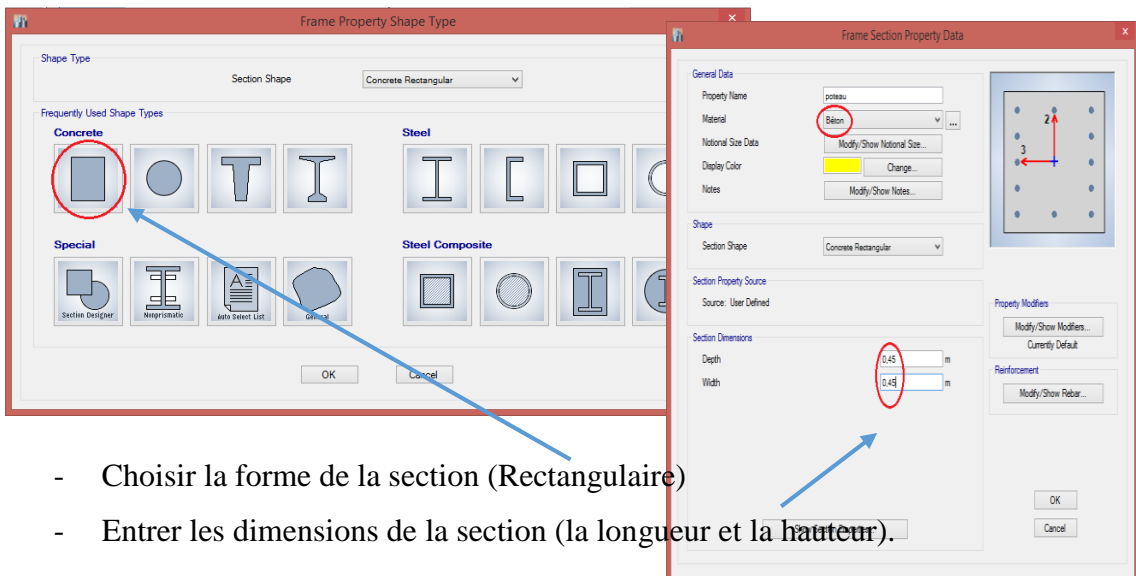
- Définir la masse volumique.
- Définir le module d'élasticité.
- Définir le coefficient de poisson.



B.1.3 Définir les paramètres de l'analyse

1) Définir les sections des poteaux, poutres principaux, chainages et poutres palières :

Define > Sections propriétés > Frames sections > Add New Properties.



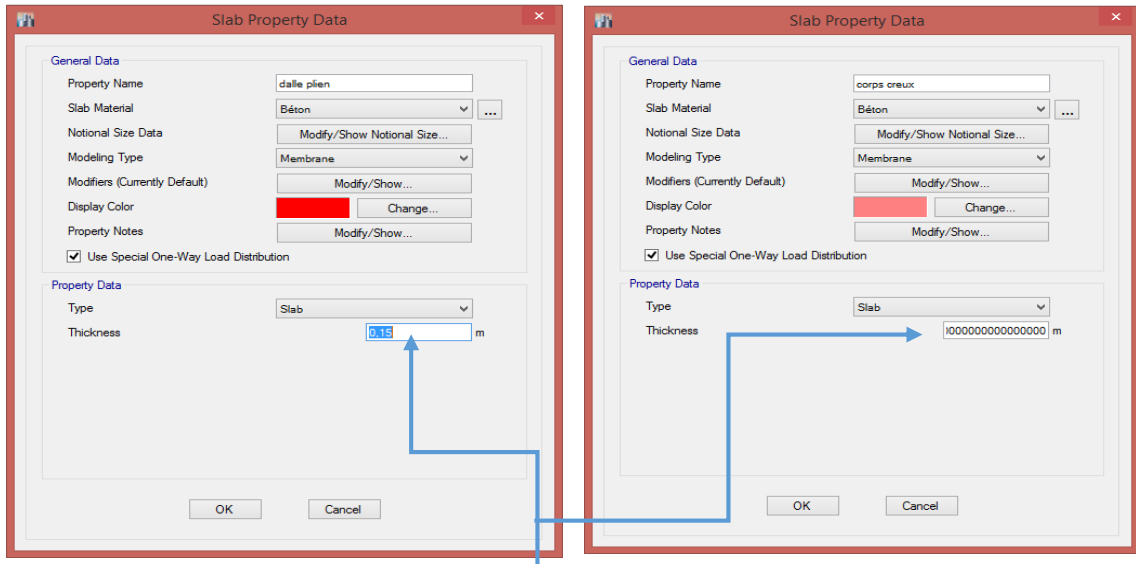
- Choisir la forme de la section (Rectangulaire)
- Entrer les dimensions de la section (la longueur et la hauteur).

2) Définir les sections de plancher :

Define > Sections properties > Slab Sections > Add New Properties.

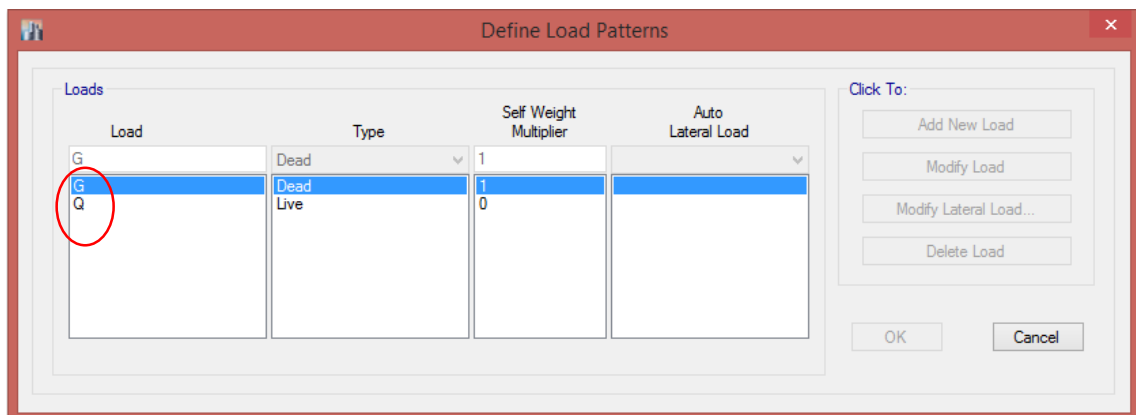
Dalle pleine.

Plancher à corps creux.



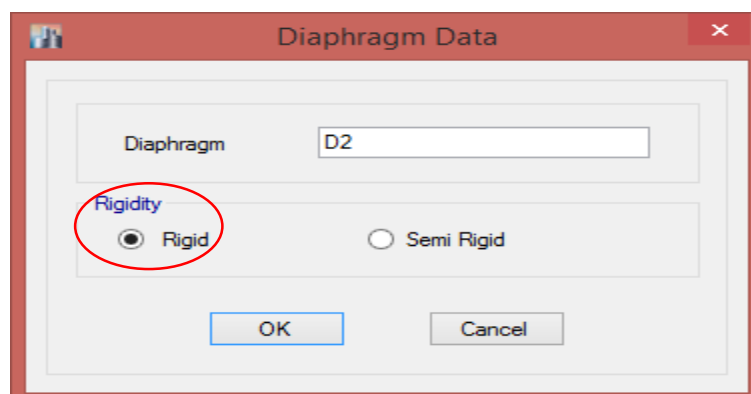
- Entrer l'épaisseur de la dalle plein et la dalle à corps creux.

3) Définir les cas de chargement : **Define > Load Patterns.**



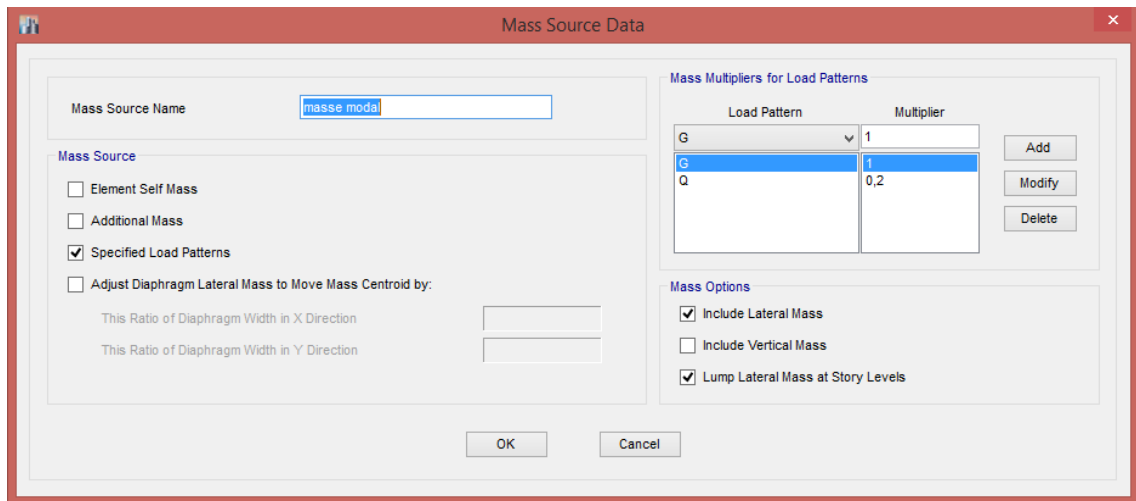
4) Définir les diaphragmes de type rigide :

Define > Diaphragm > Add New Properties.



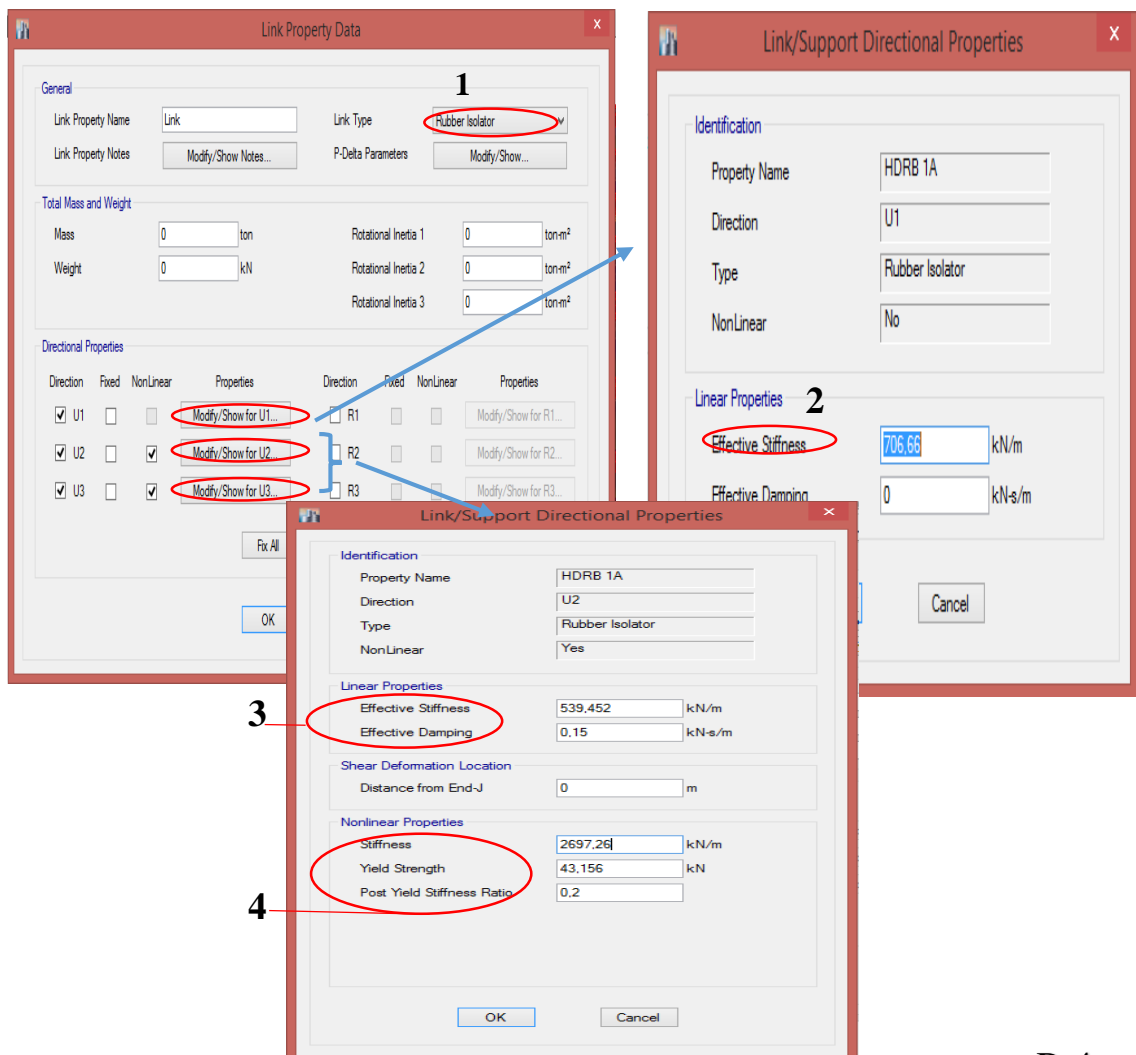
5) Définir la source masse :

Define > Mass source > Add New Mass Source.



6) Pour les cas d'une structure isolée par un appui parasismique :

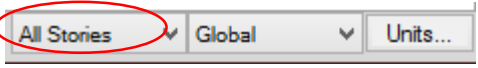

Define > Sections properties > Link Support properties > Add New Properties.

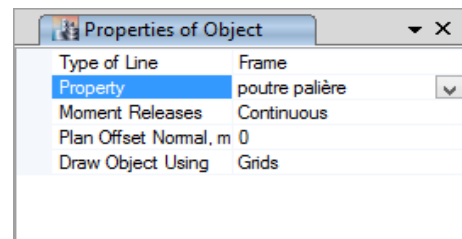


- 1 : Le type d'appui choisi (Rubber isolator est un appui à déformation à fort taux d'amortissement)
- 2 : Entrer la valeur de la rigidité effective.
- 3 : Entrer la valeur de la rigidité élastique et le coefficient d'amortissement
- 4 : Entrer la valeur de la rigidité plastique, la force limite élastique et le rapport entre la rigidité plastique et élastique.


B.1.4 Définition de la géométrie du modèle

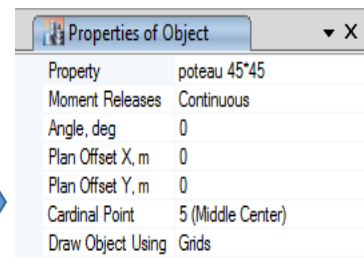
1) Ajouter les différents types des poutres :

- Sélectionner la vue en plan, puis aller au dernier niveau.
- Choisir All Stories. 
- Tracer les poutres. 




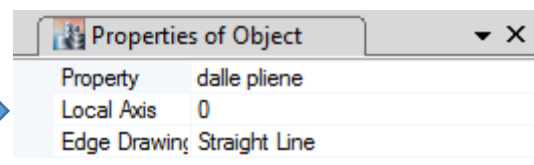
2) Ajouter les poteaux :

- Sélectionner la vue en élévation.
- Tracer les poteaux pour chaque niveau. 



3) Ajouter les planchers :

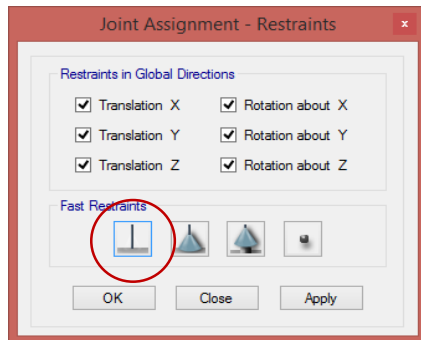
- Sélectionner la vue en plan, puis aller au dernier niveau.
- Choisir All Stories.
- Tracer les plancher. 



B.1.5 Les conditions aux limites (articulation ou appui parasismique, diaphragme...)

1) Ajouter les articulations :

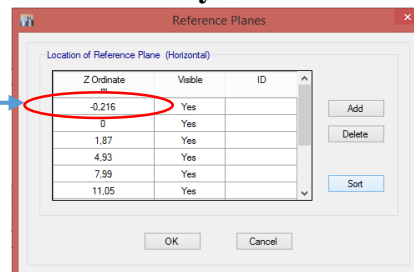
- Le cas d'une structure encastrée :
 - Sélectionner la vue en plan, puis aller au niveau 0 (La base de la structure).
 - Sélectionner tous les nœuds.
 - Assigner les conditions des appuis : **Assign > Joint > Restraints.**




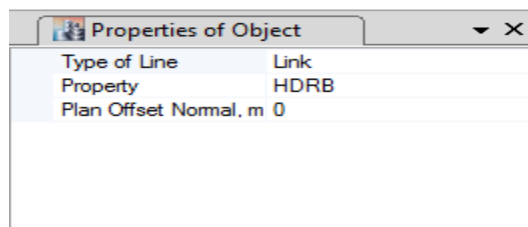
- Le cas d'une structure isolée :
 - Ajouter une ligne de la grille suivant Z :

Edit > Edit Stories and Grid Systems Data > Modify/Show Grid Systems > Reference Plan.

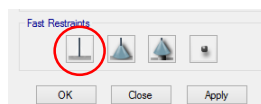
La hauteur de l'appui HDRB (-0,216 m)



- Dessiner les appuis parasismiques par  ou **Draw > Draw Links.**



- Sélectionner tous les nœuds.
- Assigner les conditions des appuis : **Assign > Joint > Restraints.**

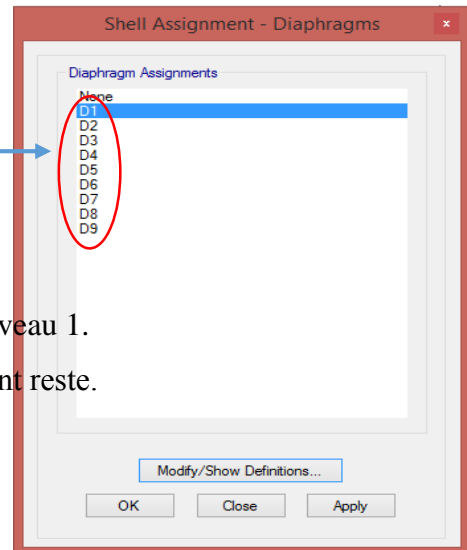


2) Diaphragme :

- Sélectionner le plancher.
- Choisir la vue en plan, sélectionner un seul niveau.
- Assigner une contrainte de diaphragme pour le plancher :

Assign > Shell > Diaphragms.

Les diaphragmes de tous les niveaux



Par exemple on choisit le diaphragme D1 pour le niveau 1.
On répète ces étapes pour tous les niveaux qu'ils sont reste.

B.1.6 Application des charges

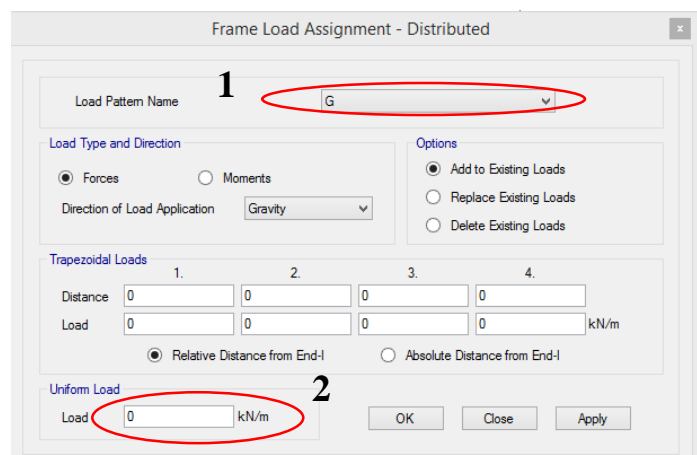
1) Appliquer les charges sur les poutres :

- Choisir les poutres où les appliquer.

Assign > Frame Loads > Distributed.

1 : Choisir le type de charge :

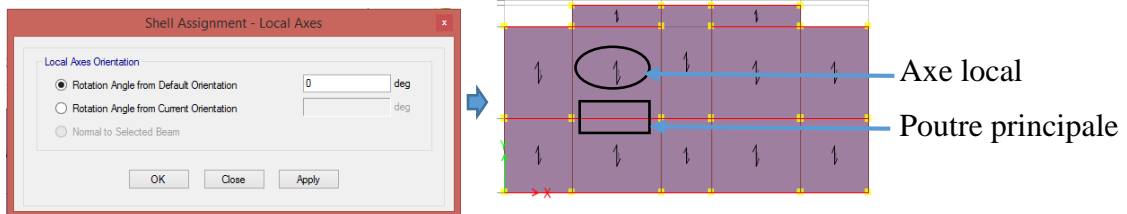
- G : Charge permanente.
- Q : Charge d'exploitation.



2 : Entrer la valeur de la charge.

2) Appliquer les charges sur les planchers :

- Sélectionner les plancher.
- Vérifier le sens de l'axe local du plancher (Il doit être perpendiculaire à la poutre principale) : **Assign > Shell > Local Axes.**

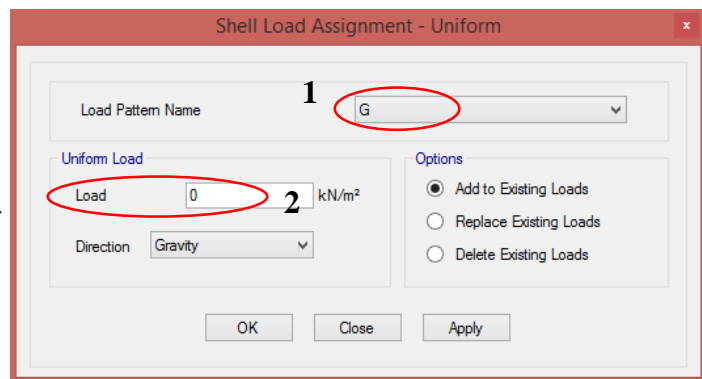


- **Assign > Shell Loads > Uniform.**

1 : Choisir le type de charge :

- G : Charge permanente.
- Q : Charge d'exploitation.

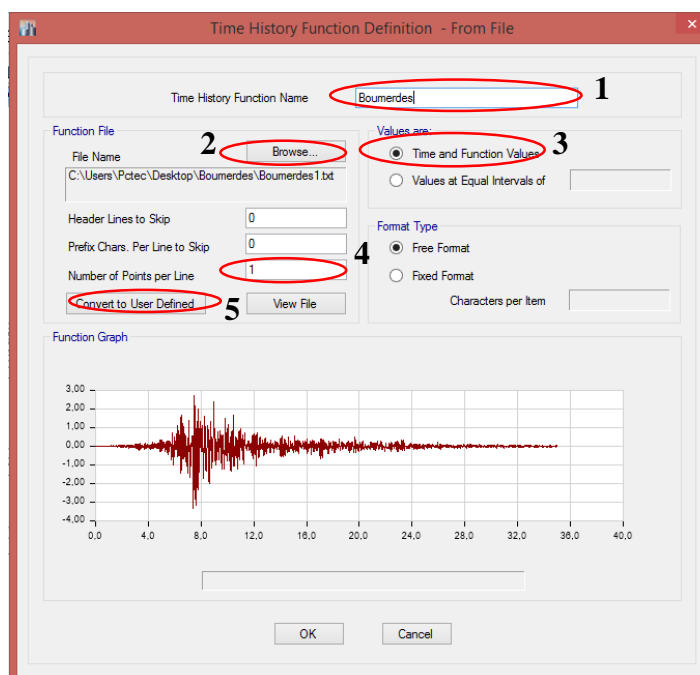
2 : Entrer la valeur de la charge.



3) Définition des charges sismiques :

- Entrer l'accélérogramme de Boumerdes :

Define > Functions > Time History > From File > Add New Function



- 1 : Entrer le nom de la fonction de l'accélérogramme.
- 2 : Importer le fichier de l'accélérogramme Boumerdes.
- 3 : Taper le nombre des points de l'accélération par ligne ;
- 4 : Sélectionner la case qui convient au fichier de l'enregistrement de l'accélérogramme
- 5 : Convertir le fichier.

4) Affectation des charges sismiques: **Define > Load Cases > Add New Cases**

| Load Type | Load Name | Function | Scale Factor |
|--------------|-----------|----------|--------------|
| Acceleration | U1 | ACCX | 1 |

- 1 : Entrer le nom du cas de chargement par accélérogramme.
- 2 : Choisir la direction sur laquelle on va appliquer l'accélérogramme.
- 3 : Affecter l'accélérogramme définie précédemment à la direction qui lui convient.
- 4 : Entrer le facteur de multiplicateur.
- 5 : Entrer le nombre de points à introduire dans l'analyse et le pas du temps.
- 6 : Entrer le coefficient d'amortissement.

B.1.7 Analyse de la structure

- 1) Lancer l'analyse de la structure : **Analyze > Run Analyze.**


B.1.8 Extraction des résultats

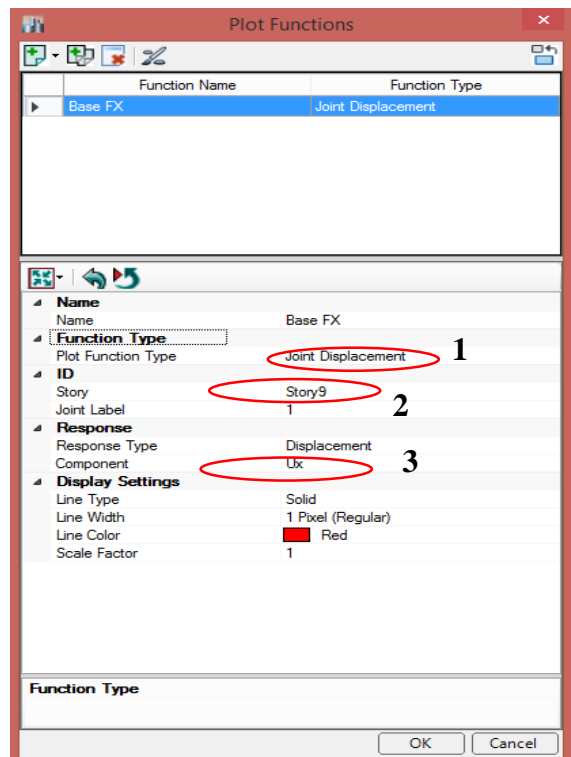
- 1) Visualiser les résultats (à l'écran, sur fichier, ... etc) :
 - Les périodes et les facteurs de contribution : **Display > Show Tables.**
 - Sélectionner Table puis cliquer sur OK.
 - Choisir Modal Participating Mass Ratios.

| Case | Mode | Period sec | UX | UY | UZ | Sum UX | Sum UY |
|-------|------|------------|--------|--------|----|--------|--------|
| Modal | 1 | 1.243 | 0 | 0.7744 | 0 | 0 | 0.7744 |
| Modal | 2 | 1.095 | 0.0449 | 0 | 0 | 0.0449 | 0.7744 |
| Modal | 3 | 1.008 | 0.7529 | 0 | 0 | 0.7978 | 0.7744 |
| Modal | 4 | 0.416 | 0 | 0.1273 | 0 | 0.7978 | 0.9016 |
| Modal | 5 | 0.38 | 0.0102 | 0 | 0 | 0.808 | 0.9016 |
| Modal | 6 | 0.354 | 0.1049 | 0 | 0 | 0.9129 | 0.9016 |
| Modal | 7 | 0.233 | 0 | 0.0478 | 0 | 0.9129 | 0.9494 |
| Modal | 8 | 0.221 | 0.0029 | 0 | 0 | 0.9159 | 0.9494 |
| Modal | 9 | 0.209 | 0.0399 | 0 | 0 | 0.9558 | 0.9494 |
| Modal | 10 | 0.159 | 0 | 0.0193 | 0 | 0.9558 | 0.9688 |
| Modal | 11 | 0.152 | 0.0016 | 0 | 0 | 0.9573 | 0.9688 |
| Modal | 12 | 0.146 | 0.0146 | 0 | 0 | 0.972 | 0.9688 |

- Les déplacements, les accélérations et les efforts tranchants :

Display > Plot Functions.

- Cliquer sur 
- Choisir les résultats qu'on veut le visualiser :
 - Les déplacements.
 - Les accélérations.
 - Les efforts tranchants.



1 : Sélectionner le type de résultat.

2 : Choisir un niveau.

3 : Choisir une composante.

Résumé

La protection sismique des structures est une exigence qui est de plus en plus encadrée par les codes du domaine génie parasismique. L'isolation à la base est une des technologies les plus répandues dans ce domaine, par conséquent, elle offre une meilleure réduction d'effet sismique sur le bâtiment en termes de déplacements relatifs, d'accélération et des efforts tranchants.

L'objectif de notre recherche est d'évaluer la performance de ce système d'isolation en utilisant deux types d'appuis différents. Pour cela une analyse dynamique a été effectuée par le logiciel ETABS 2015 sur un bâtiment à huit niveaux avec trois configuration ; base fixe, base isolée chaque type à part, puis un couplage entre les deux types d'appui, en choisissant une seule répartition. Le but est de démontrer l'efficacité de ce système par les meilleurs résultats.

Suite à une comparaison des trois systèmes cités auparavant, le couplage entre les deux types d'appui reste le meilleur et donne des résultats satisfaisants.

Mots clés : ETABS, méthodes d'analyse dynamique, réponse sismique, isolateurs de base, bâtiment.

Abstract

The seismic protection of structures is a requirement, which is framed more and more by the codes of the parasismic engineering field. The base isolation is one of the most replied technologies in this field; therefore, it offers a better reduce of seismic effect on the building in terms of relative displacement, acceleration and shear forces.

The aim of our research is to evaluate the performance of the isolation system using two different types of support. Therefore, a dynamic analysis was performed by the ETABS 2015 software on an eight-level building with three configuration; fixed base, base isolated with each type , then by coupling between the two types of support by choosing a single distribution. The aim is to demonstrate the effectiveness of this system the best results.

Following a comparison between the three systems, the coupling between the two types of support is the best and provides satisfied results.

Keywords: ETABS, methods for dynamic analysis, seismic response, base isolators, building.

المخلص

حماية المباني من الزلازل هو شرط يتم تأطيره بشكل متزايد وفقا لمعايير المجال الزلزالي. عزل القاعدة هي واحدة من أكثر التكنولوجيات الواردة في هذا المجال، بحيث تقدم أفضل تقليص لتأثير الزلازل على المبنى من حيث الانتقال النسبي، التسارع وقوى القص.

الهدف من بحثنا هو تقييم أداء نظام العزل باستخدام نوعين مختلفين من الدعم. لذا تم إجراء تحليل حركي بواسطة برنامج "ايتابس 2015" على مبنى مكون من ثمانية طوابق؛ قاعدة ثابتة، قاعدة معزولة بكل نوع على حدة، ثم الجمع بين هذين النوعين من الدعم عن طريق اختيار توزيع واحد. الهدف من ذلك هو إثبات فعالية هذا النظام على أفضل النتائج.

بعد المقارنة بين الأنظمة الثلاثة المذكورة من قبل، توصلنا الى ان الجمع بين هذين النوعين من الدعم هو الأفضل، بحيث يقدم نتائج مرضية.

الكلمات المفتاحية: ايتابس، طرق التحليل حركي، الاستجابة للزلازل، عازل قاعدي، بناية.

Chapitre I
Généralités sur les isolateurs

Chapitre II

Fonctionnement et dimensionnement des appuis parasismiques

Chapitre III

Descente des charges et pré dimensionnement

Chapitre IV

*Etude comparative de la structure avec et sans le
système d'isolation*

Annexe A

Annexe B