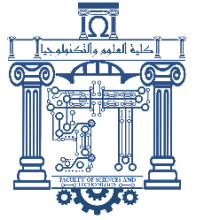




الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
Republique Algerienne Democratique Et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة العربي التبسي - تبسة

Université Larbi Tébessi – Tébessa –

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Civil

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de Master Académique**

En : Filière

Spécialité : Structures

Par : Daani Yahia

Sujet

Programmation des Étapes de Calcul de Structures en Béton Armé

Présenté et soutenu publiquement, le : 25 /06 /2024 , devant le jury composé de :

Mr. Boudjellal Abdelouahab
Mr. Goudjil Fayçal
Mr. Labeled Abderrahim
Mme. Ali Wided

Grade MCB
Grade MAA
Grade MCB
Grade MCA

Président
Rapporteur
Examineur 1
Examineur 2

Promotion : 2023/2024

REMERCIEMENTS

À mes chers parents *Daani Abdelkader* et *Daani Hada*,

Je vous écris ces mots empreints de gratitude, conscients que toute réussite est le fruit d'un soutien indéfectible et d'un amour inconditionnel. Votre présence constante dans ma vie a été ma boussole, m'orientant toujours vers le chemin de la réussite. Vos sacrifices, votre dévouement et vos encouragements ont été les piliers solides sur lesquels j'ai bâti mon parcours académique. En chaque victoire, en chaque accomplissement, je vois votre influence bienveillante et votre amour incommensurable. Merci d'avoir été mes guides, mes mentors et mes plus grands soutiens.

À l'intention de mon encadreur Mr. *Fayçal Goudjil*,

Je tiens à exprimer ma sincère gratitude pour vos précieux conseils et vos orientations avisées tout au long de ce parcours académique. Votre expertise et votre dévouement m'ont inspiré et guidé vers l'excellence. Merci d'avoir cru en moi et d'avoir été un modèle inspirant.

À mes chers amis et collègues,

Vous avez été les compagnons de ce voyage académique, partageant avec moi les hauts et les bas, les rires et les larmes. Votre présence joyeuse, vos encouragements chaleureux et votre solidarité inébranlable ont été les fondations sur lesquelles j'ai pu construire mes rêves. Chaque moment partagé, chaque défi relevé ensemble a renforcé notre amitié et a enrichi notre expérience. Merci d'avoir été mes compagnons de route, mes confidents et mes inspirations.

À tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce projet,

Chaque interaction, chaque conseil, chaque encouragement a contribué à façonner cette réussite collective. Que vous ayez été un membre de ma famille, un ami, un enseignant, un collègue ou simplement une âme bienveillante croisant mon chemin, je vous adresse ma plus profonde gratitude. Votre soutien désintéressé a été le vent sous mes ailes, me propulsant vers l'accomplissement de mes objectifs. Que cette modeste réalisation soit le témoignage de notre collaboration, de notre détermination et de notre gratitude collective.

À chacun de vous, je dédie cette modeste réalisation, symbole de notre collaboration et de notre détermination collective.

Avec tout mon amour, ma reconnaissance et ma profonde gratitude,

Yahia

SOMMAIRE

TABLE DES MATIÈRES

- Liste des figures
- Liste des tableaux
- Notation
- Résumé
- Introduction Générale

CHAPITRE I : INTRODUCTION GÉNÉRALE

| | |
|---|---|
| I-INTRODUCTION..... | 1 |
| I-1.La sismicité..... | 1 |
| I-2. Histoire et impact des séismes en Algérie..... | 1 |
| I-3. Importance de la conception parasismique..... | 3 |
| I-4. Introduction au code RPA 99/2003..... | 4 |
| II-Développement d'une application VBA..... | 5 |
| II-1.Introduction..... | 5 |
| II-2.Présentation de l'environnement de développement..... | 5 |
| II-2-1.Excel..... | 5 |
| II-2-2. Le langage de programmation VBA..... | 5 |
| III- Automatisation de la méthode statique équivalente..... | 6 |

CHAPITRE II : Méthodes de Calcul Parasismique

| | |
|--|---|
| I-Introduction aux Méthodes de Calcul Parasismique..... | 8 |
| I-1-1. Méthode dynamique modale spectrale..... | 8 |
| I-1-1-1.Définition..... | 8 |
| I-1-1-2.Conditions d'application de la méthode d'analyse modale spectrale..... | 8 |
| I-1-1-3. Principes de base de la méthode de l'analyse modale spectrale..... | 8 |
| I-1-1-4.Les hypothèses de calcul..... | 8 |
| I-1-1-5. Spectre de réponse..... | 9 |

| | |
|--|----|
| I-1-1-5-1. Définition d'un spectre de réponse..... | 9 |
| I-1-1-5-2. Spectre de réponse de calcul..... | 11 |
| I-1-1-6. Les procédures de l'analyse modale..... | 12 |
| I-2. Méthodes Statiques..... | 17 |
| I-2-1. Méthode Statique Équivalente..... | 17 |
| 1-1. Introduction..... | 17 |

CHAPITRE III: Caractéristiques des Structures en Béton Armé

| | |
|--|----|
| I- Propriétés des Structures en Béton Armé..... | 19 |
| I-1. Propriétés des matériaux..... | 19 |
| I-1-1. Béton..... | 19 |
| I-1-2. Acier..... | 21 |
| I-2. Comportement structurel sous charges sismiques..... | 23 |
| I-2-1. Introduction..... | 23 |
| I-2-2. Mécanismes de résistance des constructions aux séismes..... | 23 |
| I-2-2-1. Capacité des constructions à stocker l'énergie..... | 24 |
| I-2-2-2. Capacité des constructions à dissiper l'énergie..... | 24 |
| I-2-3. Rotules plastiques..... | 25 |
| I-2-3-1. Définition de la rotule plastique..... | 25 |
| I-2-3-2. Caractéristiques des rotules plastiques..... | 26 |
| I-2-4. Mécanismes de rupture des structures en béton armé..... | 27 |
| II- Critères de Conception..... | 28 |
| II-1. Continuité..... | 28 |
| II-2. Régularité..... | 29 |
| II-2-1. Régularité en plan..... | 29 |
| II-2-1-1. Conditions de régularité en plan..... | 31 |
| II-2-2. Régularité en élévation..... | 31 |
| II-2-2-1. Conditions de régularité en élévation..... | 32 |

CHAPITRE IV: Critères de Classification

| | |
|--|----|
| I- Classification par Zone Sismique..... | 34 |
| I-1. Zones sismiques en Algérie..... | 34 |
| I-1-1.Règles parasismique algérien RPA-99..... | 34 |
| I-1-2.Classification par zone sismique..... | 34 |
| II-Classification par Importance des Ouvrages..... | 35 |
| II-1.Catégorisation des bâtiments..... | 35 |
| II-1-1.Batiments Résidentiel..... | 35 |
| II-1-2.Batiments Industriels..... | 36 |
| II-1-3.Batiments infrastructure critique..... | 37 |
| II-3. Classification des ouvrages selon leur importance..... | 39 |
| III. Classification des ouvrages selon leur configuration..... | 40 |
| III-1.Régularité et Irrégularité des Structures..... | 40 |
| III-2. L'action sismique et Irrégularité des structures..... | 41 |
| III-3.Implications pour la conception parasismique..... | 42 |

CHAPITRE V : Règles de Calcul de la Force Sismique - Méthode Statique Équivalente –

| | |
|---|----|
| I- Conditions d'Application de la Méthode..... | 45 |
| I-1. Critères pour l'application de la méthode statique équivalente..... | 45 |
| I-1-1.Introduction..... | 45 |
| II. Principe de la méthode..... | 46 |
| II-1.Principe..... | 46 |
| II-2. Force sismique..... | 47 |
| III-Distribution des Forces Sismiques..... | 53 |
| III-1. Distribution de la résultante des forces sismiques selon la hauteur..... | 53 |
| III-2. Distribution horizontale des forces sismiques..... | 54 |

CHAPITRE VI : Développement de l'Application VBA.

| | |
|------------------------------------|----|
| I- Processus de Développement..... | 55 |
|------------------------------------|----|

| | |
|--|----|
| I-1. Planification et définition du problème..... | 55 |
| I-1-1.Définition..... | 55 |
| I-1-2.VBA en Excel..... | 55 |
| II- Implémentation..... | 58 |
| II-1.Codage de la logique de calcul..... | 58 |
| II-2.Terms VBA importants..... | 59 |
| II-3. Algorithmes et leur mise en œuvre en VBA..... | 60 |
| II-3-1.Définition..... | 60 |
| II-3-2.Algorithmes Utilisées..... | 61 |
| III-Fonctionnalités et Capacités de l'Application..... | 65 |
| III-1.Présentation des fonctionnalités..... | 65 |
| Conclusion Générale..... | 75 |

LISTE DE FIGURES

Chapitre I : Introduction Générale

Figure I-1. Zone de la limite de plaque Afrique-Europe en méditerranée occidentale et quantité de déformation dans les zones sismiquement actives.

Figure I-2. Aires d'occupation de la sismicité algérienne (domaines morpho-structuraux).

CHAPITRE II : Méthodes de Calcul Parasismique

Figure II-1. Construction d'un spectre de déplacement.

Figure II-2. Spectre de déplacement pour différentes valeurs de l'amortissement ($\xi=2$ à 10%).

Figure II-3. Spectre de vitesse pour différentes valeurs de l'amortissement ($\xi=2$ à 10%).

Figure II-4. Spectre d'accélération pour différentes valeurs de l'amortissement ($\xi=2$ à 10%).

Figure II-5. Schéma de l'organisation des calculs

Figure II-6. Principes de l'analyse à l'aide d'un spectre de réponse.

Figure II-6.(suite). Principes de l'analyse à l'aide d'un spectre de réponse.

CHAPITRE III : Caractéristiques des Structures en Béton Armé

Figure III-1. Diagramme déformation contrainte du béton

Figure III-2. Diagramme des contraintes du béton à ELS

Figure III-3. Diagramme déformation contrainte d'acier.

Figure III-4. Diagrammes contraintes – déformations et charges – déformations.

Figure III-5. Exemple de dommages d'un bâtiment après un tremblement de terre de Boumerdes 2003.

Figure III-6. Endommagement d'un portique à 2 étages par flexion dans les zones critiques des poteaux dans une installation portuaire lors du séisme de Boumerdes 2003.

Figure III-7. Ruine d'un poteau court dans un magasin de stockage lors du séisme de Boumerdes 2003.

Figure III-8. Rupture par cisaillement d'un poteau béton armé lors du séisme de Boumerdes 2003.

Figure III-9. Mécanismes de ruine possibles pour un portique à 3 étages.

Figure III-10. Formes favorables : plans simples à 2 axes de symétrie (AFPS, 2002)

Figure III-11. Vues en plan de bâtiments. A gauche : symétriques et compacts en plan. A droite : effets néfastes de l'asymétrie ou du caractère non compact.

Figure III-12. Limites des décrochements en plan selon le RPA.

Figure III-13. Distance entre le centre de gravité des masse et le centre de rigidité.

Figure III-14. Régularité en élévation.

Figure III-15. A gauche : régularité en élévation. A droite : niveau rez flexible ou "mou"(anglais : soft).

Figure III-16. Limites des décrochements en élévation.

CHAPITRE IV: Critères de Classification

Figure IV-1. Carte de zonage sismique du territoire national.

Figure IV-2. Classement des bâtiments par catégories d'importance.

Figure IV-3. Photos de bâtiments irréguliers en élévation.

Figure IV-4. Distinction entre structure primaire et structure secondaire du bâtiment.

Distinction entre régularité structurale et régularité apparente.

CHAPITRE V : Règles de Calcul de la Force Sismique - Méthode Statique Équivalente -

Aucune Figure.

CHAPITRE VI : Développement de l'Application VBA.

Figure VI-1. Algorithme de détermination de Coefficient d'accélération A.

Figure VI-2. Algorithme de détermination la Période Fondamentale T.

Figure VI-3. Algorithme de calcul le Facteur d'Amplification D.

Figure VI-4. Algorithme de Calcul le Poids Totale W_i .

Figure VI-5. Algorithme de détermination de Coefficient de Comportement R.

Figure VI-6. Algorithme de désigner le Spectre.

Figure VI-7. Algorithme de calcul de Force Sismique V.

Figure VI-8. Algorithme de Calcul les Effort Réduit v.

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Facteur de durée d'application des charges.

Tableau 2 : Valeur de la limite d'élasticité garantie f_e .

Tableau 3 : Classification des ouvrages selon leur importance.

Tableau 4 : Coefficient d'accélération de zone A.

Tableau 5 : Valeurs de T_1 et T_2 .

Tableau 6 : Valeurs de ξ (%).

Tableau 7 : Valeurs des pénalités P_q .

Tableau 8 : Valeurs du facteur de comportement selon le RPA 99.

Tableau 9 : Valeurs du coefficient de pondération β .

Tableau 10 : Valeurs du coefficient CT.

Notation

R.P.A : Règles Parasismiques Algériennes.

C.T.P : La Commission Technique Permanente.

C.G.S : Le Centre national de recherche appliquée en génie parasismique.

V.B.A: Visual Basic for Applications.

E.L.U : État Limite Ultime.

E.L.S : État Limite de Service.

ω_i : La Pulsation .

Φ_i : Le mode propre.

ξ : Pourcentage d'amortissement critique.

A : Coefficient d'accélération de zone.

η : Facteur de correction d'amortissement.

R : Coefficient de comportement de la structure.

T1, T2 : Périodes caractéristiques associées à la catégorie de site.

Q : Facteur de qualité.

Sa /g : Accélération spectrale

α_i : Le coefficient de contribution.

W: Poids du niveau.

γ : Coefficient de distribution.

F_{ik} : La force sismique appliquée au niveau k par le mode i.

Y_n : Déplacement modal maximal pour le mode n .

X_n : Le déplacement maximal pour le mode n .

V_n : L'effort tranchant pour le mode n .

M_n : Le moment pour le mode n.

m_j : masse correspondant au niveau j.

h_j : Hauteur du niveau j.

f_{cj} : Résistance caractéristique en compression du béton à « j » jours.

\emptyset : Diamètre .

h : Hauteur.

f_{tj} : Résistance caractéristique en traction du béton à « j » jours.

E_{ij} : Modules de déformation longitudinale du béton.

E_{vj} : Le module de déformation longitudinal différée du béton.

ν : Coefficient de poisson.

σ_{bc} / f_{bc} : Contrainte du béton en compression.

ϵ_{bc} : Déformation du béton en compression.

γ_b : Coefficient de sécurité du béton.

f_e : L'état limite d'élasticité garantie.

E_s : Le module d'élasticité longitudinal de l'acier.

σ_s : Contraintes de l'acier.

ϵ_s : Déformation de l'acier.

γ_s : Coefficient de sécurité de l'acier.

σ_{st} : La contrainte admissible à l'ELU.

$\overline{\sigma}_{st}$: La contrainte admissible à l'ELS.

η (**chapitre 3**) : Coefficient de fissuration.

H (**chapitre 3**) : La hauteur totale du bâtiment .

CG_x : Centre de gravité en sens X.

CG_y : Centre de gravité en sens Y.

H.L.M : Les Habitations à Loyer Modéré.

V : La force sismique totale.

D : Facteur d'amplification dynamique moyen.

T : La période fondamentale de la structure.

P_q : La pénalité.

W_i : Poids Total de chaque niveau (i).

W_{Gi} : Poids dû aux charges permanentes.

W_{Qi} : Charges d'exploitation.

β : Coefficient de pondération.

h_N : Hauteur mesurée en mètres à partir de la base de la structure jusqu'au dernier niveau (N).

C_T : Coefficient, fonction du système de contreventement.

D : La dimension du bâtiment mesurée à sa base dans la direction de calcul considérée.

F_t : La force concentrée.

V_k : L'effort tranchant au niveau de l'étage k.

G.U.I : Graphical User Interface.

A.P.I : Application Programming Interface.

U.D.F: User-Defined Functions.

ملخص

تحتوي هذه المذكرة كفصل اول على تمهيد لبنية الخرسانات المدعمة و الطبيعة الزلزالية لمنطقة الجزائر وتأثيرها على البناءات يتبعه طرق الحساب الزلزالي والتركيز على التحليل الطيفي من معاملات وشروط وافتراسات تضمنها الفصل الثاني كلها وتكملة له في الفصل الثالث حول تبديد الطاقة في الهياكل الخرسانية المسلحة و اهمية المفصلات البلاستيكية في امتصاص القوى والذبذبات الزلزالية كما يوضح المعيفات لها اضافة لمعايير وخصائص المواد المستخدمة والسلوك الهيكلي تحت الاحمال الزلزالية والقدرة على تخزين وتبديد الطاقة بها وجاء الفصل الرابع كتوسع في موضوع تصنيف الهياكل بناء على اهميتها جاء الفصل الرابع وكذا موضحا الاثار المترتبة على التصميم الزلزالي ومعاييره واهمية الالتزام بمبادئه، ثم نجد في الفصل الخامس قواعد حساب القوة الزلزالية باستخدام الطريقة الثابتة المكافئة وكيفية تقدير الفترة الاساسية للهياكل وتوزيع القوى الزلزالية على اساس الارتفاع والتوزيع الافقي والاستخدام الشائع لطريقة المكافئ الثابت رغم ميلها للمبالغة في تقدير الجهود ويتضمن كذلك معايير ومعاملات التسارع والتضخيم الديناميكي والجودة . في ختام كل هذا نبحت عن حلول للمشكلات السابق ذكرها في الفصول، فتم التوصل الى تطوير تطبيق VBA ليغطي الجوانب العملية و يتضمن تطوير تطبيقات VBA إنشاء برامج متميزة باستخدام Visual Basic for Applications (VBA) لبرنامج Excel. وتم توظيفها هنا في تدقيق الارتيبات و الفروقات في الحسابات و اضافة منهجية وطرق مستحدثة للعمل وكذا حل المشكلات وهذا ما يوضحه التطبيق المنشئ بالتوازي مع هذه المذكرة.

الكلمات المفتاحية : هياكل الخرسانة المسلحة ، برمجة ، الحساب الزلزالي ، الايكسال ، VBA

Abstract

This project contains, as the first chapter, an introduction to the structure of reinforced concrete and the Algerian seismic nature , and its impact on buildings, followed by seismic calculation methods and a focus on spectral analysis of parameters, conditions and assumptions, all included in the second chapter and its continuation in the third chapter on energy dissipation in reinforced concrete structures and the importance of plastic hinges. In absorbing seismic forces and oscillations, it also explains their obstacles, in addition to the standards and characteristics of the materials used, structural behavior under seismic loads, and the ability to store and dissipate energy in them. The fourth chapter came as an expansion of the topic of classifying structures based on their importance. It also came explaining the implications of seismic design and its standards and the importance of adhering to its principles. Then in the fifth chapter, the rules for calculating seismic force using the static equivalent method, how to estimate the basic period of structures, the distribution of seismic forces based on height and horizontal distribution, and the common use of the static equivalent method despite its tendency to overestimate efforts. It also includes standards and coefficients of acceleration, dynamic amplification, and quality. In conclusion, in order to find solutions to the problems mentioned in the chapters, a VBA application was developed to cover the practical aspects. VBA application development includes creating distinct programs using Visual Basic for Applications (VBA) for Excel. It was employed here in checking arrangements and discrepancies in accounts, adding new methodology and methods for work, as well as solving problems and facilitating them for specialists, and this is what the application created in parallel with this project explains.

Keywords: Reinforced concrete structures, Programming, Seismic analysis, Excel, VBA.

Résumé

Ce mémoire contient, comme premier chapitre, une introduction à la structure du béton armé et à la nature sismique de Algérie et son impact sur les bâtiments, suivie par les méthodes de calcul sismique et un focus sur l'analyse spectrale des paramètres, conditions et hypothèses, le tout inclus dans le deuxième chapitre et sa suite dans le troisième chapitre sur la dissipation d'énergie dans les structures en béton armé et l'importance des rotules plastiques. Dans l'absorption des forces sismiques et des oscillations, elle explique également leurs obstacles, en plus des normes et caractéristiques des matériaux utilisés, du comportement des structures sous charges sismiques et de la capacité d'y stocker et de dissiper de l'énergie. Le quatrième chapitre constitue une extension du thème de la classification des structures en fonction de leur importance. Il est également venu expliquer les implications de la conception sismique et de ses normes ainsi que l'importance d'adhérer à ses principes. Puis dans le cinquième chapitre, nous trouvons les règles de calcul de la force sismique à l'aide de la méthode équivalente statique, comment estimer la période de base des structures, la répartition des forces sismiques en fonction de la hauteur et de la distribution horizontale, et l'utilisation courante de la méthode équivalente statique. malgré sa tendance à surestimer les efforts. Il comprend également des normes et des coefficients d'accélération, d'amplification dynamique et de qualité. En conclusion, nous discutons de tout cela. Afin de trouver des solutions aux problèmes évoqués dans les chapitres, une application VBA a été développée pour couvrir les aspects pratiques. Le développement d'applications VBA comprend la création de programmes distincts à l'aide de Visual Basic pour Applications (VBA) pour Excel. Il a été utilisé ici pour vérifier les arrangements et les écarts dans les comptes, ajouter de nouvelles méthodologies et méthodes de travail, ainsi que résoudre des problèmes et les faciliter pour les spécialistes, et c'est ce qu'explique l'application créée en parallèle avec ce mémoire.

Mots Clés : Structures en béton armé, Programmation, Calcul parasismique, Excel, VBA.

Introduction Générale

• Problématique :

Présentation du Sujet :

La méthode de calcul parasismique du béton armé est une approche visant à concevoir des structures résistantes aux séismes. Elle repose sur une analyse minutieuse des charges sismiques agissant sur la structure et de sa réaction à ces forces. Cette méthode prend en considération plusieurs paramètres, tels que la zone sismique, la catégorie de sol, la période fondamentale de la structure et les actions sismiques probables. En utilisant ces données, on se permet de dimensionner les éléments de la structure pour garantir sa stabilité et sa sécurité lors d'un séisme. Les structures en béton armé possèdent diverses caractéristiques, telles que leur capacité à résister aux charges, leur durabilité, leur ductilité et leur résistance aux contraintes. Conçues pour supporter des charges verticales et horizontales, elles offrent une résistance mécanique élevée tout en permettant une certaine flexibilité pour absorber les contraintes. La durabilité du béton armé est garantie par la protection des armatures contre la corrosion, assurant ainsi une longue durée de vie structurelle. Les critères de classification du béton armé incluent la résistance mécanique, la durabilité, la ductilité et la résistance aux contraintes. Ces critères permettent de classer les structures en béton armé en fonction de leur capacité à résister aux charges, à maintenir leur intégrité structurelle dans le temps et à absorber les contraintes sans subir de dommages importants.

Importance :

Le calcul sismique est une technique utilisée en ingénierie sismique pour évaluer l'impact des séismes sur les structures. **Premièrement**, l'application de cette méthode permet de concevoir des bâtiments et des infrastructures capables de résister aux forces sismiques, garantissant ainsi la sécurité des résidents et la protection des biens en cas de tremblement de terre. **Deuxièmement**, les structures en béton armé offrent une combinaison unique de résistance, de durabilité, de capacité portante et de flexibilité de conception, ce qui en fait un matériau de construction polyvalent et populaire dans l'industrie de la construction. **Troisièmement**, les normes de classification du béton armé sont essentielles pour garantir la sécurité, la durabilité et l'efficacité des structures construites avec ces matériaux, car elles aident à déterminer la résistance requise, les charges admissibles et les normes structurelles qui doivent être respectées, garantissant ainsi la construction de bâtiments solides et fiables. **Quatrièmement**, la méthode des forces sismiques équivalentes est une approche efficace pour

calculer les effets des forces sismiques sur les structures, car elle simplifie les calculs en remplaçant les procédures sismiques complexes par une seule force équivalente, ce qui facilite la conception et l'analyse des bâtiments en cas de séisme.

Difficultés :

L'une des raisons qui ont encouragé la création de ce projet est la difficulté du calcul manuel et traditionnel, qui est souvent complexe, prend beaucoup de temps et peu précis. Dans le domaine du génie civil, la complexité des calculs manuels demeure un pilier fondamental des connaissances et des pratiques essentielles. En tant qu'étudiants en Master 2 en Génie Civil, comprendre les intrications et les défis liés aux calculs manuels est crucial. Ces calculs forment la base sur laquelle sont construites la conception, l'analyse et la mise en œuvre des structures et infrastructures. La complexité des calculs manuels en génie civil représente un aspect essentiel et fondamental dans la pratique de cette discipline. Elle se manifeste à plusieurs niveaux, tant dans la conception que dans l'analyse des structures et infrastructures. Cette complexité découle principalement de plusieurs facteurs clés :

1.Précision et Exactitude : Les calculs manuels exigent une précision extrême pour garantir la sécurité et la durabilité des structures. Chaque détail doit être minutieusement calculé pour éviter tout risque de défaillance.

2.Variété des Conditions de Chargement : Les structures doivent être capables de résister à une multitude de charges différentes telles que les charges permanentes, les charges d'exploitation, les charges climatiques (vent, neige) et les charges sismiques. Calculer l'impact de ces charges sur la structure nécessite une analyse approfondie et précise.

3.Complexité des Modèles Mathématiques : Les équations et modèles mathématiques utilisés pour décrire le comportement des matériaux et des structures peuvent être complexes. Cela inclut par exemple l'étude des déformations, des contraintes et des interactions entre différents éléments de la structure.

4.Normes et Réglementations : Les calculs doivent être conformes aux normes et aux réglementations en vigueur, qui évoluent souvent pour répondre aux nouvelles découvertes et aux besoins de sécurité croissants.

5.Diversité des Matériaux et Techniques : Avec l'évolution des matériaux de construction et des techniques de construction, les calculs doivent souvent s'adapter pour intégrer ces nouveaux éléments tout en assurant la cohérence avec les méthodes établies.

Les ingénieurs peuvent éviter tous les obstacles rencontrés lors du calcul manuel mentionné précédemment en automatisant les calculs et en concevant des applications, comme notre projet de mémoire qui a une orientation pédagogique pour comprendre les étapes du calcul et les équations utilisées. Il est crucial de concevoir des applications pour les calculs longs et complexes afin de gagner du temps et d'améliorer la précision des résultats finaux.

• Démarche Scientifique :

Objectifs du mémoire :

Ce mémoire aborde la conception de l'application réalisée à l'aide du langage "VISUAL BASIC FOR APPLICATIONS VBA ". Cette application permet de définir à la fois "Efforts tranchants V " et "Spectre de Reponse" conformément à " RPA V99/2003 ". Elle se distingue par son caractère éducatif, offrant une compréhension du processus de calcul à travers des documents joints (carte et formules utilisées dans le calcul), ainsi que l'affichage des résultats finaux, le tout dans " Notice de calcul ". Le lancement du calcul commence par la détermination de la zone sismique et se termine par la définition de " Spectre ".

Le programme Excel est considéré comme l'un des programmes qui profitent grandement à l'ingénieur au cours de son travail, car il lui offre la possibilité d'effectuer facilement des calculs planifiés, avec la possibilité de formater la page pour qu'elle soit prête à être imprimée et d'ajouter des fonctionnalités personnalisées pour chacun selon le type de travail à accomplir. Pour créer l'application, j'ai eu recours à la programmation utilisant (VBA) comme langage de programmation intégré. Il s'agit d'une méthode d'écriture basée sur (EXCEL), et elle a été utilisée dans le mémo comme suit :

- Ajoutez un ensemble de textes à la feuille de calcul, tels que le nom de l'entreprise, par exemple, la date, son nom personnel et d'autres textes qu'on ajoute habituellement en cliquant sur un bouton ou en appuyant sur un raccourci du clavier.
- Exécuter un ensemble de tâches répétitives sur plusieurs feuilles de calcul. On peut également effectuer ces tâches en parallèle via un bouton au lieu de les exécuter étape par étape à chaque fois.
- Si les opérations prennent beaucoup de temps si elles sont effectuées manuellement, elles sauvegardent le temps et évitent également les erreurs.

Ajout de boutons Nouveaux dans la barre de commandes, ces boutons permettent d'exécuter une commande ou un groupe de commandes. Ajout de nouvelles fonctions qui ne sont pas

présentes dans Excel. Par exemple, on peut ajouter une fonction pour calculer la quantité de ferrailage dans une section rectangulaire soumise à un moment en fonction des données d'autres cellules.

- Développer un programme intégré qui fonctionne dans l'environnement Excel, c'est-à-dire concevoir de nouvelles fenêtres et fournir au programme un fichier d'instructions, sa propre barre d'outils, etc.
- Lier des programmes entre eux Par exemple, on peut lire certaines valeurs dans Excel, et sur cette base, on peut rédiger un rapport dans Word ou les stocker dans une base de données Access ou Oracle, on peut également transférer ces valeurs vers AutoCAD sous forme de dessins, le tout dans le programme VBA.

•Intérêt du sujet :

Avantages de l'automatisation

L'automatisation survient lorsque on utilise la technologie pour effectuer des tâches sans intervention humaine. Cela implique de créer des systèmes pouvant exécuter des processus, contrôler des machines ou gérer les données automatiquement. L'automatisation repose sur des programmes informatiques et des algorithmes pour exécuter des étapes prédéfinies. On crée des règles, des conditions ou des scripts qui indiquent au système ce qu'il doit faire, et il suit ces instructions sans avoir besoin d'une entrée manuelle.

Les avantages de l'automatisation :

L'automatisation offre plusieurs avantages, dont l'efficacité accrue, la réduction des erreurs humaines, un traitement plus rapide, des économies de coûts, l'extensibilité et la capacité à gérer des tâches répétitives, libérant ainsi votre temps pour les travaux plus complexes.

Contribution à la pratique professionnelle :

La contribution à la pratique professionnelle des ingénieurs est essentielle à leur développement et à garantir des normes élevées dans leur travail.

Les ingénieurs doivent continuellement améliorer leurs compétences, se tenir au courant des nouvelles technologies et méthodes et adhérer aux normes éthiques de leur profession.

Cela peut inclure la participation à des formations, la collaboration avec d'autres professionnels et la participation à des activités de développement professionnel pour rester compétitif et fournir des services de qualité.

•**Structure du mémoire :**

Chapitre 1 : Introduction Générale

Contexte et Importance

- Histoire et impact des séismes en Algérie.
- Importance de la conception parasismique.
- Introduction au code RPA 99/2003.

Objectifs de la Thèse

- Développement d'une application VBA.
- Automatisation de la méthode statique équivalente.

Chapitre 2 : Méthodes de Calcul Parasismique

Introduction aux Méthodes de Calcul Parasismique

- Méthodes dynamiques : analyse modale, analyse spectrale.
- Méthodes statiques : méthode statique équivalente.

Chapitre 3 : Caractéristiques des Structures en Béton Armé

Propriétés des Structures en Béton Armé

- Propriétés des matériaux.
- Comportement structurel sous charges sismiques.

Critères de Conception

- Régularité et continuité.
- Exigences des fondations.

Chapitre 4 : Critères de Classification

Classification par Zone Sismique

- Zones sismiques en Algérie.
- Importance de la classification par zone.

Classification par Importance des Ouvrages

- Catégorisation des bâtiments (résidentiel, industriel, infrastructure critique).

Classification par Configuration Structurelle

- Structures régulières vs. Irrégulières.
- Implications pour la conception parasismique.

Chapitre 5 : Règles de Calcul de la Force Sismique - Méthode Statique Équivalente

Conditions d'Application de la Méthode

- Critères pour l'application de la méthode statique équivalente.

Principes de Calcul

- Calcul des forces sismiques.

Distribution des Forces Sismiques

- Méthodes de distribution des forces.
- Considérations pour différentes configurations de bâtiments.

Chapitre 6 : Développement de l'Application VBA

Processus de Développement

- Planification et définition du problème.

Implémentation

- Codage de la logique de calcul
- Algorithmes et leur mise en œuvre en VBA.

Fonctionnalités et Capacités de l'Application

- Présentation des fonctionnalités.

CHAPITRE I : INTRODUCTION GÉNÉRALE

I-INTRODUCTION :

Avant de débiter notre étude, nous allons d'abord fournir quelques informations générales sur la sismicité en Algérie, les divers séismes que l'Algérie a enregistrée, ainsi que quelques concepts théoriques fondamentaux sur le comportement sismique des différents systèmes structuraux (portiques auto-stables, mixtes et voiles). La conception parasismique prend en compte les caractéristiques structurelles particulières qui déterminent le comportement de la structure (rigidité, résistance et ductilité), ainsi que les critères de classification : Zones de sismicité et systèmes de contreventement, conformément à la version la plus récente de R.P.A99/2003.

Dans la dernière partie de ce chapitre, on présente l'impact de la zone sismique sur la résistance et le déplacement d'une structure en béton armé, ainsi que les critères de classification des systèmes de support.

I-1.La sismicité

Un séisme ou tremblement de terre est le mouvement brusque d'une partie de la surface de la Terre, dû à la libération d'une grande quantité d'énergie accumulée depuis plusieurs années, voire plusieurs dizaines d'années, dans une zone sismo-active. Il est possible que cette énergie atteigne une grandeur de 10^{17} Joules, sur des surfaces assez grandes, allant jusqu'à des centaines de kilomètres carrés. La propagation de cette énergie se fait dans toutes les directions sous forme d'ondes sismiques qui provoquent une série de mouvements vibratoires à la surface de la Terre.

I-2. Histoire et impact des séismes en Algérie :

La position de l'Algérie sur la plaque Afrique est en collision constante avec la plaque Eurasie. Ces deux plaques se rencontrent avec une vitesse de rapprochement de l'Afrique par rapport à l'Europe constante d'environ 5 mm par an (Figure I-1), ce qui entraîne une collision de côté.[1]

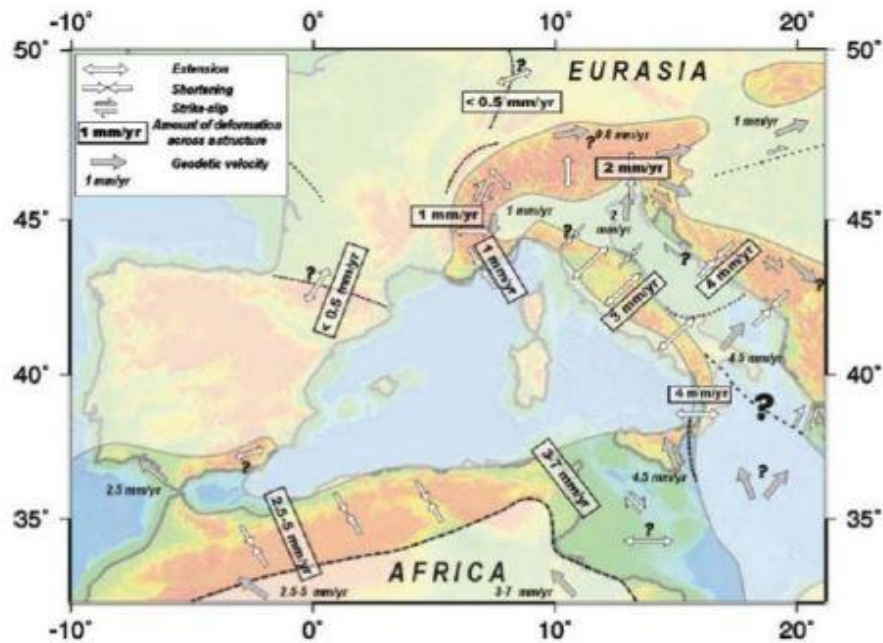


Figure I.1. Zone de la limite de plaque Afrique-Europe en méditerranée occidentale et quantité de déformation dans les zones sismiquement actives.[2]

Dans l'Atlas Tellien, on observe une transition entre les plaques des chaînes de montagnes, des plis et des failles principalement orientés NE-SW et une direction de raccourcissement ~NNW-SSE (Fernandez-Ibañez et al., 2007 ; Domzig, 2006 ; Stich et al., 2006 ; Nocquet & Calais, 2004 ; Calais et al. 2003 ; Fernandez et al., 2003 ; Henares et al., 2003 ; McClusky et al., 2003 ; Meghraoui et al. 1996).[1]

On trouve la sismicité de l'Algérie dans la partie nord du pays, qui est constituée de quatre domaines morpho-structuraux : l'Atlas Tellien, les hauts plateaux, l'Atlas Saharien et la partie nord de la plateforme saharienne (Figure I-2). La sismicité est fréquente et de grande intensité sur l'Atlas Tellien. La sismicité se produit lorsque l'on se dirige vers le sud. L'Atlas Saharien et la partie nord de la plateforme saharienne sont touchés par des séismes modérés. Par exemple, on peut citer les séismes de la région d'El Djelfa (le 09/01/2007 ; ML = 4.1), de la région d'El Oued (le 09/07/2007 ; ML = 5.2) et plus récemment de la région d'Ain Sefra (le 14/12/2009 ; ML = 5.0).[1]

La sismicité de l'Algérie se manifeste par des séismes et se concentre dans les 20 premiers kilomètres. En général, cette sismicité est caractérisée par des tremblements de terre faibles à modérés. Cependant, plusieurs tremblements de terre ont eu lieu dans l'Atlas Tellien, tels que le tremblement de terre d'El Asnam du 10 octobre 1980 ($M_s=7.3$) et le séisme de

Boumerdès-Zemmouri du 21 mai 2003 (Mw=6.8). En général, on observe des failles inverses et/ou de coulissement dans les structures actives (Figure I-3). Ces séismes sont principalement causés par des failles orientées NE-SW. (Ouyed et al. 1983 ; Meghraoui, 1988 & 1996 ; Bounif et al. 2004, Delouis et al. 2004 ; Yelles-Chaouche et al. 2004). L'existence aussi d'une faille de coulissement senestre orientée NS, qui a joué le 20 mars 2006 (Mw=5.2) dans la région des Babors (Beldjoudi et al. 2009).[1]

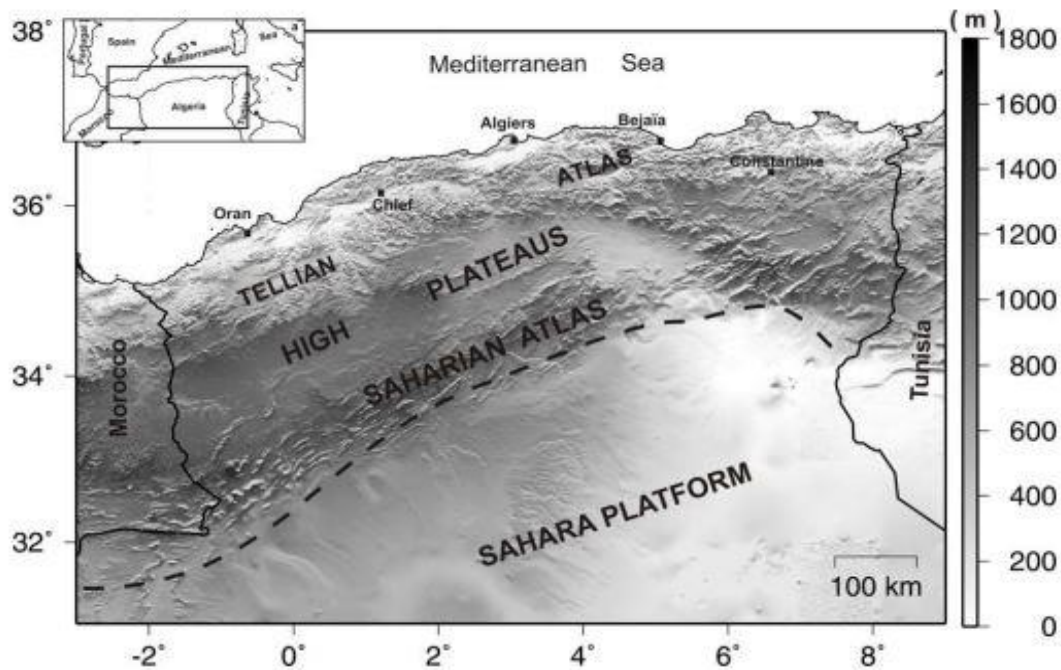


Figure I.2. Aires d'occupation de la sismicité algérienne (domaines morpho-structuraux)[2]

I-3. Importance de la conception parasismique :

Il est crucial de mettre en place une conception parasismique afin de minimiser les dégâts et les pertes en vies humaines lors de séismes. Voici quelques éléments essentiels concernant son rôle :

- **Réduction des risques**

L'objectif de la conception parasismique est de créer des constructions et des infrastructures qui peuvent faire face aux événements sismiques. Cela permet de diminuer de manière significative les dégâts et les effondrements lors d'un tremblement de terre, ce qui permet de sauver de nombreuses vies.

- **Amélioration de la résilience**

Des structures bien élaborées sur le plan parasismique offrent à une communauté une résistance accrue et une remise en état plus rapide après un séisme. Cela favorise la capacité globale de résilience face aux catastrophes.[3]

- **Conformité réglementaire**

Dans de nombreux pays, il existe des normes de construction anti-sismique. Il est souvent nécessaire de se conformer à ces normes afin d'obtenir les permis de construire. Ainsi, la conception parasismique est une exigence légale.[4]

- **Réduction des coûts**

Malgré les frais supplémentaires liés à la conception parasismique, ils sont très faibles par rapport aux dommages potentiels. L'investissement dans la conception parasismique permet d'éviter des frais de réparation et de reconstruction considérables à la suite d'un séisme.[5]

- **Sentiment de Sécurité**

Une conception parasismique appropriée apaise les résidents des édifices. Ils ont la possibilité de vivre et de travailler en sachant que leur sécurité est garantie en cas de séisme.[3]

En résumé, la conception parasismique est cruciale pour protéger les vies humaines, réduire les dommages, assurer la conformité réglementaire, limiter les coûts et offrir la tranquillité d'esprit. C'est un élément essentiel de la construction durable et résiliente.

I-4. Introduction au code RPA 99/2003 :

La Commission Technique Permanente pour le Contrôle Technique de la Construction (CTP) a approuvé le RPA 99/2003, ou Règles Parasismiques Algériennes, en décembre 1999, comme un document technique réglementaire. Cette version 2003 est une mise à jour de la précédente version, RPA 81, qui a été publiée en 1983. Le Centre national de recherche appliquée en génie parasismique (CGS) a développé cette étude en tenant compte des récents séismes en Algérie et à l'étranger.[6]

Le projet de loi RPA 99/2003 vise à renforcer la sécurité des constructions en Algérie en établissant des règles et des normes pour la conception et la réalisation de bâtiments qui peuvent faire face aux séismes. Le document est structuré en plusieurs chapitres qui abordent les aspects généraux, la catégorisation des zones sismiques, les exigences pour les structures en acier, ainsi que d'autres sujets intéressants.

En résumé, le RPA 99/2003 est un document technique réglementaire qui a été élaboré pour améliorer la sécurité des constructions en Algérie en fournissant des règles et des normes pour la conception et la construction de bâtiments résistants aux séismes.

II- Développement d'une application VBA

II-1.Introduction :

La programmation dans le domaine du génie civil combine des compétences en informatique et en ingénierie civile, ce qui permet de résoudre de manière efficace et novatrice des problèmes complexes. Des logiciels de modélisation et de calcul sont employés par les ingénieurs en génie civil afin d'analyser les structures, de concevoir des bâtiments, d'étudier les séismes, etc. Les étudiants dans le domaine du génie civil ont la possibilité de créer des logiciels pour automatiser des tâches, réaliser des simulations ou analyser des données.

II-2.Présentation de l'environnement de développement :

II-2-1.Excel :

Excel est un logiciel de la suite bureautique Office de Microsoft qui permet la création de tableaux, de calculs automatisés, de plannings, de graphiques, et plus encore. On l'emploie couramment pour concevoir différents types de tableaux et y intégrer des calculs, ce qui permet de mettre automatiquement à jour les valeurs en fonction des données saisies et des calculs réalisés. Il est souvent utilisé par les comptables pour des opérations comme la gestion budgétaire et la création de devis. En outre, Excel permet de produire des graphiques visuellement agréables afin d'améliorer la visualisation et l'interprétation des données, ce qui en fait un outil puissant de visualisation mathématique.

II-2-2. Le langage de programmation VBA :

VBA est une version de Microsoft Visual Basic qui est intégrée dans les applications de Microsoft Office. Il s'agit d'un langage de programmation qui permet de superviser et de manipuler Excel, Word, Access, Outlook, ainsi que d'autres applications. VBA offre deux approches principales : les macros, qui enregistrent des opérations manuelles, et les processus complexes qui contrôlent des tâches avancées. Il est largement utilisé pour automatiser des tâches répétitives, enrichir les interfaces utilisateur, et intégrer des fonctionnalités supplémentaires. Les professionnels de la finance l'utilisent pour analyser des données, créer des modèles de trading, de prix et de gestion des risques, ainsi que pour effectuer des analyses de scénarios et organiser des informations.

Pour développer une application VBA, il faut utiliser Visual Basic for Applications (VBA) pour créer des programmes sur mesure pour le système d'exploitation Windows. Voici une synthèse des éléments essentiels associés à la création d'une application VBA, en se basant sur les sources fournies :

- **Langage de programmation** : Microsoft détient et développe VBA, un langage de programmation informatique. Il offre la possibilité de concevoir des macros afin d'automatiser des fonctions de traitement de texte et de données répétitives, ainsi que de produire des formulaires sur mesure, des présentations visuelles et des rapports.

- **Utilisation dans MS Office** : VBA est utilisé dans les applications Microsoft Office telles qu'Access, Excel, PowerPoint, Publisher, Word et Visio pour leur fonctionnement et l'accès se fait à l'aide de l'instruction (Alt + F11). Les utilisateurs ont la possibilité de personnaliser au-delà des fonctionnalités habituellement offertes par ces applications.

- **Modules** : Les modules sont des lieux où le code VBA est stocké dans Excel. Le code VBA est inclus dans ces fichiers et peut être enregistré dans un dossier de modules. Les modules sont indispensables pour la rédaction et le stockage du code VBA.

- **Objets** : La plupart du code VBA est utilisé pour manipuler des objets tels que des classeurs, des feuilles de calcul, des cellules, des plages de cellules ou des polices de caractères. Les objets sont sélectionnés ou référencés dans le code lors de la programmation en VBA.

- **Procédures** : Les procédures sont des blocs de code qui effectuent des tâches spécifiques. Il existe deux types de procédures en VBA : les procédures Sub qui effectuent une action et les procédures Function qui effectuent des calculs et renvoient une valeur.

En résumé, le développement d'une application VBA implique l'utilisation de Visual Basic for Applications pour créer des programmes personnalisés dans les applications Microsoft Office, en utilisant des modules, des objets, des procédures et des déclarations pour automatiser des tâches et personnaliser l'expérience utilisateur.

III- Automatisation de la méthode statique équivalente:

L'analyse sismique d'une structure dans sa forme réelle est souvent très complexe et nécessite un calcul très difficile. C'est pourquoi on utilise fréquemment des techniques qui permettent de réduire assez le problème pour pouvoir l'analyser.

Dans cette méthode, on substitue les forces réelles dynamiques qui se manifestent dans la construction par un système de forces statiques fictives dont les effets sont attribués à ceux de l'action sismique.

Le terrain peut se déplacer dans n'importe quelle direction dans le plan horizontal. On appliquera successivement les forces sismiques horizontales équivalentes dans deux directions orthogonales caractéristiques sélectionnées par le projeteur. En règle générale, ces deux axes représentent les principaux axes du plan horizontal de la structure.

Il faut souligner toutefois que les forces et les déformations obtenues pour l'élément à partir des méthodes d'analyse statiques pour les charges de conception recommandées sont inférieures aux forces et aux déformations qui seraient observées sur la structure sous les effets d'un séisme majeur pour lequel les charges ont été spécifiées. Ce dépassement des forces est équilibré par le comportement ductile qui est fourni par les détails de construction de l'élément. C'est pourquoi l'utilisation de cette méthode ne peut être dissocié de l'application rigoureuses des dispositions constrictive garantissant à la structure un comportement ductile.

CHAPITRE II : Méthodes de Calcul Parasismique

I- Introduction aux Méthodes de Calcul Parasismique

I-1. Méthodes Dynamiques :

I-1-1. Méthode dynamique modale spectrale

1-1. Définition :

Les fréquences, les coefficients de participation et les masses effectives dans chaque direction d'excitation de chaque mode de la structure peuvent être identifiés grâce à l'analyse modale. Chaque mode de vibration est caractérisé par sa pulsation ω_i et par le vecteur propre associé Φ_i . [8]

La détermination de la réponse de la structure et son dimensionnement peuvent se faire par cette méthode de calcul selon la nature de sollicitation sismique qui est décrite sous forme d'un spectre de réponse. [9]

1-2. Conditions d'application de la méthode d'analyse modale spectrale :

Il est possible d'utiliser la méthode d'analyse modale spectrale dans tous les cas, et surtout, lorsque la méthode statique équivalente n'est pas autorisée.

1-3. Principes de base de la méthode de l'analyse modale spectrale :

La superposition des mouvements vibratoires découplés des modes propres d'un bâtiment se manifeste par le mouvement vibratoire d'un bâtiment, qui se comporte comme des oscillateurs simples et indépendants. Il est donc possible d'analyser individuellement l'impact du séisme sur chaque mode, puis de combiner l'ensemble.

L'objectif final du calcul consiste à déterminer les valeurs maximales des mouvements, des efforts et des contraintes causés par l'action des deux éléments horizontaux et verticaux du séisme.

Dans la réalité, l'analyse modale spectrale présentée ci-dessous ne tient compte que de l'impact des composantes sismiques horizontales sur le complexe.

Les étapes d'un calcul par analyse modale spectrale sont résumées ci-dessous.

1-4. Les hypothèses de calcul :

- Masse concentrée au niveau du nœud principal.

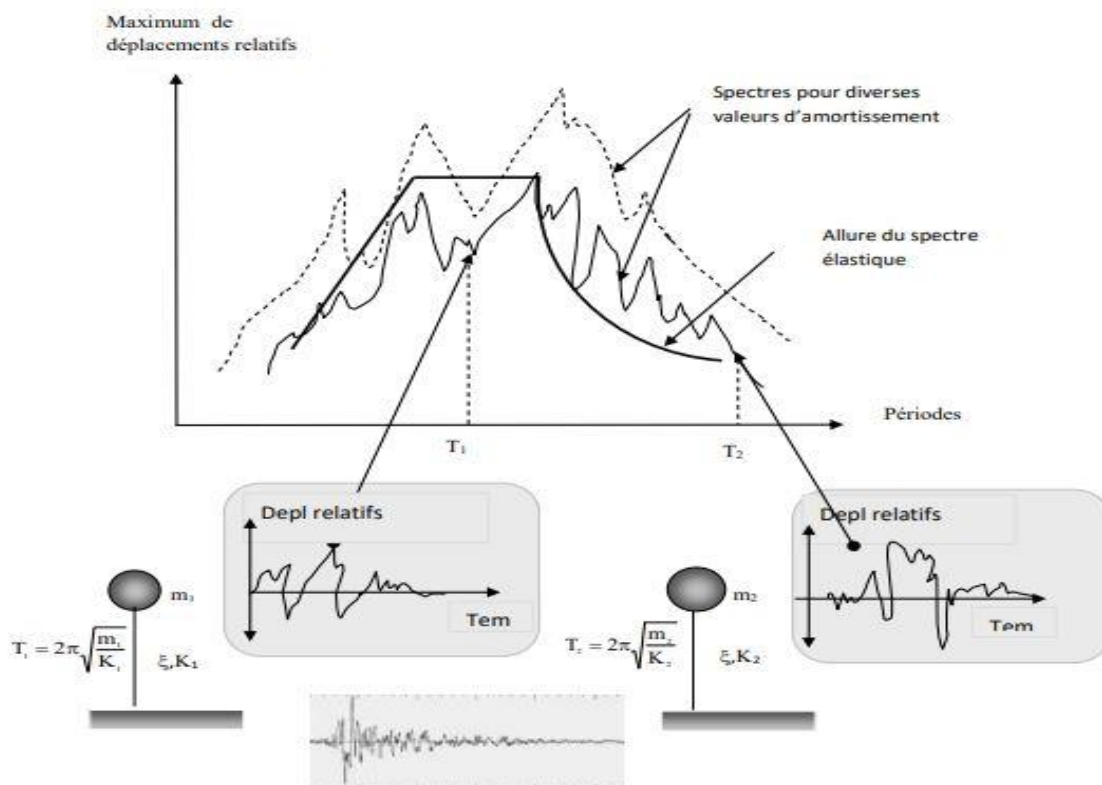
- Seuls les déplacements horizontaux sont pris en compte.
- Les planchers et les fondations sont considérés comme rigides dans leurs plans.
- Le nombre de modes à prendre en compte est tel que la somme des coefficients de participations modales soit au moins égale à 90%.

1-5. Spectre de réponse :

1-5-1. Définition d'un spectre de réponse :

Un spectre de réponse est une courbe de réponse maximale en termes de déplacements, de vitesses ou d'accéléérations pour un système à un seul degré de liberté soumis à une excitation sismique [10].

La figure II-1 représente la procédure de la construction du spectre de déplacements à partir des déplacements maximaux de plusieurs oscillateurs simples avec différentes masses et plusieurs valeurs d'amortissement.

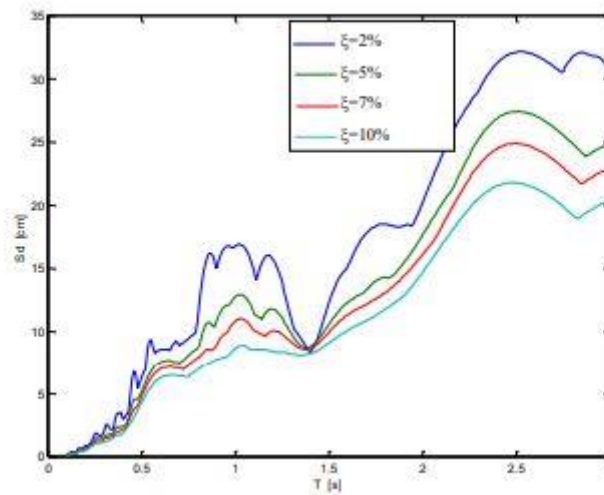


FigureII-1: Construction d'un spectre de déplacement

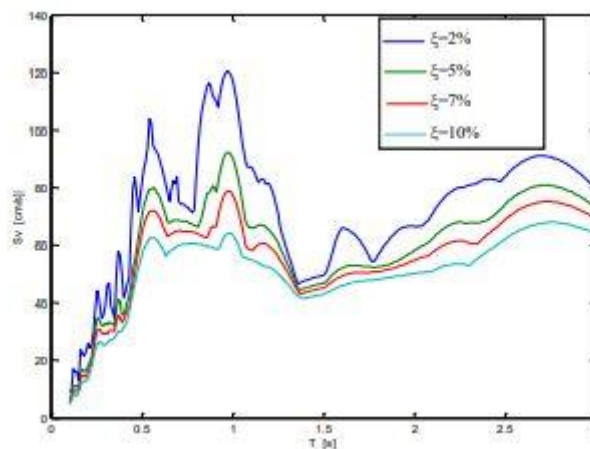
Pour une valeur d'amortissement donnée ξ , les courbes suivantes représentent respectivement le spectre de déplacement, le spectre de vitesse et le spectre d'accélération pour un séisme donné [10] :

- Spectre de déplacement : $S_{de}(\omega, \xi) = S_{de}$
- Spectre de vitesse : $S_{ve}(\omega, \xi) = \omega S_{de}$
- Spectre d'accélération : $S_{ae}(\omega, \xi) = \omega^2 S_{de}$

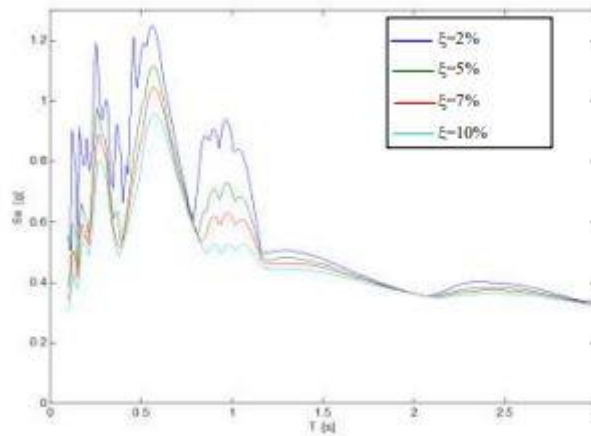
Un exemple de l'allure de ces spectres est présenté par les figures II-2, II-3, II-4 [11]:



FigureII-2: Spectre de déplacement pour différentes valeurs de l'amortissement ($\xi=2$ à 10%)



FigureII-3: Spectre de vitesse pour différentes valeurs de l'amortissement ($\xi=2$ à 10%)



FigureII-4: Spectre d'accélération pour différentes valeurs de l'amortissement ($\xi=2$ à 10%)

1-5-2. Spectre de réponse de calcul :

L'action sismique est représentée par le spectre de calcul suivant :

$$\frac{S_a}{g} = \begin{cases} 1.25A \left(1 + \frac{T}{T_1} \left(2.5\eta \frac{Q}{R} - 1 \right) \right) & 0 \leq T \leq T_1 \\ 2.5\eta(1.25A) \left(\frac{Q}{R} \right) & T_1 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta(1.25A) \left(\frac{Q}{R} \right) \left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\eta(1.25A) \left(\frac{T_2}{3} \right)^{2/3} \left(\frac{3}{T} \right)^{5/3} \left(\frac{Q}{R} \right) & T > 3.0s \end{cases}$$

Le spectre de dimensionnement en accélération dépend de :

A : coefficient d'accélération de zone (tableau 1).

η : facteur de correction d'amortissement.

ξ : pourcentage d'amortissement critique (tableau 3).

R : coefficient de comportement de la structure (tableau 5).

T1, T2 : périodes caractéristiques associées à la catégorie de site (tableau 2).

Q : facteur de qualité (tableau 4).

Dans la détermination de la valeur de Q, il y a lieu de tenir compte que les irrégularités en plan et en élévation ont déjà été prises en charge par le modèle. Par ailleurs, en cas d'analyse tridimensionnelle il y a lieu de prendre comme valeur de Q la plus pénalisante, des valeurs calculées suivant les deux directions orthogonales de référence.

Il est nécessaire d'appliquer l'action sismique dans toutes les directions considérées comme déterminantes pour le calcul des forces sismiques et dans les directions qui leur sont

perpendiculaires, en tenant compte de la configuration en plan de la structure. Pour les structures dont les éléments de contreventement sont présents le long de deux directions orthogonales, ces deux directions sont à considérer comme directions d'excitation.

1-6. Les procédures de l'analyse modale :

Les étapes de l'analyse dynamique linéaire utilisant la méthode modale spectrale sont les suivantes :

A- Modélisation du bâtiment :

- Modélisation du bâtiment d'une manière qui reproduise au mieux son comportement dynamique réel. Une bonne modélisation nécessite en général un ensemble de réflexions et de choix sur les points suivants : [8]

- Modélisation tridimensionnelle, 3D est souvent inutile pour des structures suffisamment symétriques.

- La mise en place d'un modèle, en prenant en considération une compréhension approfondie des demandes dans les différents éléments, ou simplement une réponse globale qui fournira des données pour des analyses locales précises (la sélection de la taille et du nombre). Il est nécessaire que les éléments soient adéquats pour que la modélisation soit physiquement valide.

- Illustration des éléments non structuraux qui ne jouent pas un rôle dans la résistance de l'ouvrage et qui peuvent avoir un impact significatif sur le comportement de la structure. Ils peuvent avoir un impact sur la réponse de l'ouvrage, par exemple : rigidification progressive. Une éventuelle modification des fréquences propres peut être causée par les matériaux de remplissage, ce qui peut entraîner une amplification des réactions d'appui des équipements.

- La sélection d'un modèle qui prend en considération la description des caractéristiques mécaniques des matériaux et leurs éventuels changements sous des conditions de fortes sollicitations.

- Dans le cas de séisme, il faut représenter un modèle pour les modes propres dont les fréquences sont inférieures à la fréquence de coupure du spectre, c'est-à-dire la fréquence au-delà de laquelle il n'y a plus d'amplification dynamique significative (cette fréquence est généralement de l'ordre de 25-33 Hz) [9].

B- Détermination des caractéristiques dynamiques ω_i et ϕ_i :

- On utilise la superposition modale pour estimer la réaction des structures face à l'excitation sismique dans le domaine de l'élasticité linéaire. La matrice de masse \mathbf{M} et la matrice de rigidité \mathbf{K} sont orthogonales par rapport aux différents modes propres. Ainsi, il existe plusieurs modes

orthogonaux et réels qui constituent une fondation sur laquelle nous allons nous appuyer. Il s'agit d'une base modale.

-Recherche des modes de vibration spécifiques de l'oscillateur multiple composé de la structure, lorsqu'il est soumis à un chargement dynamique donné.

-Ainsi, l'utilisation de la décomposition modale permet de ramener l'analyse d'un système à N degrés de liberté à celle de n oscillateurs simples, et de revenir ainsi aux résultats obtenus pour l'oscillateur simple.

-On numérote les modes dans l'ordre des périodes décroissantes, celui dont la période est la plus longue étant parfois appelé le mode fondamental (figure II-6).

-Les modes propres de vibration de la console peuvent se calculer mathématiquement. Chacun d'eux est caractérisé par sa période propre (ou pulsation ω_i) et sa déformée propre. Un mode propre est donc une configuration particulière de vibration de la structure, si la structure vibre selon son seul mode propre ϕ_i , de période propre et de déformée propre, tous les points de la structure vont osciller horizontalement, selon un mouvement sinusoïdal de période, entre deux positions extrêmes correspondant aux situations ϕ_i et $-\phi_i$.

Pour chaque mode :

$$([K] - \omega_i^2[M])\{\phi_i\} = 0$$

C-Sélection des modes utiles :

Nous avons pour objectif de trouver les premiers modes propres. Dans le meilleur des cas, on pourrait envisager d'autres niveaux de liberté. Quand le rang de la matrice de masse est élevé, toutes les valeurs propres peuvent être déterminées. Cependant, cela correspondrait à Il est conditionné par un coût de calcul élevé et une augmentation de la mémoire vive. De plus, en raison des très faibles gains de précision, il est important de noter que l'erreur commise entraîne une sous-estimation des périodes des modes propres, ce qui, dans le domaine du calcul sismique, contribue à la sécurité.

Donc le cas du séisme, il est d'ailleurs inutile de calculer les modes dont la fréquence propre est supérieure à la fréquence de coupure du spectre du sol.[]

En réalité, il est plus pratique de s'appuyer sur les masses modales effectives $M_i(x)$, qui représentent la proportion de la masse totale du bâtiment utilisée dans chaque mode. Effectivement, la masse totale est égale à la somme des masses effectives pour une direction x . Ainsi, si la masse effective cumulée des modes pris en compte est assez proche de la masse totale, nous serons certains de ne pas oublier un mode influent.

En pratique, la plupart des règles parasismiques exigent de trouver les n premiers modes correspondant à une masse modale cumulée d'au moins 90% de la masse totale pour les deux directions de calcul comme critère de sélection des modes.

Le mouvement vibratoire de la structure correspond donc à la combinaison des mouvements découplés des premiers modes propres à la structure, qui réagissent indépendamment les uns des autres à l'action sismique de direction x. Le coefficient de contribution du mode j en fonction de la direction x détermine comment le mode j réagit à une excitation extérieure de la direction x.

$$\alpha_i = \frac{(\sum_{k=1}^n W_k \phi_k^i)^2}{\sum_{k=1}^n W_k (\phi_k^i)^2} \times \frac{1}{\sum_{k=1}^n W_k}$$

Avec : i: Niveau et k : Étage

D- Calcul du coefficient de distribution pour chaque niveau k :

$$\gamma_{i,k} = \phi_k^i \frac{\sum_{k=1}^n \phi_k^i}{\sum_{k=1}^n W_k (\phi_k^i)^2}$$

E- Evaluation de la force sismique appliquée au niveau k par le mode i :

$$F_{i,k} = \frac{S_a}{g} \gamma_{i,k} W_k$$

W_k : Poids du niveau k.

F- Déplacement modal maximal :

Il a été observé qu'un mode propre se comporte dynamiquement de la même manière qu'un simple oscillateur.

Prenons ainsi en compte un oscillateur basique, avec une période T et un coefficient d'amortissement ξ , dont le support est exposé à une secousse sismique décrite par son accélérogramme.

$$Y_n = \frac{L_n}{M_n \omega_n^2} S_{an}(T_n, \xi_n).$$

$$\text{Ou } L_n = \sum_{j=1}^k m_j \phi_{jn} \quad \text{et} \quad M_n = \sum_{j=1}^k m_j \phi_{jn}^2$$

Avec m_j : masse correspondant au niveau j.

La quantité $\frac{L_n}{M_n}$ représente le coefficient de répartition des déplacements ou des accélérations aux divers nœuds. Pour un oscillateur simple, sa valeur est égale à l'unité.

F- Le déplacement maximal : Le déplacement maximal de la structure est calculé comme suit :

$$x_{jn} = \frac{L_n}{M_n \omega_n^2} \phi_{jn} S_{an}(T_n, \xi_n).$$

G- L'effort tranchant et le moment : L'effort tranchant V_n et le moment M_n pour le mode n sont donnés par :

$$f_{jn} = \frac{L_n}{M_n} m_j \phi_{jn} S_{an}(T_n, \xi_n)$$

$$V_n = \sum f_{jn}$$

$$M_n = \sum h_j \cdot f_{jn}$$

Avec h_j : hauteur du niveau j .

Les étapes générales d'un calcul par analyse modales spectrale sont résumées dans les figures (II-5), (II-6) et (II-6 suite):

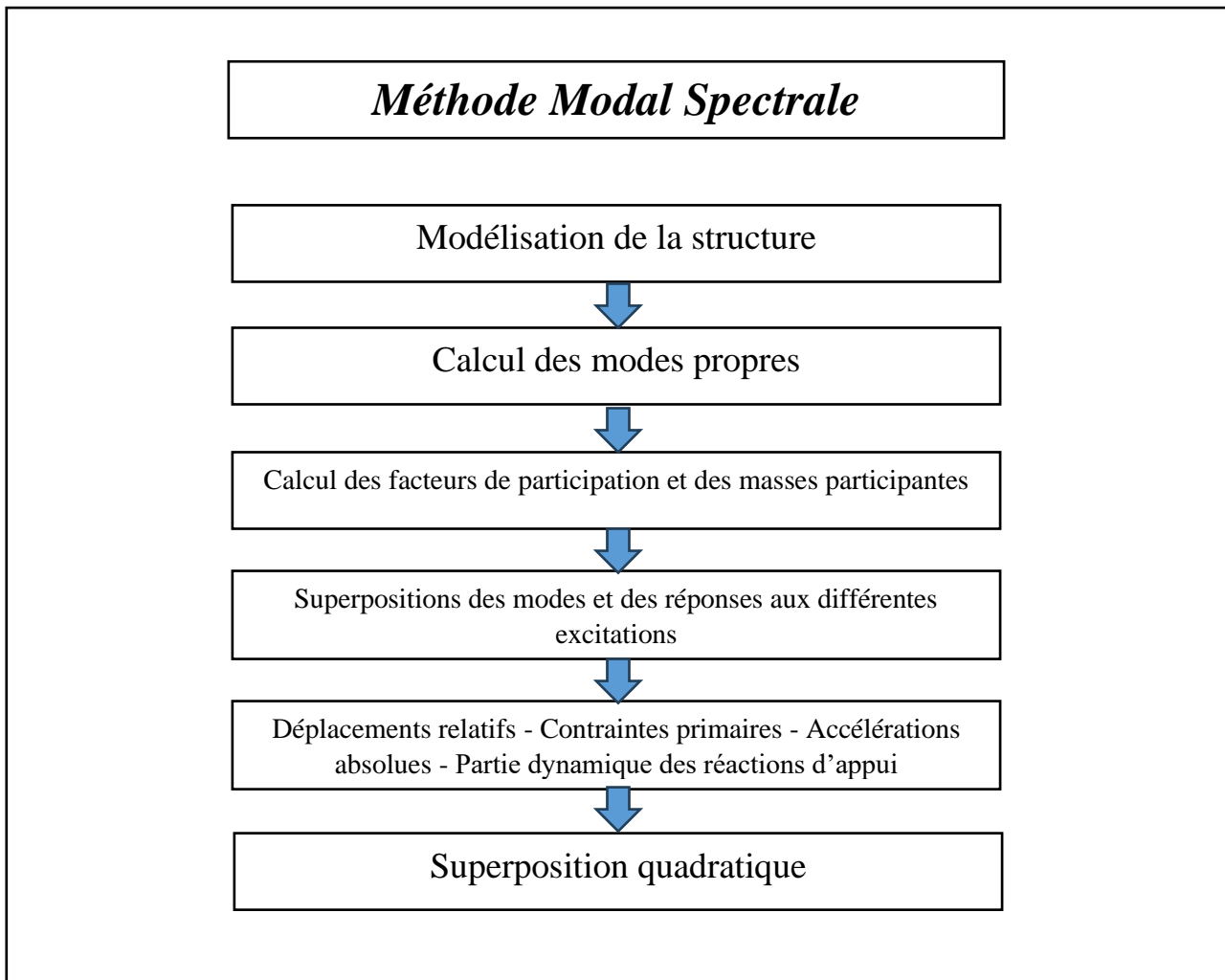


Figure II-5 : Schéma de l'organisation des calculs

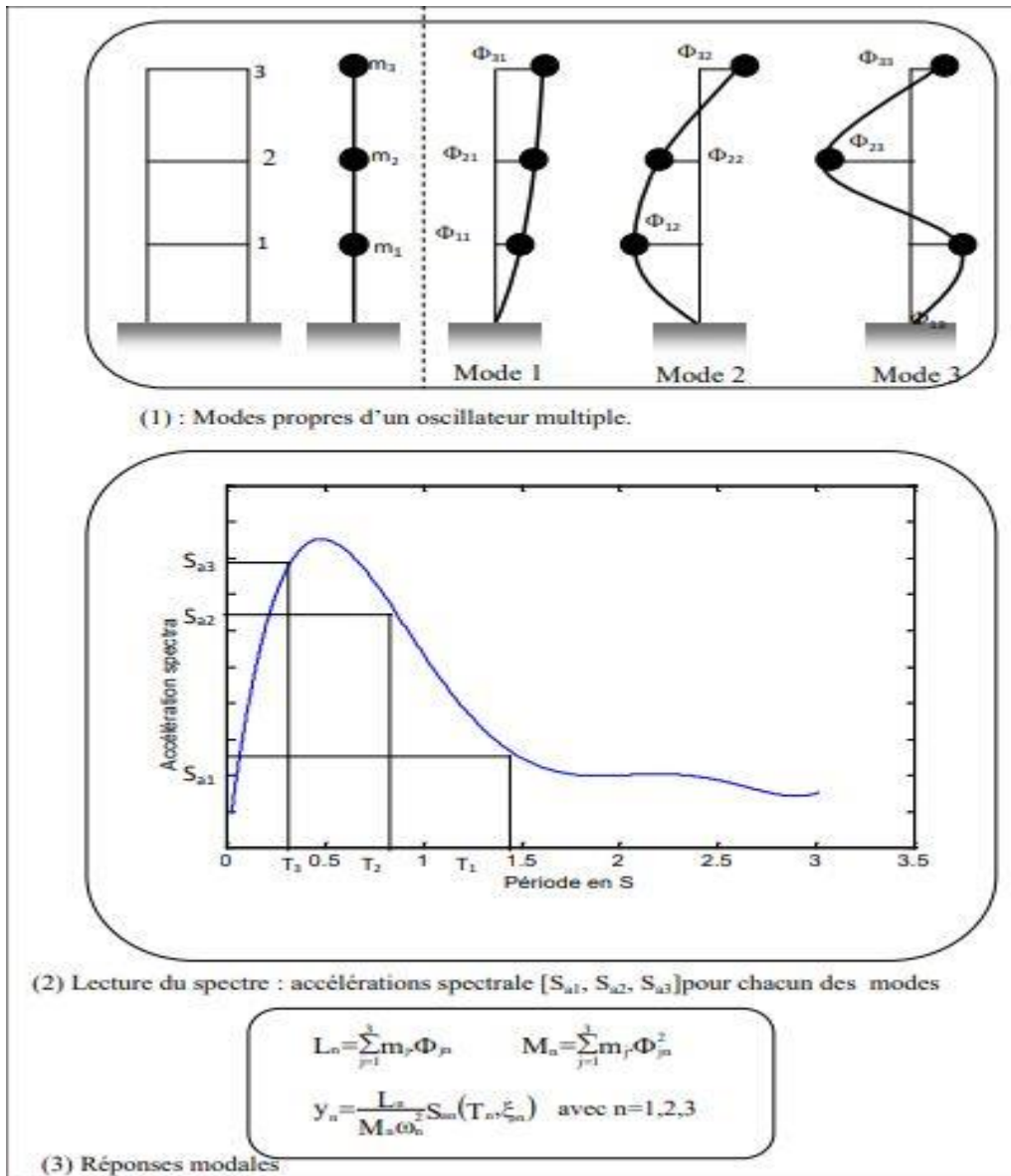


Figure II-6 : Principes de l'analyse à l'aide d'un spectre de réponse.

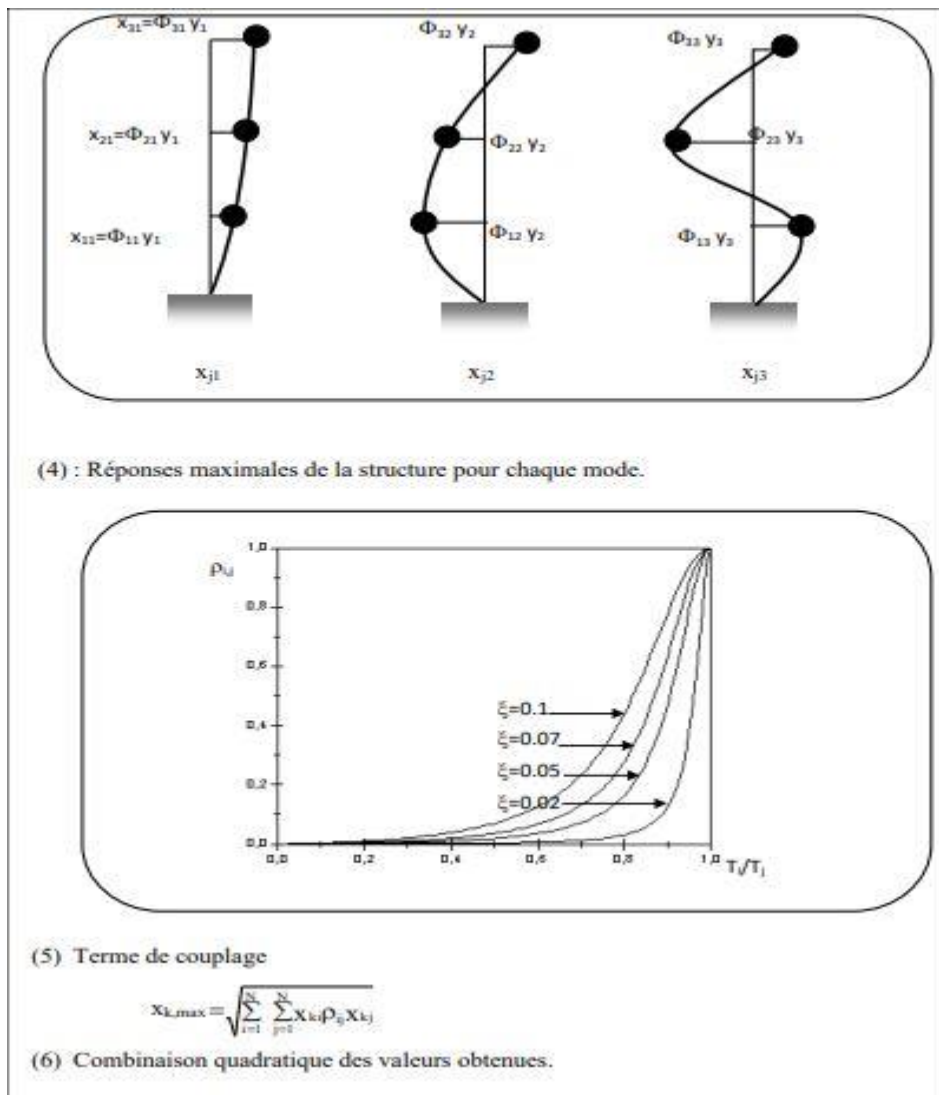


Figure II-6.(suite): Principes de l'analyse à l'aide d'un spectre de réponse.

I-2. Méthodes Statiques:

I-2-1-Méthode Statique Équivalente

1-1.Introduction :

La méthode statique équivalente est une approche utilisée pour évaluer les charges sismiques sur une structure en béton armé. Voici une introduction détaillée à cette méthode :

➤ Principe de la Méthode Statique Équivalente

La méthode statique équivalente consiste à analyser une structure sous l'effet d'un système de forces statiques équivalent à celles dynamiques de l'action sismique. Cela permet de calculer les forces sismiques qui s'exercent sur la structure sans avoir à considérer le mouvement dynamique du séisme.

➤ **Avantages**

- **Facilité d'application** : La méthode statique équivalente est plus facile à appliquer que la méthode dynamique, car elle ne nécessite pas de modélisation complexe de la structure et d'analyse spectrale.
- **Résolution de problèmes** : Elle permet de résoudre des problèmes de résistance aux sollicitations sismiques pour des structures symétriques, en évaluant les forces statiques équivalentes à celles dynamiques.

➤ **Limites**

- **Non applicable pour les structures asymétriques** : La méthode statique équivalente ne peut pas être appliquée directement aux structures asymétriques, car elle ne prend pas en compte les effets de l'asymétrie.
- **Nécessite une bonne modélisation** : Pour une application précise, il est important de disposer d'une bonne modélisation de la structure et des sols, ainsi que des propriétés mécaniques des matériaux.

➤ **Exemples d'Applications**

- **Calcul des forces sismiques** : La méthode statique équivalente est utilisée pour calculer les forces sismiques qui s'exercent sur une structure, en évaluant les forces statiques équivalentes à celles dynamiques.
- **Analyse des structures** : Elle est également utilisée pour analyser les structures en béton armé, en évaluant les efforts statiques équivalents à ceux dynamiques, ce qui permet de déterminer les forces sismiques et les sollicitations auxquelles la structure est soumise.

Conclusion :

En résumé, la méthode statique équivalente est une approche simple et efficace pour évaluer les charges sismiques sur des structures en béton armé, mais elle nécessite une bonne modélisation de la structure et des sols, et ne peut pas être appliquée directement aux structures asymétriques.

CHAPITRE III: Caractéristiques des Structures en Béton Armé

I- Propriétés des Structures en Béton Armé

I-1. Propriétés des matériaux :

I-1-1. Béton :

Le béton est un matériau de construction polyvalent, fabriqué de manière artificielle en mélangeant de manière étroite des matériaux inertes tels que les « granulats » (sable, graviers, pierres cassées...). Ils sont constitués de ciment, d'eau et éventuellement d'adjuvants pour modifier les caractéristiques. Il s'agit du matériau le plus couramment employé dans le domaine de la construction. Le béton joue un rôle essentiel dans une structure en résistant aux efforts de compression qui seront développés.

Il s'agit du matériau de construction le plus couramment employé dans le secteur de la construction. Le béton joue un rôle essentiel dans une structure en récupérant les forces de compression qui seront développées.

• Résistance mécanique du béton :

- Résistance caractéristique en compression f_{cj} :

Elle est définie par une valeur de la résistance à la compression du béton à l'âge de 28 jours par essais sur éprouvette cylindriques ($\varnothing = 16 \text{ cm}$; $h = 32 \text{ cm}$). Les résistances à « j » jours des bétons, peuvent être évaluées par les formules approchées suivants :

- Pour des résistances $f_{c28} \leq 40 \text{ MPa}$:

$$\begin{cases} f_{cj} = \frac{j}{4.76+0.83j} f_{c28} & \text{si } j < 60 \text{ jours} \\ f_{cj} = 1.1 f_{c28} & \text{si } j > 60 \text{ jours} \end{cases}$$

- Pour des résistances $f_{c28} > 40 \text{ MPa}$:

$$\begin{cases} f_{cj} = \frac{j}{1.4+0.95j} f_{c28} & \text{si } j < 28 \text{ jours} \\ f_{cj} = f_{c28} & \text{si } j > 28 \text{ jours} \end{cases}$$

- Résistance caractéristique en traction f_{tj} :

La résistance caractéristique à la traction du béton à (j) jours notée f_{tj} est plus faible que la résistance à la compression et elle est conventionnellement définie par la relation :

$$f_{t28} = 0.6 + 0.06 f_{c28} \text{ Avec } f_{cj} < 60 \text{ MPa}$$

• Modules de déformation longitudinale du béton E_{ij} :

Le module de déformation longitudinale instantanée, pour un chargement de durée d'application inférieure à 24 heures, est donné par :

$$E_{ij} = 11000 \sqrt[3]{f_{cj}}$$

Le module de déformation longitudinal différée du béton E_{vj} on utilisera le module différé, qui prend en compte artificiellement les déformations de fluage du béton. il est donné par la formule suivante :

$$E_{vj} = 3700 \sqrt[3]{f_{cj}}$$

• **Coefficient de poisson :**

On appelle coefficient de poisson le rapport de la **déformation transversale** relative à la **déformation longitudinale** relative :

$\nu = 0.20$ dans le cas des états limites de services l'ELS.

$\nu = 0$ dans le cas des états limites ultimes l'ELU.

• **Contrainte de calcul du béton comprimé :**

- **Contrainte ultime du béton (E.L.U) :**

Dans les calculs relatifs à l'E.L.U on utilise pour le béton un diagramme conventionnel dit **Parabole Rectangle**. Ce diagramme qui représente la contrainte de béton en fonction de son accourcissement (figure III.1), est constitué comme suit :

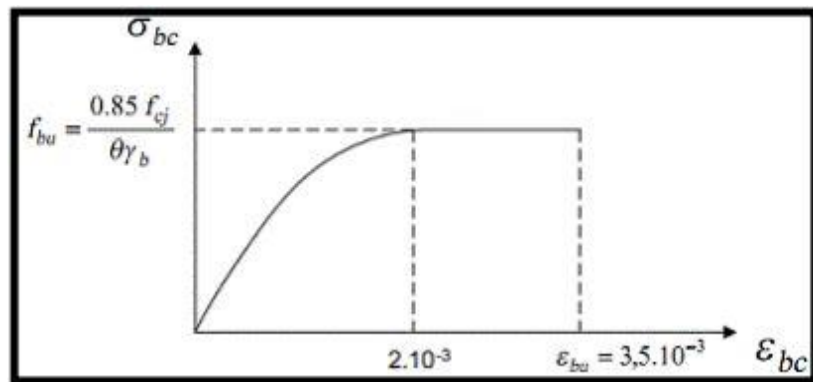


Figure III.1 : Diagramme déformation contrainte du béton

ϵ_{bc} : Déformation du béton en compression.

f_{bc} : Contrainte de calcul pour $2\% \leq \epsilon_{bc} \leq 3,5 \%$

f_{cj} : Résistance caractéristique à la compression du béton à « j » jours.

γ_b : Coefficient de sécurité.

$\gamma_b = 1,5$ Cas général.

$\gamma_b = 1,15$ Cas accidentel.

D'où la contrainte σ_{bc} est en fonction de son raccourcissement :

$$0 \leq \varepsilon_{bc} \leq 2 \text{ ‰} \quad \rightarrow \quad \sigma_{bc} = f_{bc} \left[1 - \left(\frac{2 \cdot 10^{-3} - \varepsilon_{bc}}{2 \cdot 10^{-3}} \right) \right]$$

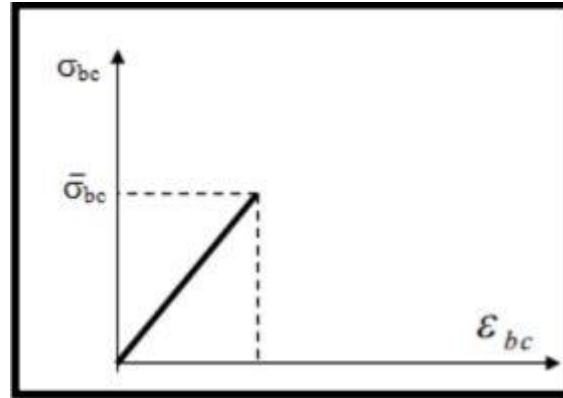
$$2 \text{ ‰} \leq \varepsilon_{bc} \leq 3,5 \text{ ‰} \quad \rightarrow \quad \sigma_{bc} = f_{bc}$$

Tableau 1 : Facteur de durée d'application des charges.

| θ | Durée d'application |
|----------|---------------------|
| 1 | > 24 h |
| 0.9 | 1 h ≤ durée ≤ 24 h |
| 0.85 | < 1h |

- Etat limite de service (E.L.S) :

Dans le cas de l'ELS, on suppose que le diagramme des contraintes reste dans le domaine élastique linéaire, et est défini par son module d'élasticité.



FigureIII-2: Diagramme des contraintes du béton à ELS

La contrainte de compression du béton doit être au plus égale à $\sigma_{bc} = 0.6 \times f_{c28}$

I-1-2.Acier :

L'acier est un alliage fer carbone en faible pourcentage, leur rôle est d'absorbé les efforts de traction, de cisaillement et de torsion, on distingue deux types d'aciers :

- Aciers doux ou mi-durs pour 0.15 à 0.25 % de carbone.
- Aciers durs pour 0.25 à 0.4% de carbone.

• **Caractères mécaniques :**

La caractéristique mécanique servant de base aux justifications est l'état limite d'élasticité est garantie par le fournisseur et est désignée par f_e . Le module d'élasticité longitudinal de l'acier est égal à : $E_s = 200000 \text{ MPa}$.

Les supports pour le béton armé sont fabriqués à partir d'aciers qui se caractérisent par leur teinte et leur état de surface (barres lisses et barres à haute adhérence).

Tableau 2 : Valeur de la limite d'élasticité garantie f_e .

| Nuance | | $F_y(\text{MPa})$ |
|--------------|-------|-------------------|
| Ronds lisses | Fe220 | 215 |
| | Fe240 | 235 |
| Barres HA | Fe400 | 400 |
| | Fe500 | 500 |

• **Contraintes limites des Aciers :**

- **Diagramme déformation contrainte de calcul :**

$\sigma_s = f (\varepsilon\%)$: l'allongement maximal de l'acier est limité à 10‰.

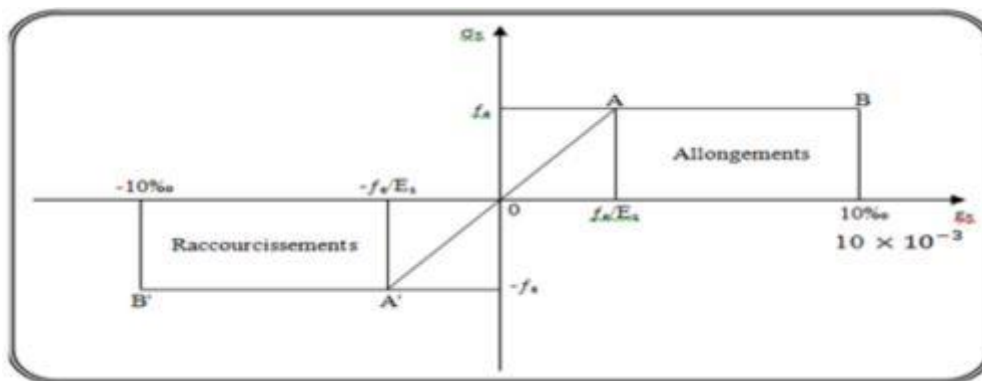


Figure III-3: Diagramme déformation contrainte d'acier.

Contraintes limites :

$$\sigma_s = E_s \cdot \varepsilon_s \quad \text{Si} \quad \varepsilon_s < \varepsilon_{es}$$

$$\sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s} \quad \text{Si} \quad \varepsilon_s \geq \varepsilon_{es} \quad \text{Avec :} \quad \varepsilon_{es} = \frac{f_e}{\gamma_s \times E_s}$$

E_s : est un Coefficient de sécurité égal à : $E_s = 200000 \text{ MPa}$.

γ_s : coefficient de sécurité de l'acier.

- $\gamma_s = 1,15$ pour les combinaisons accidentelles.

- $\gamma_s = 1,00$ dans le cas général.

➤ **Etat limite ultime :**

La contrainte admissible à l'ELU a pour valeur :

• En cas de situations accidentelles $\sigma_{st} = 400$ MPa.

• En cas de situations normales $\sigma_{st} = 348$ MPa.

➤ **Etat limite de service :**

On ne limite pas la contrainte de l'acier sauf en état limite d'ouverture des fissures :

-Fissuration peu nuisible : pas de limitation.

-Fissuration préjudiciable : $\overline{\sigma}_{st} \leq \sigma_{bc} \min \left(\frac{2}{3} f_e ; 110 \sqrt{\eta f_{tj}} \right)$.

-Fissuration très préjudiciable : $\sigma_{st} \leq \sigma_{bc} \min \left(\frac{1}{2} f_e ; 90 \sqrt{\eta f_{tj}} \right)$.

Avec : η : coefficient de fissuration.

- $\eta = 1$: pour des ronds lisses (RL).

- $\eta = 1,6$: pour les hautes adhérences avec $\Phi \geq 6$ mm (HA).

I-2. Comportement structurel sous charges sismiques.

I-2-1.Introduction

Depuis de nombreuses années, les codes et règlements parasismiques de nouvelle génération, que ce soit pour évaluer la capacité des structures et/ou vérifier l'état des constructions existantes, doivent obligatoirement être basés sur des analyses non linéaires (dimensionnement en capacité et comportement dissipatif des structures). Cela entraîne une maîtrise de la ductilité des éléments structuraux et de la localisation des zones critiques, tout en hiérarchisant les modes de rupture. Il n'est pas du tout simple de prévenir précisément le comportement sismique des structures. Afin d'obtenir des approches efficaces sur leur comportement, il est nécessaire de bien mesurer l'intensité sismique et de bien modéliser les structures à analyser.

I-2-2. Mécanismes de résistance des constructions aux séismes

I-2-2-1. Capacité des constructions à stocker l'énergie

Le stockage de l'énergie provenant d'une construction lors d'une excitation sismique est représenté par les déformations élastiques qu'elle subit lors d'une excitation sismique. Ces déformations présentent une caractéristique de réversibilité lorsque ces charges excitatrices sont supprimées.

Au-delà de la limite élastique de déformation, la structure connaît une naissance de déformation d'aspect plastique. La capacité de la structure à stocker l'énergie de déformation plastique varie en fonction de sa ductilité ou de sa fragilité. **Finalement**, si la structure est vulnérable, il est impossible d'éviter la rupture dès que la limite élastique de déformation est atteinte. La quantité d'énergie emmagasinée dans les éléments constructifs peut être représentée sur le diagramme contraintes – déformations ou charges – déformations -Figure III-4-

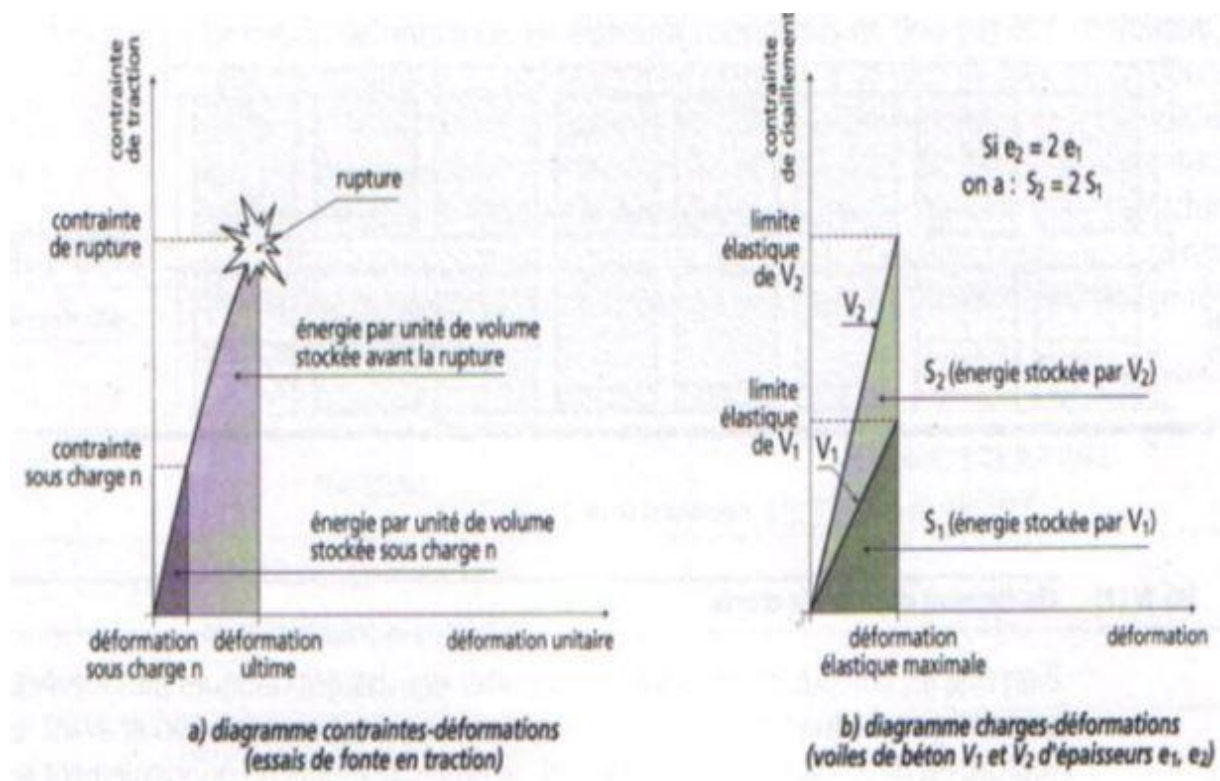


Figure III-4: Diagrammes contraintes – déformations et charges – déformations.

I-2-2-2. Capacité des constructions à dissiper l'énergie

Il est encore possible pour les structures de transformer une partie de l'énergie sismique en une dissipation d'énergie par différents mécanismes. On peut classer ces mécanismes en quatre catégories :

- Réflexion de la structure en réflexion avec le sol. Elle peut être établie en analysant l'interaction entre le sol et la structure.

- La dissipation par frottement se produit lorsque les matériaux se touchent, comme c'est le cas pour les panneaux de maçonnerie et l'ossature en béton armé.

- Dissipation par fissuration ou par rupture des éléments structuraux. Dans ce cas, il est souhaitable que la rupture des éléments constructifs soit progressive et non pas brutale.

- La dissipation d'énergie est principalement due à la dissipation par amortissement interne. On peut expliquer cette dissipation par la viscosité et la plasticité des matériaux.

I-2-3. Rotules plastiques

Une structure tangible est constamment exposée à des charges verticales (au minimum à l'action du poids propre des éléments de la structure) qui sont considérées comme des charges permanentes et qui se superposent aux actions horizontales qui sont généralement considérées comme des charges sismiques.

Afin d'obtenir une direction précise de l'effort horizontal, des moments ultimes sont ajoutés aux droites des zones critiques appelées - pour le moment - zones de plastification, et qui s'accumulent jusqu'à obtenir un mécanisme (la ruine). (Figure III-5)



Figure III-5: Exemple de dommages d'un bâtiment après un tremblement de terre de Boumerdes 2003.[13]

I-2-3-1.Définition de la rotule plastique

Les zones d'une structure (poutres, poteaux, voiles, etc.) qui subissent des déformations irréversibles et qui peuvent dissiper l'énergie sous des sollicitations alternées, au-

delà d'un seuil de sollicitation. Elle joue le rôle d'une articulation permettant la rotation des autres composants de l'objet. (Figure III-6).



Figure III-6.: Endommagement d'un portique à 2 étages par flexion dans les zones critiques des poteaux dans une installation portuaire lors du séisme de Boumerdes 2003. [13]

I-2-3-2. Caractéristiques des rotules plastiques

Les anomalies non linéaires se concentrent sur les rotules en plastique. Localement, chaque rotule se distingue par : le moment de fissuration, la plastification et la détérioration. La longueur de chaque rotule ne correspond pas à la longueur de la portion de la poutre ou du poteau ayant physiquement plastifié (L_p). Dans le cas général L_p dépend de la ductilité et donc du niveau de chargement.



Figure III-7: Ruine d'un poteau court dans un magasin de stockage lors du séisme de Boumerdes 2003. [13]

La perte d'inertie dans chaque rotule en plastique indique une détérioration de la structure. Cependant, il apparaît que l'inertie diminue, certes globalement entre le début (inerties élastiques) et la fin du séisme (inerties dégradées encore plus faibles que les inerties fissurées), mais elle ne diminue pas (forcement) à chaque pas de temps : les fissures éventuelles peuvent se refermer et l'inertie augmente au fil des cycles.

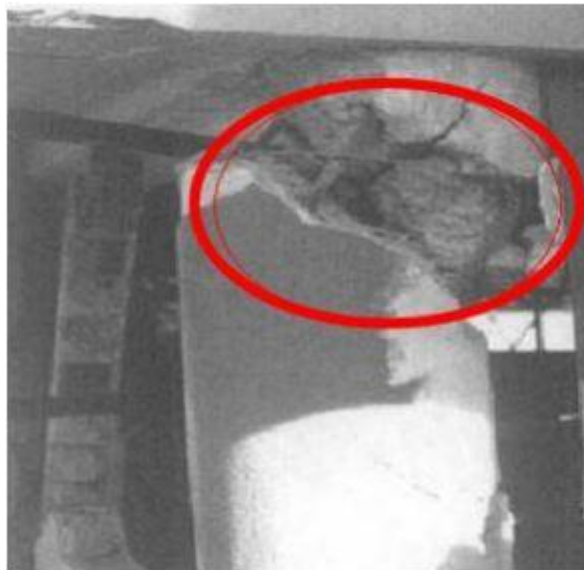


Figure III-8: Rupture par cisaillement d'un poteau béton armé lors du séisme de Boumerdes 2003. [13]

I-2-4. Mécanismes de rupture des structures en béton armé

Dans les systèmes hyperstatiques et sous un chargement croissant, la fissuration du béton entraîne d'abord une répartition des sollicitations dans les différentes pièces de la structure, puis certaines zones entrent dans le domaine post-élastique, ce qui entraîne l'apparition de rotules plastiques qui contribuent à la formation d'un mécanisme de rupture qui doit être stable sur le plan statique pour être considéré comme étant représentatif de la capacité portante du système étudié.

En effet une structure peut avoir plusieurs mécanismes de rupture ; et dans ce cas le concepteur doit choisir celui le plus critique et cela pour des raisons de sécurité.

L'hypothèse d'intervention simultanée de plusieurs mécanismes est, certes dans le sens de la sécurité car elle ne tient pas compte de la probabilité de cette simultanéité.

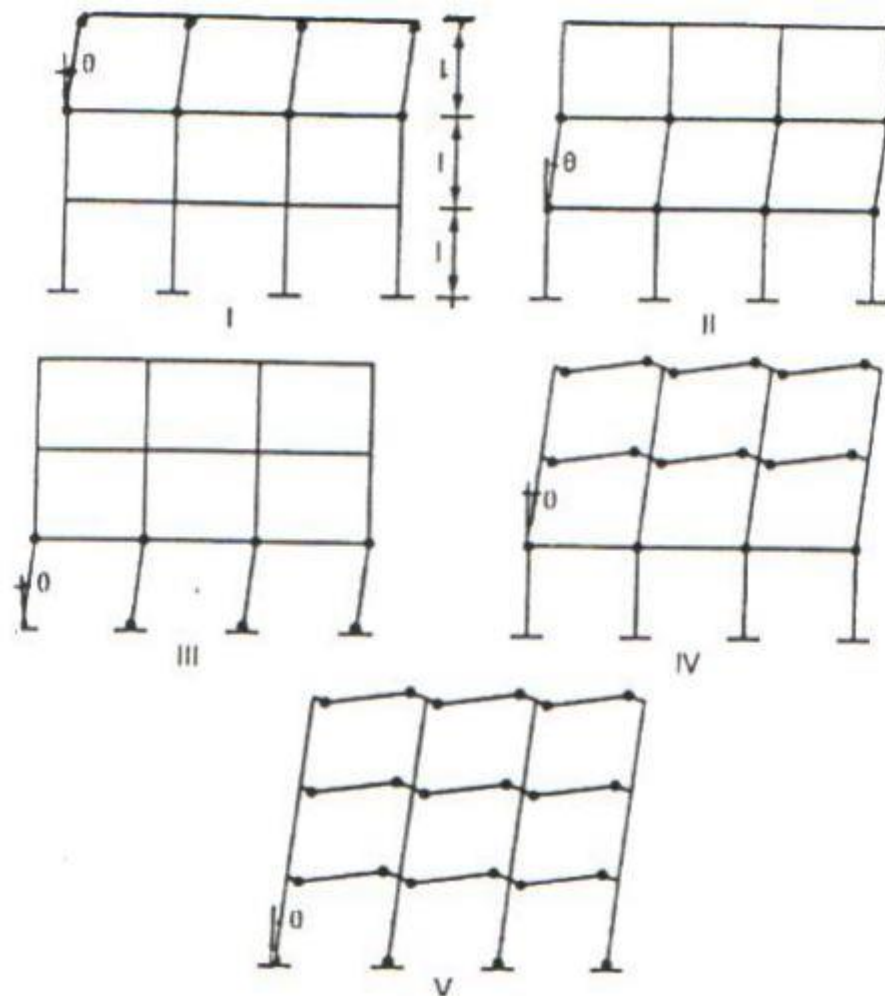


Figure III-9: Mécanismes de ruine possibles pour un portique à 3 étages.[14]

II- Critères de Conception

II-1.Continuité :

Toute discontinuité dans le dessin d'une structure conduit à une concentration de contraintes et de déformations. Une structure discontinue est toujours déficiente, car le processus de dégradation qu'elle engendre est local. Cependant, il est essentiel que la dissipation d'énergie dans la structure soit maximale, ce qui est réalisé en impliquant le plus grand nombre d'éléments, afin de créer un mécanisme de dégradation global et non local. La présence de discontinuités importantes dans une structure peut toujours poser un problème, car cela rend le calcul de la structure dans son ensemble complexe et difficile le dessin précis des nœuds cruciaux où doivent se produire les grandes déformations.

Le dessin d'ensemble des structures est influencé par le principe de continuité, comme expliqué dans le principe de **Régularité en Plan** et **Régularité en Élévation**.

Le principe de continuité se traduit aussi dans les détails de structure et dans la surveillance de chantier.

• Dans les détails de la structure, il faut :

- Éviter les affaiblissements de section (âmes évidées).
- Réaliser des poutres et colonnes d'axes concourants .
- Éviter les changements brutaux de directions des éléments porteurs.
- Éviter les variations brusques de largeurs des éléments porteurs, ce qui implique que les largeurs des poutres et des colonnes concourantes doivent être assez similaires.
- Soigner la conception des assemblages des éléments préfabriqués.
- Positionner les joints de montage (acier, systèmes industrialisés en béton) ou les reprises (béton armé) en dehors des zones fortement contraintes.

• Surveillance du chantier :

Cela revêt une importance capitale pour assurer la véritable qualité du travail réalisé, notamment :

- La mise en place des éléments préfabriqués en béton.
- Le bétonnage de leurs joints d'assemblage.
- La mise en place correcte des armatures, l'exécution soignée des reprises, en béton armé.
- La qualité des matériaux mis en œuvre.

Enfin, bien que l'hyperstaticité élevée ne soit pas toujours réalisable, il est important de ne pas avoir de liaison positive en tout cas. Il n'y a donc pas de frottement pour maintenir en place des éléments simplement posés, et une fois que celui-ci est vaincu, des déplacements importants peuvent se produire. Ce problème peut être résolu par des liaisons souples ou des butées, qui ne sont utilisées qu'en cas de tremblement de terre.

II-2.Régularité :

II-2-1. Régularité en plan :

Le mouvement sismique horizontal est un phénomène bidirectionnel. La structure du bâtiment doit être capable de résister à des actions horizontales suivant toutes les directions et les éléments structuraux doivent des caractéristiques de résistance et de rigidité similaires dans les deux directions principales, ce qui se traduit par le choix de formes symétriques. La forme optimale n'est pas seulement symétrique sur deux axes, mais proche de l'axisymétrie -Figures III-10 , III-11 – car des dommages importants ont souvent été constatés à la jonction des pans dans des structures perpendiculaires à plusieurs pans.

Ce phénomène est expliqué par des considérations purement flexionnelles : les angles de flexion dans les directions principales sont très différents dans un bâtiment rectangulaire. Il en découle des variations de périodes propres entre deux ailes perpendiculaires qui sont soumises à une action sismique d'orientation spécifique, ce qui entraîne une réponse (en fonction du temps) différente et une concentration de problèmes à la jonction des ailes perpendiculaires. Ce fait se manifestait surtout à Bucarest après le séisme de 1977 où tous les bâtiments qui constituaient un coin de rue étaient effondrés ou beaucoup plus dégradés que les autres. Il en va de même pour les bâtiments en forme de **H**, bien qu'ils soient deux fois symétriques.

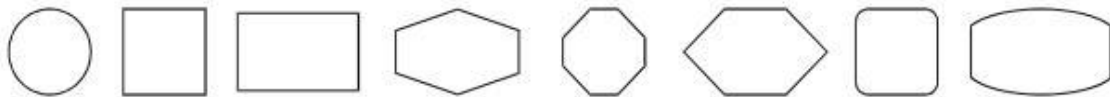


Figure III-10. Formes favorables : plans simples à 2 axes de symétrie (AFPS, 2002)

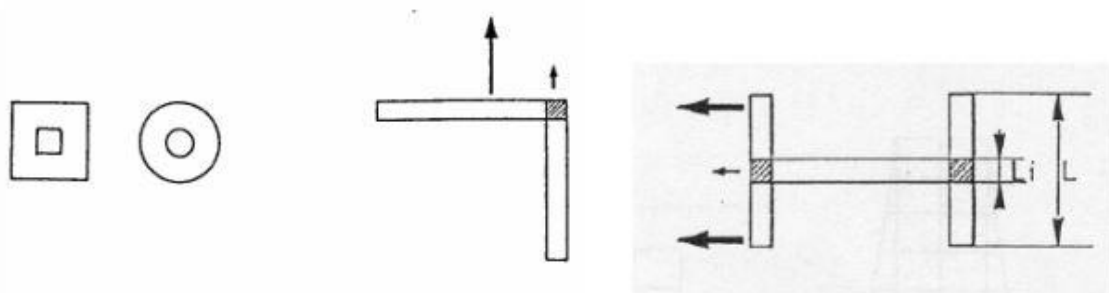


Figure III-11. Vues en plan de bâtiments. A gauche : symétriques et compacts en plan. A droite : effets néfastes de l'asymétrie ou du caractère non compact.

Cela s'applique également à la torsion d'ensemble : les éléments qui reprennent la torsion doivent être répartis de manière assez symétrique. Si ce principe n'est pas respecté, cela peut entraîner une déformation permanente de la structure.

II-2-1-1. Conditions de régularité en plan

1. La hauteur totale du bâtiment :

$H \leq 65 \text{ m}$ en Zone I et IIa et $H \leq 30 \text{ m}$ en Zone IIb et III.

2. Le bâtiment doit présenter une forme simple sensiblement symétrique vis-à-vis des deux directions, proche du rectangle avec partie rentrante ou sortante $\leq 25\%$. (Figure III-12)

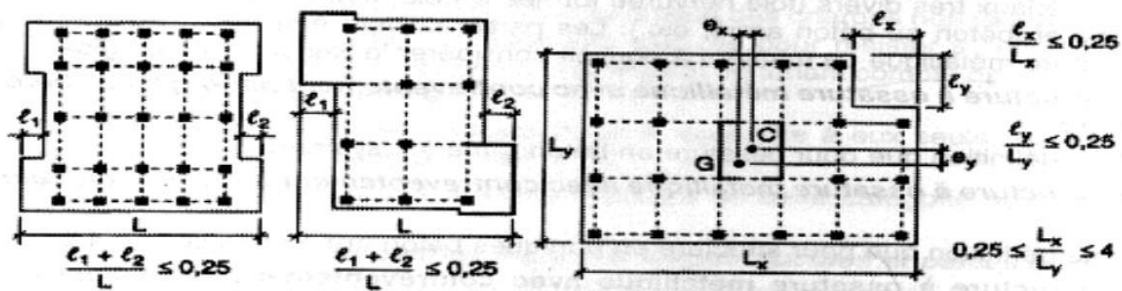


Figure III-12 : Limites des décrochements en plan selon le RPA.

3. A chaque niveau et pour chaque direction de calcul la distance entre le centre de gravité des masses et le centre de rigidité ne dépassent pas 15 % de la dimension du bâtiments mesurée perpendiculairement à l'action sismique considérée (Figure III-13).

$$CGx \leq 0.15 bx$$

$$CGy \leq 0.15 by$$

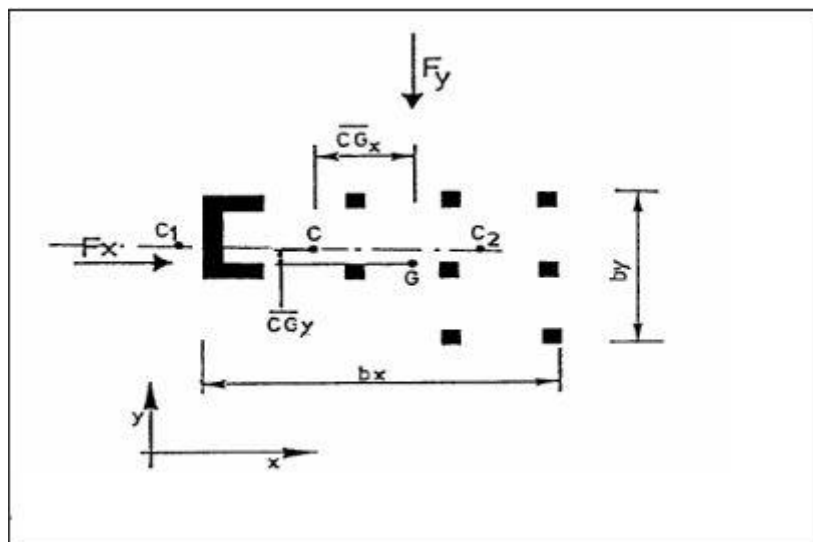


Figure III-13: Distance entre le centre de gravité des masses et le centre de rigidité

4. La surface totale des ouvertures dans le plancher doit être $\leq 15\%$ de celle du plancher.

II-2-2. Régularité en élévation :

Les principes de simplicité et de continuité se manifestent dans la vue en élévation par un aspect régulier de la structure primaire, sans variation brusque de raideur. De telles fluctuations engendrent des demandes locales élevées.

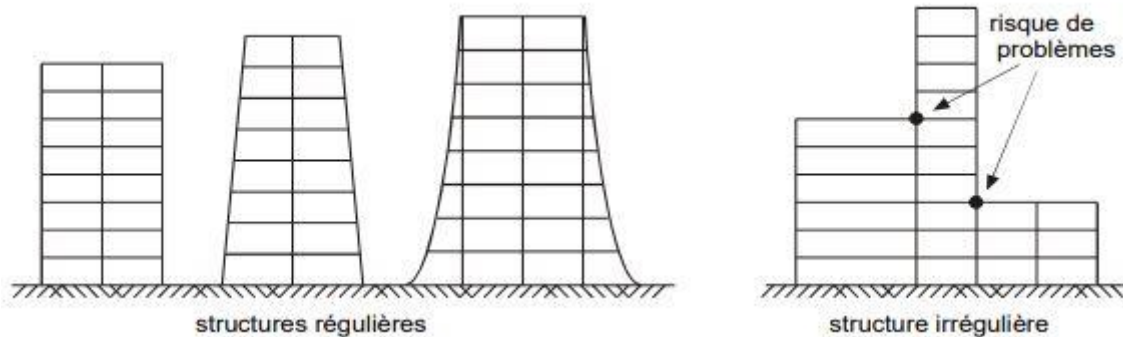


Figure III-14 : Régularité en élévation.

La distribution continue et uniforme des éléments résistants de la structure primaire nécessite une continuité des colonnes et des murs structuraux, sinon cela entraînerait la situation d'« étage mou » illustrée à la Figure III-15.

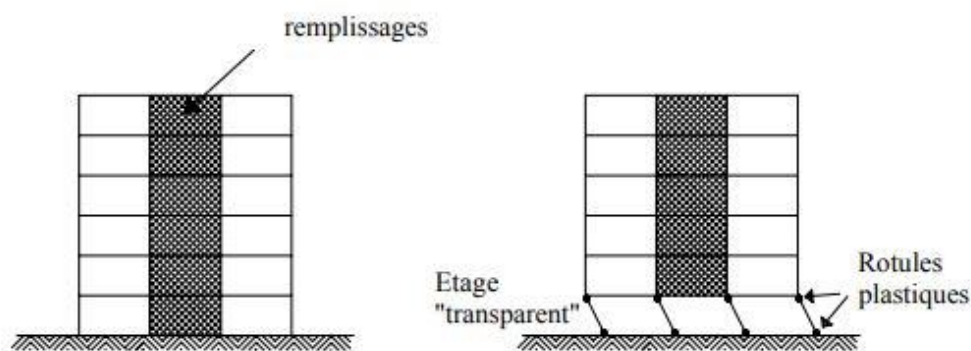


Figure III-15: A gauche : régularité en élévation.

A droite : niveau rez flexible ou «mou»(anglais : soft).

Les niveaux transparents sont très courants dans les bâtiments parce qu'on laisse le rez de chaussée ouvert en raison de l'usage : commerces, bureaux, réception dans les hôtels, parkings. Les niveaux transparents sont fortement déconseillés dans les zones sismiques car ils peuvent constituer des niveaux flexibles, dans lesquels se concentrent toutes les déformations de la structure.

II-2-2-1. Conditions de régularité en élévation :

1. Le système de contreventement ne doit pas comporter d'élément porteur vertical discontinu, dont la charge ne se transmette pas directement à la fondation.
2. Aussi bien la raideur que la masse des différents niveaux restent constants ou diminuent progressivement et sans chargement brusque de la base au sommet du bâtiment.
3. Dans le cas de décrochements en élévation, la variation des dimensions en plan du bâtiment entre deux niveaux successifs ne dépasse pas 20% dans les deux directions de calcul et ne s'effectue que dans le sens d'une diminution avec la hauteur. La plus grande dimension latérale du bâtiment n'excède pas 1,5 fois sa plus petite dimension (figure III-16).

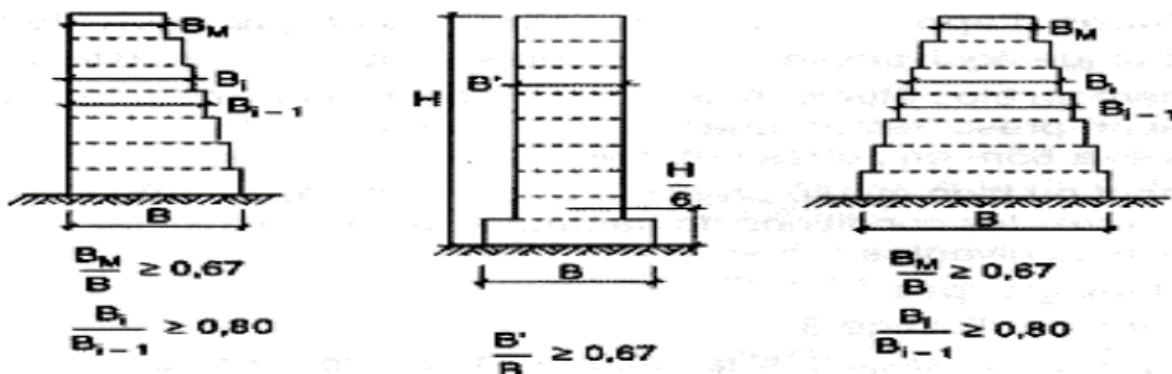


Figure III-16: Limites des décrochements en élévation

CHAPITRE IV: Critères de Classification

I- Classification par Zone Sismique

I-1. Zones sismiques en Algérie

I-1-1. Règles parasismique algérien RPA-99 :

Le document technique « DTR BC 2-48 » intitulé « REGLES PARASISMIQUES ALGERIENNES RPA99 » est la réglementation parasismique. La loi nationale algérienne sur la résistance des bâtiments aux tremblements de terre a été mise en place pour la première fois en 1983, après le séisme d'El Asnam 1980, qui a enregistré une magnitude de 7,3 sur l'échelle de Richter. Jusqu'à cette date, le code du bâtiment français était en vigueur en Algérie et ne prévoyait pas une conception parasismique des bâtiments en cas de séisme. Une loi a été votée en 1980 et révisée en 1988, 1999 et 2003 après le séisme de Boumerdes.

I-1-2. Classification par zone sismique :

Les autorités de l'époque ont recommandé dès 1955 des recommandations techniques provisoires pour réduire les effets des séismes sur la stabilité des constructions à la suite de la catastrophe de la ville de CHLEF de 1954. On désigne ces recommandations par le terme AS55. À cette époque, l'Algérie avait été divisée en deux zones distinctes :

- Zone A : faible sismicité.
- Zone B : forte sismicité.

De la frontière marocaine à la frontière tunisienne, l'Algérie du Nord est considérée comme une zone B. Par suite du séisme d'El Asnam de 1980 (Chlef), de nouvelles règles ont été instaurées, selon le RPA 88. Le règlement parasismique algérien R.P.A 99/2003 a ensuite été révisé dans sa dernière version.

D'après la révision récente du R.P.A 99, le pays est réparti en cinq (05) zones de sismicité croissante, telles que définies sur la carte des zones de sismicité qui explique cette répartition par wilaya et par commune :

- Zone **0** : Sismicité négligeable ;
- Zone **I** : Sismicité faible ;
- Zone **II a / II b** : Sismicité moyenne;
- Zone **III** : Sismicité élevée [4]

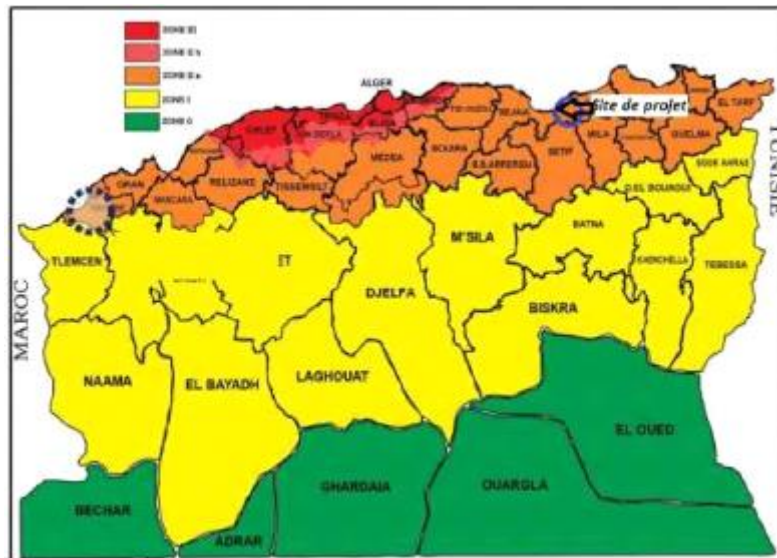


Figure IV-1 : Carte de zonage sismique du territoire national.

II-Classification par Importance des Ouvrages

II-1.Catégorisation des bâtiments :

La catégorisation des bâtiments est une classification des bâtiments en fonction de leur usage, de leur taille, de leur hauteur, et de leur fonctionnalité. Voici les catégories de bâtiments couramment utilisées :

II-1-1.Batiments Résidentiel :

Les bâtiments résidentiels sont des structures conçues pour offrir un logement aux individus et aux familles. Ils peuvent varier en taille, en style architectural et en aménagement intérieur en fonction des besoins et des préférences des habitants. Voici quelques types courants de bâtiments résidentiels :

1. Maisons individuelles : Il s'agit de logements indépendants, souvent érigés sur un terrain séparé, qui offrent un espace privé à une seule famille.

2. Appartements : Les appartements sont des logements situés dans des bâtiments de logements. On peut les louer ou les posséder séparément et ils ont souvent des espaces communs tels que des halls d'entrée, des couloirs et des espaces extérieurs.

3. Condominiums : Les condominiums ressemblent aux appartements, mais les propriétaires possèdent les unités individuellement, tandis que les espaces communs sont co-gérés par une association de copropriétaires.

4. Maisons de ville : Les maisons de ville sont des logements individuels reliés sur un côté à d'autres logements similaires. En général, elles proposent plusieurs niveaux et peuvent inclure une cour ou un petit jardin.

5. Résidences de services : En plus du logement standard, ces bâtiments proposent des services supplémentaires tels que des services de soins aux personnes âgées, des espaces de loisirs ou des services de conciergerie.

6. HLM : Les habitations à loyer modéré (HLM) sont des logements subventionnés par le gouvernement pour offrir un logement abordable à ceux qui en ont besoin.

Ces diverses catégories de constructions résidentielles peuvent être implantées dans des zones urbaines, suburbaines ou rurales, et sont généralement élaborées pour satisfaire les besoins particuliers des résidents en ce qui concerne leur taille, leur budget, leur style de vie et leur localisation.

II-1-2. Bâtiments Industriels :

Les constructions industrielles sont des édifices spécialement élaborés pour accueillir des activités de production, de fabrication, de stockage ou de logistique associées à des entreprises industrielles. En général, ils sont élaborés pour satisfaire des exigences fonctionnelles particulières et peuvent être très différents en termes de taille, de configuration et d'équipements en fonction du secteur d'activité et des processus impliqués. Voici quelques catégories fréquentes de constructions industrielles :

1. Usines de fabrication : Ces constructions sont employées pour la fabrication en série de produits manufacturés. Ils ont la capacité d'accueillir des lignes de production, des équipements spécialisés et des espaces de stockage pour les matières premières et les matériaux finis.

2. Entrepôts : Les entrepôts sont des bâtiments conçus pour le stockage à grande échelle de marchandises et de produits. Ils peuvent être utilisés pour la distribution, la logistique, le stockage à long terme et d'autres activités liées à la gestion des stocks.

3. Centres de distribution : Ces installations sont spécialement conçues pour la réception, le tri, le stockage et l'expédition de marchandises dans le cadre d'un réseau de distribution. Ils sont souvent situés stratégiquement pour faciliter la distribution efficace des produits vers les clients finaux.

4.Installations de production alimentaire : Ces bâtiments sont utilisés pour la transformation, la fabrication et l'emballage d'aliments et de boissons. Ils doivent souvent respecter des normes strictes en matière de sécurité alimentaire et d'hygiène.

5.Bâtiments industriels spécialisés : Il existe une grande variété de bâtiments industriels spécialisés conçus pour des utilisations spécifiques, telles que les installations de recherche et développement, les laboratoires, les usines chimiques, les installations de production d'énergie, etc.

Les bâtiments industriels sont souvent situés dans des zones spécifiques, telles que les parcs industriels ou les zones d'activité, et sont généralement conçus pour maximiser l'efficacité opérationnelle, la sécurité des travailleurs et la conformité réglementaire. Ils peuvent également être équipés de technologies avancées telles que l'automatisation, la robotique et les systèmes de contrôle de processus pour améliorer la productivité et réduire les coûts.

II-1-3.Batiments infrastructure critique

Les bâtiments d'infrastructure critique sont des structures essentielles à la fonctionnalité et à la sécurité d'une société ou d'une communauté. Ils fournissent des services et des installations indispensables pour le fonctionnement quotidien et la sécurité publique. Ces bâtiments sont souvent identifiés comme tels en raison de leur importance stratégique et de leur vulnérabilité potentielle en cas de perturbation ou de catastrophe. Voici quelques exemples de bâtiments d'infrastructure critique :

1.Centrales électriques : Les centrales électriques génèrent de l'électricité pour alimenter les maisons, les entreprises, les hôpitaux, les écoles et d'autres installations essentielles. Elles sont cruciales pour maintenir les services publics et la vie quotidienne.

2.Installations de traitement de l'eau : Ces installations fournissent de l'eau potable et traitent les eaux usées pour assurer la santé publique et l'hygiène. Elles sont essentielles pour la fourniture d'eau propre et la prévention des maladies liées à l'eau.

3.Réseaux de transport et de communication : Les routes, les ponts, les tunnels, les aéroports, les ports maritimes, les voies ferrées, les réseaux de télécommunications et les centres de données sont des infrastructures vitales pour le commerce, les déplacements, les communications et l'accès à l'information.

4.Hôpitaux et installations de santé : Les hôpitaux, les centres de soins d'urgence, les cliniques et les installations médicales sont essentiels pour fournir des services de santé, des soins d'urgence et des interventions en cas de catastrophe.

5.Installations gouvernementales et services d'urgence : Les bâtiments abritant les gouvernements locaux, régionaux et nationaux, ainsi que les services de police, de pompiers et de secours, sont vitaux pour maintenir l'ordre public, la sécurité et les secours en cas d'urgence.

6.Installations de stockage et de distribution d'énergie : Les terminaux de stockage de combustibles, les pipelines, les stations de distribution de gaz naturel et les raffineries de pétrole sont des infrastructures critiques pour assurer l'approvisionnement en énergie et en carburant.

Ces bâtiments et installations d'infrastructure critique sont souvent soumis à des normes de sécurité strictes et à des plans d'urgence pour garantir leur fonctionnement continu et leur résilience face aux menaces potentielles telles que les catastrophes naturelles, les attaques terroristes, les cyberattaques et les pannes techniques. La protection de ces infrastructures est cruciale pour la sécurité nationale et la continuité des opérations essentielles.

| Catégories d'importance | Description | Exemples |
|--|---|--|
| I  | <ul style="list-style-type: none"> • Bâtiments dans lesquels il n'y a aucune activité humaine nécessitant un séjour de longue durée | Hangars, bâtiments agricoles |
| II  | <ul style="list-style-type: none"> • Habitations individuelles • Établissements recevant du public (ERP) de catégories 4 et 5 • Habitations collectives de hauteur inférieure à 28m • Bureaux ou établissements non commerciaux non ERP, h ≤ 28m, max. 300 personnes • Bâtiments industriels pouvant accueillir au plus 300 pers. • Parcs de stationnement ouverts au public | Maisons individuelles, petits bâtiments |
| III  | <ul style="list-style-type: none"> • ERP de catégories 1, 2 et 3 • Habitations collectives et bureaux, h > 28m • Bâtiments pouvant accueillir plus de 300 personnes • Établissements sanitaires et sociaux • Centres de production collective d'énergie • Établissements scolaires | Grands établissements, centres commerciaux, écoles |
| IV  | <ul style="list-style-type: none"> • Bâtiments indispensables à la sécurité civile, la défense nationale et le maintien de l'ordre public • Bâtiments assurant le maintien des communications, la production et le stockage de l'eau potable, la distribution publique de l'énergie • Bâtiments assurant le contrôle de la sécurité aérienne • Établissements de santé nécessaires à la gestion de crise • Centres météorologiques | Protection primordiale : hôpitaux, casernes... |

Figure IV-2 : Classement des bâtiments par catégories d'importance.

II-3. Classification des ouvrages selon leur importance :

Les bâtiments sont classés en catégories d'importance en fonction du risque pour la sécurité des individus et du risque socio-économique qu'ils pourraient représenter en cas de défaillance. Ainsi, cette catégorisation a pour objectif de préserver les individus, ainsi que les biens économiques, culturels ou historiques de la communauté.

Le RPA99-version 2003 (Art-3.2) classe les ouvrages selon leurs importances en 4 catégories définis ci-après (**Tableau 3**) :

Tableau 3 : Classification des ouvrages selon leur importance.

| | |
|--|---|
| <p>Groupe 1A : Ouvrages d'importance vitale.</p> | <p>Ouvrages vitaux qui doivent demeurer opérationnels après un séisme majeur pour les besoins de la survie de la région, de la sécurité publique et de la défense nationale, soit:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bâtiments abritant les centres de décisions stratégiques. • Bâtiments abritant le personnel et le matériel de secours et (ou) de défense nationale ayant un caractère opérationnel tels que casernes de pompiers, de police ou militaires, parcs d'engins et de véhicules d'intervention d'urgence et de secours. • Bâtiments des établissements publics de santé tels que les hôpitaux et centres dotés de services des urgences, de chirurgie et d'obstétrique. • Bâtiments des établissements publics de communications tels que les centres de télécommunications, de diffusion et de réception de l'information (radio et télévision), des relais hertziens, des tours de contrôle des aéroports et contrôle de la circulation aérienne. • Bâtiments de production et de stockage d'eau potable d'importance Vitale. <p>• Ouvrages publics à caractère culturel, ou historique d'importance nationale :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bâtiments des centres de production ou de distribution d'énergie, d'importance nationale. • Bâtiments administratifs ou autre devant rester fonctionnels en cas de séisme. |
| <p>Groupe 1B : Ouvrages de grande importance.</p> | <p>- Ouvrages abritant fréquemment de grands rassemblements de Personnes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bâtiments recevant du public et pouvant accueillir simultanément plus de 300 personnes tels que grande mosquée, bâtiments à usage de bureaux, bâtiments industriels et commerciaux, scolaires, universitaires, constructions sportives et culturelles, pénitenciers, grands hôtels. • Bâtiments d'habitation collective ou à usage de bureaux dont la hauteur dépasse 48 m. <p>- Ouvrages publics d'intérêt national ou ayant une importance socio-culturelle et économique certaine :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bâtiments de bibliothèque ou d'archives d'importance régionale, musée, etc. • Bâtiments des établissements sanitaires autres que ceux du groupe 1A. • Bâtiments de centres de production ou de distribution d'énergie autres que ceux du groupe 1A. • Châteaux d'eau et réservoirs de grande à moyenne importance. |
| <p>Groupe 2 :</p> | <p>- Ouvrages non classés dans les autres groupes 1A, 1B ou 3 tels que :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bâtiments d'habitation collective ou à usage de bureaux dont la hauteur ne dépasse pas 48 m. |

| | |
|---|--|
| Ouvrages courants ou d'importance moyenne. | <ul style="list-style-type: none"> • Autres bâtiments pouvant accueillir au plus 300 personnes simultanément tels que, bâtiments à usage de bureaux, bâtiments industriels... • Parkings de stationnement publics... |
| Groupe 3 : Ouvrages de faible importance. | <ul style="list-style-type: none"> • Bâtiments industriels ou agricoles abritant des biens de faibles valeurs. • Bâtiments à risque limité pour les personnes. • Constructions provisoires. |

III. Classification des ouvrages selon leur configuration :

Il est nécessaire de classer chaque bâtiment (sa structure) en fonction de son plan et de son élévation, qu'il soit régulier ou non, en se basant sur les critères énoncés dans le Règlement parasismique Algérien RPA 99 (Art 3.5). Il est nécessaire de vérifier la conformité en plan et en élévation.

• Définition :

- **La régularité en plan:** Si tous les critères de régularité en plan sont respectés, un bâtiment est considéré comme régulier en plan. En revanche, il est considéré comme irrégulier en tant que plan si l'un de ces critères n'est pas rempli.

- **La régularité en élévation :** La stabilité et la résistance des structures sous séisme sont fortement influencées par la régularité des formes, la répartition homogène des masses et des rigidités en élévation. Ainsi, un édifice est considéré comme régulier en termes d'élévation si On respecte tous les critères de régularité en élévation. Toutefois, il est considéré comme irrégulier en élévation si l'un de ces critères ne répond pas.

III-1.Régularité et Irrégularité des Structures :

Les structures régulières et irrégulières en béton armé diffèrent dans leur géométrie et leur comportement sous sollicitation sismique. Voici les principaux points clés :

• Structures Régulières :

- **Géométrie :** Les structures régulières ont une géométrie symétrique et régulière, avec des éléments identiques et alignés.
- **Résistance :** Les structures régulières ont une meilleure résistance aux sollicitations sismiques en raison de leur symétrie et de leur rigidité uniforme.
- **Comportement :** Les structures régulières ont un comportement plus prévisible et plus stable sous sollicitation sismique, ce qui réduit les risques de dégâts et de dommages.

• Structures Irrégulières

- **Géométrie** : Les structures irrégulières ont une géométrie asymétrique et non régulière, avec des éléments non alignés et des angles non droits.
- **Résistance** : Les structures irrégulières ont une résistance plus faible aux sollicitations sismiques en raison de leur asymétrie et de leur rigidité non uniforme.
- **Comportement** : Les structures irrégulières ont un comportement plus complexe et plus instable sous sollicitation sismique, ce qui peut augmenter les risques de dégâts et de dommages.

III-2. L'action sismique et Irrégularité des structures :

Les règles parasismiques algériennes définissent l'action sismique comme une action accidentelle. Il est important de souligner que, avant le dimensionnement proprement dit, une conception parasismique éclairée garantit un comportement sismique adéquat, en évitant par exemple les discontinuités de la rigidité et de la résistance qui devraient, idéalement, être réparties de manière homogène sur la hauteur de la structure.

Dans les faits, les constructions à portiques en béton armé peuvent avoir deux formes géométriques : régulière ou irrégulière. La seconde peut présenter des irrégularités en plan et/ou en élévation.

Le comportement sécuritaire des bâtiments à ossature en portiques en béton armé irréguliers en élévation, caractérisés par un décrochement en élévation, comme ceux illustrés à la Figure IV-3, est incertain, car ce type de structure présente une variation de la résistance et de la rigidité en fonction de la hauteur du bâtiment. Cette zone de concentration des contraintes et des déformations est l'étage où se trouve le décrochement en élévation de la structure, c'est-à-dire une zone fortement sollicitée de la structure sous l'action sismique, en raison de la diminution brusque de sa résistance et de sa raideur latérale.



Figure IV-3 : Photos de bâtiments irréguliers en élévation.

III-3. Implications pour la conception parasismique :

Dans le contexte sismique, les meilleurs projets en termes de sécurité sont obtenus en respectant les « principes de conception », Il convient de préciser trois choses à propos de ces « principes » :

A. Des structures qui ne respectent pas les « principes » de conception peuvent être parfaitement conçues et sont toutefois capables de faire face avec succès à l'action sismique de calcul. L'objectif principal de respecter les principes de conception est de réduire au minimum le coût supplémentaire nécessaire pour passer d'une structure normale à une structure contre les séismes. De plus, la sûreté est généralement plus garantie dans une structure bien élaborée et calculée de manière méthodique que dans une structure mal élaborée pour laquelle des calculs complexes sont réalisés. Puisque les calculs sont de plus en plus complexes, il y a davantage d'incertitude quant à la qualité de la représentation que l'on fait de la structure et de son comportement dans un modèle.

B. Les principes formulés concernent ce qui est en réalité la structure des bâtiments, non ce qui en fait l'apparence. Quand on dessine des formes pour représenter certains principes, c'est pour en donner une forme visible, mais la liberté de l'architecte est bien plus grande que ces formes ne semblent le dire, car les principes énoncés concernent la structure primaire du bâtiment. Il est possible de choisir des éléments structuraux tels que des poutres et des poteaux

afin de créer une structure secondaire qui ne fait pas partie du système résistant aux actions sismiques . Ainsi, un bâtiment à noyaux de béton peut avoir pour structure primaire ces noyaux et pour structure secondaire toute l'ossature, poutres et poteaux, disposée autour des noyaux – Figure IV-4. La résistance et la rigidité des éléments secondaires vis-à-vis des actions sismiques doivent être faibles devant la résistance et la rigidité des éléments de la structure primaire. On fixe dans l'Eurocode 8 la limite de la contribution des éléments sismiques secondaires à la raideur latérale K_{sec} à 15 % de la contribution à la raideur latérale des éléments sismiques primaires K_{prim} : $K_{sec} \leq 15 \% K_{prim}$. Cependant, la structure secondaire doit être élaborée de manière à maintenir la capacité de reprendre les charges gravitaires lorsque le bâtiment est exposé aux mouvements causés par le séisme.

C. Il est toujours nécessaire que l'auteur de projet prenne plusieurs décisions au début du projet, car il existe différentes options qui respectent tous les principes de conception parasismique. Ces "options de conception" sont abordées.

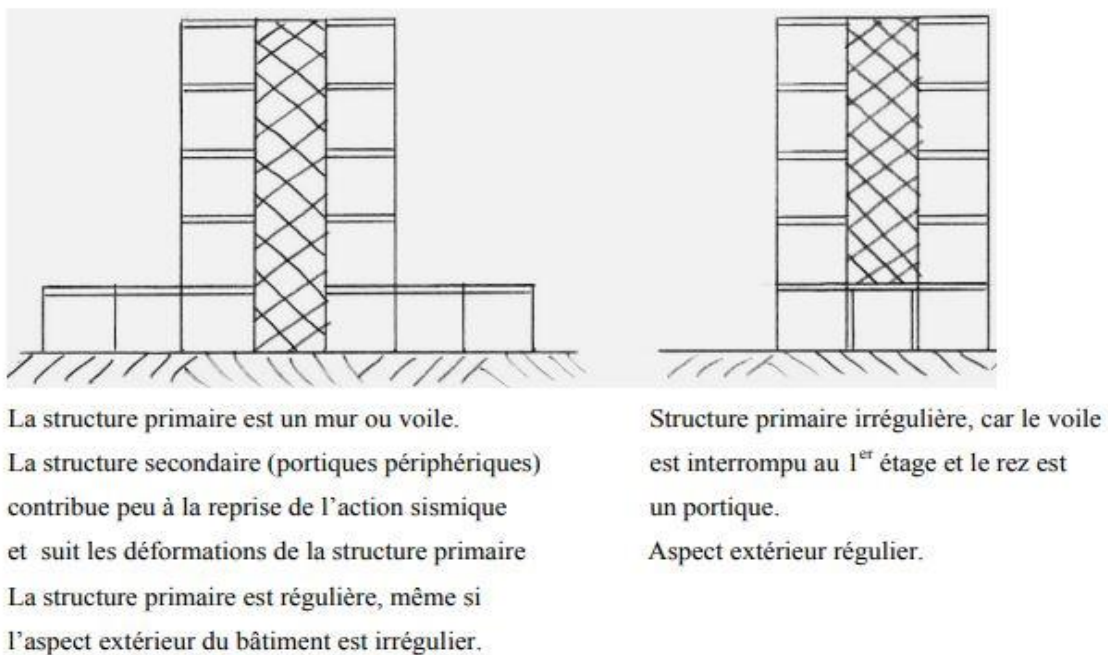


Figure IV-4 : Distinction entre structure primaire et structure secondaire du bâtiment.

Distinction entre régularité structurale et régularité apparente.[15]

Conclusion

Les critères de classification du béton armé sont essentiels pour garantir la qualité et la durabilité des structures en béton armé. Ils permettent de classer les bétons en fonction de leur résistance, de leur composition, de leur durabilité, et de leur utilisation prévue. En ce qui concerne les avantages, la classification du béton armé en fonction de ces critères permet de choisir le type de béton le plus adapté à chaque projet, assurant ainsi la solidité et la sécurité de la construction. Cela permet également de garantir une longévité accrue de la structure, une meilleure résistance aux contraintes environnementales et une économie de matériaux. Lorsque l'on examine les normes de classification du béton armé, on constate qu'elles jouent un rôle essentiel dans la détermination de la qualité des structures et dans la détermination des propriétés techniques du béton utilisé. Ce sont les critères de base pour déterminer la résistance du béton à la pression et à la tension, ainsi que pour déterminer sa composition chimique et physique. De plus, les normes de classification aident à déterminer le degré de tolérance du béton aux facteurs environnementaux et aux influences externes, ce qui contribue à déterminer ses utilisations appropriées et ses multiples avantages.

**CHAPITRE V : Règles de Calcul de la Force
Sismique - Méthode Statique Équivalente -**

I- Conditions d'Application de la Méthode

I-1. Critères pour l'application de la méthode statique équivalente

I-1-1.Introduction :

La méthode de la force latérale, est la méthode d'analyse structurelle la plus facile préférée et utilisée par les ingénieurs structurels pour évaluer la réponse de la structure en raison de la familiarité avec les approches de calcul de base utilisées dans la mécanique de la construction, permettant également pour le calcul à la main pour les schémas structurels simples et à faible redondance. Comme il est bien connu, cette méthode ne peut être appliquée qu'aux structures dont la réponse dynamique est essentiellement dominée par le mode fondamental de vibration. Ce type d'analyse ne peut pas être appliqué dans le cas de structures complexes qui ne sont pas verticalement régulières en raison de la rigidité, de la force ou de la distribution de masse non uniformes.

En fait, l'analyse sismique structurelle couramment adoptée pour le calcul des effets sismiques sur les structures est la méthode de la force latérale et l'analyse du spectre de la réponse modale, en raison de leur facilité de calcul et de leur efficacité élevée. Il convient de noter que dans les deux méthodes d'analyse une réponse structurelle élastique est supposée et que les actions sismiques sont combinées avec les charges gravitationnelles par l'utilisation du principe d'Alambert de la superposition des effets.[16]

Un élément crucial est le coefficient de comportement qui permet de prendre en considération le comportement non-linéaire réel. La majorité des réglementations ou des codes prennent en considération une valeur forfaitaire unique de ce facteur, qui n'est pas applicable à un même type de contreventement, peu importe la zone sismique, l'intensité des charges verticales, etc.

La force latérale équivalente (statique) pour un séisme est obtenue en effectuant une analyse modale des structures, puis une analyse statique de la structure avec une force latérale (statique) équivalente dans chaque mode de vibration est effectuée pour obtenir les réponses souhaitées. L'ensemble de la procédure est connue sous le nom de la méthode de spectre de réponse de l'analyse et est développé en utilisant suivant les étapes :

1. **Une analyse modale** de la structure est effectuée pour obtenir les formes de mode, les fréquences et les facteurs de participation de mode pour la structure.

2. **Une charge statique équivalente** est dérivée pour obtenir la même réponse que la réponse maximale obtenue dans chaque mode de vibration, en utilisant le spectre de réponse

d'accélération du séismes.

3. **Les réponses modales** maximales sont combinées pour trouver la réponse maximale totale de la structure.[16]

Conditions d'application de la méthode :

La méthode statique équivalente peut être utilisée dans les conditions suivantes :

a) Le bâtiment étudié, satisfaisait aux conditions de régularité en plan et en élévation prescrites au chapitre III du RPA-99 (paragraphe 3.5) avec une hauteur au plus égale à 65m en zones I et II- a et à 30m en zones II-b et III.

b) Le bâtiment étudié présente une configuration irrégulière tout en respectant, outres les conditions de hauteur énoncées en (a), les conditions complémentaires suivantes :

Zone I : tous groupes

Zone **IIa**: groupe d'usage 3

- groupe d'usage 2, si la hauteur est inférieure ou égale à 7 niveaux ou 23 m.
- groupe d'usage 1 B, si la hauteur est inférieure ou égale à 5 niveaux ou 17 m.
- groupe d'usage 1A, si la hauteur est inférieure ou égale à 3 niveaux ou 10 m.

Zone **IIb** et **III**

- groupes d'usage 3 et 2, si hauteur est inférieure ou égale à 5 niveaux ou 17 m.
- groupe d'usage 1B, si la hauteur est inférieure ou égale à 3 niveaux ou 10 m.
- groupe d'usage 1A, si la hauteur est inférieure ou égale à 2 niveaux ou 08 m.

Le bâtiment étudié présente une configuration irrégulière, tout en respectant les conditions complémentaires exigées par le RPA 99 (Art 4.1.2).

II. Principe de la méthode :

II-1.Principe

Un système de forces statiques fictives remplace les forces réelles dynamiques qui se développent dans la construction, dont les effets sont considérés comme équivalents à ceux de l'action sismique. [6]

L'équivalence n'est pas fondée sur l'équivalence des forces, mais sur l'équivalence des effets.

La méthode équivalente de la méthode statique nous conduit à envisager une déformation de la structure qui ressemble au mode primordial.

Le mouvement du sol peut se faire dans une direction quelconque dans le plan horizontal. Les forces sismiques horizontales équivalentes seront considérées appliquées successivement suivant deux directions orthogonales caractéristiques choisies par le projeteur. Dans le cas général, ces deux directions sont les axes principaux du plan horizontal de la structure. [6]

II-2. Force sismique :

La force sismique totale V , appliquée à la base de la structure, doit être calculée successivement dans deux directions horizontales orthogonales selon la formule :

$$V = \frac{AQD}{R} W$$

A : coefficient d'accélération de zone :

Le niveau de sismicité est représenté dans le RPA99-version 2003 par un coefficient d'accélération qui représente l'accélération maximale du sol au niveau de la roche, la période de vie de la structure, et du niveau de risque que l'on veut avoir. L'accélération maximale dépend de la période de retour que l'on se fixe ou en d'autres termes de la probabilité que cette accélération survienne dans l'année. Il suffit donc de se fixer une période de calcul et un niveau de risque.

Dans la réglementation ce coefficient dépend de la classification des ouvrages selon leur importance et de la zone sismique. [6]

Tableau 4 : Coefficient d'accélération de zone A.

| Groupes | Zones Sismiques | | | |
|---------|-----------------|------|------|------|
| | I | IIa | IIb | III |
| 1A | 0.15 | 0.25 | 0.30 | 0.40 |
| 1B | 0.12 | 0.20 | 0.25 | 0.30 |
| 2 | 0.10 | 0.15 | 0.20 | 0.25 |
| 3 | 0.07 | 0.10 | 0.14 | 0.18 |

D : facteur d'amplification dynamique moyen : fonction de la catégorie de site, du facteur de correction d'amortissement (η) et de la période fondamentale de la structure (T).

$$D = \begin{cases} 2.5\eta & 0 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta(T_2/T)^{\frac{2}{3}} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\eta(T_2/3.0)^{\frac{2}{3}}(3.0/T)^{\frac{5}{3}} & T \geq 3.0s \end{cases}$$

T_2 : période caractéristique, associée à la catégorie du site et donnée par le Tableau 5.

Tableau 5 : Valeurs de T_1 et T_2 .

| Site | S1 | S2 | S3 | S4 |
|-------|------|------|------|------|
| T_1 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| T_2 | 0.30 | 0.40 | 0.50 | 0.70 |

η : facteur de correction d'amortissement (quand l'amortissement est différent de 5%)

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2+\xi}} \geq 0.7$$

où ξ (%) est le pourcentage d'amortissement critique fonction du matériau constitutif, du type de structure et de l'importance des remplissages.

Quant $\xi = 5\%$, on a $\eta = 1$.

Tableau 6 : Valeurs de ξ (%).

| Remplissage | Portique | | Voile ou Murs |
|-------------|------------|-------|-----------------------|
| | Béton Armé | Acier | Béton armé/maçonnerie |
| Léger | 6 | 4 | 10 |
| Dense | 7 | 5 | |

Q : Le facteur de qualité :

Le facteur de qualité de la structure est fonction de :

- la redondance et de la géométrie des éléments qui la constituent
- la régularité en plan et en élévation

- la qualité du contrôle de la construction

La valeur de Q est déterminée par la formule :

$$Q = 1 + \sum_5^1 P_q$$

P_q est la pénalité à retenir selon que le critère de qualité q " est satisfait ou non". Sa valeur est donnée au Tableau 7.

Les critères de qualité Q à vérifier sont :

• **Conditions minimales sur les files de contreventement :**

- **Système de portiques :** chaque file de portique doit comporter à tous les niveaux, au moins trois (03) travées dont le rapport des portées n'excède pas **1,5**. Les travées de portique peuvent être constituées de voiles de contreventement.

- **Système de voiles :** chaque file de voiles doit comporter à tous les niveaux, au moins un (01) trumeau ayant un rapport "hauteur d'étage sur largeur" inférieur ou égal à **0,67** ou bien deux (02) trumeaux ayant un rapport "hauteur d'étage sur largeur" inférieur ou égal à **1,0**. Ces trumeaux doivent s'élever sur toute la hauteur de l'étage et ne doivent avoir aucune ouverture ou perforation qui puisse réduire de manière significative leur résistance ou leur rigidité.

• **Redondance en plan :**

Chaque étage devra avoir, en plan, au moins quatre (04) files de portiques et/ou de voiles dans la direction des forces latérales appliquées.

Ces files de contreventement devront être disposées symétriquement autant que possible avec un rapport entre valeurs maximale et minimale d'espacement ne dépassant pas **1,5**.

• **Régularité en plan :**

La structure est classée régulière en plan.

• **Régularité en élévation :**

La structure est classée régulière en élévation.

• **Contrôle de la qualité des matériaux :**

Des essais systématiques sur les matériaux mis en œuvre doivent être réalisés par l'entreprise.

• **Contrôle de la qualité de l'exécution :**

Il est prévu contractuellement une mission de suivi des travaux sur chantier. Cette mission doit comprendre notamment une supervision des essais effectués sur les matériaux.

Tableau 7 : Valeurs des pénalités **Pq**.

| | Pq. | |
|---|---------|-------------|
| | Observé | Non Observé |
| 1. Conditions minimales sur les files de contreventement. | 0 | 0.05 |
| 2. Redondance en plan. | 0 | 0.05 |
| 3. Régularité en plan. | 0 | 0.05 |
| 4. Régularité en élévation. | 0 | 0.05 |
| 5. Contrôle de la qualité des matériaux. | 0 | 0.05 |
| 6. Contrôle de la qualité de l'exécution. | 0 | 0.10 |

R : Le facteur de comportement :

Les sollicitations sismiques sont calculées en utilisant l'affinité d'un rapport $1/R$ pour déduire celles appliquées à sa structure résistante, qui est supposée avoir un comportement idéal, c'est-à-dire infiniment élastique et linéaire.

Le coefficient R est connu sous le nom de facteur de comportement. Une définition plus restrictive consiste à dire que le facteur de comportement est principalement utilisé pour signifier que la structure en béton armé a un comportement différent de celui supposé initialement.

Le facteur de comportement par R est défini dans le règlement parasismique algérien RPA 99 version 2003, et sa valeur est fournie par le Tableau 8 en fonction du système de contreventement, qui est divisé en quatre catégories :

- **catégorie A** : Structures en béton armé.
- **catégorie B** : Structures en acier.
- **catégorie C** : Structures en maçonnerie.
- **catégorie D** : Autres structures.

Tableau 8 : Valeurs du facteur de comportement selon le RPA 99.

| Catégorie | Description du système de contreventement | R |
|-----------|---|-----|
| A | Béton armé | |
| 1a | Portiques auto-stables sans remplissages en maçonnerie rigide | 5 |
| 1b | Portiques auto-stables avec remplissages en maçonnerie rigide | 3.5 |
| 2 | Voiles porteurs | 3.5 |
| 3 | Noyau | 3.5 |
| 4a | Mixte portiques/voiles avec interaction | 5 |
| 4b | Portiques contreventés par voiles | 4 |
| 5 | Console verticale à masses réparties | 2 |
| 6 | Pendules inverses | 2 |
| B | Acier | |
| 7 | Portiques auto-stables ductiles | 6 |
| 8 | Portiques auto-stables ordinaires | 4 |
| 9a | Ossature contreventée par palées triangulées en X | 4 |
| 9b | Ossature contreventée par palées triangulées en V | 3 |
| 10a | Mixte portiques/palées triangulées en X | 5 |
| 10b | Mixte portiques/palées triangulées en V | 4 |
| 11 | Portiques en consoles verticales | 2 |
| C | Maçonnerie | |
| 12 | Maçonnerie porteuse chaînée | 2.5 |
| D | Autres Systèmes | |
| 13 | Ossature métallique contreventée par diaphragme | 2 |
| 14 | Ossature métallique contreventée par noyau en béton armé | 3 |
| 15 | Ossature métallique contreventée par voiles en béton armé | 3.5 |

| | | |
|----|--|---|
| 16 | Ossature métallique avec contreventement mixte comportant un noyau en béton armé et palées ou portiques métalliques en façades | 4 |
| 17 | Systèmes comportant des transparences (étages souples). | 2 |

W est égal à la somme des poids W_i , calculés à chaque niveau (i) :

$$W = \sum_{i=1}^n W_i \quad \text{Avec} \quad W_i = W_{Gi} + \beta W_{Qi}$$

W_{Gi} : poids dû aux charges permanentes et à celles des équipements fixes éventuels, solidaires de la structure.

W_{Qi}: charges d'exploitation.

β: coefficient de pondération, fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation et donné par le Tableau 9.

Tableau 9 : Valeurs du coefficient de pondération β .

| Cas n | Type d'Ouvrage | β |
|-------|---|---------|
| 1 | Bâtiments d'habitation, bureaux ou assimilés. | 0.20 |
| 2 | Bâtiments recevant du public temporairement : | 0.30 |
| | - Salles d'exposition, de sport, lieux de culte, salles de réunions avec places debout. | |
| | - salles de classes, restaurants, dortoirs, salles de réunions avec places assises. | 0.40 |
| 3 | Entrepôts, hangars. | 0.50 |
| 4 | Archives, bibliothèques, réservoirs et ouvrages assimilés. | 1.00 |
| 5 | Autres locaux non visés ci-dessus. | 0.60 |

Estimation de la période fondamentale de la structure :

La formule empirique à utiliser selon les cas est la suivante :

$$T = C_T h_N^{\frac{3}{4}}$$

h_N : hauteur mesurée en mètres à partir de la base de la structure jusqu'au dernier niveau (N).

C_T : coefficient, fonction du système de contreventement, du type de remplissage et donné par le Tableau 10.

Tableau 10 : Valeurs du coefficient C_T .

| Cas n° | Système de contreventement | C_T |
|--------|--|-------|
| 1 | Portiques auto-stables en béton armé sans remplissage en maçonnerie. | 0.075 |
| 2 | Portiques auto-stables en acier sans remplissage en maçonnerie. | 0.085 |
| 3 | Portiques auto-stables en béton armé ou en acier avec remplissage en maçonnerie. | 0.05 |
| 4 | Contreventement assuré partiellement ou totalement par des voiles en béton armé, des palées triangulées et des murs en maçonnerie. | 0.05 |

Dans les cas n° 3 et 4, on peut également utiliser aussi la formule :

$$T = 0.09h_N\sqrt{D}$$

D est la dimension du bâtiment mesurée à sa base dans la direction de calcul considérée.

Dans ce cas de figure il y a lieu de retenir dans chaque direction considérée la plus petite des deux valeurs données respectivement .

III-Distribution des Forces Sismiques

III-1. Distribution de la résultante des forces sismiques selon la hauteur :

La résultante des forces sismiques à la base doit être distribuée sur la hauteur de la structure selon les formules suivantes :

$$V = F_t + \sum F_i$$

La force concentrée F_t au sommet de la structure permet de tenir compte de l'influence des modes supérieurs de vibration. Elle doit être déterminée par la formule :

$$F_t = 0.07TV$$

Où T est la période fondamentale de la structure (en secondes). La valeur de F_t ne dépassera en aucun cas 0,25 V et sera prise égale à 0 quand est T plus petite ou égale à 0,7 secondes.

La partie restante V de soit $(V - F_t)$ doit être distribuée sur la hauteur de la structure suivant la formule :

$$F_i = \frac{(V - F_t)Wh_i}{\sum_{j=1}^n Wh_j}$$

III-2. Distribution horizontale des forces sismiques :

L'effort tranchant au niveau de l'étage k :

$$V_k = F_t + \sum_{i=k}^n F_i$$

Conclusion :

En conclusion, différentes approches d'évaluation de la réaction des structures face à un séisme sont utilisées en fonction de la nature de l'ouvrage et de sa destination, dont celle présentée dans ce chapitre. La méthode équivalente statique est la méthode la plus couramment employée dans la majorité des règles de calcul. Il s'agit d'une méthode approximative qui est principalement utilisée pour les structures régulières. Bien qu'elle permette un calcul rapide des différents paramètres en raison de sa facilité, elle surestime les efforts sismiques, ce qui la rend peu précise, non économique, mais néanmoins conservatrice. Cela est dû à la prise en compte forfaitaire du facteur de comportement. Convaincu de l'importance de cet élément dans les calculs, de nombreuses personnes se sont concentrées sur la formulation du coefficient de comportement afin de concevoir la structure de manière plus réaliste.

CHAPITRE VI : Développement de l'Application VBA.

I- Processus de Développement

I-1. Planification et définition du problème

I-1-1. Définition :

Visual Basic for Applications (VBA) est utilisé pour écrire des programmes pour le système d'exploitation Windows. Il fonctionne comme un langage de programmation interne dans les applications Microsoft Office (MS Office, Office) y compris Access, Excel, PowerPoint, Publisher, Word et Visio.

VBA fait partie du logiciel légendaire Visual Basic de Microsoft Corporation (MSFT). Il permet aux utilisateurs de personnaliser au-delà de ce qui est normalement disponible avec les applications hôtes MS Office.

VBA est un outil axé sur les événements. Vous pouvez l'utiliser pour dire à l'ordinateur d'initier une action ou une chaîne d'actions en saisissant des commandes dans un module d'édition pour créer des macro-instructions personnalisées (macros).

Une macro est essentiellement une séquence de caractères que les entrées résultent dans une autre série de caractère (its output). Cela accomplit des tâches de calcul spécifiques. Vous n'avez pas besoin d'acheter le logiciel VBA parce que VBA est la version de Visual Basic qui embarque avec Microsoft Office.

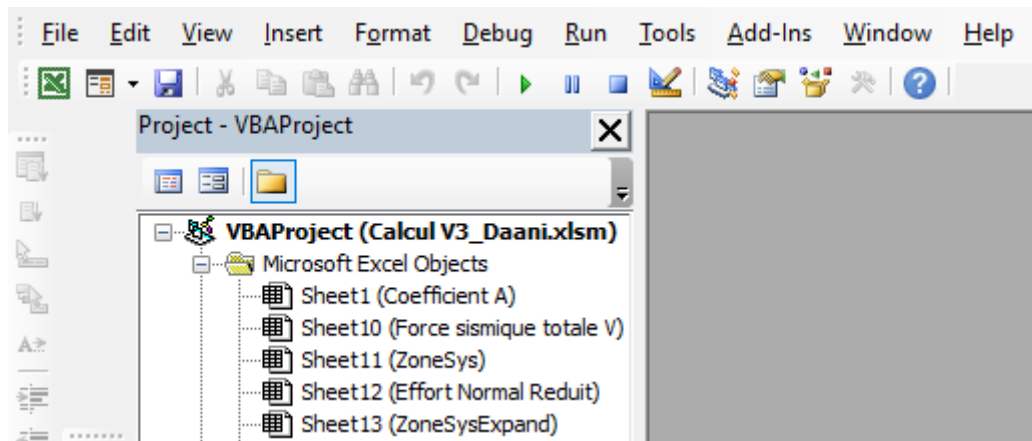
VBA n'est pas un programme autonome. Il permet aux utilisateurs de manipuler les fonctionnalités d'interface graphique (GUI) telles que les barres d'outils, les menus, les boîtes de dialogue et les formulaires. Vous pouvez utiliser VBA pour créer des fonctions définies par l'utilisateur (UDF), accéder aux interfaces de programmation d'applications Windows (API) et automatiser des processus et des calculs informatiques spécifiques.

I-1-2.VBA en Excel :

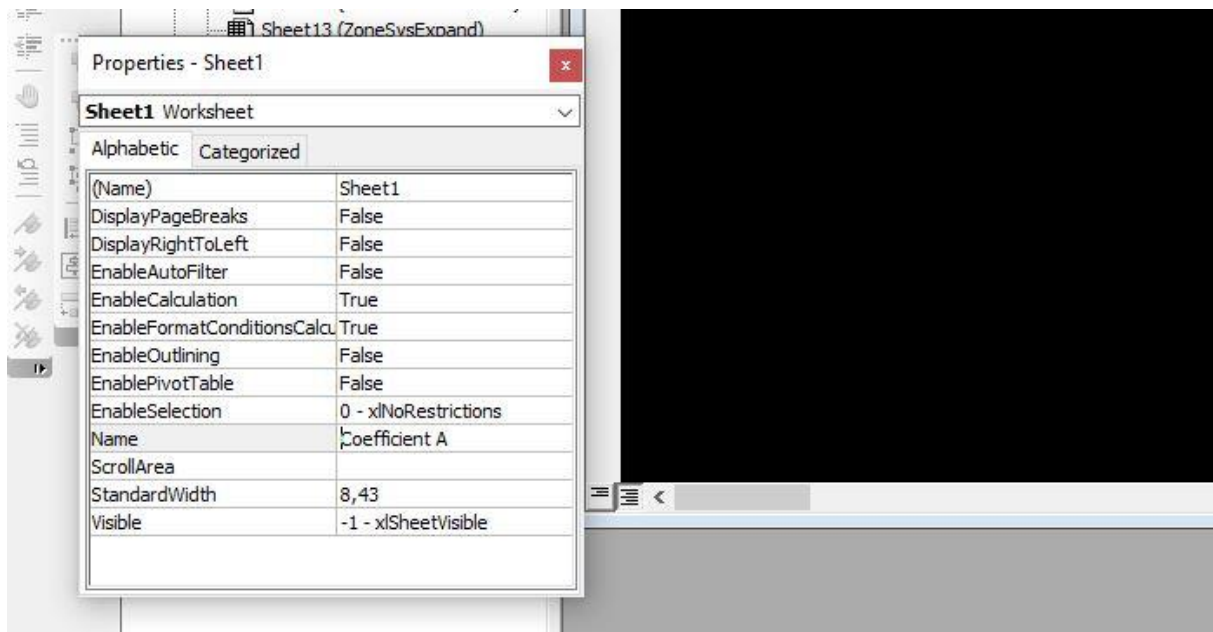
Tous les programmes de la suite Office partagent des langages de programmation communs et chacun est capable d'intégrer le code VBA pour améliorer le programme. VBA s'adapte naturellement à Excel plus qu'à d'autres programmes de la suite Office en raison de la nature répétitive des feuilles de calcul, de l'analyse des données et de la gestion des données.

La racine de la relation entre VBA et Excel est souvent liée à l'utilisation de macros. Vous pouvez utiliser VBA pour exécuter une macro dans Excel, mais vous pouvez aussi l'utiliser pour des activités non-macro.

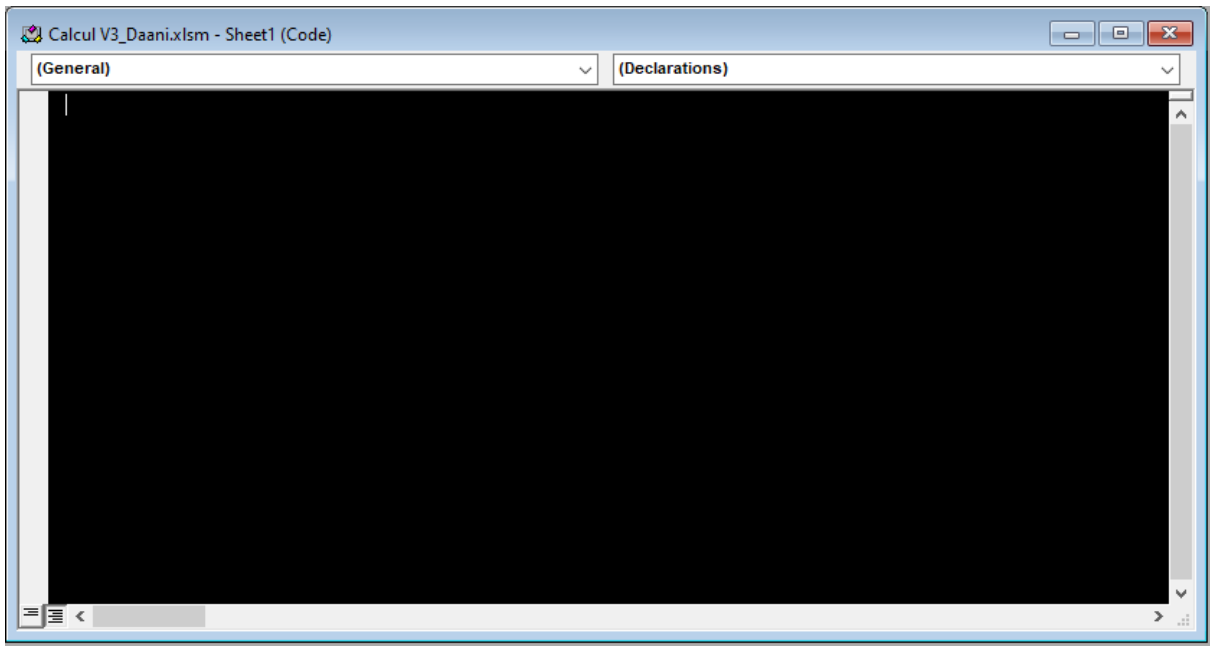
Simplement appuyez sur les boutons Alt + F11 pour accéder à VBA sur Excel. La version existante du Workbook Excel continuera d'être exécutée, mais une nouvelle fenêtre apparaîtra pour Microsoft Visual Basic for Applications. Les projets actuels sont affichés dans la partie supérieure gauche de la fenêtre VBA.



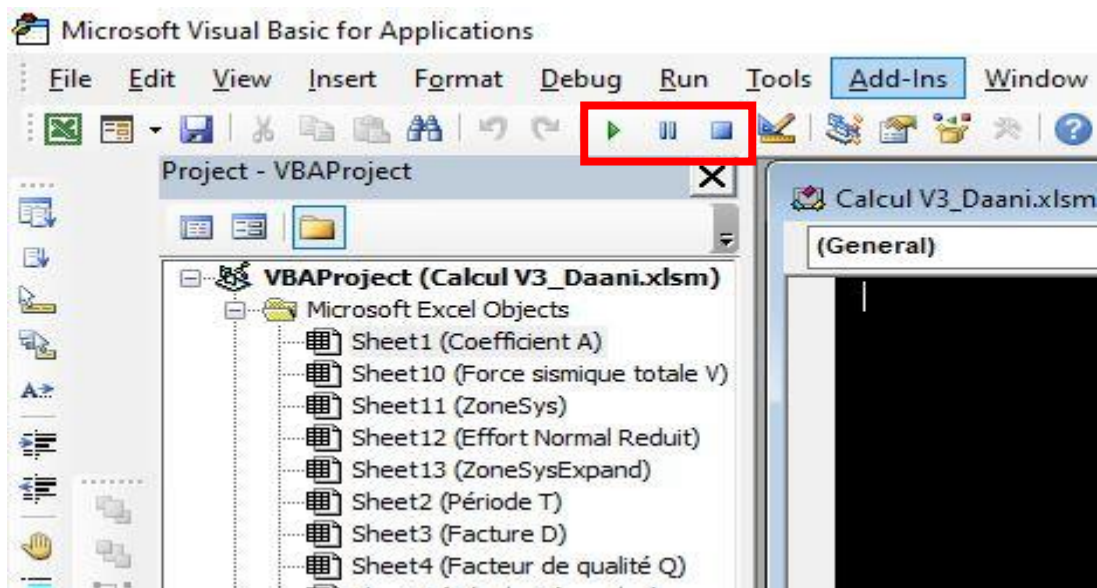
La fenêtre affiche les propriétés du projet sélectionné en bas à gauche. Les propriétés sont répertoriées comme des projets ou des manuels sélectionnés. Ces propriétés sont répertoriées par ordre alphabétique par défaut, bien qu'elles puissent être triées par catégorie.



Une nouvelle fenêtre apparaît lorsque vous double-cliquez sur un projet en haut à gauche. Il n'y a pas d'information dans cette zone, mais vous verrez deux descentes qui disent "(Général)" et "(Déclarations)." Le code VBA est directement saisi dans cette fenêtre de codage.



La barre d'outils présente de nombreux boutons et outils essentiels. Les commutateurs d'exécution, de rupture et de réinitialisation du code VBA sont indiqués en jaune. Le bouton de démarrage lance le code. Le bouton d'arrêt met fin à l'exécution du code. En réinitialisant, l'exécution du code est interrompue et le processus est ramené à la position initiale.



II- Implémentation

II-1.Codage de la logique de calcul :

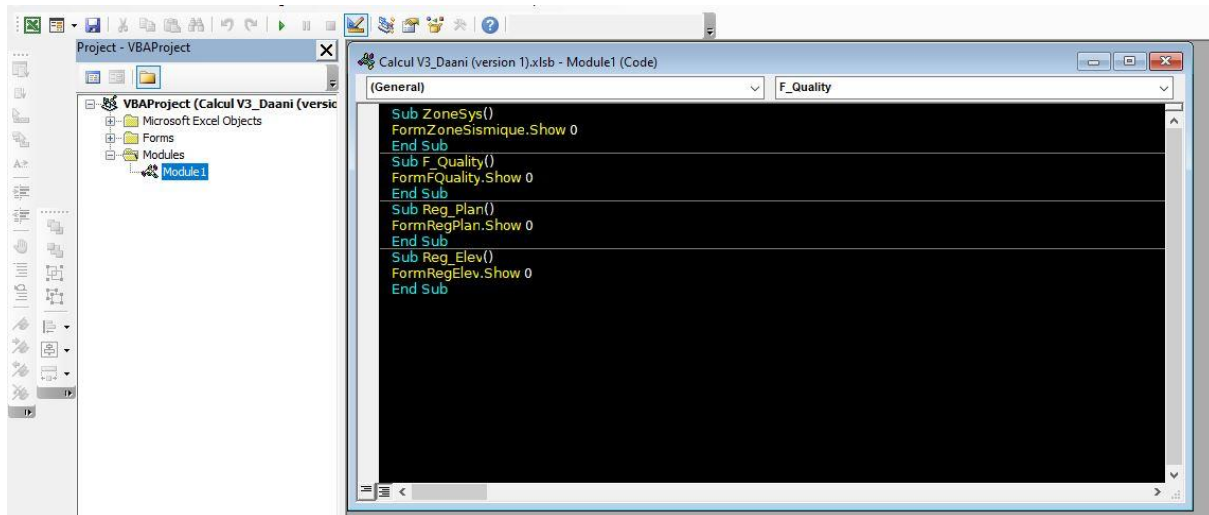
La finance consiste à manipuler d'énormes quantités de données et VBA est endémique au secteur des services financiers. Il fonctionne probablement dans les applications que vous utilisez tous les jours si vous travaillez dans la finance même si vous n'en êtes pas conscient. Certains emplois dans le secteur exigent une connaissance préalable de VBA et d'autres non.

Vous pouvez :

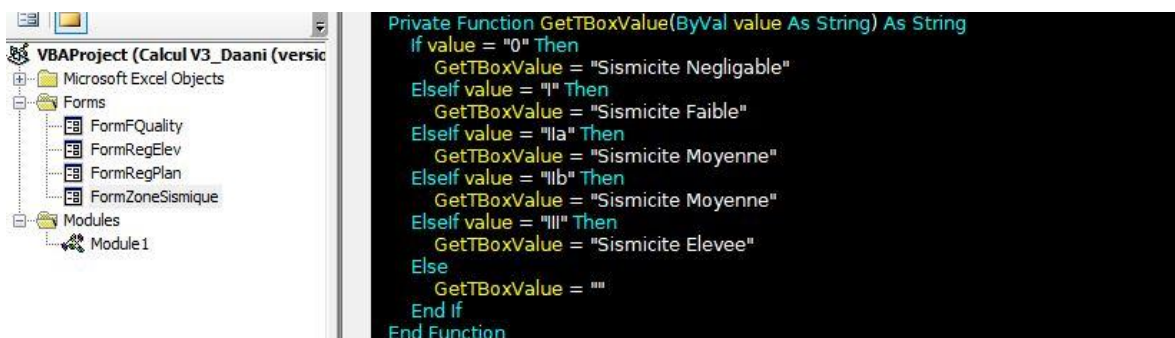
- **Écrire des macros:** Les macros offrent aux experts financiers comme les comptables, les banquiers commerciaux, les bancaires d'investissement, les analystes de recherche, les vendeurs, les traders, les gestionnaires de portefeuille, les agents et les administrateurs la possibilité d'analyser et d'ajuster rapidement de grandes quantités de données.
- **Mise à jour des données :** Vous pouvez utiliser VBA dans Excel pour créer et maintenir des modèles complexes de trading, de tarification et de gestion des risques, pour prévoir les ventes et les bénéfices et pour générer des rapports financiers.
- **Effectuer une étude de scénario :** Avec Visual Basic for Applications, il est possible de concevoir différents scénarios de gestion de portefeuille et d'investissement. Cela englobe le filtrage à travers différentes situations qui peuvent avoir un impact différent sur les résultats.
- **Organisez les informations :** Vous pouvez également utiliser VBA pour produire des listes de noms de clients ou d'autres contenus, créer des factures, des formulaires et des graphiques, analyser des données scientifiques et gérer l'affichage des données pour les budgets et les prévisions.
- **Soyez non conventionnel :** VBA peut être utilisé pour copier et coller des valeurs, ajuster les styles de cellules pour un classeur entier, et frapper les touches d'accélérateur. Vous pouvez effectuer des tâches très normales d'une manière plus facile et automatisée.
- **Prompt action :** VBA peut être utilisé pour interagir avec les utilisateurs. Vous pourriez avoir besoin de l'entrée d'un utilisateur pour que leurs noms et prénoms soient placés sur un formulaire. VBA invite un utilisateur d'une manière qui rend cette entrée inévitablement obligatoire.

II-2. Termes VBA importants :

- **Module :** Un module est l'endroit où Excel stocke le code VBA. Vous trouverez des informations sur les modules dans une feuille de calcul dans Project Explorer, l'une des sections de l'éditeur Visual Basic. Tous les modules peuvent être enregistrés dans un dossier modules. Les modules sont parfois appelés modules standards.



- **Objets :** La plupart du code est utilisé pour manipuler des objets dans VBA. Les objets sont des éléments tels que les manuels, les feuilles de calcul, les cellules, les gammes de cellules ou les polices de cellule. Les objets sont souvent sélectionnés ou référencés comme faisant partie du code lorsque vous codez en VBA. Le code peut utiliser le langage "ActiveCell" pour manipuler l'objet actuellement sélectionné dans la feuille de calcul. Vous pouvez également créer un processus qui s'exécute lors de l'édition d'un graphique à barres.
- **Procédures :** La procédure est la partie d'un programme informatique qui exécute une tâche spécifique. C'est le bloc de code qui commence par une déclaration et se termine par une déclaration finale. Il existe deux types de procédures en VBA. Les sous-procédures forment une action dans Excel et commencent par le texte « Sub ». Les procédures de fonction effectuent des calculs et renvoient une valeur.



- **Déclaration** : Une déclaration est une instruction qui peut être divisée en deux types. Premièrement, une déclaration est utilisée pour indiquer quelque chose comme définir une constante ou une valeur variable. Deuxièmement, les déclarations exécutables désignent le code qui spécifie ce qu'est une action donnée.
- **Variables** : Les variables sont des emplacements de stockage pour des éléments définis. Ils contiennent des valeurs spécifiques qui peuvent changer au fur et à mesure que les scripts VBA sont exécutés. La variable "FirstName" peut ne contenir aucune valeur, mais il peut être attribué la variable FirstName et donné la valeur "Jo" après que l'utilisateur a saisi son nom. Les variables de codage peuvent être différentes selon la situation, semblables à la façon dont les coûts variables peuvent changer au fil du temps.
- **Opérateurs logiques** : Les opérateurs logiques sont les fonctions qui permettent une plus grande capacité d'analyse et de traitement. Ce sont des morceaux de code qui permettent à un ordinateur de comprendre et de comparer des éléments. VBA peut analyser si le nom de l'utilisateur est "Jo". Le programme peut analyser l'entrée et effectuer une évaluation logique en utilisant des opérateurs logiques tels que «If Then», «True» et «False».

II-3. Algorithmes et leur mise en œuvre en VBA :

II-3-1. Définition :

Un algorithme est un ensemble d'instructions pour résoudre un problème ou accomplir une tâche. Un exemple courant d'algorithme est une recette, qui consiste en des instructions spécifiques pour préparer un plat ou un repas. Chaque appareil informatisé utilise des algorithmes pour exécuter ses fonctions sous la forme de routines basées sur le matériel ou le logiciel.

En informatique, un programmeur doit employer cinq parties de base d'un algorithme pour créer un programme réussi :

1. Décrire le problème en termes mathématiques.
2. Créer les formules et les processus qui créent des résultats
3. Saisissez les paramètres de résultat
4. Exécuter le programme à plusieurs reprises pour vérifier son exactitude.
5. La conclusion de l'algorithme est le résultat donné après que les paramètres passent par l'ensemble des instructions dans le programme.

Pour les algorithmes financiers, plus le programme est complexe, plus les données que le logiciel peut utiliser pour effectuer des évaluations précises pour acheter ou vendre des

valeurs mobilières. Les programmeurs testent minutieusement des algorithmes complexes pour s'assurer que les programmes sont exempts d'erreurs. De nombreux algorithmes peuvent être utilisés pour un seul problème; cependant, certains simplifient le processus mieux que d'autres.

II-3-2. Algorithmes Utilisées :

Dans notre application, nous pouvons écrire le code et définir les variables nécessaires en créant une série d'algorithmes basés sur le REGLES PARASISMIQUES ALGERIENNES RPA 99 / VERSION 2003. Chacun de ces algorithmes est lié à un élément clé pour calculer à la fois la force sismique et le spectre :

1. Zone Sismique et Coefficient A :

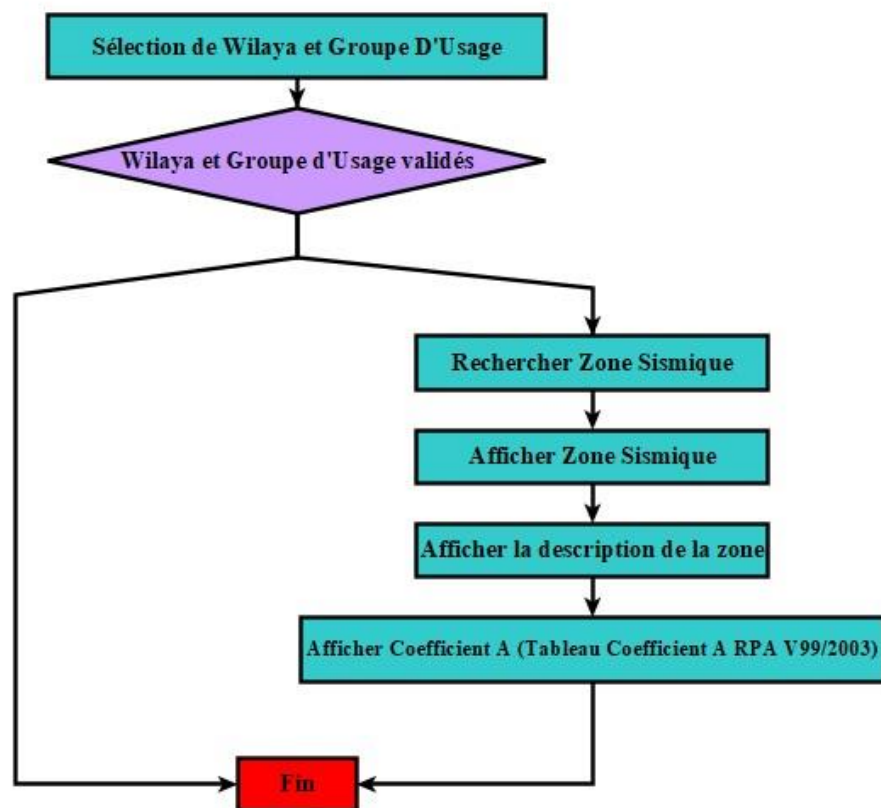


Figure VI-1. Algorithme de détermination de Coefficient d'accélération A.

2. Période Fondamentale :

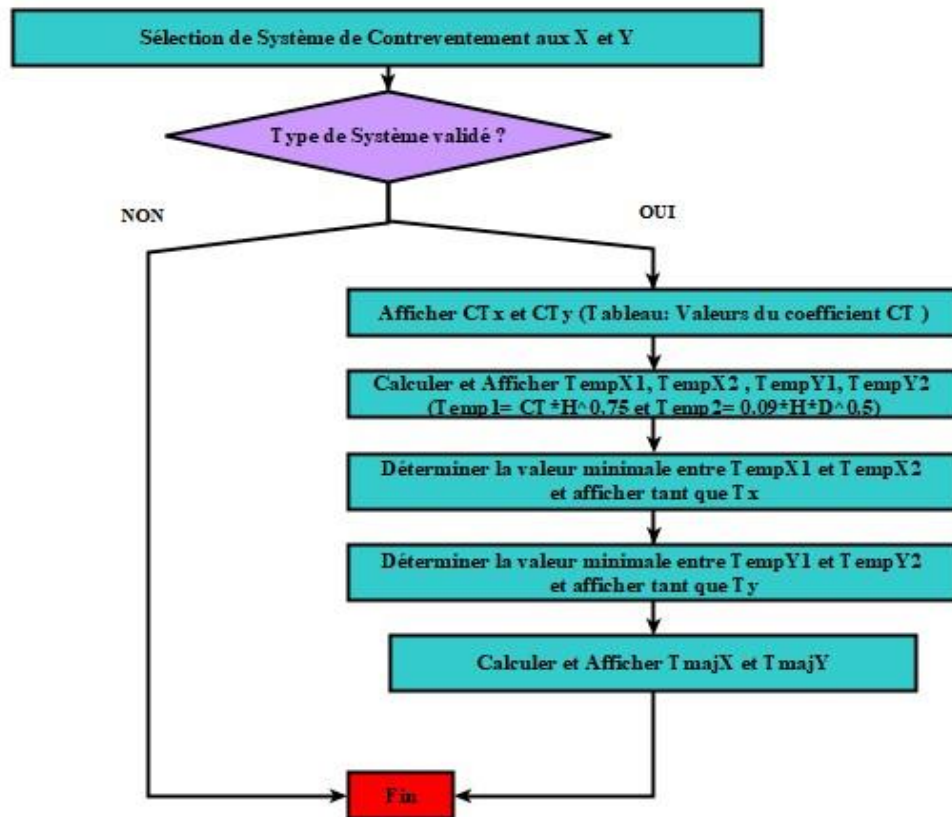


Figure VI-2. Algorithme de détermination la Période Fondamentale T

3. Facteur D'Amplification :

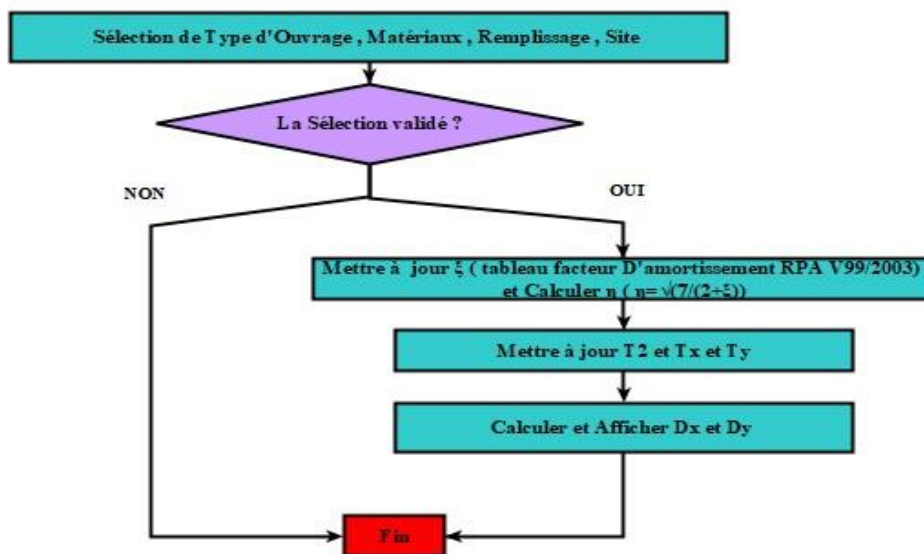
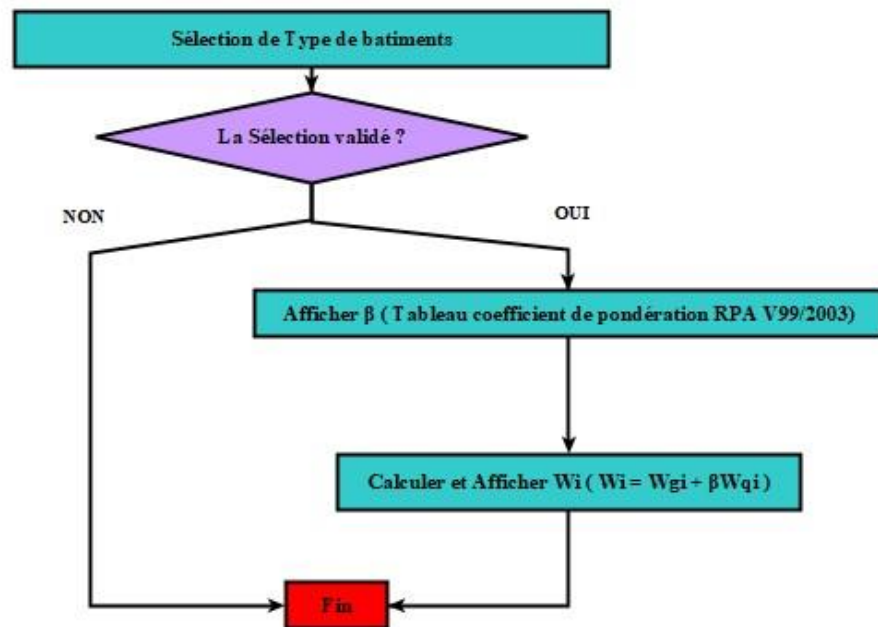


Figure VI-3. Algorithme de calcul le Facteur d'Amplification D

4. Poids Total W_i :Figure VI-4. Algorithme de Calcul le Poids Totale W_i

5. Coefficient de Comportement R :

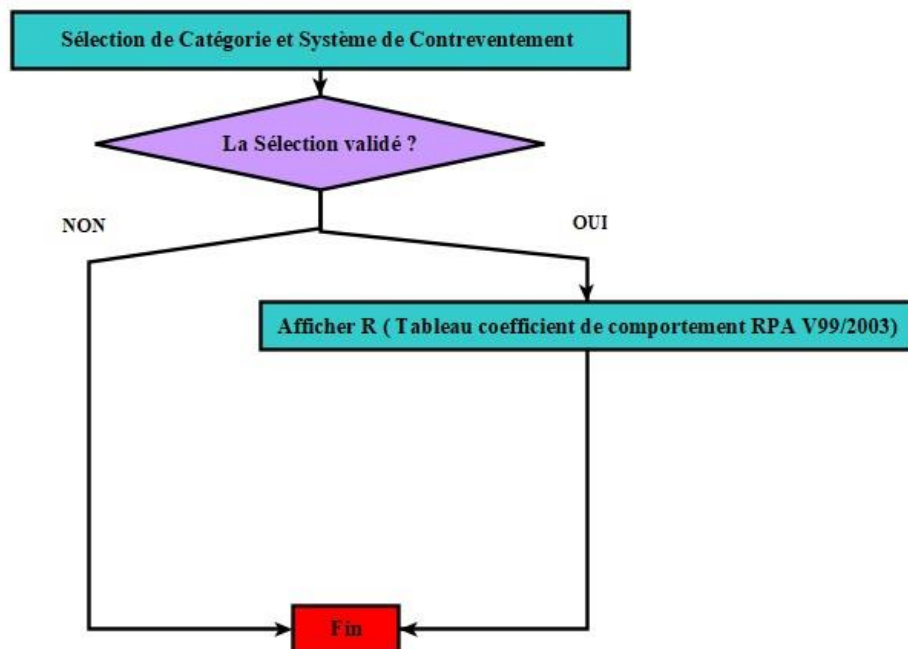


Figure VI-5. Algorithme de détermination de Coefficient de Comportement R

6. Spectre de Réponse :

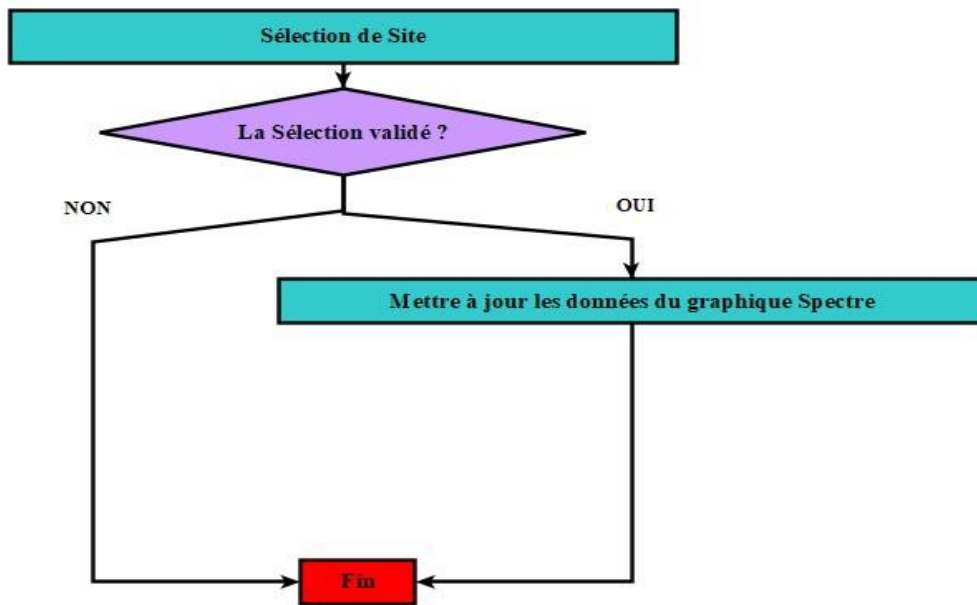


Figure VI-6. Algorithme de désigner le Spectre

7. Force Sismique :

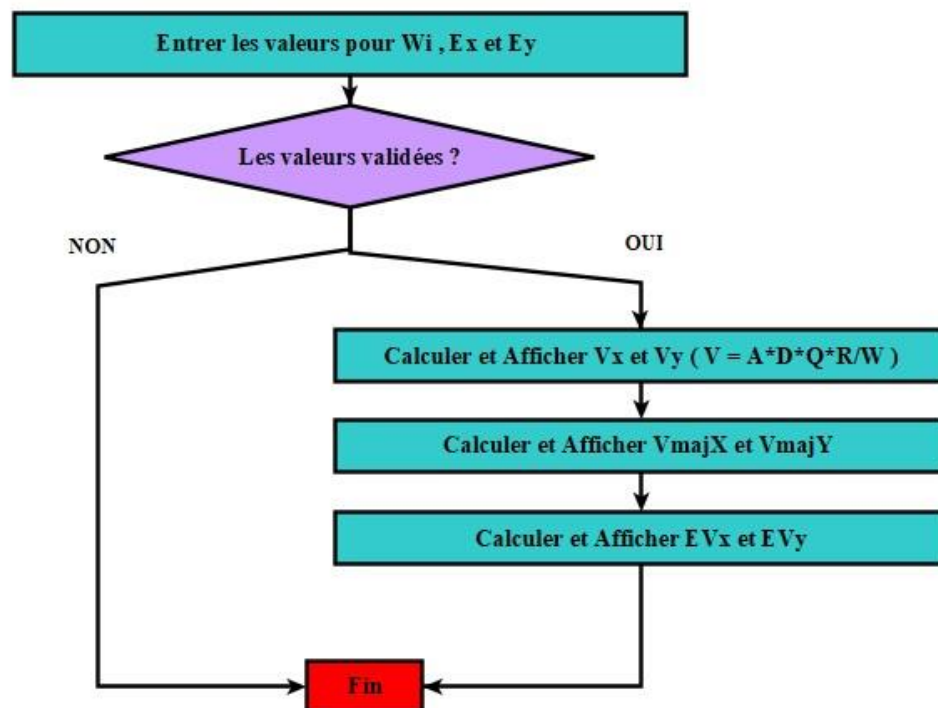


Figure VI-7. Algorithme de calcul de Force Sismique V.

8.Effort Réduit :

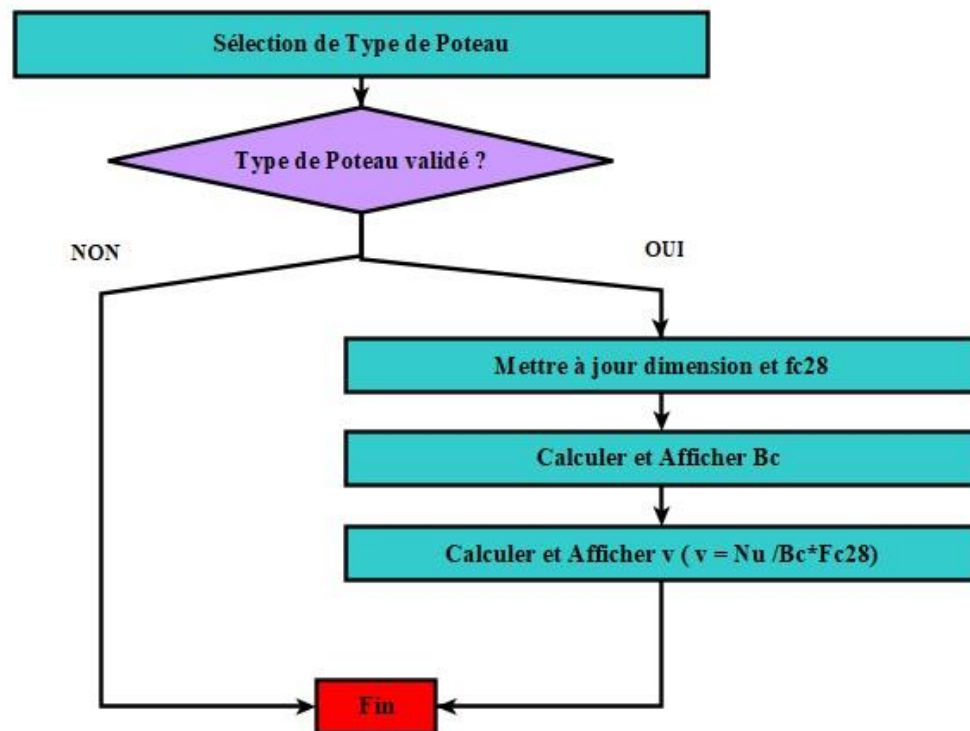


Figure VI-8. Algorithme de Calcul les Effort Réduit v.

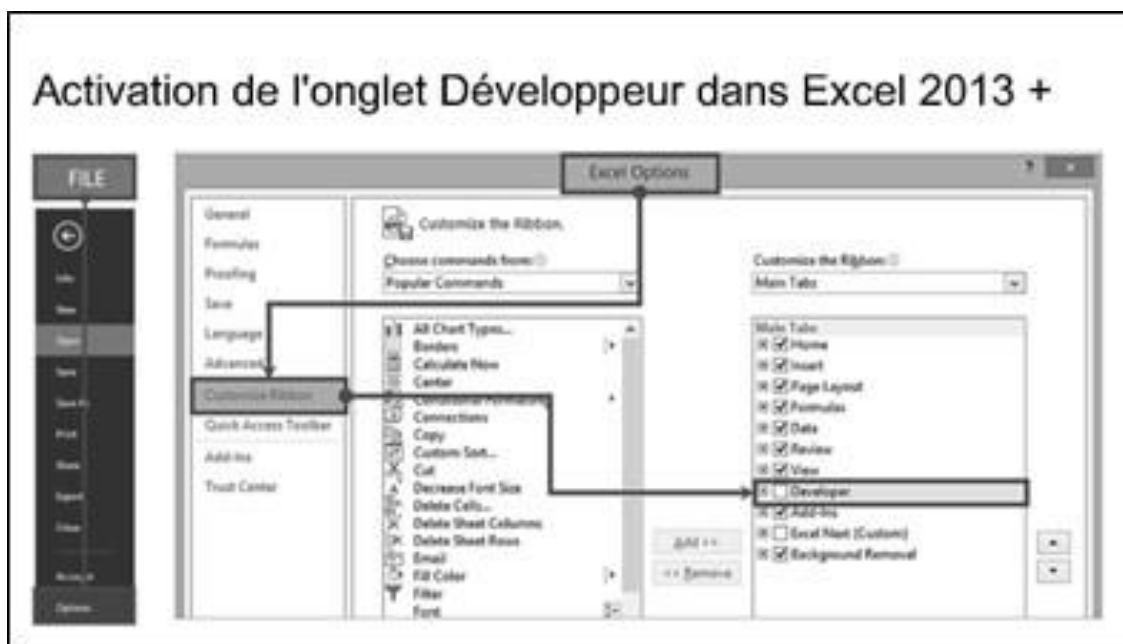
III-Fonctionnalités et Capacités de l'Application

III-1.Présentation des fonctionnalités

L'application utilise des macros VBA Excel.

Pour son exécution il faut tout d'abord activer les Macros selon la version du pack Office installée.

L'activation des macros est illustrée sur les figures ci-dessous :

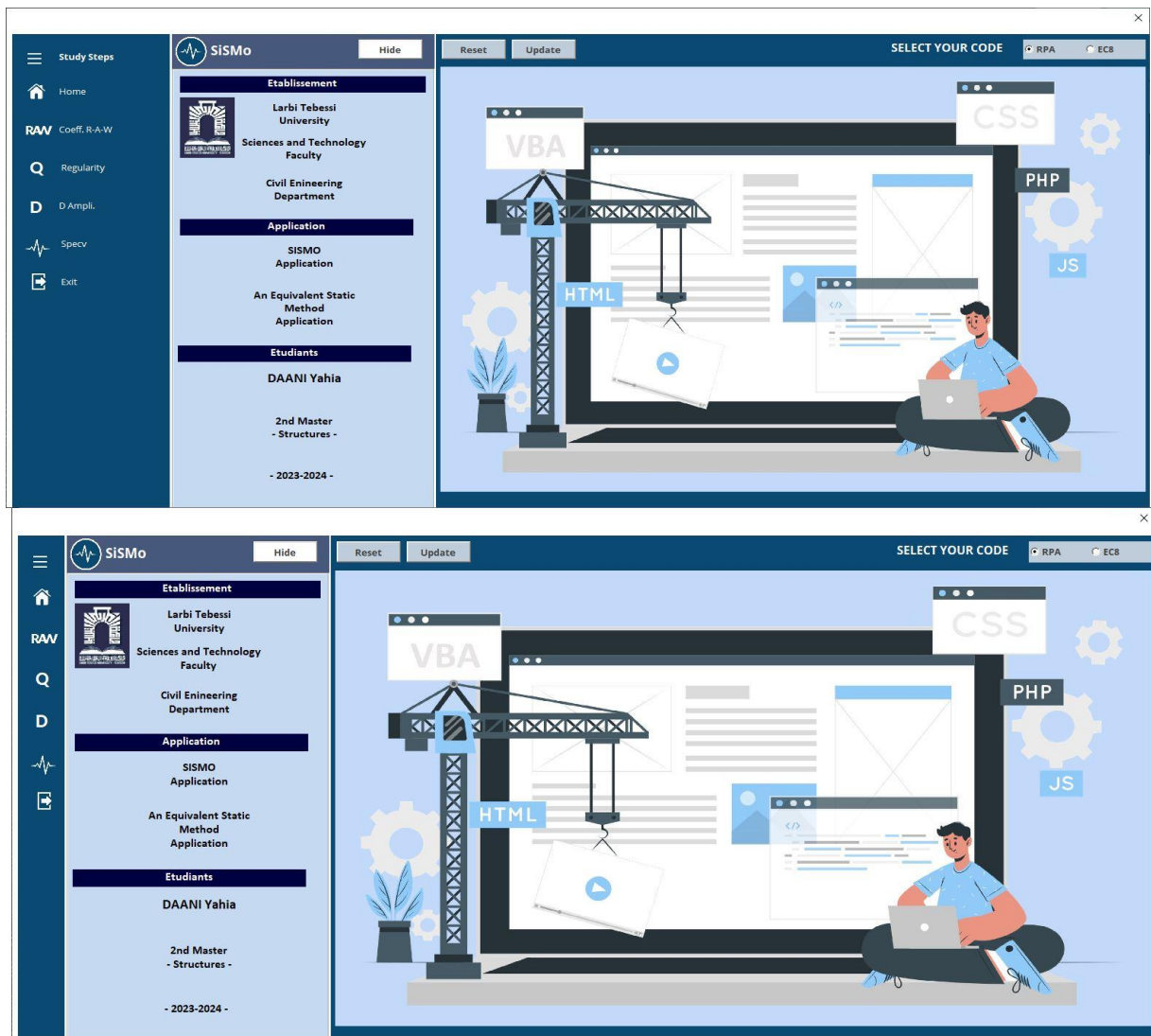


Cette application est destinée aux ingénieurs structures utilisant le règlement parasismique algérien (R.P.A. 99 Version 2003).

Lorsque vous ouvrez l'application, une interface apparaît vous permettant d'explorer les différents aspects, le contenu et la description de l'application comme suit:

1-Identification:

Cette page de l'application s'affiche directement lors de son ouverture. Il s'agit de l'interface de l'application et comporte une fonctionnalité de navigation entre les pages de l'application, comme (Home) qui ramène l'utilisateur à la page d'accueil.



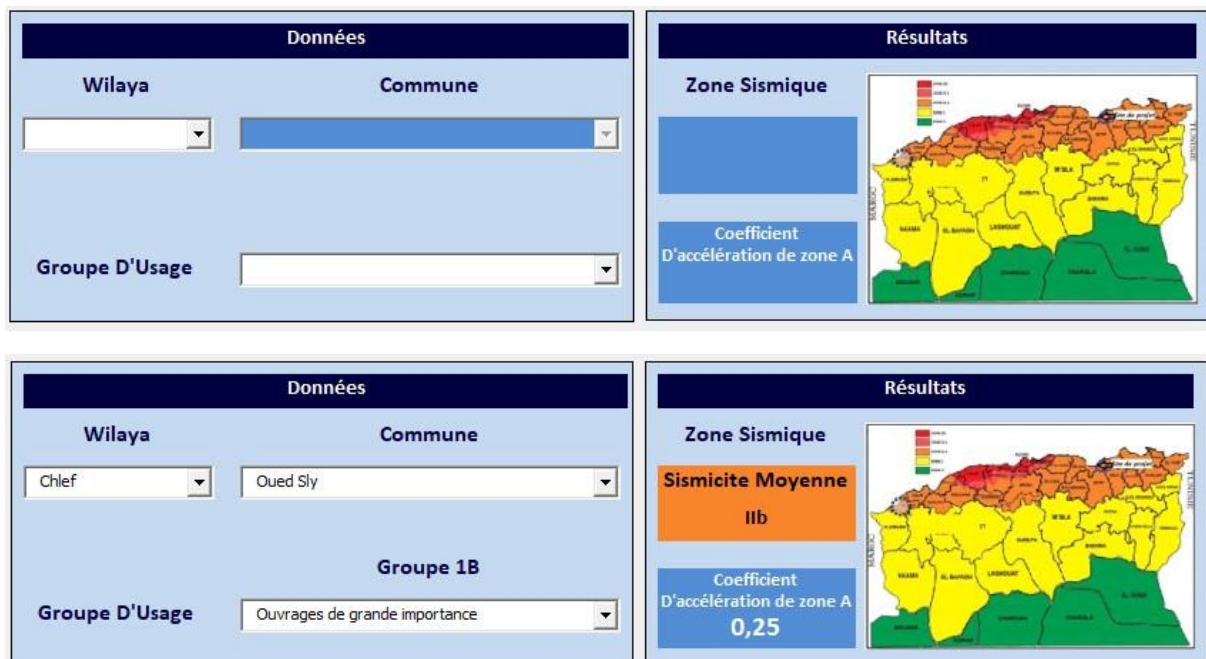
2-R, A, W :

Cette page contient trois sections pour identifier chacun des:



1-COEFFICIENT A:

Cet espace permet de définir Coefficient d'accélération en choisissant chacun des **Wilaya**, **Commune** et **Groupe d'usage**. L'utilisateur commence par sélectionner **Wilaya**, puis en choisissant l'un des **Wilaya** contenant plusieurs zones sismiques, il pourra ouvrir la case de sélection de **Commune**, les Wilayas et municipalité choisis définissent la zone sismique et la colorient comme indiqué sur la carte. Après avoir défini la zone sismique, l'utilisateur choisit **Groupe d'Usage** pour obtenir la valeur de **coefficient A**.



2-COEFFICIENT R:

La section est dédiée à définir la valeur de **R**, la valeur de **R** est déterminée selon (le tableau 8 Chapitre 5), l'utilisateur choisit le **Catégorie** puis choisit le **Système de Contreventement**, les listes dans **Système de Contreventement** changent en fonction de ce qui a été choisi dans **Catégorie**.

Le choix de l'élément **Catégorie = Béton Armé** et **Système de Contreventement = 2 ou 4a ou 4b** permet d'ouvrir à la fois (**Nu Voile**) et (**Nu Poteau**) et (**Nu%**) et (**H**) qui déterminent la valeur **R** en fonction des valeurs saisies.

3-POIDS TOTAL W:

Cette section est destinée au calcul du poids total du bâtiment à étudier. L'utilisateur commence par sélectionner **Type d'Ouvrage** pour déterminer la valeur de β (Tableau 9 Chapitre 5) et entre ensuite chaque **Wgi** et **Wqi** afin d'obtenir enfin **Wi**.

$W_i = W_{Gi} + \beta W_{Qi}$

Type d'Ouvrage β

Batiments d'habitation, bureaux ou assimilés 0,2

| W _{gi} (kN) | W _{qi} (kN) | W _i (kN) |
|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| | | |

$W_i = W_{Gi} + \beta W_{Qi}$

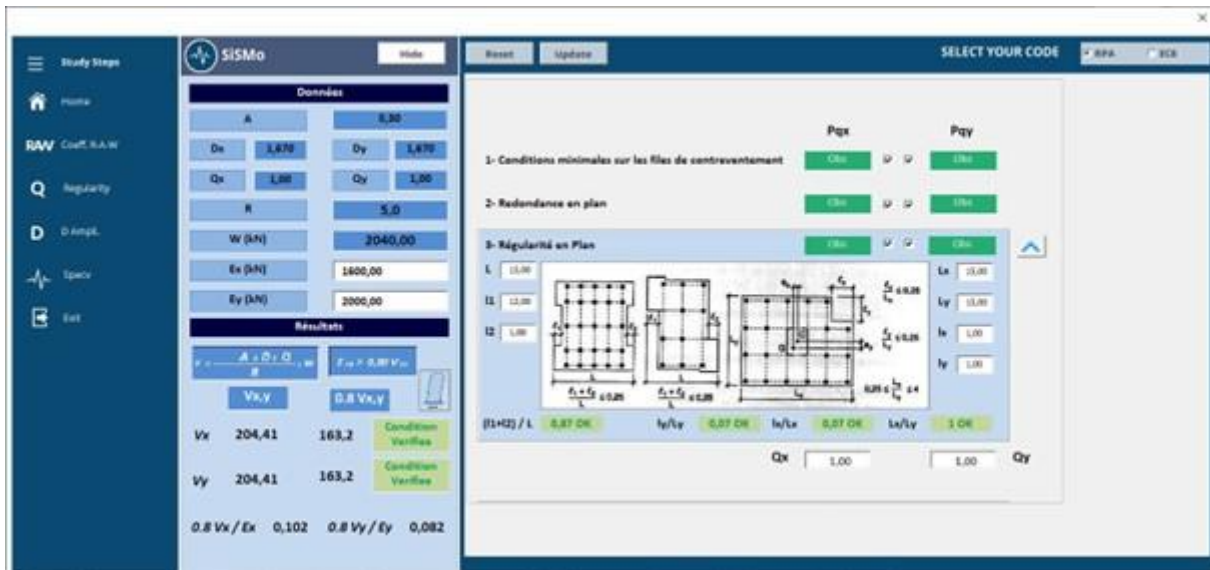
Type d'Ouvrage β

Salles de sport 0,3

| W _{gi} (kN) | W _{qi} (kN) | W _i (kN) |
|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| 3600,00 | 1200,00 | 3960,00 |

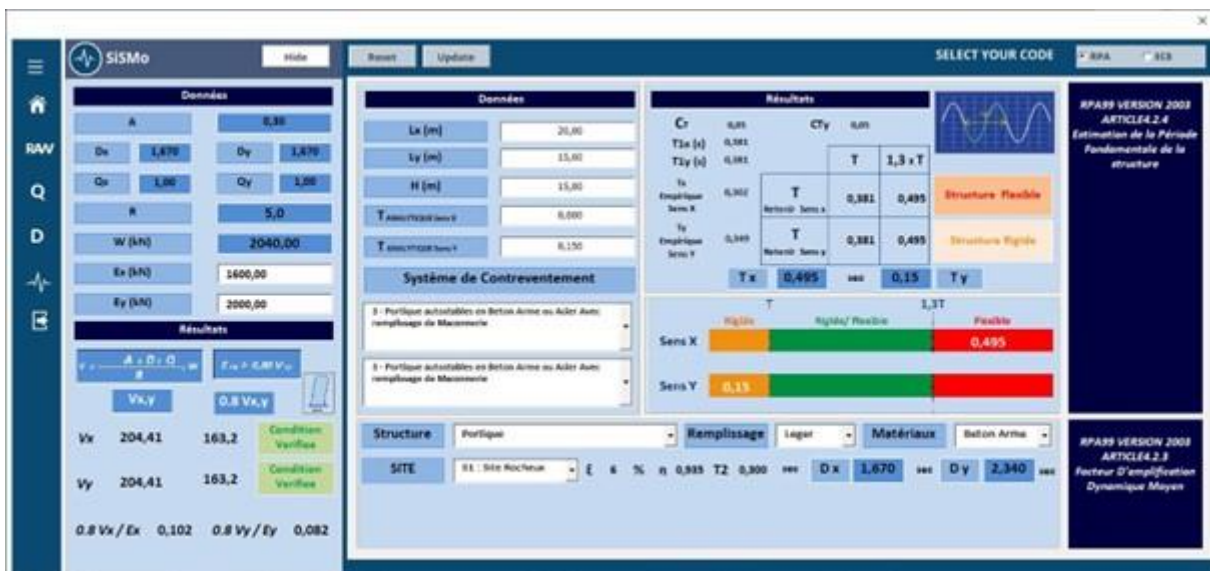
2-Régularité:

Cette page permet de définir **Facteur de Qualité** dans chacun des axes (x,y) pour le projet à étudier, comme indiqué dans (RPA) alors **Q_x** et **Q_y** augmentent en l'absence d'un ensemble de conditions qui doivent être remplies dans le bâtiment tel que (**Régularité en Plan**) et (**Régularité en Elévation**). Sur cette page, en appuyant sur (**Option Button**) correspondant à chaque condition, l'utilisateur pourra augmenter ou diminuer la valeur de **Q**. En ce qui concerne à la fois (**Régularité en Plan**) et (**Régularité en Elévation**), l'utilisateur appuie sur la flèche pour ouvrir l'espace dédié à chaque paire de conditions afin de saisir les valeurs et de valider le projet en fonction de ces conditions.



3-FACTEUR D'AMPLIFICATION /PÉRIODE FONDAMENTALE:

Pour configurer la **Période Fondamentale**, l'utilisateur doit simplement entrer **Lx** et **Ly** et **H** sélectionner **Système de Contreventement** pour les deux axes (**X,Y**). Les valeurs **Tx** et **Ty** obtenues sont automatiquement transférées à l'espace de calcul **Facteur d'Amplification** qui détermine la valeur de **Dx** et **Dy** en sélectionnant **Type de Structure** et **Matériaux** et **Remplissage** et **Site**.

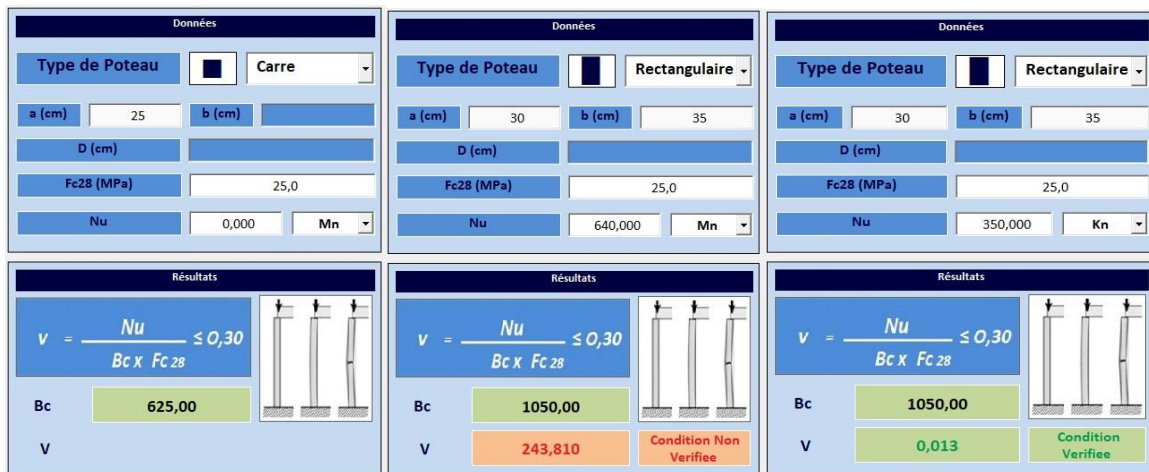


4-SPECTRE DE REPONSE / EFFORT NORMAL RÉDUIT:

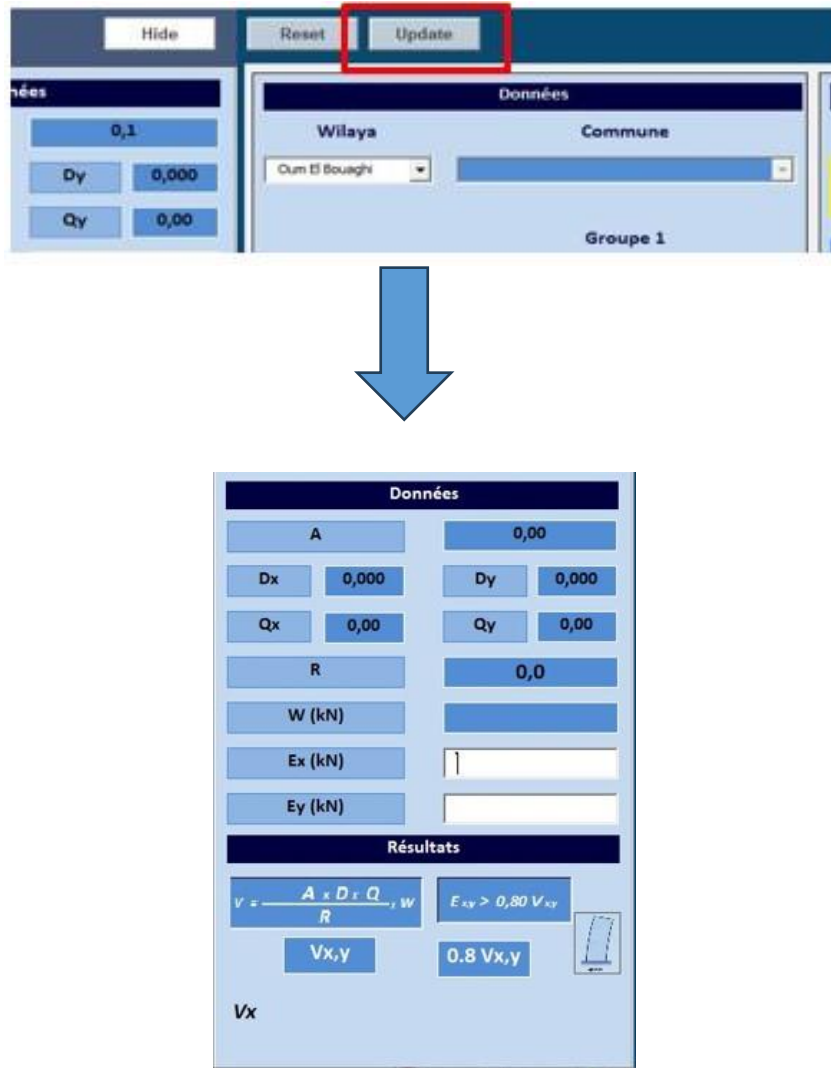
Cette page vous permet de définir le **Spectre de Réponse** après avoir parcouru toutes les pages précédentes pour recueillir les données nécessaires pour dessiner le **Spectre**.



La page contient également un espace permettant de spécifier **Effort Réduit** et de vérifier la condition ($v < 0,30$) où l'utilisateur choisit **Type de poteau** par le biais de la liste existante (**Carré**, **Rectangulaire**, **Circulaire**), le choix du type de colonne permet d'ouvrir des cases pour entrer les dimensions de la colonne dans chaque situation, l'entrée des caractéristiques spécifiera la valeur **Bc**, l'espace permet également de taper deux cases pour taper à la fois **Nu** et **fc28**, ainsi qu'une case pour sélectionner l'unité de **V**, cette case permet de passer entre **kN** et **MN** et **T**.



Après avoir terminé toutes les étapes de calcul, il suffit que l'utilisateur clique sur le bouton UPDATE pour transférer tous les résultats finaux dans l'espace V pour le calcul Vx, Vy



En appuyant sur le bouton "Print notice", l'utilisateur peut sauvegarder les résultats sous forme de Notice de Calcul .



Modèle de la Notice de Calcul générée par l'application.

DOCUMENT TECHNIQUE REGLEMENTAIRE OTB B C 2-48
REGLES PARASISMIQUES ALGERIENNES RPA 99 / VERSION 2003

RÈGLES DE CALCUL

ESTIMATION DE LA PERIODE FONDAMENTALE DE LA STRUCTURE
CALCUL DE LA FORCE SISMIQUE TOTALE V
DISTRIBUTION DE LA RESULTANTE DES FORCES SISMQUES SELON LA HAUTEUR
DISTRIBUTION HORIZONTALE DES FORCES SISMQUES
RESULTANTE DES FORCES SISMQUES DE CALCUL
CALCUL DES DEPLACEMENTS
JUSTIFICATION VIS A VIS DES DEFORMATIONS
JUSTIFICATION DE LA LARGEUR DES JOINTS SISMQUES
CONTRAINTES LIMITES DE CISAILLMENT DANS LES LINTEAUX ET LES TRIANGEAUX

Estimation de la période fondamentale de la structure
RPA 99 / VERSION 2003 >>> (Paragraphe 4.2.4) <<<

* La formule empirique

Série X

CT : 0.05 sans unité
h : 11 m
h₀ : 0.50 sec

Série Y

CT : 0.05 sans unité
h : 11 m
h₀ : 0.50 sec

$T = CT \cdot h^{0.75}$

h : 11 m
D : 25 cm
h₀ : 0.50 sec

$T = \frac{0.09 \cdot h_m}{\sqrt{D}}$

h : 11 m
D : 25 cm
h₀ : 0.50 sec

CT : 0.05 sec

CT : coefficient de correction de contreventement, du type de remplissage.
h₀ : hauteur mesurée en mètres au parti de la base de la structure jusqu'au dernier niveau (N).
T : Période fondamentale (en sec) du sismisme.
D : D > 5% : décroissance subitement mesurée à sa base dans la direction de calcul considérée.

1.3.1 méthode empirique
h₀ : 0.45 sec
h₀ : 0.50 sec

La Période Choisie Pour Le Calcul
 $T_{choix} = T_{emp}$
 $T_{choix} < T_{lim} < 1.3 \cdot T_{emp}$
 $T_{lim} = 2.3 \cdot T_{emp}$

Traite périodes calculées numériquement doit satisfaire la condition:
T dynamique < 2.3 T statique empirique

Calcul de la force sismique totale V
RPA 99 / VERSION 2003 >>> (Paragraphe 6.2.3) <<<

Série X-X

A : coefficient d'accrétion en zone 0 : 0.15 sans unité
E : Pourcentage d'encastrement : 10 %
q : Facteur de correction d'amortissement : 0.10 sans unité
T₀ : Période fondamentale de la structure : 0.33 seconde
S₀ : Valeur du coefficient de pondération β : 0.2
T₁ : Période caractéristique T₁ : 1.00 sans unité
D₁ : Facteur d'amplification dynamique moyen : 1.00 sans unité

Facteur de qualité (q) :

1. Coefficient de renforcement des fils de contreventement : 0 OUI
2. Redondance en plan : 0 OUI
3. Régularité en plan : 0 OUI
4. Régularité en élévation : 0 OUI
5. Contrôle de la qualité des matériaux : 0 OUI
6. Contrôle de la qualité de l'exécution : 0 OUI

Q₁ : Facteur de qualité : 1.10 sans unité
R : 2000.00 kN
W₀₁ : Poids des charges permanentes et celles des équipements des faces intérieures, solidaires de la structure : 200 kN
W₀₂ : Poids des autres charges : 2000.00 kN
B : Coefficient de pondération : 0.2 sans unité
W : Poids total de la structure : 2200.00 kN
A.D.Q : 0.100 sans unité
Q : 0

V₀ : Calcul de la force sismique totale : 204.41 kN

Série Y-Y

A : coefficient d'accrétion en zone 0 : 0.15 sans unité
E : Pourcentage d'encastrement : 10 %
q : Facteur de correction d'amortissement : 0.10 sans unité
T₀ : Période fondamentale de la structure : 0.33 seconde
S₀ : Valeur du coefficient de pondération β : 0.2
T₁ : Période caractéristique T₁ : 1.00 sans unité
D₁ : Facteur d'amplification dynamique moyen : 1.00 sans unité

Facteur de qualité (q) :

1. Coefficient de renforcement des fils de contreventement : 0 OUI
2. Redondance en plan : 0 OUI
3. Régularité en plan : 0 OUI
4. Régularité en élévation : 0 OUI
5. Contrôle de la qualité des matériaux : 0 OUI
6. Contrôle de la qualité de l'exécution : 0 OUI

Q₁ : Facteur de qualité : 1.10 sans unité
R : 2000.00 kN
W₀₁ : Poids des charges permanentes et celles des équipements des faces intérieures, solidaires de la structure : 200 kN
W₀₂ : Poids des autres charges : 2000.00 kN
B : Coefficient de pondération : 0.2 sans unité
W : Poids total de la structure : 2200.00 kN
A.D.Q : 0.100 sans unité
Q : 0

V₀ : Calcul de la force sismique totale : 204.41 kN

Calcul Spectre de Réponse selon RPA 99 - Version 2003
RPA 99 / VERSION 2003 >>> (Paragraphe 6.3.3) <<<

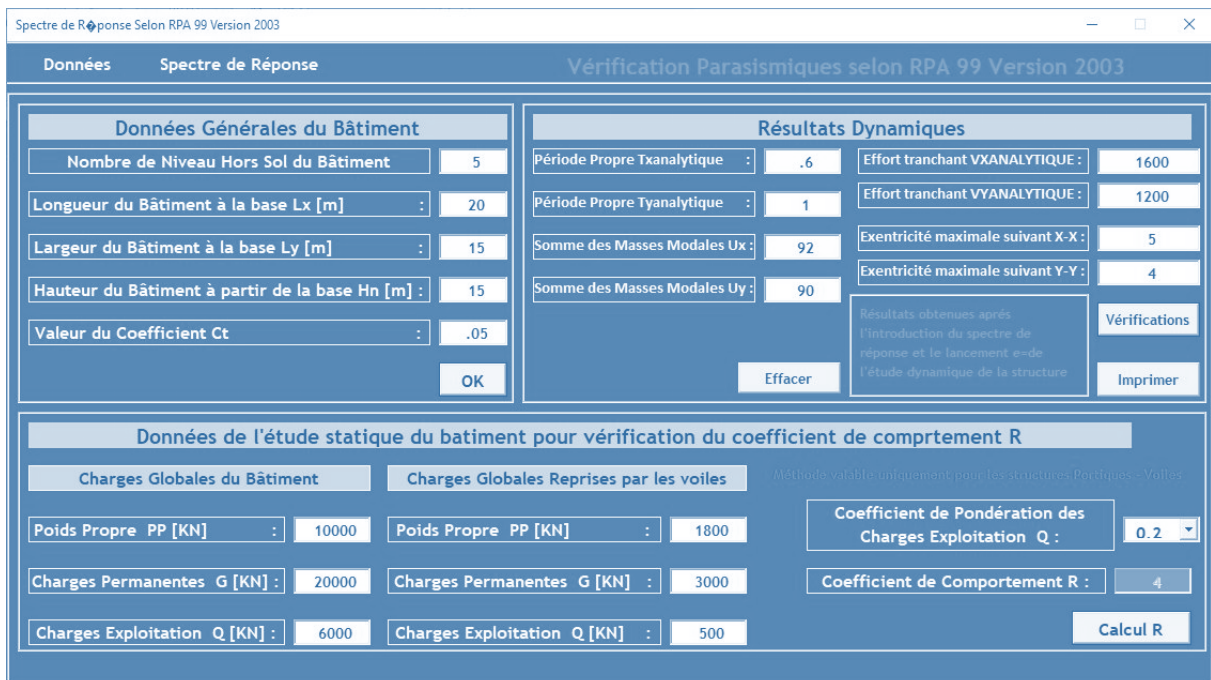
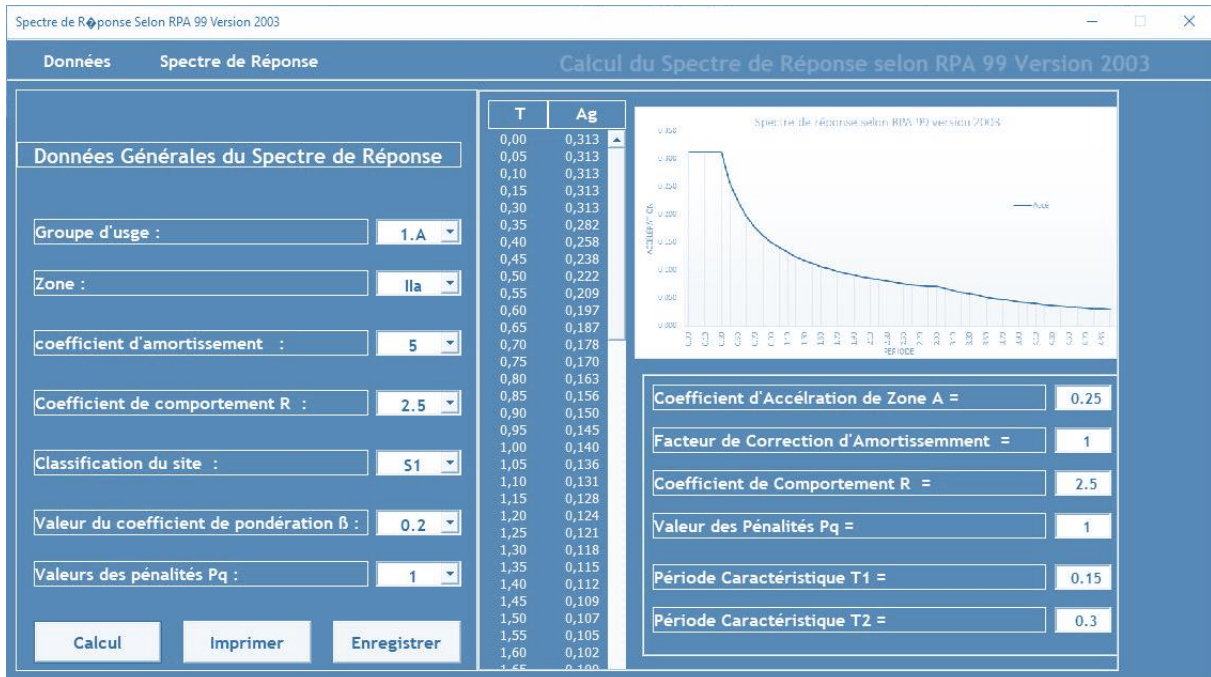
1.3.2 Spectre de réponse en SRS

$$S_{rs} = \begin{cases} 1.25A \left(1 + \frac{T}{T_1} \left(2.5\eta \frac{Q}{R} - 1 \right) \right) & 0 \leq T \leq T_1 \\ 2.5\eta (1.25A) \left(\frac{Q}{R} \right) & T_1 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta (1.25A) \left(\frac{Q}{R} \right) \left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\eta (1.25A) \left(\frac{T_2}{3} \right)^{2/3} \left(\frac{3}{T} \right)^{5/3} \left(\frac{Q}{R} \right) & T > 3.0s \end{cases}$$

| Données générales | | |
|--|------|-----------------------------|
| Zone | IIa | Article 3 |
| Groupe d'usage | IA | Article 3.2 |
| Coefficient d'amortissement ζ | 5 | Article 4.2.3 - Tableau 4.2 |
| Coefficient de pondération β | 2.0 | Article 4.2.3 - Tableau 4.3 |
| Classification du site | S1 | Article 3.1 - Tableau 3.2 |
| Valeur du coefficient de pondération β | 0.2 | Article 4.2.4 - Tableau 4.5 |
| Valeurs des paramètres T ₁ | 1.00 | Article 4.2.3 - Tableau 4.6 |

| Données du spectre de réponse | | |
|--|-------|-----------------------|
| Coefficient d'accrétion en zone A | 0.15 | Chapitre IV - Article |
| Facteur de correction d'amortissement q | 1.00 | Formule 4.3 |
| Coefficient de pondération β | 2.0 | Tableau 4.3 |
| Valeurs des paramètres T ₁ | 1.00 | Formule 4.3 |
| Périodes caractéristiques T ₁ | 0.361 | Tableau 4.7 |
| Périodes caractéristiques T ₂ | 0.309 | Tableau 4.8 |

Modèle d'une application similaire à la nôtre, dont on s'est inspiré, pour imiter, améliorer et innover.



Conclusion Générale

Ce projet a également permis d'appliquer la programmation dans le domaine du génie civil et de comprendre comment traiter l'un des problèmes de l'étude des structures en béton armé, à savoir le calcul parasismique, en créant une application à vocation éducative permettant à l'utilisateur de comprendre le processus de calcul et ses étapes.

L'application est adaptable et peut être mise à jour pour offrir à l'avenir des fonctionnalités plus précises, permettant une meilleure compréhension pour l'utilisateur, comme l'ajout de tableaux de valeurs, de graphiques et d'équations supplémentaires. Il est également possible d'ajouter d'autres étapes de calcul pour les structures en béton armé, comme les calculs liés au " BAEL " tels que (calcul de prédimensionnement, l'armature, descente de charges...) ainsi que de passer à d'autres étapes du calcul spectral.

L'application a été créée en se basant sur "RPA V99/2003", nous avons l'intention d'élargir les horizons de l'application à plusieurs règlements, et dans notre cas, nous avons envisagé la possibilité d'augmenter " EUROCODE 8 ". Ce développement permettra de choisir règlement que l'utilisateur souhaite utiliser, d'augmenter la portée de l'application et de la porter à un niveau supérieur par rapport aux options disponibles pour le calcul.

Ce projet est en quelque sorte la mise en pratique de l'apprentissage théorique de notre cycle et surtout de mettre en pratique les diverses méthodes de calcul, les concepts et les règlements qui régissent le domaine étudié. Il nous a également donné l'opportunité de cultiver notre esprit de recherche et notre aptitude à se documenter.

Références

- [1] - Mémoire master département génie civil, Université Bejaïa présenté par ACHILI RAFIK & BELKAI MERZOUK [Effet de changement de la zone sismique sur la réponse des structures en béton armé] promotion 2011/2012.
- [2]- La méditerranée et sa sismicité [site internet]
- [3]- <https://typeset.io/questions/what-is-the-importance-of-seismic-risk-communication-9uiy5k5nxj>
- [4]- The Project for Seismic Risk Assessment and Risk Management Planning in the Republic of Armenia.
- [5]https://www.researchgate.net/publication/254303989_Assessment_of_Seismic_Risk_and_Importance_Measures_of_Interdependent_Networks_using_a_Non_Simulation-Based_Method
- [6]- REGLES PARASISMIQUES ALGERIENNES RPA 99 / VERSION 2003.
- [7]-Génie Parasismique (2021/2022)- M2 Structures - Dr. I. DJAFAR HENNI – UHB Chlef
- [8]- Betbeder-Matibet. Etat de l'art en matière de calcul dynamique des structures, Génie parasismique (éd. V. Davidovici), Presses de l'ENPC, Paris, 1985.
- [9]- A. Capra. Pratique de l'analyse modale dans le calcul des structures, Génie parasismique (éd. V. Davidovici), Presses de l'ENPC, Paris, 1985.
- [10]- A. Chanti. Calcul dynamique des structures .interprétation des logiciels de calcul. Office des publications universitaires 2000.
- [11]- M. Mekki, La détermination des spectres de réponse d'une structure à partir de diverses méthodes d'intégrations temporelle. Mémoire de magister 2004.
- [12]- Victor Davidovici. La construction en zone sismique. Edition le Moniteur 1999.
- [13]- Victor DAVIDOVICI (Consultant Séisme de BOUMERDES – 21 mai 2003 / Rapport préliminaire. 8 juin 2003.
- [14]- Victor DAVIDOVICI. Pratique du calcul sismique. Editions EYROLLES. 61, bd SaintGermain 75240 Paris: 2013. 243P. ISBN Afnor: 978-2 12-465401-7. ISBN Eyrolles: 978- 2-212-14135-1.
- [15]<https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/61649/15/Chapitre%205%20Conception%20parasismique%20des%20batiments.pdf>
- [16]- Chapter V Determination of the seismic action by Equivalent Static Force Method
Earthquake Engineering Courses 2sd Year Master Structures 2023 / 2024 By Abderrahim Labeled