

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA**

**FACULTE DE TECHNOLOGIE**

**DEPARTEMENT : GÉNIE CIVIL**



**FILIERE : GÉNIE CIVIL**

**OPTION : STRUCTURES**

**Projet de Fin d'Etude pour l'obtention du Diplôme de**  
**Master Académique**

**Intitulé**

**Etude comparative des règles RPA 99 v.2003 avec les codes**  
**EC08, UBC97 et RPS2000**

**Réalisé par : GUETTAF AYOUB**

**Soutenu devant le jury composé de :**

<b>Mr. HAMITOCHE AMAR</b>	Université M'sila	Président
<b>Mr. GUERRAICHE AMMAR</b>	Université M'sila	Examineur
<b>Mr. BOULAOUAD ABDERRACHID</b>	Université M'sila	Rapporteur

**Année Universitaire: 2023 /2024**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

1438

## Table des matières

Remerciements.....	
Dédicace .....	
Résumé: .....	
Abstract:.....	
Introduction générale .....	
<b>Chapitre 1: Notion de code parasismique</b>	
<b>1.1 Définition du code parasismique:.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2 Historique des codes parasismiques.....</b>	<b>4</b>
<b>1.3 Nécessité et utilité des codes parasismique :.....</b>	<b>6</b>
<b>Chapitre 2: Aperçu sur les codes choisis</b>	
<b>2.1 Introduction: .....</b>	<b>9</b>
<b>2.2 Présentation des codes parasismiques.....</b>	<b>10</b>
2.2.1 LES REGLES PARASISMIQUES ALGERIENNES: [1] .....	10
2.2.2 LES REGLES PARASISMIQUES EUROCODE 8: [2].....	12
2.2.3 LES REGLES PARASISMIQUES AMERICAN UNIFORM BUILDING CODE (UBC97): [3] .....	14
2.2.4 LES REGLES PARASISMIQUES RPS 2000: [4] .....	15
<b>2.5 Conclusion.....</b>	<b>18</b>
<b>Chapitre 3: Outils de comparaison</b>	
<b>3.1 COMPARAISON DE LA CLASSIFICATION DES SOLS:.....</b>	<b>20</b>
3.1.1 Classification des sites selon RPA99/ v2003: [1] .....	20
III.3.1.2. CLASSIFICATION DES SOLS SELON EUROCODE 8: [2] .....	22
3.1.3 Classification des sols selon l'UBC97: [3] .....	23
3.1.4 Classification des sites selon rps 2000: [4] .....	24
<b>3.2 Comparaison des zones sismiques.....</b>	<b>27</b>
1.2.3 Classification des zones sismiques selon RPA99/v2003: [1] .....	27
1 2.2 Classification des zones sismiques selon EC 8:.....	28
3.2.3 Classification des zones sismiques selon L'UBC 97: [3].....	29
3.2.4 Classification des zones sismiques selon RPS2000[4]:.....	30
<b>3.3 Comparaison des spectres de réponse des 4 codes.....</b>	<b>32</b>

3.3.1 Spectre de Réponse de calcul du RPA 99 Version 2003 .....	33
3.3.2 Spectre de Réponse de l'Eurocode 8 .....	35
3.3.3 Spectre de réponse de l'UBC 97: .....	39
3.3.4 Spectre de réponse du RPS2000 .....	42
3.4.1 Période fondamentale selon le RPA 99/v 2003.....	45
3.4.2 Période fondamentale selon l'Eurocode 8 .....	45
3.4.3 Période fondamentale selon le code Américain UBC 97 .....	46
3.4.4 Période fondamentale selon le code maroc rps2000 .....	48
<b>3.5 Classification des ouvrages selon leur importance: .....</b>	<b>50</b>
<b>3.6 Méthodes de calcul sismique: .....</b>	<b>57</b>
3.6.1 Présentation des méthodes d'estimation des forces sismiques : .....	57
3.6.2 Actions sismiques .....	58
<b>3.7 Conclusion.....</b>	<b>69</b>
<b>Chapitre 4: Application numérique</b>	
<b>4.1 Introduction: .....</b>	<b>73</b>
<b>4.2 Présentation de l'ouvrage:.....</b>	<b>73</b>
<b>4.3 Description de l'ouvrage: .....</b>	<b>73</b>
4.3.1- Système porteur:.....	74
4.3.2- Plancher .....	74
4.3.3-Maçonnerie:.....	74
4.3.4- Revêtement de sol: intérieur: .....	74
4.3.5- Escalier:.....	75
<b>4.4 Caractéristique des matériaux .....</b>	<b>75</b>
4.4.1 Béton.....	75
4.4.2 Acier.....	75
<b>4.5 Charges et surcharges.....</b>	<b>76</b>
4.5.1 Plancher terrasse (16+4): .....	76
4.5.2 Plancher d'étage courant (16+4) .....	76
<b>4.6 Etude sismique comparative: .....</b>	<b>77</b>
4.6.1 Poids total de la structure: .....	77
4.6.2 Action sismique selon RPA99/v2003 (Effort tranchant à la base): .....	77

4.6.3 Action sismique selon L'EC8 (Effort tranchant à la base).....	78
4.6.4 Action sismique selon L'UBC (Effort tranchant à la base).....	81
4.6.5 Action sismique selon RPS2000 (Effort tranchant à la base):.....	82
<b>4.7 Spectre de réponse de RPA99/v2003, EC08, UBC97 ET RPS2000 .....</b>	<b>83</b>
4.7.1 Spectre de réponse de RPA99/v2003 .....	83
4.7.2 Spectre de réponse de EC08.....	84
4.7.3 Spectre de réponse de UBC97.....	85
4.7.4 spectre de réponse de RPS2000.....	86
<b>4.8 Comparaison:.....</b>	<b>87</b>
4.8.1 Effort tranchants .....	87
4.8.2 spectre de réponse.....	88
<b>Conclusion.....</b>	<b>89</b>
<b>Chapitre 5: Discussion et interprétation des résultats</b>	
<b>5.1 Introduction: .....</b>	<b>91</b>
5.1.1 Efforts Tranchants	
5.1.2 Points Communs.....	92
<b>5.2 Comparaison des Spectres de Réponse . .....</b>	<b>92</b>
5.2.1 Points de différence .....	92
5.2.2 Points communs.....	93
<b>5.3 Conclusion: .....</b>	<b>94</b>
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>96</b>

# Remerciements

Je veux remercier dieu de m'avoir donné la santé et la volonté d'entreprendre ce travail et surtout de le finir.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Mes sincères remerciements vont à mon encadrant, boulaouad abdrachid, pour sa guidance inestimable, ses précieux conseils et son soutien constant tout au long de ce travail.

Je remercie également mes professeurs et tous les membres du département pour leur encadrement et leur disponibilité.

Je souhaite également remercier mes collègues de promotion pour leur soutien moral et leur collaboration. Un merci spécial à ma famille et à mes amis pour leur encouragement indéfectible.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire. Votre soutien a été une source de motivation continue.

*Guettaf ayoub*

# Dédicace

Je dédie ce mémoire:

À mes chers parents, pour leur amour inconditionnel, leur soutien sans faille et leurs sacrifices. Sans vous, ce rêve n'aurait jamais pu devenir réalité.

À mon frère et mes sœurs, pour leur encouragement constant et leur présence réconfortante.

À mes amis, pour leur amitié sincère et leur soutien tout au long de ce parcours.

À tous ceux qui croient en l'importance de l'éducation et du savoir.

Puissent ces pages témoigner de ma reconnaissance et de mon affection.

*Guettaf ayoub*

## ملخص:

هذا البحث يركز على دراسة مقارنة لمعايير البناء المقاوم للزلازل RPA2003 قوانين مصادة للزلازل الأوروبية EC8 قوانين مصادة للزلازل الأمريكية UBC97 والقوانين المغربية RPS2000 الهدف هو تقييم أوجه التشابه والاختلاف بين هذه القوانين من حيث التصميم، الحساب، وسلامة الهياكل ضد الزلازل. يتناول البحث المعايير التقنية، نهج النمذجة، ومتطلبات الأداء لكل معيار، ويقدم توصيات لتحسين مقاومة المباني للزلازل وفقاً للسياقات الإقليمية المحددة.

**الكلمات المفتاحية:** مقارنة، الزلازل، القوانين المصادة للزلازل، RPA 2003, RPS 2000, EC8, UBC 97

## Résumé:

Ce mémoire porte sur une étude comparative des normes de construction parasismique RPA2003 (Algérie), EC08 (Europe), UBC97 (États-Unis) et RPS2000 (Maroc).

L'objectif est d'évaluer les similitudes et les différences entre ces règlements en termes de conception, de calcul et de sécurité des structures face aux séismes. L'analyse s'intéresse particulièrement à la comparaison des méthodes de calcul, notamment celles relatives à l'effort tranchant de base.

Mots clés : Comparaison -Séismes - Règles parasismiques - RPA99/v2003 - Eurocode8 - UBC97- RPS2000.

## **Abstract:**

This thesis focuses on a comparative study of seismic construction standards RPA2003 (Algeria), EC08 (Europe), UBC97 (United States), and RPS2000 (Morocco).

The objective is to assess the similarities and differences between these codes in terms of design, calculation, and structural safety against earthquakes. The analysis is particularly interested in the comparison of calculation methods, in particular those relating to the base shear.

Key words: comparison study - earthquake - Algerian seismic code 2003 - Eurocode 8 - UBC 97 - RPS 2000

## **LISTE DES TABLEAUX:**

Le tableau (III.1) de l'RPA 99/v2003 les quatre classes de sol

Le tableau (III.2) de l'Eurocode 8 classes de sol

Tableau (III.3) Classification des sols selon l'UBC 97

Tableau (III.4) Classification des sols selon rps2000

Tableau (III.5) Comparaison de la classification des sols Entre RPA99/v2003, l'EC8,UBC 97 et rps2000

Tableau (III.6) Classification des zones sismiques RPA99/V2003

Tableau (III.7) Classification des zones sismiques EUROCODE 8

Tableau (III.8) la classification des zones sismiques UBC 97

Tableau (III.9) la classification des zones sismiques rps2000

Tableau (III.10) Comparaison de la classification des zones Entre RPA99/v2003, l'EC8,UBC 97 et rps2000

Tableau III.11 : Coefficient d'accélération de zone .

Tableau III.12 : Type de site en fonction des périodes de transition

Tableau III.13 : Valeurs des paramètres décrivant les spectres de réponses élastique recommandés de type 1.

Tableau III.14 : Valeurs des paramètres décrivant les spectres de réponses élastique recommandés de type 2.

Tableau III.15 Valeurs recommandées des paramètres décrivant les spectres de réponse élastique vertical.

Tableau III.16 montre les de coefficient sismique  $\alpha$  selon l'UBC 1997:

Tableau III.17 montre les de coefficient sismique  $\alpha_v$  selon l'UBC 1997.

Tableau III.18 Période de transition  $T_c$

Tableau III.19facteur d'amplification dynamique

Tableau III.20 : Comparaison des spectres de calcul du RPA99/v2003 l'EC8 UBC 97 ET RPS2000

Tableau (III.21) Comparaison de Période fondamentale entre RPA99/v2003, l'EC8,UBC 97 et rps2000

Tableau III.22 Classification des ouvrages selon le RPA 99/v2003

Tableau III.23 Classification des ouvrages selon l'EC8

Tableau III.24 Classification des ouvrages selon l'UBC 1997

Tableau III.25 Classification des ouvrages selon rps2000

Tableau III.26 Comparaison des Méthodes de calcul de la force sismique.

Tableau III.27 † coefficient  $\gamma$  est donné au tableau

Tableau III.28 Comparaison les expressions des forces sismiques

Tableau III.29 Distribution des forces sismiques.

Tableau IV.1 Caractéristiques géométriques

Tableau IV.2 Charges et surcharges Plancher terrasse (16+4) :

Tableau IV.3 Charges et surcharges d'étage courant (16+4)

Tableau IV.4 Les paramètres sismique de RPA99

Tableau IV.5 Les paramètres sismique de l'EC8

Tableau IV.6 Les paramètres sismique de l'UBC97

Tableau IV.7 Les paramètres sismique de RPS2000

Tableau IV.8 Les paramètres sismique de RPA99

Tableau IV.9 Les résultats de spectre de réponse de RPA99

Tableau IV.10 Les paramètres sismique de EC08

Tableau IV.11 Les résultats de spectre de réponse de EC08

Tableau IV.12 Les paramètres sismique de ubc97

Tableau IV.13 Les résultats de spectre de réponse de UBC97

Tableau IV.14 Les paramètres sismique de RPS2000

Tableau IV.15 Les résultats de spectre de réponse de RPS2000

Tableau IV.16 Les résultats de efforts tranchant de RPA99/EC08/UBC97/RPS2000

Tableau IV.17 Les résultats de spectre de réponse de RPA99/EC08/UBC97/RPS2000

## **LISTE DES FIGURES:**

**Figure III.1 :** La carte de micro zonage d'Algérie.

**Figure III.2 :** La carte de micro zonage de la France.

**Figure III.3 :** La carte des zones sismiques d'Etats-Unis d'Amérique.

**Figure III.4 :** La carte des zones sismiques de maroc

**Figure III.5 :** Graphique indicatif de la méthode de détermination du spectre de réponse.

**Figure III.6 :** Spectre de réponse élastique normalisé pour les 4 types de sites.

**Figure III.7 :** Forme du spectre de réponse élastique donné par l'Eurocode.

**Figure III.8** spectre de calcul de l'UBC 97

**Figure III.9** Facteur d'amplification dynamique

**Figure IV.1** la courbe graphique de spectre de reponse de RPA99/EC08/UBC97/RPS2000

## NOTATIONS ET SYMBOLES

**A** Coefficient d'accélération de zone

**ag** Accélération de calcul pour un sol de classe A

**avg** L'accélération maximale EC8

**Ca** Coefficient sismique d'accélération

**Cv** Coefficient sismique de vitesse

**CT** Coefficient en fonction du système de contreventement

**D** Facteur d'amplification dynamique

**Eb** Module d'élasticité (Young instantané)

**Es** Module d'élasticité de l'acier

**Ft** Force concentrée au sommet de la structure

**Fi** Effort horizontal revenant au niveau i

**Fb** L'effort tranchant sismique à la base de la structure EC8

**fe** Résistance limite élastique de l'acier haute adhérence

**fes** Résistance limite élastique de l'acier rond lisse

**fc** Résistance en compression du béton

**fbu** Contrainte limite du béton en compression

**fc28** Résistance caractéristique du béton à la compression

**ft28** Résistance limite du béton à la traction

**Gi** Les différentes composantes du poids propre

**G** Charges permanentes

**g** Accélération de la pesanteur  $g = 10 \text{ m/s}^2$

**H** Hauteur totale la structure

**hN** Hauteur mesurée en mètres à partir de la base de la structure

**hi** Niveau du plancher où s'exerce

**hj** Niveau d'un plancher quelconque

**I** Facteur d'importance sismique

**Ip** Facteur d'importance sismique

**Kw** Coefficient reflétant le mode de rupture prédominant dans les systems structuraux de murs.

**L** Longueur

**LP** Longueur de pailleasse

**lwi** Est la longueur du mur de contreventement i

**M** La masse du bâtiment

**mi,mj** Les masses des niveaux (i, j)

**N** Nombre des coups moyens non corrigés pour 30cm

**Nv** Facteur de source proche utilisé dans la détermination du Cv

**Na** Acteur de source proche utilisé dans la détermination du Ca

**P1** Pression limite du pressiomètre

**Pq** pénalité à retenir selon que le critère de qualité q est satisfait ou non

**Q** Facteur de qualité

**Qu** Résistance en compression simple

**Qc** Résistance de pointe du pénétromètre statique

**Q** Coefficient de comportement Concernant l'EC8

**q0** Valeur de base du coefficient de comportement, dépendant du type de système structural et de la régularité en élévation

**Qi** Différentes charges variables

**R** Coefficient de comportement

**A** le coefficient d'accélération de zones

**S** le coefficient du site

**D** le facteur d'amplification dynamique donnée par le spectre d'amplification dynamique

**I** le coefficient de priorité

**K** le facteur de comportement

**W** la charge prise en poids de la structure

**S1** Site rocheux

**S2** Site ferme

**S3** Site meuble

**S4** Site très meuble

**Sd(T)** Spectre de calcul

**Sa** Spectres de réponse d'accélération

**Se(T)** Spectre de réponse élastique

**Sve(T)** Spectre de réponse élastique vertical

**S** Paramètre du sol (EC8)

**T** Période propre correspondant à spectres d'accélération élastiques

**T1, T2** Périodes caractéristiques associées à la catégorie du site

**TB** Limite inférieure des périodes correspondant au palier d'accélération spectrale constante.

**Tc** Limite supérieure des périodes correspondant au palier d'accélération spectrale constante

**TD** Valeur définissant le début de la branche à déplacement spectral constant

**Ts** Période propre de la structure

**V** Effort tranchant sismique à la base

**Vk** L'effort tranchant au niveau de l'étage k

**Vs** Vitesse des ondes de cisaillement

**W** Poids total de la structure

**$Z_i, Z_j$**  Les hauteurs des masses  $m_i, m_j$

**$W_i$**  Charges gravitaires au niveau « i »

**$W_{Gi}$**  Charges permanentes au niveau « i »

**$W_{Qi}$**  Charges d'exploitations au niveau « i »

**$W_t$**  poids total de la structure

**$\eta$**  Coefficient de correction de l'amortissement

**$\rho$**  Masse volumique

**$\omega$**  Pulsation

**$\nu$**  Coefficient de poisson

**$\gamma_b$**  Masse volumique du béton

**$\gamma_I$**  Coefficient d'importance EC8

**$\varepsilon_{be}$**  Déformation limite élastique

**$\varepsilon_{bu}$**  Déformation ultime du béton

**$\varepsilon_{se}$**  Déformation limite élastique de l'acier

**$\varepsilon_{su}$**  Déformation ultime de l'acier  $s_u$

**$\beta$**  Coefficient de pondération

**$\alpha$**  Coefficient qui tient compte de la diminution de la rigidité due à la fissuration.

$\xi$  Amortissement relatif

$\lambda$  Coefficient de correction EC8

$\psi_E$ , Coefficient de combinaison des actions variable

$\psi_2$ , coefficient de combinaison pour la valeur quasi-permanente d'une action variable  $i$

**Abréviations:**

**RPA** Règlement parasismique algérien

**RPS** Règlement de constructions parasismiques marocain

**EC8** Règlement de constructions parasismiques européen

**Ubc97** Règlement de constructions parasismiques américain

**ML** Magnitude locale

**MF** Mécanisme au foyer

**MSE** Méthode statique équivalent

**MMS** Méthode modale spectrale

**ELU** Etat limite ultime

**ELS** Etat limite service



# **Introduction**

## **Générale**

## Introduction générale

---

### Introduction générale

Dans les régions sujettes aux risques sismiques, la sécurité parasismique constitue un défi majeur dans le domaine de la construction. Les séismes, en tant que phénomènes naturels imprévisibles et particulièrement dévastateurs, ont poussé de nombreux pays à adopter des normes de construction spécifiques visant à minimiser les dégâts humains et matériels. Ces normes, appelées règlements parasismiques ou codes, définissent des critères précis pour la conception et la réalisation de bâtiments pouvant résister aux secousses sismiques.

Le Règlement Parasismique Algérien (RPA 2003), l'Eurocode 8 (EC8) en Europe, l'Uniform Building Code (UBC 97) aux États-Unis, et le Règlement de Construction Parasismique (RPS 2000) au Maroc sont autant de normes qui définissent les méthodes et les exigences pour la construction en zone sismique.

Cette étude comparative se propose d'analyser en profondeur ces quatre règlements, en mettant en lumière leurs points communs, leurs divergences, ainsi que les spécificités techniques qu'ils proposent.

L'objectif est de comprendre comment chaque norme s'adapte à son contexte géographique et sismique, et d'évaluer leur efficacité respective en matière de protection des constructions contre les tremblements de terre.

Afin d'atteindre l'objectif de cette tâche, le mémoire est divisé en cinq chapitres :

**Chapitre 1:** une idée générale sur la notion de code parasismique

**Chapitre 2:** Présentation des codes parasismiques choisis ( évolution, objectifs, domaine et condition d'application)

**Chapitre 3:** Outils de comparaison des règlements choisis (classification des sols, zones sismiques, spectres de réponse, ...)

**Chapitre 4:** Application numérique sur des bâtiments (R+4)

**Chapitre 5:** Discussion des résultats obtenus pour l'effort tranchant à la base et le spectre de réponse dans les 4 codes.

**Chapitre 1:**  
**Notion de code  
parasismique**

# Chapiter 1

---

## Notion de code parasismique

### **1.1 Définition de code parasismique:**

Les codes parasismiques sont un ensemble des normes et de réglementations établies par les autorités compétentes pour concevoir et construire des bâtiments et des infrastructures capables de résister aux forces sismiques. Ces codes précisent les normes de conception, les matériaux à utiliser, les méthodes de construction et les mesures de sécurité requises pour tenter d'anticiper un grand nombre de sinistres auxquels les bâtiments sont susceptibles d'être confrontés dans leur vie.

L'objectif principal de Les codes parasismiques est la sauvegarde d'un maximum de vies humaines pour une secousse dont le niveau d'agression est fixé pour chaque zone de sismicité. La construction peut alors subir des dommages irréparables. En cas de secousse plus modérée, l'application des dispositions définies dans les règles parasismiques doit aussi permettre de limiter les destructions et, ainsi, les pertes économiques. les dommages que peut avoir la structure durant une secousse sismique.

Les codes parasismiques sont généralement conçus pour protéger les occupants et réduire le risque de dommages matériels lors d'un tremblement de terre.

### **1.2 Histoires des codes parasismiques:**

Bien que les codes parasismiques existent depuis plusieurs siècles, leur développement majeur a eu lieu au cours des dernières décennies. Voici un aperçu global de l'évolution des codes parasismiques au fil du temps:

- 1. Antiquité et Moyen Âge :** Les premières références à la construction antisismique remontent aux civilisations anciennes telles que les Grecs, les Romains et les Égyptiens. Ils ont développé des techniques rudimentaires comme l'utilisation d'arches, de voûtes et de murs massifs pour renforcer leurs structures contre les tremblements de terre.

### Notion de code parasismique

2. **19 siècle :**avec l'avènement de l'ingénierie contemporaine, des efforts plus méthodiques ont été déployés pour comprendre les effets sismiques et créer des structures résilientes. Une prise de conscience croissante de la nécessité de codes de construction spécifiques a été déclenchée par des séismes dévastateurs au cours de ce siècle.
3. **Première moitié 20 siècles:** les premiers codes parasismiques ont été créés dans des zones à haut risque sismique, comme la Californie. Ces codes étaient souvent rudimentaires et se concentraient sur des éléments spécifiques de la construction, comme le renforcement des murs et des fondations.
4. **Seconde moitié du 20 siècle:** Les codes parasismiques sont devenus plus sophistiqués et complets avec l'augmentation de la compréhension scientifique des tremblements de terre et des progrès technologiques. Des normes nationales et internationales pour la construction parasismique ont commencé à être créées par des organisations telles que l'American Society of Civil Engineers (ASCE) et l'International Building Code (IBC).
5. **Depuis les années 2000:** les codes parasismiques ont continué d'évoluer pour refléter les progrès scientifiques et technologiques. Plutôt que de simplement respecter les règles de conception prescrites, ils intègrent souvent des approches basées sur les performances, qui mettent l'accent sur la capacité d'une structure à résister à différents niveaux de secousses sismiques.
6. **Évolution continue:** Les codes parasismiques sont régulièrement modifiés pour tenir compte des récents séismes, des avancées scientifiques et des changements dans les pratiques de construction. Ils travaillent constamment pour améliorer la résilience des bâtiments et des infrastructures aux tremblements de terre.

### Notion de code parasismique

#### **1.3 La nécessité et utilité des codes parasismique:**

Les codes parasismiques sont des règles et des normes conçues pour aider les bâtiments et les infrastructures à être plus résistants aux séismes. Ils sont conçus pour réduire la vulnérabilité des populations et des biens à la fois aux risques sismiques et aux risques naturels. Les normes parasismiques varient selon la localisation géographique et la nature de l'édifice, conformément aux directives européennes telles que l'Eurocode 8.

De nombreux règlements parasismiques ont vu le jour et sont en constante évolution pour mieux aider les concepteurs à faire des choix judicieux lors de la conception, du calcul et de la mise en œuvre des ouvrages afin de minimiser au maximum les dégâts matériels et humains causés par les séismes. Voici un certain nombre de raisons importantes pour lesquelles ces codes sont nécessaires :

**1. Protection des vies humaines :** Les tremblements de terre peuvent causer des dommages importants aux structures et mettre en danger la vie des personnes qui les occupent. En respectant les codes parasismiques, on peut minimiser les risques pour la sécurité des personnes.

**2. Réduction des coûts de reconstruction:** les bâtiments conçus selon ces codes sont moins susceptibles de subir des dommages importants, ce qui limite les coûts de réparation après une sismique.

**3. Protection des biens et des infrastructures:** Les codes parasismiques permettent de maintenir la continuité des services essentiels et de préserver les équipements critiques.

En général, ces règlements visent à ce que ces derniers soient capables de résister :

- à des tremblements de terre mineurs sans causer de dommages.

### Notion de code parasismique

- des séismes importants avec des dommages structuraux et non-structuraux sans effondrement ou perte de stabilité du bâtiment.
- des tremblements de terre modérés avec des dommages minimes aux composants structuraux et quelques perturbations aux composants non-structuraux.

Le risque d'effondrement des constructions, particulièrement celles situées dans des zones fortement menacées par les séismes, est considérablement réduit en respectant les règles de construction. Pour augmenter la résistance des structures aux tremblements de terre, les règles parasismiques prennent en compte la conception, la réglementation et la mise en œuvre architecturale soignée.

Les objectifs ainsi visés consistent à doter la structure:

- La structure est dotée d'une ductilité et d'une capacité de dissipation d'énergie suffisantes pour subir des déplacements inélastiques avec des dommages minimes et sans effondrement, ni perte de stabilité, face à un séisme majeur, plus rare.
- D'une rigidité et d'une résistance suffisante pour limiter les dommages non-structuraux et éviter les dommages structuraux grâce à un comportement essentiellement élastique de la structure face à un séisme modéré, relativement fréquent.

Chapitre 2:

# Aperçu sur les codes choisis

### Apercu sur les codes choisis

#### **2.1 Introduction:**

Le risque sismique demeure aujourd'hui une question complexe à comprendre en raison de sa complexité. Il est évident que les séismes sont calamiteux et leur prévision est extrêmement difficile, voire impossible. Ainsi, la prévention du risque sismique impliquerait d'abord la construction de bâtiments parasismiques.

L'Algérie est un pays qui a subi de nombreux dommages causés par les tremblements de terre. Lors du dernier séisme qui a frappé les régions d'Alger et de Boumerdès (21 Mai 2003), les victimes sont très nombreuses : plus de 3000 morts, environ 10000 blessés, de grands immeubles entièrement détruits ou endommagés, et plusieurs œuvres d'art emportées, Après le tremblement de terre de Chlef en 1980, l'Algérie est passée de l'ignorance totale des dangers encourus à la mise en œuvre d'initiatives d'information et à la prise en compte de l'aléa sismique dans le domaine de la construction.[18]

Les règles parasismiques ont été mises en place par les pays concernés, Pour de se préserver des dégâts pouvant être causés par les séismes. [19]

Ces règles proposent un calcul simple en utilisant des méthodes statiques similaires pour décrire le mouvement dynamique de la structure moyennant certains coefficients de sécurité.

Les règles utilisées sont basés sur les données les plus récentes de la recherche scientifique. Ces règles forment un ensemble de normes de conception extrêmement avancées.

## 2.2 Présentation des codes parasismique

### 2.2.1 LES REGLES PARASISMIQUES ALGERIENNES: [5]

La première loi algérienne relative à la résistance des bâtiments aux séismes a été appliquée en 1983, suite au séisme d'El Asnam en 1980 d'une magnitude de 7,3 sur l'échelle de Richter. Avant cela, le code de la construction français était appliqué en Algérie, qui ne prévoyait pas une vision parasismique des bâtiments face aux séismes. La loi a été adoptée en 1980 et révisée en 1988, 1999 et 2003 à la suite du tremblement de terre dévastateur de Boumerdes.

#### 2.2.1.1 Evolution de règles parasismique algérien (RPA): [5]

- **1978:** Version préliminaire du code parasismique algérien.
  - inspirée du code américain (UBC 73/76).
  - Les forces sismiques sont calculées à l'aide de la méthode statique équivalente.
  
- **1981: Edition** de la première version du code parasismique algérien (RPA 81).

Après le séisme d'El Asnam (M 7,2 / 10 octobre 1980) et mise en application par arrêté en parallèle avec le "PS-69 + complements
- **1983:** RPA – 81 (version 83) exclusivement
- **1984:** Evaluation du RPA- 81 (version 83) à la suite des résultats des études de Microzonage de Chlef.
- **1988:** Révision du RPA – 81 (version 83) Réaménagement du document.
- **1999:** Seconde révision du code
  - Modifications dans la méthode statique équivalente
  - Meilleure explicitation de la méthode dynamique :(méthode modale spectrale)

## Chapiter 2

---

### Apercu sur les codes choisis

- Chapitres « Matériaux » et « Fondations » individualisés
- Version plus complète et mieux lisible.
- **2003:** Troisième révision suite au séisme de Boumerdes (M 6,8 / 21 mai 2003), portant la définition d'un Nouveau zonage sismique comme suit: Zone 0 pour la Sismicité négligeable, Zone I pour la Sismicité faible, Zones II a et II b pour la Sismicité moyenne et enfin la Zone III pour la Sismicité élevée.

#### **2.2.1.2 OBJECTIFS DE RPA 99 VERSION 2003:** [20]

Les règles actuelles ont pour objectif de garantir une protection adéquate des vies humaines et des constructions contre les effets des événements sismiques en utilisant une conception et un dimensionnement adéquats. Les objectifs visés pour des ouvrages courants sont les suivants:

- D'une rigidité et d'une résistance suffisante pour limiter les dommages non structuraux et éviter les dommages structuraux par un comportement essentiellement élastique de la structure face à un séisme modéré, relativement fréquent.
- D'une ductilité et d'une capacité de dissipation d'énergie adéquates pour Permettre à la structure de subir des déplacements inélastiques avec des dommages limités et sans effondrement, ni perte de stabilité, face à un séisme majeur, plus rare. Pour certains ouvrages importants, la protection visée est encore plus sévère Puisqu'il faudra que l'ouvrage puisse demeurer opérationnel immédiatement après un séisme majeur.

#### **2.2.1.3 DOMAINE D'APPLICATION:** [21]

Ces règles s'appliquent à toutes les constructions courantes. Cependant, elles ne s'appliquent pas directement aux constructions comme:

## Chapiter 2

---

### Apercu sur les codes choisis

- Les constructions et les installations où un dommage même léger peut avoir des conséquences exceptionnelles peuvent être très graves: centrales nucléaires, installations GNL, installations de production et de stockage de produits inflammables, explosifs, toxiques ou polluants.
- Ouvrages d'art (barrages, ouvrages maritimes, ponts, tunnels,).
- Réseaux et ouvrages enterrés. Il est nécessaire de se référer à des règles ou des recommandations particulières pour ces types de constructions.

#### **2.2.1.4 Conditions D'application:** [21]

Les principaux aspects à considérer lors de chaque révision du RPA sont les suivants:

- Évaluation de la récente évolution de la réglementation internationale en la matière.
- Responsabilité aux interrogations et observations des utilisateurs du RPA.
- Prendre en compte l'expérience acquise dans le domaine du génie parasismique.
- Organiser le contenu du RPA en suivant un modèle de plus en plus répandu dans les codes étrangers.
- Amélioration de la présentation du RPA

#### **2.2.2 LES REGLES PARASISMIQUES EUROCODE 8:** [20]

En Europe, le code officiel de conception et de calcul des structures pour leur résistance aux séismes est l'Euro code 8 (EC8).

Ce code contient des sections qui fournissent les normes nécessaires pour concevoir des bâtiments, des ponts, la réhabilitation des bâtiments endommagés, ainsi que des silos.

La Commission européenne a mis en place Eurocodes 8 pour harmoniser les techniques de construction dans la Union européenne.

## Chapiter 2

---

### Apercu sur les codes choisis

#### **2.2.2.1 OBJECTIFS De l'EUROCODE 8: [2]**

- Les « Eurocodes structuraux » constituent un ensemble de normes concernant la conception structurale et géotechnique des bâtiments et des ouvrages de génie civil.
- L'exécution et le contrôle ne sont abordés que lorsque la qualité des produits de construction et le niveau de qualité de la mise en œuvre sont requis, afin de garantir la conformité aux règles de conception.
- 
- Tant qu'un ensemble harmonisé. De spécifications techniques des produits et de méthodes d'analyse des performances n'est pas disponible, un certain nombre d'Eurocodes structuraux traiteront de certains de ces aspects dans des annexes informatives .

Contexte du programme Eurocodes:

- La Commission européenne des ingénieurs civils (CCE) vise à établir des règles techniques harmonisées pour les bâtiments et ouvrages de génie civil, proposant une solution de remplacement aux règles existantes dans les États membres.

Ces règles techniques sont habituellement connues sous le nom de «Eurocodes structuraux».

- En 1990, le CCE était chargé d'élaborer, de publier et de mettre à jour l'Eurocode après consultation de différents États membres, et le secrétaire de l'AELE a accepté de soutenir les travaux du CEN.
- Le Comité Technique CEN/TC 250 est responsable de l'ensemble des Eurocodes structuraux.

## Chapiter 2

---

### Apercu sur les codes choisis

#### **2.2.3 LES REGLES PARASISMIQUES AMERICAN UNIFORM**

##### **BUILDING CODE (UBC97): [3]**

L'Uniform Building Code (UBC) a été promulguée en 1927 par le Conseil international des officiels de la construction, dont le siège était à Whittier, en Californie. Son objectif était de promouvoir la sécurité publique en fournissant des normes standardisées pour la construction, garantissant ainsi des normes de sécurité cohérentes à travers différentes localités, contrairement à la situation antérieure où celles-ci variaient d'une ville à l'autre.

##### **2.2.3.1 HISTOIRE D'UNIFORM BUILDING CODE (UBC): [3]**

ICBO a continué de publier les versions mises à jour du code après tous les trois ans jusqu'en 1997, qui a été en retrait que la version finale après laquelle en 2000 l'UBC a été remplacé par IBC (International Building Code), mais IBC est surtout utilisé dans les États-Unis d'Amérique et quelques autres pays. La plupart des pays en développement utilisent encore UBC.

Les normes varient d'un endroit à l'autre comme les normes que nous avons pour l'Amérique pourraient ne pas être utilisables dans les pays asiatiques comme la Chine, etc. La raison de cette variation dans la norme est la variabilité de la disponibilité du type de matériaux disponibles, la qualité du matériel Par exemple, le sol de l'Amérique est très différente collectivement que celle de la Chine ou tout autre pays.

Cette variation est également présente dans le pays. Les zones sismiques sont différentes. Cette variation peut être facilement observée dans le génie civil

## Chapiter 2

---

### Apercu sur les codes choisis

Le code est uniforme Code du bâtiment ayant une forme courte de UBC. Conseil international des officiels de la construction ayant leur siège social en Californie a publié ce code pour la première fois le chemin du retour en 1927. ICBO a été destiné à promouvoir la sécurité publique en fournissant des normes et des exigences pour assurer la construction en toute sécurité.

Le Code du bâtiment uniforme (UBC) a reconnu l'importance des conditions de site locales ou effets de site, par le biais d'un «facteur de sol" qui a été ajouté à la sollicitation latérale des bâtiments dans les éditions 1976 de l'UBC, et après de nombreuses modifications ont été apportées à la définition de facteurs et de sol et les types de sol, la dernière version définit six types de sols.

#### **2.2.4 LES REGLES PARASISMIQUES RPS 2000: [22]**

Le Règlement de Construction Parasismique (RPS 2000) est le code de conception sismique des bâtiments au Maroc.

Son objectif est de garantir la protection de la population face aux séismes et prend en compte les différentes zones sismiques du pays, selon leur niveau de risque.

Le RPS 2000 s'applique à toutes les constructions conventionnelles, mais il n'est pas directement applicable à des structures spécifiques comme les structures souterraines ou artistiques.

Il fournit également des données sismiques, notamment la sismicité du Maroc, des calculs sismiques et des valeurs d'accélération et de vitesse pour différentes régions.

Le RPS 2000 divise le pays en trois zones sismiques basées sur l'accélération horizontale maximale du sol pour une probabilité d'occurrence de

## Chapiter 2

---

### Aperçu sur les codes choisis

10 % dans 50 ans. Le code prend en compte l'histoire sismique de la région et les caractéristiques du sol pour déterminer le risque sismique.

#### **4.4.4.1 OBJECTIFS De RPS 2000: [22]**

Le but de cette version du Règlement de Construction Parasismique « RPS 2000 » est de définir comment les bâtiments ordinaires et les structures de comportement similaire peuvent être affectés par les séismes.

En plus donner un recueil d'exigences minimales de conception et de calcul ainsi que des dispositions constructives à adopter pour permettre aux bâtiments ordinaires de résister convenablement aux secousses sismiques.

Les objectifs principaux du « Règlement de Construction Parasismique (RPS 2000) » dans les zones à risque sismique sont de garantir:

- La sécurité des personnes lors d'un séisme
- La protection des biens matériels
- La continuité de la fonctionnalité des services essentiels.

#### **2.2.4.2- DOMAINE D'APPLICATION: [4]**

- Le présent règlement s'applique aux constructions nouvelles et aux bâtiments existants subissant des modifications importantes tels que changement d'usage, transformation pour des raisons de sécurité publique ou construction d'un ajout.
- Le champ d'application du présent règlement couvre les structures, en béton armé et en acier dont le contreventement est assuré par un des trois systèmes structuraux suivants:

### Apercu sur les codes choisis

- 1) SYSTÈME DE PORTIQUES**: Il s'agit d'une ossature composée de poteaux et poutres à nœuds rigides ou d'une charpente contreventée, capable de résister aussi bien aux charges verticales qu'aux charges horizontales.
- 2) SYSTÈME DE REFENDS**: Le système est constitué de plusieurs murs isolés ou couplés, destinés à résister aux forces verticales et horizontales.
- 3) SYSTÈME MIXTE**: C'est le système structural composé de portiques et de voiles.

## Chapiter 2

---

### Apercu sur les codes choisis

#### **2.5 Conclusion:**

Dans ce chapitre, nous avons examiné les réglementations concernant le parasisme afin de déterminer les éléments qui ont conduit à l'adoption de normes parasismiques en Algérie (RPA 99 Version 2003), en Europe (Eurocode 8) , en Amérique (UBC 97) et en maroc (rps 2000).

**Chapitre 3:**

**Outils de**

**comparaison**

### Outils de comparaison

#### Introduction:

Le niveau de résistance des structures aux séismes est déterminé par le calcul et la vérification de la résistance aux séismes.

Pour évaluer cette résistance, diverses méthodes sont utilisées à travers le monde, telles que les « règlements parasismiques ».

Pour illustrer les diverses méthodes de calcul sismique, on fait une comparaison entre les règlements RPA (Règlement Parasismique Algérien) [4], Eurocode8 (règlement Européen) [5], UBC (règlement Américain) et rps 2000 (règlement marocain).

On effectue cette comparaison en tenant compte des divers éléments qui influencent la détermination de l'impact sismique sur un édifice, en mettant l'accent sur certains aspects essentiels :

- La classification des sols.
- Les zones sismiques.
- Les spectres de réponse.
- La classification des ouvrages selon leur importance.
- La classification des Méthodes de calcul.

### 3.1 COMPARAISON DE LA CLASSIFICATION DES SOLS:

#### 3.1.1 Classification des sites selon RPA99/ v2003: [1]

Selon le tableau ci-dessous, RPA99/v2003 classe les sols en 4 catégories en se basant sur la valeur moyenne de la vitesse de propagation des ondes de cisaillement  $V_s$ , si elle est disponible, De plus, les résultats d'essais tels que le pénétromètre statique ( $q_c$ ), le SPT (N), le pressiomètre (Pl, Ep), ainsi que la résistance en compression simple ( $q_u$ ) peuvent être utilisés pour classer un

$$\text{site. } v_s = \frac{\sum_i^n h_i}{\sum_i \left( \frac{h_i}{v_{si}} \right)}$$

## Chapitre 3

### Outils de comparaison

Le tableau (III.1) de l'RPA 99/v2003 ci-dessous désigne les quatre classes de sol:

	Description	Qc (MPa)	N	Pt (MPa)	Ep (MPa)	Qu (MPa)	Vs (m/s)
S1	Rocheux	-	-	> 5	> 100	> 10	≥ 800
S2	Ferme	> 15	> 50	> 2	> 20	> 0,40	≥ 400 < 800
S3	Meuble	1.5 ~ 15	10 ~ 50	1 ~ 2	5 ~ 20	0.1 ~ 0,4	≥ 200 < 400
S4	Très Meuble ou Présence de 3 m au moins d'argile molle	< 1.5	< 10	< 1	< 5	< 0.1	≥ 100 < 200

**qc:** Résistance de pointe du pénétromètre statique.

**N:** Nombre des coups moyens non corrigés pour 30cm.

**Pl:** Pression limite du pressiomètre.

## Chapitre 3

### Outils de comparaison

**Ep:** Module pression métrique du pressiomètre.

**qu:** Résistance en compression simple.

**Vs:** Vitesse des ondes de cisaillement.

Le RPA exige des investigations approfondies dans les cas suivantes :

- Présence de sols instables sous les actions sismiques tels que : sols liquéfiables, sols faiblement cimentés, anciens remblais.
- Présence de sols vaseux ou d'argile avec une très forte teneur en matière organique sur une épaisseur de plus de 3 m.
- Présence d'argile très plastique sur une épaisseur de plus de 6 m.
- Présence sur une épaisseur de plus de 30 m d'une couche d'argile molle à moyennement raide.

#### **III.3.1.2. CLASSIFICATION DES SOLS SELON EUROCODE 8: [2]**

L'Eurocode 8 distingue (5) catégories de sites normaux, de A (rocheux) à E (très souples), ainsi que Deux (2) catégories de sites spéciaux à S1 (très souples) et S2 (liquéfiable) devant faire l'objet d'investigations particulières.

Le tableau (III.2) de l'Eurocode 8 ci-dessous désigne les 7 classes de sol:

Classe de sol	Description	Paramètres		
		Vs.30 (m/s)	NSPT (coups/30 cm)	CU (kPa)
<b>A</b>	Site rocheux	>800	-	-
<b>B</b>	Site ferme	360 – 800	> 50 >	> 250
<b>C</b>	Site profond de sable			

## Chapitre 3

### Outils de comparaison

	moyennement dense et gravier ou d'argile moyennement raide	180 – 360	15 – 50	70 – 250
<b>D</b>	Site de sol sans cohésion de densité faible à moyenne	< 180	< 15	< 70
<b>E</b>	Site de sol avec une couche superficielle d'alluvions repose sur un matériau plus raide			
<b>S1</b>	Site composé ou contenant une couche argileuse de plus de 10 m d'épaisseur	< 100 (valeur indicative)	-	10 – 20
<b>S2</b>	Site de sol liquéfiable d'argiles sensibles ou autre sol non compris précédemment			

#### **3.1.3 Classification des sols selon l'UBC97: [3]**

L'UBC 97 distingue 6 types de sols SA, SB, SC, SD, SE et SF, le tableau ci-dessous donne ces différents types de sols ainsi que les vitesses de propagation des ondes de cisaillement pour les 30 mètres supérieurs.

## Chapitre 3

### Outils de comparaison

Tableau (III.3) Classification des soles selon l'UBC 97:

Type de profil de sol	Description	Valeur moyenne de Vs dans les 30m supérieurs en m/s
SA	Roche dure	$\geq 1500$
SB	Roche	760-1500
SC	Sol très dense	360-760
SD	Sol raide	180-360
SE	Sol mou	<180
SF	Sols nécessitant une évaluation spécifique	

#### 3.1.4 Classification des sites selon rps 2000: [4]

Le RSP 2000 identifie 8 catégories de sols. Le tableau suivant présente ces diverses catégories de sols ainsi que les taux de propagation.

Tableau (III.4) Classification des sols selon rps2000:

Type de sol	Essai Pressiométrique		Essais Pénétration Statique	Essais SPT	Rc ou qu (bars)	Dr (%)	Vs (m/s)
	Pl (Mpa)	EM (Mpa)	Qc (Mpa)	Nspt			
Rocher sain	> 5	> 100		-	> 100	-	>700
Sols pulvé		> 15	> 20	> 30	-	> 65	> 400

## Chapitre 3

### Outils de comparaison

<b>rulents très denses</b>	> 2						
<b>Sols cohé rents très raides</b>	> 2	> 20	> 5	-	> 4	-	
<b>Rocher alté ré fracturé</b>	2.5 – 5	50-100	-	-	10 – 100	-	300- 700
<b>Sols pulvé rulents moyenne ment denses</b>	1 – 2	5 – 20	5 – 15	10 – 30	-	35 - 60	
<b>Sols cohé rents moyenne ment consistan ts</b>	0.5 – 2	5 – 25	1.5 – 5	-	1 – 4	-	1500 – 1800
<b>Sols pulvérule nts, lâches</b>	<1	< 5	< 5	< 10	-	< 35	
<b>Sols cohé rents,</b>	< 0.5	< 1.5	< 1.5	< 4	1	-	< 150

## Chapitre 3

### Outils de comparaison

<b>mous</b>							
-------------	--	--	--	--	--	--	--

RPA99/v2003		l'EC8		UBC 97		rps2000	
Catégorie	Vs, 30 (m/s)	Catégorie	Vs, 30 (m/s)	Catégorie	Vs, 30 (m/s)	Catégorie	Vs, 30 (m/s)
-	-	-	-	SA	≥ 1500	Rocher sain	>700
S1	≥ 800	A	> 800	SB	760 - 1500	Sols pulvé rulents très denses	>400
S2	≥400 - <800	B	360 – 800	SC	360- 760	Sols cohé rents très raides	
-	-	C	180 – 360	SD	180- 360	Rocher alté ré fracturé	300- 700
S3	≥200 - <400	D	< 180	SE	< 180	Sols pulvé rulents moyennement denses	1500 - 1800
-	-	E	-	SF	-	Sols cohé rents moyennement consistants	
S4	≥ 100 <200	S1	< 100 (valeur indicative)	-	-	Sols pulvé rulents, lâches	< 150

## Chapitre 3

### Outils de comparaison

-	-	S2	-	-	-	Sols cohérents, mous	
---	---	----	---	---	---	----------------------	--

### Comparaison de la classification des sols Entre RPA99/v2003, l'EC8, UBC 97 et rps2000

#### 3.2 Comparaison des zones sismiques:

Les cartes sismiques sont des outils de communication qui ont pour objectif de rendre le risque visible de manière cartographique.

Elles reposent sur les informations géologiques et géotechniques disponibles, ainsi que sur l'étude des événements récents et de l'histoire sismique quand elle existe.

#### 3.4.1 Classification des zones sismiques selon RPA99/v2003: [1]

Selon le RPA Le pays est réparti en 5 zones de sismicité croissante, telles que définies sur la carte des zones de sismicité (pages 12 et 13 du RPA99/v2003) et le tableau correspondant qui explique cette répartition par wilaya et par commune (annexe 1 page 85 du RPA99/v2003).

Tableau (III.6) Classification des zones sismiques RPA99/V2003

<b>RPA 99/v 2003</b>	
<b>Zone 0</b>	Sismicité négligeable
<b>Zone I</b>	Sismicité faible
<b>Zone II a</b>	Sismicité moyenne
<b>Zone II b</b>	Sismicité moyenne
<b>Zone III</b>	Sismicité élevée

## Chapitre 3

### Outils de comparaison

La Figure présente le zonage sismique de l'Algérie utilisé dans RPA 99/ v 2003:

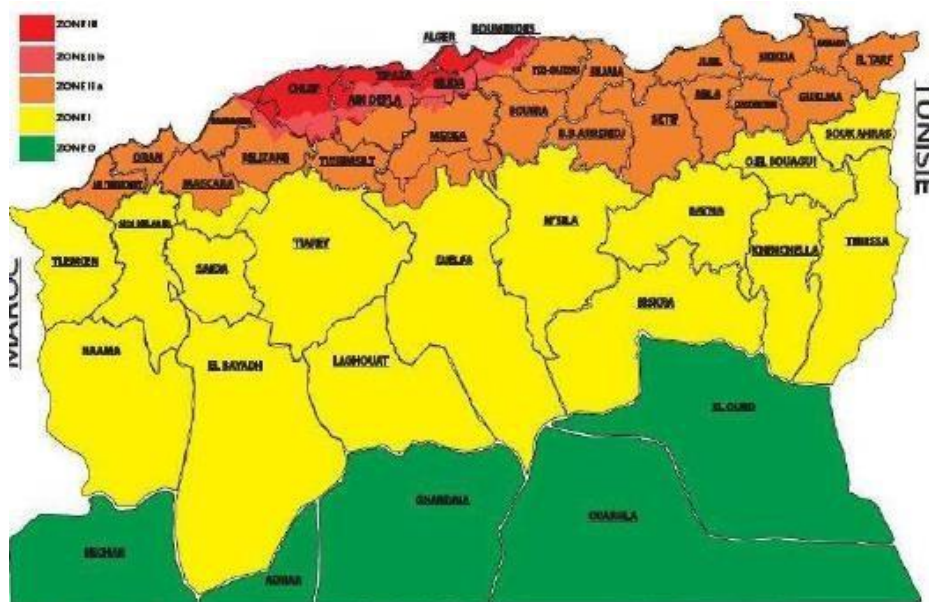


Figure III.1 : La carte de micro zonage d'Algérie.

### 3.4.4 CLASSIFICATION DES ZONES SISMIQUES SELON EUROCODE

#### 8: [2]

L'EC8 définit 5 zones de sismicité qui se distinguent par la valeur de l'accélération de référence au niveau de sol.

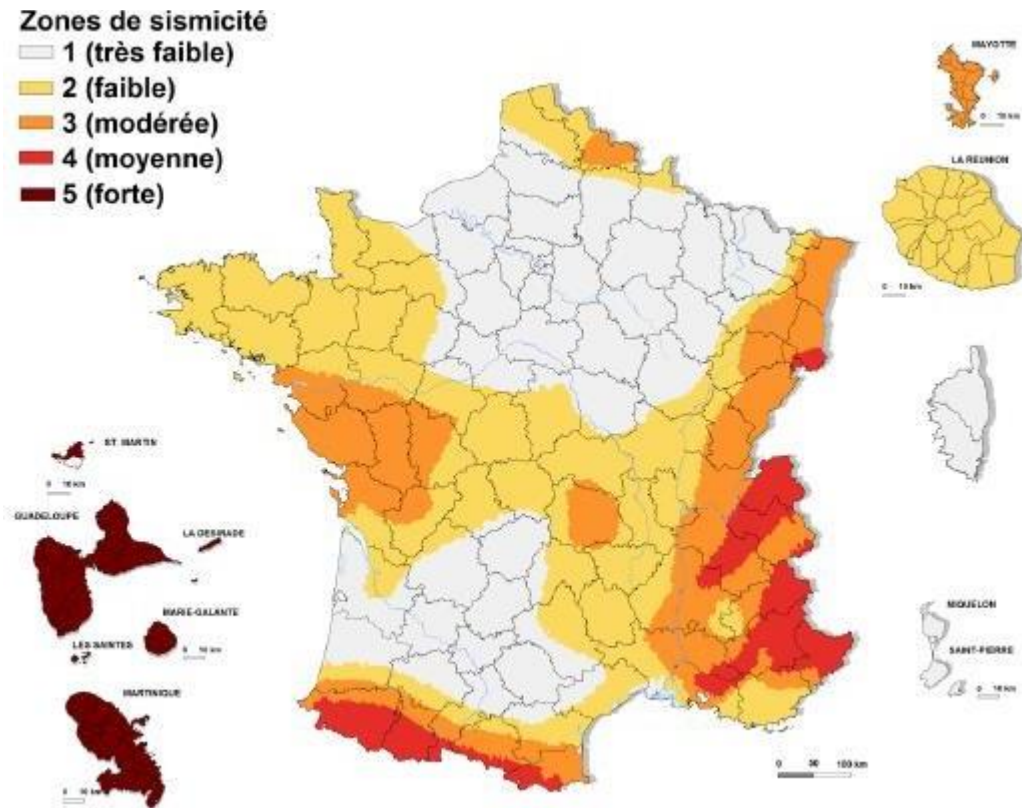
Le décret n° 2010-1254 du 22 octobre 2010 relatif à la prévention du risque sismique nomme et hiérarchise les zones de sismicité du territoire.

Tableau (III.7) Classification des zones sismiques EUROCODE 8

EUROCODE 8	
<b>Zone 1</b>	Sismicité Très faible
<b>Zone 2</b>	Sismicité Faible
<b>Zone 3</b>	Sismicité Modérée
<b>Zone 4</b>	Sismicité Moyenne
<b>Zone 5</b>	Sismicité Forte

La Figure III.2, Présente le zonage de la France comme pays Européen:

## Outils de comparaison



**Figure III.2:** La carte de micro zonage de la France.

### 3.2.3 Classification des zones sismiques selon L'UBC 97: [3] [5]

Les paramètres sismiques de l'UBC97:  $C_a$  et  $C_v$  sont déterminées à partir de la zone sismique de facteur  $Z$  qui définit la zone sismique, l'UBC97 nommé cinq zones sismiques I, IIa, IIb, 3et 4.

Tableau (III.8) la classification des zones sismiques UBC 97

UBC 97		Z
Zone 1	Sismicité Très faible	0.075
Zone II a	Sismicité Faible	0.15
Zone II b	Sismicité Modérée	0.20
Zone 3	Sismicité Moyenne	0.30
Zone 4	Sismicité Forte	0.40

La Figure III.3 Zonage dans les États-Unis d'Amérique (UBC 97):

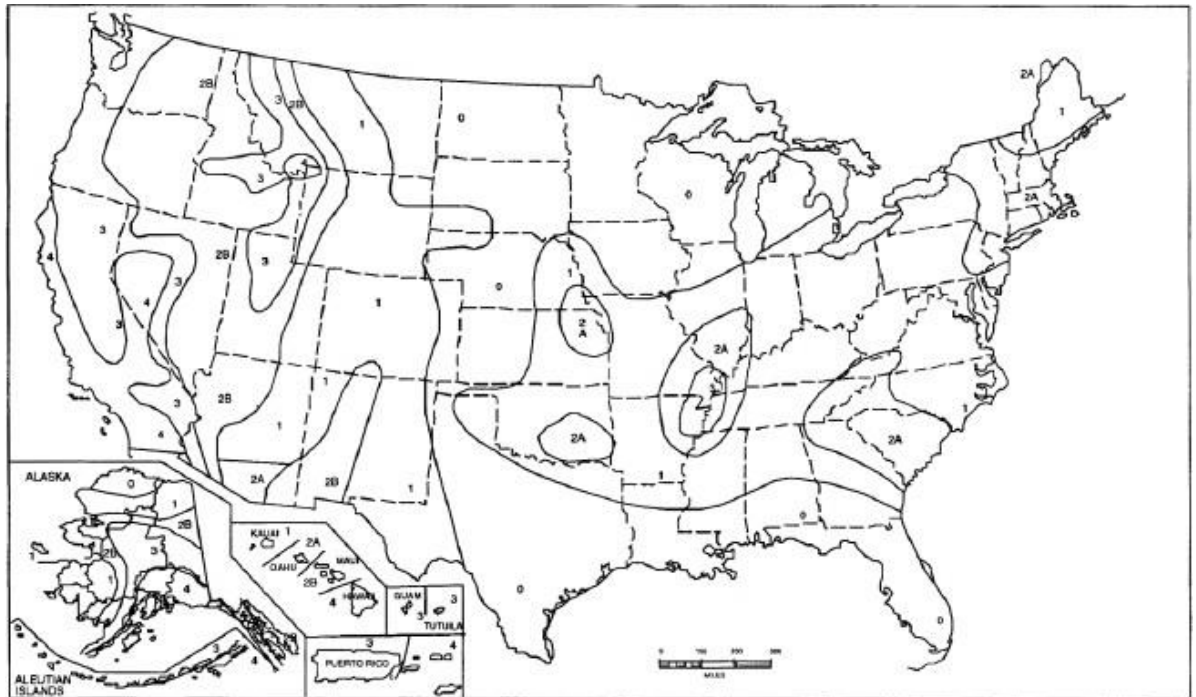


Figure III.3: La carte des zones sismiques d'Etats-Unis d'Amérique.

**3.2.4 Classification des zones sismiques selon rps2000: [7]**

Le maroc est subdivisé en trois zones en fonction de la vitesse maximale de rotation horizontale du sol, avec une probabilité d'apparition de 10% en 50 ans.

Tableau (III.9) la classification des zones sismiques rps2000

rps2000		
Zones	$A=A_{max}/g$	
Zone 1	0.07	Sismicité Faible
Zone 2	0.10	Sismicité Modérée
Zone 3	0.16	sismique élevée

## Chapitre 3

### Outils de comparaison

La Figure III.3 Zonage dans le maroc (rps2000):

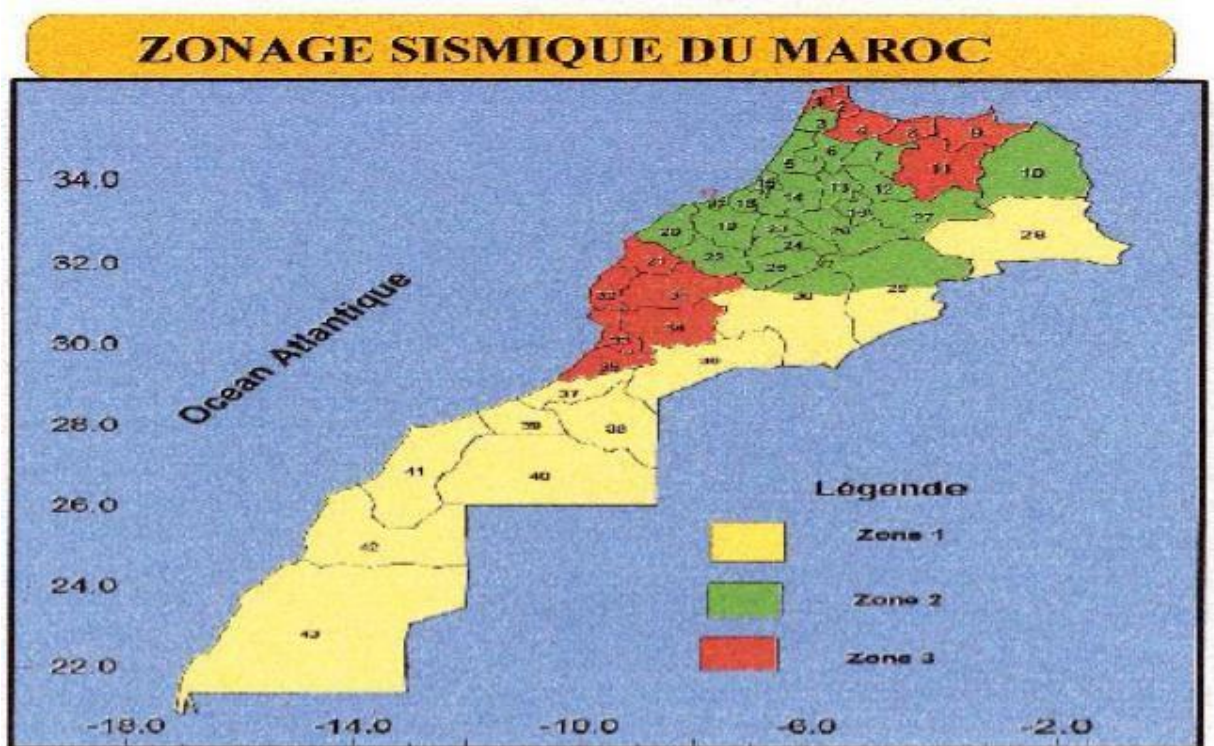


Figure III.4 : La carte des zones sismiques de maroc

Tableau (III.10) Comparaison de la classification des zones Entre RPA99/v2003, l'EC8, UBC 97 et rps2000:

RPA 99/ v 2003		EC 8		UBC 97		rps2000	
Zone	Sismicité	Zone	Sismicité	Zone	Sismicité	Zone	Sismicité
<b>0</b>	négligeable	<b>1</b>	Très faible	<b>1</b>	Très faible	<b>1</b>	Faible
<b>I</b>	faible	<b>2</b>	Faible	<b>II a</b>	Faible	<b>2</b>	Modérée
<b>II a</b>	moyenne	<b>3</b>	Modérée	<b>II b</b>	Modérée	<b>3</b>	élevée
<b>II b</b>	moyenne	<b>4</b>	Moyenne	<b>3</b>	Moyenne		
<b>III</b>	élevée	<b>5</b>	Forte	<b>4</b>	Forte		

## Chapitre 3

---

### Outils de comparaison

Selon les données du tableau, La décomposition des zones de sismicité est identique dans les 3 règlements (RPA99/v2003, l'EC8, UBC 97).

Cependant, selon le règlement marocain (RPS2000), les zones de sismicité sont divisées en trois.

Le RPA et l'Eurocode8 utilisent la même classification des zones de sismicité, qui comprend 5 zones.

Il est important de noter que, dans le RPA, la zone II n'a été divisée en II.a et II.b qu'après le tremblement de terre de Boumerdes 2003.

### **3.3 Comparaison des spectres de réponse du L'RPA99/v2003 et l'EC8, UBC 97 et rps2000:**

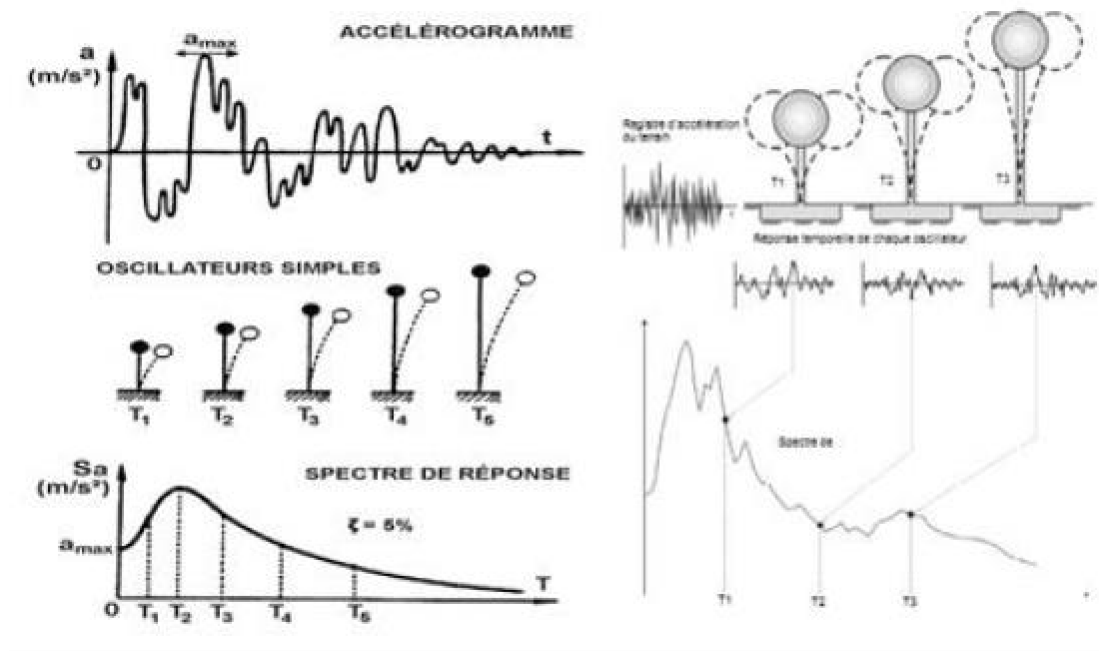
Le spectre de réponse représente la caractérisation des tremblements de terre la plus couramment utilisée dans la pratique de l'engineering, car il décrit les caractéristiques fréquentielles du mouvement du sol de sorte qu'il soit directement appliqué dans l'analyse et le dimensionnement des structures.

Le spectre de réponse du sol est obtenu en appliquant les mouvements du sol à la base d'oscillateurs à un degré de liberté, pour un taux d'amortissement donné, et de représenter sur un graphe la réponse maximale de l'oscillateur en fonction de sa fréquence naturelle ou de sa période naturelle.

C'est une représentation utile pour démontrer la période prédominante des mouvements sismiques. [8] [9]

## Chapitre 3

### Outils de comparaison



**Figure III.5:** Graphique indicatif de la méthode de détermination du spectre de réponse.

#### 3.3.1 Spectre de Réponse de calcul du RPA 99 Version 2003:

Des spectres de réponse de calcul sont définis dans les règlements parasismiques algériens en fonction de la classe de risque des ouvrages, de la zone sismique .... etc.

D'après les règles parasismiques algériennes RPA (99/v2003), on peut calculer le spectre de réponse en fonction de la période  $T$  en utilisant les relations suivantes : [1]

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

### Chapitre 3

Outils de comparaison  $2.5(1.25A) \left( \begin{matrix} \rightarrow \\ T \end{matrix} \right) \left( \begin{matrix} \rightarrow \\ T \end{matrix} \right) \left( \begin{matrix} \rightarrow \\ R \end{matrix} \right) \quad T > 3.0s$

## Chapitre 3

---

### Outils de comparaison

Avec:

A: Coefficient d'accélération de zone,

$\xi$ : Pourcentage d'amortissement critique,

R: Coefficient de comportement de la structure,

Q: Facteur de qualité,

$\eta$ : Facteur de correction d'amortissement.

T1, T2: Périodes caractéristiques associées à la catégorie de site, donné par le tableau

Groupe D'usage	Zone			
	I	II a	II b	III
1A	0.15	0.25	0.30	0.40
1B	0.12	0.20	0.25	0.3
2	0.10	0.15	0.20	0.25
3	0.07	0.10	0.14	0.18

**Tableau III.10:** Coefficient d'accélération de zone. [10]

site	S1	S2	S3	S4
T1 (sec)	0.15	0.15	0.15	0.15
T2 (sec)	0.30	0.40	0.5	0.70

**Tableau III.12:** Type de site en fonction des périodes de transition [10]

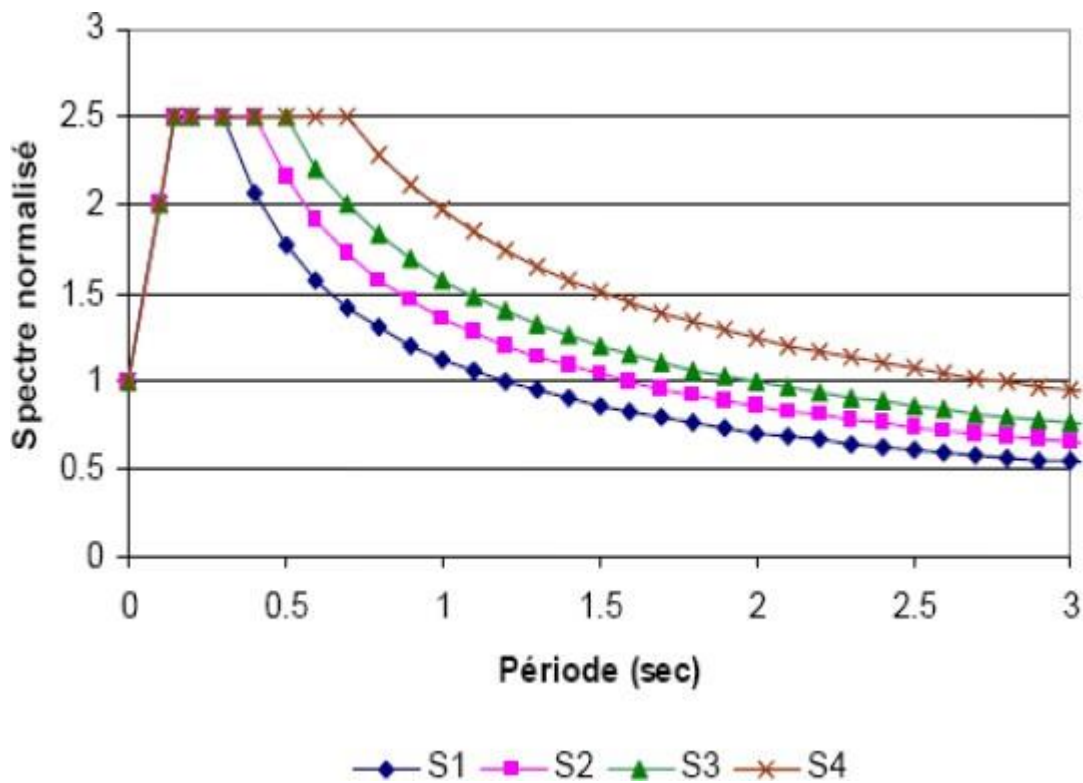


Figure III.6: Spectre de réponse élastique normalisé pour les 4 types de sites.

### 3.3.2 Spectre de Réponse de l’Eurocode 8:

En termes d'application de l'eurocode 8, le mouvement causé par un séisme en un point spécifique de la surface du sol est représenté par un spectre de réponse élastique en accélération, plus connu sous le nom de « spectre de réponse élastique ».

#### 3.3.2.1 Spectre de réponse élastique horizontal (EN 1998-1 Art. 3.2.2):

Le spectre de réponse élastique horizontal  $S_e(T)$  pour les composantes horizontales de l’action sismique est défini par les expressions suivantes:

$$S_e(T) = a_g S \left( 1 + \frac{T}{T_B} (\eta^{2.5} - 1) \right) \quad 0 \leq T \leq T_B$$

$$S_e(T) = a_g S \eta^{2.5} \quad T_B \leq T \leq T_C$$

$$S_e(T) = a_g S \eta^{2.5} \left( \frac{T_C}{T} \right) \quad T_C \leq T \leq T_D$$

## Chapitre 3

### Outils de comparaison

$$S_e(\mathbf{T}) = a_g S \eta 2.5 \left( \frac{T_c T_D}{T^2} \right) \quad T_D \leq T \leq 4s$$

**Se(T):** Spectre de réponse élastique.

**T:** période de vibration d'un système linéaire à un seul degré de liberté .

**ag:** Accélération de calcul pour un sol de classe A ( $a_g = \gamma I * a_{gR}$ )

**γI:** Coefficient d'importance.

**T<sub>B</sub>:** Limite inférieure des périodes correspondant au palier d'accélération spectrale constante

**T<sub>c</sub>:** Limite supérieure des périodes correspondant au palier d'accélération spectrale constante ;

**T<sub>D</sub>:** Valeur définissant le début de la branche à déplacement spectral constant;

**S:** Paramètre du sol.

**η :** Coefficient de correction de l'amortissement avec la valeur de référence.

$\eta = 1$  pour 5% d'amortissement

Le Tableau (III.13) montre les valeurs des paramètres décrivant les spectres de réponses élastique recommandés de type 1

Classe de sol	S	T <sub>B</sub> (s)	T <sub>C</sub> (s)	T <sub>D</sub> (s)
A	1.0	0.15	0.4	2.0
B	1.2	0.15	0.5	2.0
C	1.15	0.20	0.6	2.0
D	1.35	0.20	0.8	2.0
E	1.4	0.15	0.5	2.0

**Tableau III.13:** Valeurs des paramètres décrivant les spectres de réponses élastique recommandés de type 1.

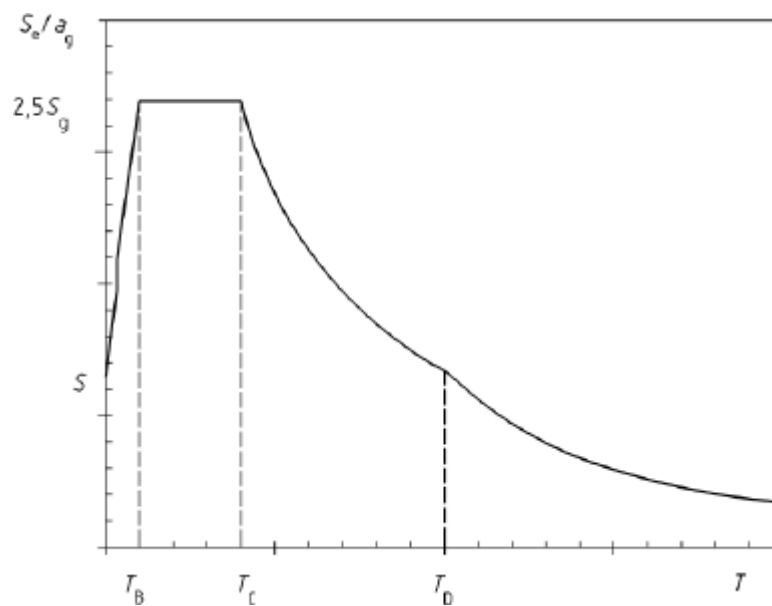
## Chapitre 3

### Outils de comparaison

Le Tableau (III.14) montre les valeurs des paramètres décrivant les spectres de réponses élastique recommandés de type 2.

Classe de sol	S	TB (s)	TC (s)	TD (s)
A	1.0	0.05	0.25	1.2
B	1.35	0.05	0.25	1.2
C	1.5	0.10	0.25	1.2
D	1.8	0.10	0.30	1.2
E	1.6	0.05	0.25	1.2

**Tableau III.14:** Valeurs des paramètres décrivant les spectres de réponses élastique recommandés de type 2.



**Figure III.7:** Forme du spectre de réponse élastique donné par l'Eurocode.

### Outils de comparaison

#### 3.3.2.1 Spectre de réponse élastique vertical:

La composante verticale de l'action sismique doit être représentée par un spectre de réponse élastique  $S_{ve}(T)$ , calculé en utilisant les expressions suivantes:

$$S_v(\mathbf{T}) = a_{vg} \left(1 + \frac{T}{T_B} (\eta 3 - 1)\right) \quad 0 \leq T \leq T_B$$

$$S_v(\mathbf{T}) = a_{vg} \eta 3 \quad T_B \leq T \leq T_C$$

$$S_v(\mathbf{T}) = a_{vg} \eta 3 \left(\frac{T_C}{T}\right) \quad T_C \leq T \leq T_D$$

$$S_v(\mathbf{T}) = a_{vg} \eta 2.5 \left(\frac{T_C T_D}{T^2}\right) \quad T_D \leq T \leq 4s$$

**Tableau III.15** Valeurs recommandées des paramètres décrivant les spectres de réponse élastique vertical:

Spectre	$avg/ag$	$T_B(s)$	$T_C(s)$	$T_D(s)$
<b>Zone sismicité 5 (type 1)</b>	0.90	0.05	0.15	1.0
<b>Zones sismicité 1 à 4 (type 2)</b>	0.45	0.05	0.15	1.0

La composante verticale de l'action sismique (EC8 - (Art 4.3.3.5.2)) est considérée dans les calculs si  $avg$  est supérieure à 0,25 g.

(2.5 m/s<sup>2</sup>), dans ce cas il convient de prendre en compte la composante verticale de l'action sismique, dans les cas suivants:

- Éléments de structure horizontaux ou presque de 20 m de portée ou plus.
- Éléments horizontaux ou presque horizontaux en console de plus de 5 m de long.
- Éléments précontraints horizontaux ou presque horizontaux.
- Poutres supportant des poteaux.
- Structures sur appuis parasismiques.

## Chapitre 3

### Outils de comparaison

#### 3.3.2.2 Spectre de calcul pour l'analyse élastique:

En fait, le coefficient de comportement est une fonction de la période du mode fondamental. Pour lui conserver sa valeur constante, c'est le spectre élastique qui est modifié et transformé en spectre de calcul par la prolongation du plateau de la zone amplifiée jusqu'au point de période nulle et le relèvement de la branche descendante.

Pour les composantes horizontales de l'action sismique, le spectre de calcul  $S_d(T)$ , doit être défini par les expressions suivantes:

$$S_d(T) = a_g \cdot S \left( 2 + \frac{T}{T_B} \left( \frac{2.5}{q} - 2 \right) \right) \quad 0 \leq T \leq T_B$$

$$S_d(T) = a_g \cdot S \frac{2.5}{q} \quad T_B \leq T \leq T_C$$

$$a_g \cdot S \frac{2.5}{q} \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$S_d(T) = \left\{ \begin{array}{l} \frac{a_g \cdot S \cdot 2.5}{q} \left( \frac{T_C}{T} \right) \\ \geq \beta \cdot a_g \end{array} \right. \quad T_C \leq T \leq T_D$$

$$S_d(T) = \left\{ \begin{array}{l} a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T} \right) \\ \geq \beta \cdot a_g \end{array} \right. \quad T_D \leq T$$

$a_g$ ,  $T_B$ ,  $T_C$ ,  $T_D$  et  $S$  sont définis en spectre de réponse élastique horizontal.

**$S_d(T)$** : est le spectre de calcul.

**$q$** : est le coefficient de comportement.

**$\beta$** : est le coefficient correspondant à la limite inférieure du spectre de calcul horizontal.

La valeur de  $\beta$  selon [11] (Art-3.2.2.5 (4)) recommandée est de 0.2.

#### 3.3.3 SPECTRE DE REPONSE DE L'UBC 97:

L'UBC 97 considère les expressions suivantes du spectre de réponse de calcul et est représenté sur la **Figure III.8.** [12] [13].

$$S_d(T) = (C a + 1.5 z T) \quad T \leq T$$

# Chapitre 3

d (  $\overline{Tb}$  )  
Outils de comparaison  
Sd (  $\frac{z}{R}$  )

B

$$T_B \leq T \leq T_C$$

## Chapitre 3

### Outils de comparaison

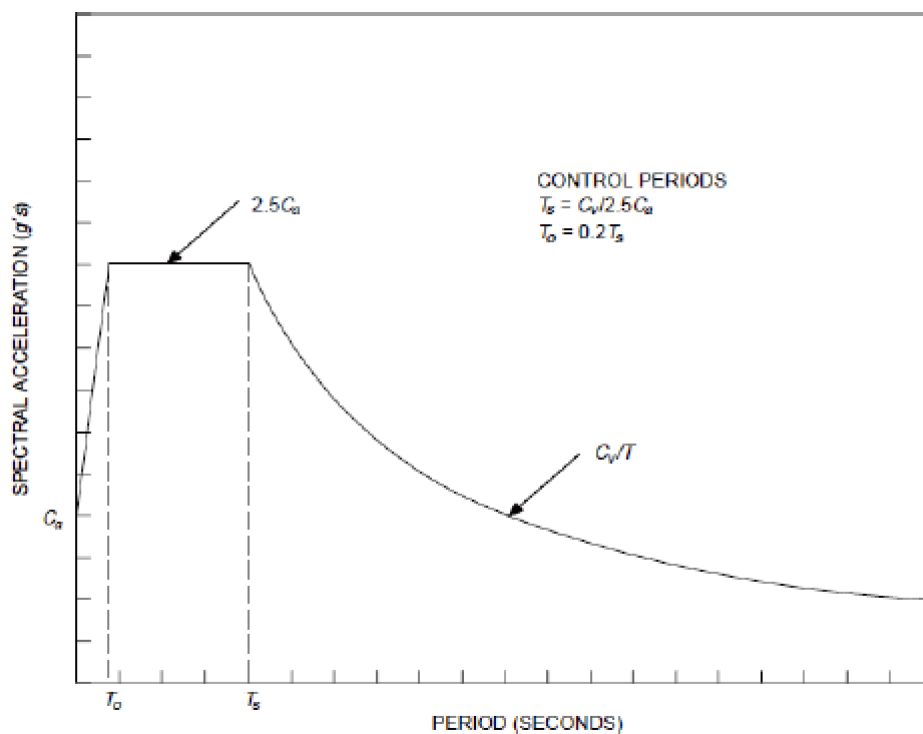
$$S_d(\mathbf{T}) = C_u \frac{zI}{R} \quad T \leq T_C$$

$C_a$  et  $C_v$  sont les coefficients sismiques et les paramètres  $T_B$  et  $T_C$  sont définis par les formules:

$$T_C = C_v 2.5 / C_a \text{ et } T_B = 0.2 T_C.$$

Les coefficients sismiques  $C_a$  et  $C_v$  sont donnés dans les tableaux: Tableau III.16) et (Tableau III.17).

La Figure (III.8) montre la forme du spectre de réponse de calcul de l'UBC 97.



**Figure III.8** spectre de calcul de l'UBC 97

## Chapitre 3

### Outils de comparaison

Tableau III.16 montre les de coefficient sismique  $C_a$  selon l'UBC 1997:

Type de profil de sol	Coefficient de zone sismique Z				
	Z = 0.075	Z = 0.15	Z = 0.2	Z = 0.3	Z = 0.4
SA	0.06	0.12	0.16	0.24	0.32Na
SB	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40Na
SC	0.09	0.18	0.24	0.33	0.40Na
SD	0.12	0.22	0.28	0.36	0.44Na
SE	0.19	0.30	0.34	0.36	0.36Na

Tableau III.16 montre les de coefficient sismique  $C_a$  selon l'UBC 1997.

Na et Nv facteurs de source proche pour les courtes et longues. Périodes respectivement.

Tableau III.17 montre les de coefficient sismique  $C_v$  selon l'UBC 1997.

Type de profil de sol	Coefficient de zone sismique Z				
	Z = 0.075	Z = 0.15	Z = 0.2	Z = 0.3	Z = 0.4
SA	0.06	0.12	0.16	0.24	0.32Nv
SB	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40Nv
SC	0.13	0.25	0.32	0.45	0.56Nv
SD	0.18	0.32	0.40	0.54	0.64Nv
SE	0.26	0.50	0.64	0.84	0.96Nv

## Chapitre 3

### Outils de comparaison

#### 3.3.4 SPECTRE DE REPONSE DE RPS2000:

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

$$S_{ad}(T, \xi) = 2.5\eta Ag \cdot s \quad 0 \leq T \leq T_2$$

$$\left( \begin{array}{l} 2.5\eta Ag \cdot \left(\frac{T_2}{T}\right)^3 \quad T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\eta Ag \cdot s \left(\frac{T_2}{3.0}\right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{3.0}{T}\right)^{\frac{5}{3}} \quad T \geq 3.0 \end{array} \right.$$

**g:** accélération de la pesanteur = 9.81 m/s<sup>2</sup>

**S:** le coefficient du site tableau II-2.

**T1, T2:** périodes caractéristiques associées à la catégorie de site Tableau III.19

**η:** facteur de correction d'amortissement  $\eta = \sqrt{\frac{T}{2+(\dots)}}$

**ξ:** pourcentage d'amortissement critique

**Tableau III.18** Période de transition Tc

Site	S1	S2	S3
Tc	0,4	0,6	1

**Tableau III.19** facteur d'amplification dynamique

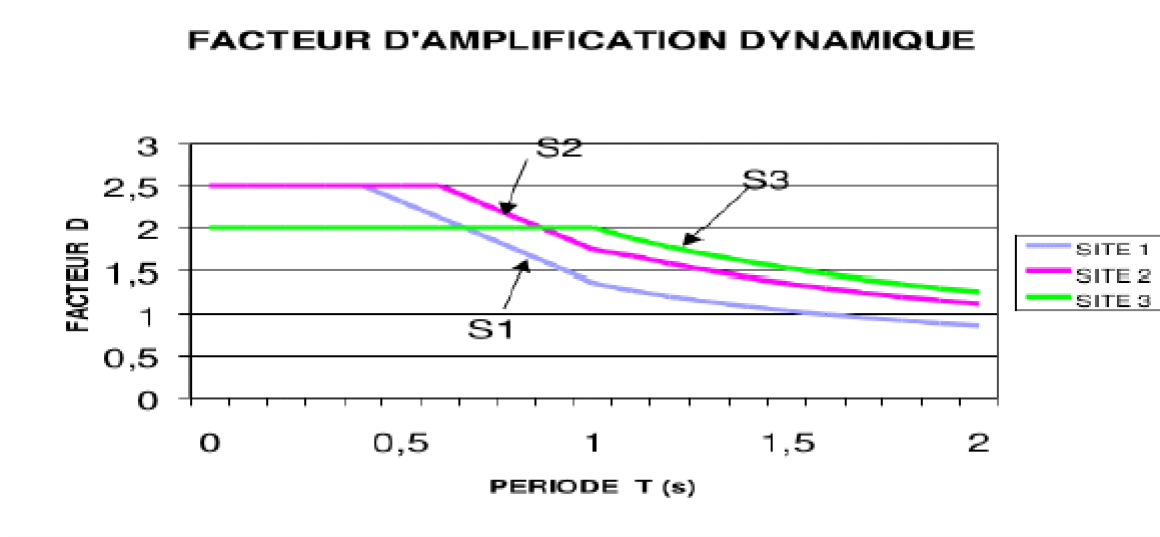
Période T(s)	Site 1	Site 2	Site 3
≤0,4	2,5	2,5	2
0,5	2,31	2,5	2
0,6	2,12	2,5	2
0,7	1,93	2,31	2
0,8	1,74	2,12	2
0,9	1,55	1,93	2
1	1,36	1,74	2
1,1	1,28	1,67	1,88
1,2	1,20	1,58	1,77

## Chapitre 3

### Outils de comparaison

<u>1.3</u>	1,14	1,49	1,68
<u>1.4</u>	1,09	1,42	1,60
<u>1.5</u>	1,04	1,36	1,53
<u>1.6</u>	0,99	1,30	1,46

Le spectre présenté dans la Figure III.9 est utilisé pour le calcul de l'effort sismique relatif à chaque mode de vibration considéré:



**Figure III.9** Facteur d'amplification dynamique [7]

### Chapitre 3

#### Outils de comparaison

**Tableau (III.20) Comparaison de Spectre de réponse entre RPA99/v2003, l'EC8, UBC 97 et rps2000:**

Codes	Les spectres de calcul
<b>RPA 99/v2003</b>	$\frac{S_a}{g} = \begin{cases} 1.25A \left( 1 + \frac{T}{T_1} \left( 2.5 \eta \frac{Q}{R} - 1 \right) \right) & 0 \leq T \leq T_1 \\ 2.5(1.25A) \left( \frac{Q}{R} \right)^{\eta} & T_1 \leq T \leq T_2 \\ 2.5(1.25A) \left( \frac{Q}{R} \right) \left( \frac{T_2}{T} \right)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5(1.25A) \left( \frac{T_2}{T} \right)^{2/3} \left( \frac{3}{T} \right)^{5/3} \left( \frac{Q}{R} \right) & T > 3.0s \end{cases}$
<b>EC8</b>	$S_{d(T)} = a_g \cdot S_a \left( \frac{z}{a} + \frac{T}{T_B} \left( \frac{z}{q} - \frac{z}{3} \right) \right) \quad 0 \leq T \leq T_B$ $S_{d(T)} = a_g \cdot S_a \frac{z}{q} \quad T_B \leq T \leq T_C$ $S_{d(T)} = \begin{cases} a_g \cdot S_a \frac{z}{q} \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad T_C \leq T \leq T_D$ $S_{d(T)} = \begin{cases} a_g \cdot S_a \frac{z}{q} \left( \frac{T_C T_D}{T} \right) \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad T_D \leq T$
<b>UBC 97</b>	$S_{d(T)} = \left( C_a + \frac{1.5 z T}{T_b} \right) \quad T \leq T_B$ $S_{d(T)} = 2.5 C_a \frac{z}{R} \quad T_B \leq T \leq T_C$ $S_{d(T)} = C_v \frac{z}{R} \quad T \leq T_C$

<b>rps2000</b>	$S_{ad}(T, \xi) = \begin{cases} 2.5\eta Ag. s & 0 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta Ag. \left(\frac{3}{T}\right)^{\frac{2}{3}} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\eta Ag. s \left(\frac{T_2}{3.0}\right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{3.0}{T}\right)^{\frac{5}{3}} & T \geq 3.0 \end{cases}$	$0 \leq T \leq T_2$ $T_2 \leq T \leq 3.0s$ $T \geq 3.0$
----------------	---	---

#### 3.4.1 Période fondamentale selon le RPA 99/v 2003:

Dans le code parasismique algérien RPA 99/v 2003, l'article 4.2.4 du tableau mentionné précédemment, la formule empirique utilisée pour calculer la période fondamentale de vibration est la suivante :  $T = C_T h_N^{3/4}$  (l'expression III.21). [1]

**h<sub>N</sub>**: Hauteur mesurée en mètres à partir de la base de la structure jusqu'au dernier niveau (N).

**C<sub>T</sub>**: Coefficient, fonction du système de contreventement, du type de remplissage et donné par le tableau III.21.

Dans les cas n° 3 et 4 dans le Tableau III.21 (Valeurs du C<sub>T</sub>), on peut également utiliser aussi la formule :  $T = 0.09 h_N \sqrt{D}$  (l'expression III.21)

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

#### 3.4.2 Période fondamentale selon l'Eurocode 8:

La période fondamentale d'un bâtiment doit être calculée pour chaque direction considérée par les méthodes suivantes : [11]

- Pour déterminer les périodes fondamentales de vibration T des deux modèles plans du bâtiment, des expressions approchées basées sur les méthodes de dynamique des structures (par exemple, méthode de Rayleigh) peuvent être utilisées.

## Chapitre 3

---

### Outils de comparaison

- Pour les bâtiments jusqu'à 40 m de hauteur, une valeur approchée de T (en s) peut être obtenue par l'expression suivante :  $T = C_T h N^{3/4}$

$C_T = 0,085$  portiques spatiaux en acier

$C_T = 0,075$  portiques spatiaux en béton & ossature acier à triangulation excentrée

$C_T = 0,05$  autres structures

**H** : est la hauteur du bâtiment, depuis les fondations ou le sommet d'un soubassement rigide.

Par ailleurs, la valeur de  $C_T$  dans l'expression précédente pour les structures avec des murs de contreventement en béton ou en maçonnerie, peut être prise égale à :

$$C_T = 0.075 / \sqrt{AC}$$

Et :

$$AC = \sum A_i \left( 0.2 + \left( \frac{l_{wi}}{H} \right)^2 \right)$$

**AC** : l'aire effective totale des sections des murs de contreventement au premier niveau du bâtiment en m<sup>2</sup>.

**A<sub>i</sub>** : est l'aire effective de la section transversale du mur de contreventement dans la direction considérée i au premier niveau du bâtiment, en m<sup>2</sup>.

**l<sub>wi</sub>** : la longueur du mur de contreventement i au premier niveau dans la direction parallèle aux forces appliquées, en m, sous la condition que l<sub>wi</sub>H ne dépasse pas 0.9.

### 3.4.3 Période fondamentale selon le code Américain UBC 97:

La période du mode fondamental T citée doit être calculée de la manière suivante: [14] [15]

**Méthode A:** Pour tous les bâtiments, la valeur T peut être approchée à partir de la formule suivante :

$$T = C_T h N^{3/4}$$

## Chapitre 3

### Outils de comparaison

**CT** = 0,0853 pour les ossatures en portique en acier résistant aux moments.

**CT** = 0,0731 pour les ossatures en portique en béton armé résistant aux moments.

**CT** = 0,0488 pour toutes les autres structures.

Alternativement, la valeur de **CT** pour les structures avec des murs de refend en béton ou en maçonnerie peut être pris égale à :

$$CT = 0.075 / \sqrt{AC}$$

On calcule la valeur de **AC** en m<sup>2</sup> en utilisant la formule suivante :

$$AC = \sum Ae \cdot [0.2 + (De/hn)^2]$$

**Ae** ; Est la section transversale du mur de contreventement dans la direction considérée au premier niveau du bâtiment, en m<sup>2</sup> .

**De** : Est la longueur du mur de contreventement au premier niveau dans la direction parallèle Aux forces appliquées, en m .

**hn** : Est la hauteur du bâtiment (m), depuis les fondations jusqu'au dernier étage , La valeur de ( De/hn ) utilisées dans la formule ne doit pas dépasser 0,9.

**Méthode B** : La période fondamentale **T** peut être calculée à l'aide des propriétés structurales et les caractéristiques de déformation des éléments résistants par une analyse appropriée. L'analyse doit être en conformité avec les exigences de l'article 1630.1.2 [1] [11]

La valeur de **T** obtenue à partir de la méthode **B** ne doit pas dépasser la valeur obtenue à partir de la méthode **A** de 30% dans la zone sismique 4, et de 40% dans les zones sismiques 1, 2 et 3. [1] [11]

La période fondamentale **T** peut être calculée en utilisant la formule suivante :

$$T = 2\pi \sqrt{(\sum_i^n W_i \delta_i^2) / g (\sum_i^n f_i \delta_i)}$$

Les valeurs de **f<sub>i</sub>** représentent les forces latérales.

Le déplacement élastique **δ<sub>i</sub>** doit être calculé en utilisant les forces latérales **f<sub>i</sub>**.

### Outils de comparaison

#### **3.4.4 Période fondamentale selon le code -Marocain RPS2000:**

La valeur de la période fondamentale de vibration  $T$  peut être déterminée par les formules suivantes: [7]

Ossature en portique en béton armé ou en charpente en acier

**a)** Pour une ossature à nœuds:

$$T = 0.085 N$$

$N$  : est le nombre d'étages du bâtiment

**b)** Pour les autres structures:

$$T = 0.09 H / (L)^{0.5}$$

$H$  et  $L$  exprimés en mètre, sont respectivement la hauteur totale du bâtiment et la longueur du mur ou de l'ossature qui constitue le principal système de contreventement, dans la direction de l'action sismique.

Si le principal système de résistance aux forces latérales n'a pas de longueur bien définie,  $L$  désigne la dimension du bâtiment dans la direction parallèle à l'action sismique de calcul.

**c)** D'autres méthodes de calcul de la période, telles que celles des alinéas a) et b) se basant sur une représentation de la structure tenant compte de ses propriétés physiques peuvent être utilisées sous réserve que la valeur de l'effort sismique  $V$  ne soit pas inférieure à 0.80 fois la valeur obtenue à l'aide de la période calculée par (6.4 ou 6.5).

**d)** Pour les bâtiments assimilés à des consoles:

$$T = 1.8(mH/EI)$$

$m$  est la masse par unité de longueur du bâtiment,  $H$  la hauteur totale et  $EI$  la rigidité flexionnelle.

**e)** Pour les bâtiments en portiques:

$$T = 2N(N+1)/(M/k)^{0.5}$$

## Chapitre 3

### Outils de comparaison

$N$  est le nombre d'étages,  $M$  et  $k = k_p + k_r$  sont respectivement la masse et la rigidité par niveau,  $k_p$  est la rigidité littérale du portique donnée par l'expression suivante:

$$k_p = 12 \sum (E_c \cdot I_c) / h^3 (L + 2\lambda)$$

$$= L \sum I_c / h \sum I_p$$

$\Sigma$  sur le nombre de travées

$k_r$  la rigidité latérale d'un panneau de remplissage donnée par l'expression suivante :

$$k_r = 0.045 m ( E_r e \cos^2 \alpha )$$

$m$  : nombre de travées

$E_r$ : module d'élasticité

$e$  : épaisseur du panneau

$\alpha$  : l'angle de la diagonale avec l'horizontale du panneau

**Tableau (III.21) Comparaison de Période fondamentale entre RPA99/v2003, l'EC8, UBC 97 et rps2000**

CODE	Valeur de T	Valeur de C <sub>T</sub>
RPA99/v2003	$T = C_T h N^{3/4}$ $T = \min(C_T h N^{3/4}; 0.09 h_N \sqrt{D_{x,y}})$	0.075
		0.085
		0.05
EC8	$T = C_T h N^{3/4}$	0.075
		0.085
		0.075
		0.085
		0.075
		$0.075 / \sqrt{A_c}$

### Outils de comparaison

<b>UBC 97</b>	$T = C_T h N^{3/4}$	0.075
		0.085
		0.075
		0.085
		0.075
		$0.075/\sqrt{A_c}$
<b>RPS2000</b>	$T = C_T h N^{3/4}$	0.09
		0.085
		0.05

Après avoir examiné différentes réglementations, il est clair que les empiriques diffèrent et sont généralement liées au type de structure. Les quatre codes utilisent la méthode de calcul de la période initiale  $T = C_T h N^{3/4}$ .

### 3.5 CLASSIFICATION DES OUVRAGES SELON LEUR

#### IMPORTANCE:

On classe les bâtiments en fonction de leur importance croissante en termes de sécurité et d'importance économique, chaque catégorie ayant un coefficient multiplicatif de demandes sismiques pour évaluer l'importance du bâtiment dans sa prise en charge.

Le RPA99 /v2003 , l'EC8 , L'UBC 97 et rps 2000 classent les ouvrages en plusieurs catégories selon leurs importances. Les définitions des catégories d'importance sont indiquées dans les Tableaux (2-20, 2-21 et tableau 2-22).

### Outils de comparaison

**Tableau III.22 Classification des ouvrages selon le RPA 99/v2003: [10]**

<b>Groupes</b>	<b>Bâtiments</b>
1A	<b>Ouvrages d'importance vitale</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Bâtiments abritant les centres de décisions stratégiques.</li><li>• Bâtiments abritant le personnel et le matériel de secours et (ou) de défense nationale</li><li>• Bâtiments des établissements publics de santé...etc.</li></ul>
1B	<b>Ouvrages de grande importance</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Ouvrages abritant fréquemment de grands rassemblements de personnes (mosquée, université, constructions sportives...)</li></ul>
2	<b>Ouvrages courants ou d'importance moyenne</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Bâtiments d'habitation collective ou à usage de bureaux dont la hauteur ne dépasse pas 48 m.</li><li>• Parking de stationnement public...</li></ul>
3	<b>Ouvrages de faible importance</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Bâtiments industriels ou agricoles abritant des biens de faible valeur.</li><li>• Bâtiments à risque limité pour les personnes</li><li>• Constructions provisoires</li></ul>

## Chapitre 3

### Outils de comparaison

**Tableau III.23 Classification des ouvrages selon l'EC8. [11] :**

<b>Catégorie d'importance</b>	<b>Bâtiments</b>
<b>I</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Bâtiments d'importance mineure pour la sécurité des personnes, par exemple, bâtiments agricoles,.....etc.</li></ul>
<b>II</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Bâtiments courants n'appartenant pas aux autres catégories</li><li>• Habitations collectives de hauteur inférieure à 28 m.</li></ul>
<b>III</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Bâtiments dont la résistance aux séismes est importante compte tenu des conséquences d'un effondrement, par exemple : écoles, salles de réunion.</li></ul>
<b>IV</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Bâtiments dont l'intégrité en cas de séisme est d'importance vitale pour la protection civile : hôpitaux, casernes de pompiers, centrales électriques.</li></ul>

**Tableau III.24 Classification des ouvrages selon l'UBC 1997 [14] [16]:**

<b>catégorie d'occupation</b>	<b>Occupation ou fonctions de structure</b>	<b>Facteur d'importance sismique, I</b>	<b>Facteur d'importance sismique, Ip</b>
<b>1</b>	<b>Ouvrages essentielles</b> Groupe I, Division 1 Occupations ayant zones de chirurgie et de traitement d'urgence <ul style="list-style-type: none"><li>• station d'incendie et de police</li></ul>	1.25	1.50

## Chapitre 3

### Outils de comparaison

	<ul style="list-style-type: none"><li>• Garages et abris pour véhicules d'urgence et avions d'urgence.</li><li>• Structures et abris dans les centres de préparation aux situations d'urgence.</li><li>• Tours de contrôle de l'aviation.</li><li>• Structures et équipements des centres de communication gouvernementaux et autres les installations nécessaires pour les interventions d'urgence</li><li>• Équipements de production d'énergie de secours pour Installations de catégorie 1.</li></ul>		
2	<p><b>Ouvrages dangereuses</b></p> <p>Groupe H, divisions 1, 2, 6 et 7 Occupations et structures dans les logements ou soutenir les produits chimiques ou substances toxiques ou explosives</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Structures non constructives abritant, supportant ou contenant des quantités de substances toxiques ou les substances explosives qui, si elles étaient contenues dans un bâtiment,</li></ul>	1.25	1.50

## Chapitre 3

### Outils de comparaison

	provoqueraient bâtiment à classer dans le groupe H, division 1, 2 ou 7 occupation.		
<b>3</b>	<b>Structures D'occupation Spécial</b> Groupe A, divisions 1, 2 et 2.1 occupations <ul style="list-style-type: none"><li>• Bâtiments abritant des logements Groupe E, divisions 1 et 3 Locaux d'une certaine capacité plus de 300 étudiants.</li><li>• Bâtiments abritant des logements du groupe B Locaux utilisés pour l'enseignement supérieur ou l'éducation des adultes avec une capacité supérieure à 500 étudiants.</li></ul>	1.00	1.00
<b>4</b>	<b>Structures D'occupation Standard</b> Toutes les structures abritant des habitations ou ayant des fonctions non reprises dans les catégories 1, 2 ou 3 et les tours d'occupation du groupe U	1.00	1.00

## Chapitre 3

### Outils de comparaison

<b>5</b>	<b>Autres ouvrages</b> Groupe U Occupations à l'exception des tours.	1.00	1.00
----------	---	------	------

**Tableau III.25 Classification des ouvrages selon rps2000 [4] [17]:**

<b>Classe</b>	<b>bâtiments</b>
<b>CLASSE I (IMPORTANCE VITALE)</b>	<p>Sont groupé es dans cette classe les constructions destiné es à des activités sociales et é conomiques vitales pour la population et qui devraient rester fonctionnelles, avec peu de dommage, pendant le sé isme. On distingue notamment selon l'usage :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les constructions de premiè re né cessité en cas de sé isme tels que :les hôpitaux, les é tablissements de protection civile, les grands réservoirs et châteaux d'eau, les centrales é lectriques et de té lé communication, les postes de police, les stations de pompage d'eau, etc...</li> <li>• Les constructions publiques, tels que les é tablissements scolaires et universitaires, les bibliothèques, les salles de fêtes, les salle d'audience, de spectacles et de sport, les grands lieux de culte, les é tablissements bancaires etc...</li> <li>• Les constructions destiné es à la production ou au stockage des produits à haut risque pour le public et l'environnement.</li> </ul>

## Chapitre 3

### Outils de comparaison

<b>CLASSE II</b> <b>Bâtiments du grand public</b>	Sont groupées dans cette classe les constructions présentant un risque en raison du grand public qu'elles abritent. On distingue notamment: <ul style="list-style-type: none"><li>• Les constructions d'importance socio- culturelle, tels que les bâtiments scolaires et universitaires, les bibliothèques, les musées, les salles de spectacles et de sport, les grands lieux de culte (mosquées, églises, etc.)</li><li>• Les salles de plus de 300 personnes: salles de fête, les salle d'audience, siège du parlement, centres commerciaux.</li></ul>
<b>ClasseIII</b> <b>Bâtiments ordinaires</b>	Sont groupées dans cette classe les constructions n'appartenant ni à la classe 1, ni à la classe 2, tels que les bâtiments courants à usage d'habitation, de bureaux ou de commerce.

L'Eurocode 8 et le RPA 99/v2003 répartissent les ouvrages en 4 catégories en fonction de leur importance, En revanche, les codes (UBC97) et rps 2000 sont classés en 5 et 3 catégories.

Les quatre codes diffèrent par la manière dont le paramètre est pris en compte dans le calcul de la force sismique, selon L'EC8, rps 2000 et UBC 97, qui le considèrent comme le coefficient d'importance, tandis que RPA99/v2003 le considère comme le coefficient d'accélération.

### 3.6 Méthodes de calcul sismique:

#### 3.6.1 Présentation des différentes méthodes d'estimation des forces sismiques :

Les données d'entrées physiques sont utilisées pour décrire le phénomène sismique, appelées actions sismiques, Ce sont des approches du calcul par nature simplifiées qui permettent de décrire la complexité du phénomène.

Le tableau 2.23 ci-dessous compare les méthodes de calculs sismiques pour les trois règlements considérés.

**Tableau III.26 Comparaison des Méthodes de calcul de la force sismique:**

codes	Méthodes de calcul
<b>RPA99/v2003</b>	D'après RPA99/v2003 (Art 4.1) [10], le calcul des forces sismiques peut être mené suivant trois méthodes : <ul style="list-style-type: none"><li>-méthode statique équivalente .</li><li>-méthode d'analyse modale spectrale .</li><li>-méthode d'analyse dynamique par accélérogrammes.</li></ul>
<b>Eurocode8 (EC8)</b>	D'après L'Eurocode 8 [11] (Art 4.2.3et Art 4.3.3.1) propose plusieurs méthodes de calcul réparties en deux familles : les méthodes linéaires équivalentes et les méthodes non linéaires. <ul style="list-style-type: none"><li>. Méthode d'analyse par forces latérales.</li><li>. Méthode d'analyse modale spectrale .</li><li>. Analyse statique non linéaire (en poussée progressive) .</li><li>. Analyse temporelle linéaire.</li><li>. Analyse temporelle non linéaire par intégration directe.</li></ul>

### Outils de comparaison

<b>UBC 97</b>	<p>D'après L'UBC97. L'analyse des charges sismiques sur les structures est divisée en deux groupes : linéaire et non linéaire, ce qui peut être fait par des approches statiques ou dynamiques. Ces sont résumées comme suit : [14] [16]</p> <ul style="list-style-type: none"><li>. Méthode des forces latérales équivalentes (linéaire, statique).</li><li>. Analyse modale utilisant une procédure de spectre de réponse (linéaire, dynamique).</li><li>. Analyse statique non linéaire (pushover)</li><li>. Analyse non linéaire de l'histoire du temps (dynamique).</li><li>. Procédure d'historique du temps de réponse linéaire (dynamique).</li></ul>
<b>Rps 2000</b>	<p>D'après RPS2000 [4][7], le calcul des forces sismiques peut être mené suivant trois méthodes :</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Méthode Statique Équivalente.</li><li>2. Méthode Dynamique Modale.</li><li>3. Analyse Dynamique Non Linéaire.</li></ol>

### **3.6.2 Actions sismiques:**

#### **3.6.2.1 Calcul de la force sismique totale selon RPA99/v2003:**

La détermination des forces sismiques sera basée sur la catégorie du bâtiment, les périodes spécifiques de ces modes fondamentaux, les facteurs de comportement et de qualité, ainsi que le poids propre total de la structure.

La force sismique totale  $V$ , appliquée à la base de la structure, doit être calculée successivement dans deux directions horizontales orthogonales selon la formule RPA99/v2003 :

## Chapitre 3

---

### Outils de comparaison

$$v = \frac{A \cdot D \cdot Q}{R} W$$

**V** : Effort tranchant sismique à la base .

**A** : Coefficient d'accélération de zone .

**D** : facteur d'amplification dynamique .

**R** : coefficient de comportement global de la structure. La valeur de R est donnée par Le tableau 4.3 (RPA99 Version 2003) en fonction de système de contreventement.

**Q** : facteur de qualité.

Le facteur de qualité de la structure est en 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 :

$$Q = 1 + \sum_1^5 Pq$$

**Pq** : est la pénalité à retenir selon que le critère de qualité q "est satisfait ou non". Sa valeur est donnée au tableau (4.4 RPA99/v2003).

**W** : poids total de la structure, il est égal à la somme des poids  $W_i$ , calculés à chaque niveau (i) :

$$W = \sum_{i=1}^n W_i$$

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

**W<sub>Gi</sub>** : poids dû aux charges permanentes et à celles des équipements fixes éventuels, Solidaires de la structure.

**W<sub>Qi</sub>** : 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 4.5 (RPA99 version 2003 page 44).

### Outils de comparaison

#### **3.6.2.1.1 Distribution de la résultante des forces selon la hauteur:**

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

$$V = F_t + \sum F_i$$

$F_t$  : Force concentrée au sommet de la structure (figure 2.11), permet de tenir compte de l'influence des modes supérieurs de vibration, sa valeur ne dépassera en aucun cas  $0,25 V$ , et déterminée par :

$$F_t = \begin{cases} 0,07 TV & T > 0,7 \text{ s} \\ 0 & T \leq 0,7 \text{ s} \end{cases}$$

$$F_i = \frac{(V - F_t) W_i h_i}{\sum_{j=1}^n w_j h_j}$$

$F_i$  : Effort horizontal revenant au niveau  $i$ .

$h_i$  : Niveau du plancher où s'exerce la force  $F_i$ .

$h_j$  : Niveau d'un plancher quelconque.

$W_i, W_j$  : Poids revenant aux planchers  $i, j$ .

#### **3.6.2.1.2 Distribution horizontale des forces sismiques:**

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

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

Dans le cas de structures comportant des planchers rigides dans leur plan, il est distribué aux éléments verticaux de contreventement proportionnellement à leurs rigidités relatives.

#### **3.6.2.2 Calcul de la force sismique totale selon l'Eurocode 8:**

On peut représenter l'action sismique en utilisant « la méthode de la force latérale », qui peut être utilisée pour les bâtiments dont la réponse n'est pas significativement impactée par les contributions de modes de vibration de rang supérieur à celui général dans chaque direction principale.

##### **3.6.2.2.1 Effort tranchant à la base de la structure :**

## Chapitre 3

### Outils de comparaison

L'effort tranchant sismique à la base  $F_b$ , doit être déterminé, pour chaque direction principale dans laquelle, le bâtiment est analysé, au moyen de l'expression suivante :

$$F_b = S_d(T_1) \cdot m \cdot \lambda$$

**$S_d$** : ordonnée du spectre de calcul pour la période  $T_1$ .

**$T_1$**  : est la période fondamentale de vibration du bâtiment pour le mouvement de translation dans la direction considérée .

**$m$**  : est la masse totale du bâtiment, au-dessus des fondations ou du sommet d'un soubassement rigide:

$$m_t = \sum G_i + \sum \psi_E \cdot Q_i$$

**$G_i$**  : Les différentes composantes du poids propre.

**$Q_i$**  : Les différentes charges variables .

**$\psi_E$**  : La portion permanente de ces charges variables.  $\psi_E$  est calculé comme le produit de deux coefficients  $\psi_2$ , et  $\phi$  donnés par les Eurocodes EN 1990, EN 1991 et EN 1998.

**$\lambda$**  : le coefficient de correction. [11]

#### **3.6.2.2.2 Distribution des forces sismiques horizontales:**

- Les modes fondamentaux dans les directions d'analyse horizontales du bâtiment peuvent être calculés à l'aide de méthodes de dynamique des structures ou peuvent être déterminés approximativement en supposant que les déplacements horizontaux croissent linéairement suivant la hauteur du bâtiment.
- Les effets de l'action sismique doivent être déterminés en appliquant, dans les deux modèles plans, des forces horizontales  $F_i$  à tous les étages :

$$F_i = F_b \frac{S_i m_i}{\sum S_j \cdot m_j}$$

**$F_i$**  : est la force horizontale agissant au niveau  $i$  .

**$F_b$**  : Est l'effort tranchant à la base

**$S_i, S_j$**  : Sont les déplacements des masses  $m_i, m_j$  dans le mode fondamental .

**$m_i, m_j$**  : Sont les masses des niveaux.

## Chapitre 3

### Outils de comparaison

• Lorsque le mode fondamental est déterminé de manière approximative en supposant que les déplacements horizontaux croissent linéairement suivant la hauteur, les forces horizontales  $F_i$  doivent être pris comme donné par l'expression:

$$F_i = F b \frac{Z_i m_i}{\sum Z_j m_j}$$

$Z_i, Z_j$  : sont les hauteurs des masses  $m_i, m_j$ , au-dessus du niveau d'application de l'action sismique (fondations ou sommet d'un soubassement rigide)

#### **3.6.2.3 Calcul de la force sismique totale selon l'UBC 97 :**

L'UBC 97 préconise l'utilisation de la méthode statique équivalente dans le cas de structures régulières de hauteur inférieure à 74 m et des structures irrégulières de 20 m de hauteur au plus, dans le cas contraire (structure régulière de hauteur supérieure à 74m et structure irrégulière de hauteur supérieure à 20m), une analyse dynamique est requise ainsi que pour des structures fondées sur un sol de type SF et ayant des périodes propres supérieures à 0,7 s. [14] [16].

Pour reciser la force de cisaillement sismique à la base dans une direction recise, on utilise la formule suivante :

$$V = \frac{C_v I}{R T} W$$

**I** : Facteur d'importance sismique.

**W** : poids total de la structure.

**R** : Coefficient de comportement de la structure.

**T** : Période propre de la structure dans la direction considérée.

**C<sub>v</sub>** : Coefficient sismique dépendant de la catégorie de site et de la zone sismique.

L'effort sismique donné par l'équation ne doit pas être supérieur à :

$$V = \frac{2.5 C_a I}{R} W$$

Et ne doit pas être inférieur à :

$$V = 0,11 C_a I W$$

## Chapitre 3

### Outils de comparaison

Ca : est un coefficient sismique dépendant des conditions de site et de la zone sismique.

Dans le cas de la zone sismique 4 (zone de forte sismicité), l'effort sismique doit être supérieur à :

$$V = \frac{0.8 Z N_v I}{R} W$$

**Z** : Facteur de zone sismique.

**N<sub>v</sub>** : Facteur de source proche utilisé dans la détermination du C<sub>v</sub> dans Zone sismique 4 liée à la fois à la proximité de la bâtiment ou structure à des failles connues avec des grandeurs et les taux de glissement indiqués dans les tableaux 16.T et 16.U [14].

#### **3.6.2.3.1 Distribution des forces sismiques verticales :**

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

$$V = F_t + \sum_{i=1}^n F_i$$

La force concentrée  $F_t$  au sommet, qui est en plus de  $F_n$ , sont déterminés à partir de la formule suivante :

$$F_t = 0.07 TV$$

La valeur de T utilisée pour le calcul de  $F_t$  est la période qui correspond L'effort tranchant a la base de calcul tel que calculé en utilisant la formule.

**F<sub>t</sub>** : ne doit pas dépasser 0,25 V et peut être considéré comme zéro où T est de 0,7 seconde ou moins. La partie restante (V-F<sub>t</sub>) doit être distribuée sur la hauteur de la structure, y compris le niveau n, selon la formule suivante:

$$F_x = \frac{(V - F_t) W_x H_x}{\sum_{i=1}^n W_i H_i}$$

À chaque niveau désigné par x, la force  $F_x$  doit être appliquée sur la surface du bâtiment conformément à la répartition des masses à ce niveau. Les déplacements structurels et les forces sismiques de conception sont calculés

## Chapitre 3

---

### Outils de comparaison

comme étant l'effet des forces  $F_x$  et  $F_t$  appliquées aux niveaux appropriés au-dessus de la base. [14].

#### **3.6.2.3.2 Distribution des forces sismiques horizontals:**

L'effort tranchant au niveau  $x$  est la somme des forces  $F_t$  et  $F_x$  au-dessus de cette Niveau.

$$V_x = F_t + \sum_{i=x} F_x$$

$V_x$  : est distribué aux différents éléments du système de résistance verticale - force latérale - en proportion de leurs rigidités.

#### **3.6.2.4 Calcul de la force sismique totale selon RPS 2000: [7] [4]**

Les forces sismiques horizontales agissant sur les masses de la structure sont représentées par la force équivalente de cisaillement à la base agissant dans la direction du calcul.

La force sismique latérale équivalente représentant la réponse élastique  $V$  :

$$v = \frac{A \cdot S \cdot D \cdot I \cdot W}{K}$$

**A**: le coefficient d'accélération de zones

**S** : le coefficient du site

**D** : le facteur d'amplification dynamique donnée par le spectre d'amplification dynamique

**I** : le coefficient de priorité

**K** : le facteur de comportement

**W** : la charge prise en poids de la structure

Le charge  $W$  de la structure correspond à la totalité des charges permanentes  $G$  et une fraction  $q$  des charges d'exploitation  $Q$  en fonction de la nature des charges et leur durée On prend :

$$W = G + \Psi \cdot Q$$

## Chapitre 3

### Outils de comparaison

**Tableau III.27** coefficient  $\Psi$  est donné au tableau :

Nature des surcharges	Coefficient $\Psi$
1/ Bâtiments à usage d'habitation et administratif ... ..	0.20
2/ Bâtiments d'utilisation périodique par le public tels que salles d'exposition, salles de fêtes... ..	0.30
3/ Bâtiments d'utilisation tels que restaurants, salles de classe.....	0.40
.....	
4/ Bâtiments dont la charge d'exploitation est de longue durée tels que entrepôts, bibliothèques, silos et réservoirs.....	1.00
.....	

#### **3.6.2.4.1 Distribution des forces sismiques verticales:**

La force sismique latérale totale  $V$  doit être répartie sur la hauteur de la structure de la manière suivante :

Une partie  $F_t$  de la force  $V$  est affectée au sommet du bâtiment, le reste ( $V - F_t$ ) doit être répartie sur tous les niveaux y compris le dernier niveau selon la formule suivante :

$$\begin{cases} F_t = 0 & \text{si } T \leq 0.7 \text{ s} \\ F_t = 0.07TV & \text{si } T > 0.7 \text{ s} \end{cases}$$

$$F_n = (V - F_t) (W_n h_n / \Sigma(W_i h_i))$$

$i$  : varie de 1 à  $n$

$F_n$ : est la force horizontale de calcul, appliquée au niveau  $n$ .

## Chapitre 3

### Outils de comparaison

**W<sub>n</sub>**: est la charge totale au niveau n.

**H<sub>n</sub>**: est la hauteur du niveau considéré à partir du sol.

**T** : période fondamentale de la structure

#### **3.6.2.5 Comparaison les actions sismiques:**

##### **3.6.2.5.1 méthodes de calcul de l'effort tranchant à la base:**

**Tableau III.28** Comparaison les expression des forces sismiques

<b>RPA99/v2003</b>	<b>L'Eurocode8 (EC8)</b>	<b>UBC 97</b>	<b>RPS2000</b>
$v = \frac{A \cdot D \cdot Q}{R} W$	$F_b = S_d$ $(T_1) \cdot m \cdot \lambda$	$V = \frac{C_v I}{R T} W$ $\leq \frac{2.5 C_a I}{R} W$ $\geq 0,11 C_a I W$ Dans le cas de la zone 4 $\frac{0.8 Z N_v I}{R} W$	$v = \frac{A \cdot S \cdot D \cdot I \cdot W}{K}$

##### **3.6.2.5.1 Distribution des forces sismiques:**

Pour les quatre codes, il est nécessaire de répartir les forces sismiques à la base (V, F) sur la hauteur de la structure en utilisant les formules présentées dans le Tableau III.29 ci-dessous :

### Chapitre 3

#### Outils de comparaison

Tableau III.29 Distribution des forces sismiques.

RPA99/v2003	L'Eurocod e8 (EC8)	UBC 97	RPS2000
<p><math>V = F_t + \sum F_i</math></p> <p>La valeur de <math>F_t</math> ne dépassera en aucun cas <math>0,25 V</math>.</p> <p><math>F_t = \begin{cases} 0,07 TV &amp; T &gt; 0,7 \text{ s} \\ 0 &amp; T \leq 0,7 \text{ s} \end{cases}</math></p> <p><b>T:</b> Période fondamentale de la structure.</p> <p><math>F_i = \frac{(V - F_t) W_i h_i}{\sum_{j=1}^n w_j h_j}</math></p> <p><b>F:</b> Effort horizontal revenant au niveau <math>i</math>.</p> <p><b>h:</b> niveau du plancher où s'exerce la force <math>F_i</math>.</p> <p><b>h<sub>j</sub> :</b> niveau d'un</p>	<p><math>F_i = F_b \frac{S_{mi}}{\sum S_{j,mj}}</math></p> <p><b>F:</b> ordonnée est la force horizontale au niveau <math>i</math>.</p> <p><b>F<sub>b</sub>:</b> est l'effort tranchant à la base obtenu par la relation (2.22).</p> <p><b>S<sub>i</sub>, S:</b> sont les déplacements des masses <math>m_i, m_j</math> dans le mode fondamental;</p> <p><b>m<sub>i</sub>, m:</b></p>	<p><math>V = F_t + \sum_{i=1}^n F_i</math></p> <p>La force concentrée <math>F_t</math> au sommet, qui est en plus de <math>F_n</math>, sont déterminés à partir de la formule suivante:</p> <p><math>F_t = \begin{cases} 0,07 TV &amp; T &gt; 0 \\ 0 &amp; T \leq 0, \end{cases}</math></p> <p><b>F<sub>t</sub>:</b> ne doit pas dépasser <math>0,25 V</math>.</p> <p>La partie restante <math>(V - F_t)</math> doit être distribuée sur</p>	<p><b>F<sub>n</sub> =</b> <math>(V - F_t) (W_n h_n / \sum (W_i h_i))</math></p> <p><b>i:</b> varie de 1 à <math>n</math></p> <p><b>F<sub>n</sub>:</b> est la force horizontale de calcul, appliquée au niveau <math>n</math>.</p> <p><b>W<sub>n</sub>:</b> est la charge totale au niveau <math>n</math>.</p> <p><b>H<sub>n</sub>:</b> est la hauteur du niveau considéré à partir du sol.</p> <p><b>T:</b> période fondamentale de la structure</p> <p><math>\begin{cases} F_t = 0 &amp; \text{si } T &gt; 0 \\ F_t = 0,07 TV &amp; \text{si } T \leq 0 \end{cases}</math></p>

## Chapitre 3

### Outils de comparaison

<p>plancher quelconque.</p> <p><b>Wi, Wj:</b> poids revenant aux planchers i, j.</p> <p><b>Distribution horizontale</b></p> $V_k = Ft + \sum_{i=k}^n Fi$	<p>sont les masses des niveaux.</p> <p>Si on considère la déformée linéaire,</p> $Fi = Fb \frac{Zi mi}{\sum Zj mj}$ <p><b>Zi, Z:</b> sont les hauteurs des masses mi, mj, au-dessus du niveau d'application de l'action sismique.</p>	<p>la hauteur de la structure, y compris le niveau n, selon la formule suivante:</p> $Fx = \frac{(v - Ft) Wx Hx}{\sum_{i=1}^n Wi Hi}$ <p><b>Distribution horizontale</b></p> <p>L'effort tranchant au niveau x est la somme des forces Ft et Fx au-dessus de cette Niveau.</p> $Vx = Ft + \sum_{i=x}^n Fx$	
--	---	--	--

Les approches de calcul des forces sismiques des normes sismiques RPA99/2003, Eurocode 8, UBC 97 et RPS2000 sont très compatibles et partagent des points communs. En général, les formules et les méthodes fondamentales pour évaluer les forces horizontales et les périodes fondamentales des structures sont cohérentes, reflétant ainsi les variations régionales.

## Chapitre 3

---

### Outils de comparaison

#### **3.7 Conclusion:**

La comparaison des règles RPA99/v2003, Eurocode 8, UBC 97 et RPS2000 concernant les paramètres essentiels dans le calcul de l'action sismique, montre une certaine cohérence.

## **Chapitre 4**

# **Application numérique**

## Chapitre 4

---

### Application numérique

#### **4.1 Introduction:**

Vu la non disponibilité du spectre de calcul RPS 2000 intégré dans les logiciels de calcul tels que le SAP, nous avons été contraint de mener les calculs numériques à la main.

#### **4.2 Présentation de l'ouvrage:**

Le bâtiment en BA (R+4) sera implanté à Djebble Messaad, à usage d'habitation classée par le règlement parasismique Algérien RPA99 "version 2003" comme une zone de faible sismicité "zone I".

Selon le RPA 99 de 2003, l'ouvrage est d'importance courante ou moyenne (niveau 2) et le site d'implantation est meuble (classé S3).

#### **4.3 Description de l'ouvrage:**

Le bâtiment a les caractéristiques géométriques suivantes :

**Tableau IV.1** Caractéristiques géométriques

<b>Longueur</b>	19.90 m
<b>Largeur</b>	25.90 m
<b>Hauteur du R.D.C et d'étage</b>	3.06 m
<b>Hauteur totale</b>	15.30 m

## Chapitre 4

---

### Application numérique

#### **4.3.1- Système porteur:**

L'ouvrage est contreventé par un système des **portiques longitudinaux et transversaux** (poteaux (40x40), Poutre principale (30x40) et Poutre Secondaire (30x35) ) de type auto stable en béton armé avec un remplissage en maçonnerie rigide dans les deux directions.

#### **4.3.2- Plancher:**

Les planchers sont constitués par des dalles (**16+4**) cm d'épaisseur considérée comme rigide et indéformable dans leurs plans. Les planchers des différents niveaux sont prévus en corps creux (hourdis + table de compression)

Ce choix s'appuie sur les raisons suivantes :

- Ce type de planchers est facile à réaliser.
- C'est le plus économique.
- Réduction de la masse du plancher et par conséquent l'effet sismique.

#### **4.3.3-Maçonnerie:**

La brique creuse en terre cuite est le type de maçonnerie le plus couramment employé en Algérie." Il existe deux types de murs pour ce bâtiment:

**Murs intérieurs:** leur remplissage s'effectue par des cloisons en briques creuses de 10 cm d'épaisseurs.

#### **Murs extérieurs:**

- D'une cloison en briques creuses de 15 cm d'épaisseur.
- D'une l'âme d'air de 5 cm d'épaisseur.
- D'une cloison en briques creuses de 10 cm d'épaisseur.

#### **4.3.4- Revêtement de sol: intérieur:**

en carrelage (33x33)

## Chapitre 4

---

### Application numérique

#### 4.3.5- Escalier:

sont des éléments non structuraux, qui permettent de se déplacer d'un niveau à un autre rapidement. Les étages supérieurs peuvent être accédés par le biais de:

- Des escaliers droits coulés sur place.

#### 4.4 Caractéristique des matériaux :

Les bétons et aciers seront choisis conformes aux règles de conception et de calcul des structures en béton armé en vigueur en Algérie :

##### 4.4.1 Béton :

Le béton se compose d'un mélange de ciment et d'eau dans des quantités précises, ce qui permet d'obtenir un matériau résistant et de qualité supérieure une fois usé

$$f_{c28} = 20 \text{ Mpa}$$

$$E_{ij} = 29858.56 \text{ MPa}$$

$$f_{t28} = 1.8 \text{ Mpa}$$

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

##### 4.4.2 Acier :

Nous utilisons les aciers mentionnés ci-dessous pour le ferrailage de notre structure :

- Ronds lisses de nuance **FeE235** pour les armatures transversales.
- Haute adhérence de nuance **FeE400** pour les armatures longitudinales.
- Module d'élasticité de l'acier :  $E_s = 2.10^5 \text{ Mpa}$

## Chapitre 4

---

### Application numérique

#### 4.5 Charges et surcharges :

##### 4.5.1 Plancher terrasse (16+4):

Tableau IV.2 Charges et surcharges Plancher terrasse (16+4) :

	<b>G (kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Q (kg/m<sup>2</sup>)</b>
Gravillons roulé (5 cm)	80	
Forme de pente (1.5%)	238	
Couche d'isolation (4 cm)	16	
Plancher (16+4)	280	
Enduit en plâtre (2 cm)	26	
<b>TOTAL</b>	<b>640</b>	<b>100</b>

##### 4.5.2 Plancher d'étage courant (16+4) :

Tableau IV.3 Charges et surcharges d'étage courant (16+4)

	<b>G (kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Q (kg/m<sup>2</sup>)</b>
Revêtement	104	
Cloisons légères	100	
Enduit	26	
Plancher (16+4)	280	
<b>TOTAL</b>	<b>510</b>	<b>150</b>

Murs extérieurs : 200 Kg/ m<sup>2</sup>

Acrotère : 230 Kg/ml

## Chapitre 4

### Application numérique

#### 4.6 Etude sismique comparative:

##### 4.6.1 Poids total de la structure:

Etage courant (niveau 1-2-3-4):

$$G = G_{\text{courant}} \times S_{\text{courant}} \quad Q = Q_{\text{courant}} \times S_{\text{courant}}$$

$$G = 5.1 \times 411.27 \quad Q = 1.5 \times 411.27$$

$$G = 2097.477 \text{ kn/m}^2 \quad Q = 616.90 \text{ kn/m}^2$$

Plancher terrasse (niveau 5):

$$G = G_{\text{terrasse}} \times S_{\text{terrasse}} \quad Q = Q_{\text{terrasse}} \times S_{\text{terrasse}}$$

$$G = 6.4 \times 402.59 \quad Q = 1 \times 402.59$$

$$G = 2576.576 \text{ kn/m}^2 \quad Q = 402.59$$

##### 4.6.2 Action sismique selon RPA99/v2003 (Effort tranchant à la base):

$$V = \frac{A \cdot D \cdot Q}{R} W$$

A: Zone I ; Groupe 2 A=0.10

T2: S3 (Site meuble) T2 = 0.50 s

$$\eta = \sqrt{7/(2 + \xi)} \geq 0.7$$

$\xi = 7\%$ .

$$\eta = 0.88$$

$$T = C_T h_N^{3/4} \quad T = 0.05 \times 15.3^{3/4} = 0.386 \text{ s}$$

$$T_x = \frac{0.09 \times 15.30}{\sqrt{25.90}} = 0.27 \text{ s}$$

$$T_y = \frac{0.09 \times 15.30}{\sqrt{19.90}} = 0.30 \text{ s}$$

$$D = 2.5 \quad \eta = 2.2$$

$$R = 3.5$$

Détermination du poids total de la structure Wt:

W étage courant:

$$W_i = W_G + B W_Q$$

B = 0,2: bâtiment d'habitation.

## Chapitre 4

### Application numérique

$$W_i = 2097.77 + 0.2 \times 616.91 = 2221.15 \text{ Kn}$$

### W plancher terrasse:

$$W_i = 2567.567 + 0.2 \times 402.59 = 2648.085 \text{ kn}$$

### W<sub>t</sub> de la structure:

$$W_t = 2221.15 \times 4 + 2648.085 = 11532.685 \text{ kn}$$

### la force sismique totale:

Tableau IV.4 Les paramètres sismique de RPA99. [1]

<i>Coefficients sismique</i>	
<i>A</i>	<i>0.10</i>
<i>D</i>	<i>2.20</i>
<i>Q</i>	<i>1.25</i>
<i>R</i>	<i>3.5</i>
<i>w</i>	<i>11532.685</i>

$$V = \frac{0.10 \times 2.2 \times 1.25}{3.5} 11532.685$$

$$V = 906.13 \text{ Kn}$$

### 4.6.3 Action sismique selon L'EC8 (Effort tranchant à la base):

$$F_b = S_d(T_1) \cdot m \cdot \lambda$$

$\lambda$ : est le coefficient de correction, le bâtiment a plus, de deux étages.  $\lambda = 1,0$ .

$m$ : est la masse totale du bâtiment.

$$m_t = \sum G_i + \sum \psi E, i Q_i$$

$\psi E, :$  La portion permanente de ces charges variables.

$$\psi_{Ei} = \psi_{2, i} \cdot \Phi$$

## Chapitre 4

$\Phi = 0,8$ : pour étage courant

**Application numérique**

$\Phi = 1$ : pour les toits.

## Chapitre 4

---

### Application numérique

$\psi_2$ ,  $i = 0,3$ : Pour bâtiment habitation.

**Etage courant (niveau 1-2-3-4):**

$$G = 2097,477 \text{ KN} \quad Q = 616,90 \text{ KN}$$

$$\psi = 0,8 \times 0,3 = 0,24$$

$$m = 2097,477 + 0,24 \times 616,90$$

$$m = 2245.53 \text{ kn}$$

**Plancher terrasse (niveau 5):**

$$G = 2576,576 \text{ KN} \quad Q = 402.59 \text{ KN}$$

$$\psi = 1 \times 0,3 = 0,3$$

$$m = 2576,57 + 0,3 \times 402.59$$

$$m = 2697.35 \text{ kn}$$

$$m_t = 2245.53 \times 4 + 2697.35$$

$$m_t = 11679.47 \text{ kn}$$

Période fondamentale :

$$T = c_t h n^{3/4}$$

$$c_t = 0,05: \text{ autre structure}$$

$$H = 15,30 \text{ m}$$

$$T = 0,05 \times 15.3^{3/4} = 0.386$$

Coefficient d'importance du bâtiment  $\gamma_I = 1$ : bâtiment classé dans la catégorie II selon l'EC8 (bâtiment courant)

la zone I de (RPA99/2003) correspond à la zone de sismicité faible de l'EC8, zone 2. Pour notre bâtiment :  $ag_R = 0.7 \text{ m/s}^2$

## Chapitre 4

### Application numérique

L'accélération nominale horizontale de calcul:

$$a_g = \gamma I. a_{gR} = 0.7 \times 1 = 0.7 \text{ m/s}^2$$

Coefficient de comportement  $q$  : Concernant l'EC8 le type de structure dans le cas étudié est Systèmes à ossatures ou systèmes à contreventement mixte équivalents à des ossatures à plusieurs travées de plusieurs étages :

$$q = q_0 K_w$$

$$q_0 = 3,0 \frac{\alpha u}{\alpha 1}$$

$$\frac{\alpha u}{\alpha 1} = 1.3$$

$$q_0 = 3.9$$

$\beta$  : La valeur recommandée est  $\beta = 0,2$ . Selon [11]

Au sol meuble de l'RPA99/v2003 correspond le sol de catégorie D selon l'EC8.

**Tableau IV.5 Les paramètres sismique de l'EC8. [11]**

<i>Coefficients sismique</i>	
<i>A<sub>g</sub></i>	<i>0.7</i>
<i>s</i>	<i>1.8</i>
<i>Q</i>	<i>3.9</i>
<i>β</i>	<i>0.2</i>
<i>m</i>	<i>11532.685</i>
<i>T<sub>B</sub>(s)</i>	<i>0,10</i>
<i>T<sub>C</sub>(s)</i>	<i>0,30</i>
<i>T<sub>D</sub>(s)</i>	<i>1,2</i>

## Chapitre 4

### Application numérique

$$S_d(T) = a_d \cdot s \cdot \frac{2.5}{q} \cdot T^g \geq \beta \cdot a_c \quad T_c \leq T \leq T_D$$

$$S_d(T) = 0.7 \times 1.8 \times \frac{2.5}{3.9} \times \frac{0.3}{0.386} \geq 0.2 \times 0.7$$

$$S_d(T) = 0.62 \geq 0.56 \text{ Condition vérifiée.}$$

$$S_d(T) = 0.62 \text{ m/s}^2 = 0.062 \text{ g}$$

$$F_b = S_d(T_1) \cdot m \cdot \lambda = 0.062 \times 11679.47 \times 1 = 742.12 \text{ kn}$$

#### 4.6.4 Action sismique selon L'Ubc (Effort tranchant à la base):

$$V = \frac{C_v I}{R T} W$$

Facteur d'importance sismique  $I = 1$  [14]

poids total de la structure  $W = 11532.685$

Coefficient de comportement de la structure  $R = 5$

Période fondamentale:

$T = 0.05$ : toutes les autres structures. [14]

$H = 15.30$  m hauteur du bâtiment

$$T = c_t h n^{3/4}$$

$$T = 0.488 \times 15.3^{3/4} = 0.37 \text{ s}$$

**Tableau IV.6** Les paramètres sismique de l'UBC97 [14]

<i>Coefficients sismique</i>	
<i>Ca</i>	<i>0.22</i>
<i>Cv</i>	<i>0.32</i>
<i>R</i>	<i>5</i>
<i>Z</i>	<i>0.15</i>
<i>I</i>	<i>1</i>
<i>β</i>	<i>0,2</i>

## Chapitre 4

### Application numérique

La zone I

de (RPA99/v 2003) correspond à la zone de sismicité moyenne de l'UBC97

La zone IIa :  $Z = 0,15$

$$V = \frac{C_v I}{R T} W =$$
$$V = \frac{0.32 \times 1}{5 \times 0.37} 11532$$

$$V = 1994.72 \text{ kn}$$

L'effort sismique  $V$  ne doit pas être inférieur à:

$$V_{\min} = 0,11 C_a I W$$

$$V_{\min} = 0.11 \times 0.22 \times 1 \times 11532.685$$

$$V_{\min} = 279.09 \text{ kn} < V \text{ condition verifie}$$

L'effort sismique  $V$  ne doit pas être supérieur à:

$$V_{\max} = \frac{2.5 C_a I}{R} W$$

$$V_{\max} = \frac{2.5 \times 0.22 \times 1}{5} 11532.685$$

$$V_{\max} = 1268.59$$

$$V = 1994.72 > V_{\max} = 1268.59$$

Condition Non vérifiée. en prend:  $V = V_{\max} = 1268.59 \text{ kn}$

#### **4.6.5 Action sismique selon RPS2000 (Effort tranchant à la base):**

$$V = \frac{A.S.D.I.W}{K}$$

**A:** coefficient d'accélération zone faible:  $A = 0.07$

**S:** coefficient de site (meuble):  $s = 1.2$

**D:** 2.5

**I:** Coefficient de Priorité (les bâtiments courants à usage d'habitation):  $I = 1$

**K:** Facteur de Comportement ( portique ND1) :  $K = 2$

$W = 11532.685 \text{ kn}$

## Chapitre 4

### Application numérique

Tableau IV.7 Les paramètres sismique de RPS2000 [7]

<i>Coefficients sismique</i>	
<b>A</b>	<i>0.07</i>
<b>S</b>	<i>1.2</i>
<b>D</b>	<i>2.5</i>
<b>I</b>	<i>1</i>
<b>K</b>	<i>2</i>

$$V = \frac{A.S.D.I.W}{K}$$

$$V = \frac{0.07 \times 1.2 \times 2.5 \times 1 \times 11532.685}{2}$$

$$V = 1210.93 \text{ kn}$$

### 4.7 Spectre de reponse de RPA99/v2003, EC08, UBC97 et

#### RPS2000:

#### 4.7.1 Spectre de reponse de RPA99/v2003:

Calcul spectre de reponse  $S_a$   $\frac{g}{g}$  pour différentes périodes (0, 0.2, 0.6, 2, 3)s :

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

## Chapitre 4

### Application numérique

Et le tableau:

**Tableau IV.8** Les paramètres sismique de RPA99

<i>Coefficients sismique</i>	
<i>A</i>	<i>0.10</i>
<i>D</i>	<i>2.20</i>
<i>Q</i>	<i>1.25</i>
<i>R</i>	<i>3.5</i>
<i>n</i>	<i>0.88</i>

On a trouvé les résultats suivants:

**Tableau IV.9** Les resultats de spectre de reponse de RPA99

Periode (s)	0	0,2	0,6	2	3
Spectre $\frac{S_d}{g}$	0,125	0,108	0,086	0,04	0,03

#### 4.7.2 Spectre de reponse de EC08:

Pour calculi spectre de reponse  $S_d(T)$  dans different periodes (0, 0.2, 0.6, 2, 3) s:  
selon informations précédentes:

$$S_d(T) = a_g \left( \frac{2}{q} + \frac{T}{T_B} \left( \frac{2.5}{q} - 2 \right) \right) \quad 0 \leq T \leq T_B$$

$$S_d(T) = a_g \cdot S \frac{2.5}{q} \quad T_B \leq T \leq T_C$$

$$S_d(T) = \left\{ \begin{array}{l} a_g \cdot S \frac{2.5}{q} \left( \frac{T_C}{T} \right) \\ \geq \beta \cdot a_g \end{array} \right. \quad T_C \leq T \leq T_D$$

$$S_d(T) = \left\{ \begin{array}{l} a_g \cdot S \frac{2.5}{q} \left( \frac{T_C T_D}{T} \right) \\ \geq \beta \cdot a_g \end{array} \right. \quad T_D \leq T$$



## Chapitre 4

### Application numérique

Et le tableau:

**Tableau IV.10** Les paramètres sismique de EC08

<i>Coefficients sismique</i>	
<i>Ag</i>	<i>0.7</i>
<i>s</i>	<i>1.8</i>
<i>Q</i>	<i>3.9</i>
<i>β</i>	<i>0.2</i>
<i>T<sub>B</sub>(s)</i>	0,10
<i>T<sub>C</sub>(s)</i>	0,30
<i>T<sub>D</sub>(s)</i>	1,2

On a trouvé les résultats suivant:

**Tableau IV.11** Les resultats de spectre de reponse de EC08

Periode (s)	0	0,2	0,6	2	3
Spectre $S_d(T)$	0,64	0,80	0,4	0,15	0,1

#### **4.7.3 Spectre de réponse de UBC97:**

Pour calculi spectre de reponse  $S_d(T)$  dans different periodes(0, 0.2, 0.6, 2, 3)s:  
selon informations précédentes:  $T_C = C_v \cdot 2.5 / C_a$  et  $T_B = 0.2 T_C$ .

<b>UBC 97</b>	$S_d(T) = (C_a + \frac{1.5C_g T}{T_b})$	$T \leq T_B$
	$S_d(T) = 2.5C_a \frac{\gamma L}{R}$	$T_B \leq T \leq T_C$
	$S_d(T) = C_u \frac{\gamma L}{R}$	$T \leq T_C$

## Chapitre 4

### Application numérique

Et le tableau:

**Tableau IV.12** Les paramètres sismique de UBC97

<i>Coefficients sismique</i>	
<i>Ca</i>	<i>0.22</i>
<i>Cv</i>	<i>0.32</i>
<i>R</i>	<i>5</i>
<i>Z</i>	<i>0.15</i>
<i>I</i>	<i>1</i>
<i>tc</i>	0,58
<i>tb</i>	0,116

On a trouvé les résultats suivant:

**Tableau IV.13** Les resultats de spectre de reponse de UBC97

Periode (s)	0	0,2	0,6	2	3
Spectre $S_a$ (T)	0,22	0,016	0,01	0,01	0,01

#### **4.7.4 spectre de reponse de RPS2000:**

Pour calculi spectre de reponse  $Sad(T, \xi)$  dans different periodes (0, 0.2, 0.6, 2, 3) s:

selon informations précédentes:

$$\begin{aligned}
 & \text{Sad}(T, \xi) = \\
 & \begin{cases}
 2.5\eta Ag.s & 0 \leq T \leq T_2 \\
 2.5\eta Ag.s \left(\frac{T_2}{T}\right)^{\frac{2}{5}} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\
 2.5\eta Ag.s \left(\frac{T_2}{3.0}\right)^{\frac{2}{5}} \left(\frac{3.0}{T}\right)^{\frac{2}{5}} & T \geq 3.0
 \end{cases}
 \end{aligned}$$

## Chapitre 4

### Application numérique

Et le tableau:

**Tableau IV.14** Les paramètres sismique de RPS2000

<i>Coefficients sismique</i>	
<b>A</b>	<b>0.07</b>
<b>S</b>	<b>1.2</b>
<b>g</b>	<b>9.86</b>
<b>I</b>	<b>1</b>
<b>n</b>	<b>0.88</b>
<b>T<sub>2</sub></b>	<b>0,5</b>

On a trouvé les résultats suivant:

**Tableau IV.15** Les resultats de spectre de reponse de RPS2000

<b>Periode (s)</b>	<b>0</b>	<b>0,2</b>	<b>0,6</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Spectre Sad (T.ξ)</b>	1,81	1,81	1,6	0,7	0,54

### 4.8 Comparaison:

#### 4.8.1 Effort tranchants:

**Tableau IV.16** Les resultats de efforts trnachant de  
RPA99/EC08/UBC97/RPS2000

	<b>RPA99</b>	<b>EC08</b>	<b>UBC97</b>	<b>RPS2000</b>
<b>Effort tranchants v (kn)</b>	906.13	742.12	1268.59	1210.93

## Chapitre 4

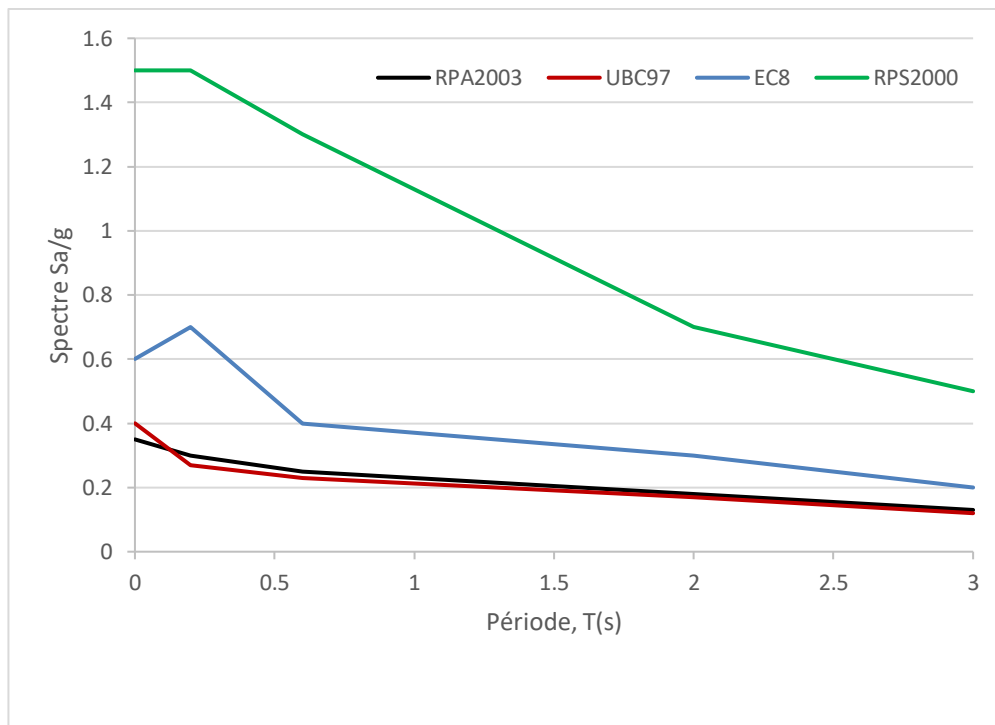
### Application numérique

#### 4.8.2 Spectre de réponse:

**Tableau IV.17** Les résultats de spectre de réponse de  
RPA99/EC08/UBC97/RPS2000

Période (s)	0,02	0,2	0,6	2	3
RPA99/2003	0,125	0,108	0,086	0,04	0,03
EC08	0,64	0,80	0,4	0,15	0,1
UBC97	0,22	0,016	0,01	0,01	0,01
RPS2000	1,81	1,81	1,6	0,7	0,54

**Figure IV.1** la courbe graphique de spectre de réponse de  
RPA99/EC08/UBC97/RPS2000



## Chapitre 4

---

### Application numérique

#### **Concluision:**

Les différences dans les résultats donnés par les quatre codes sont dues aux variations des paramètres propres à chaque code.

## **Chapitre 5**

# **Discussion et interprétation des résultats**

### Discussion et interprétation des résultats

#### **5.1 Introduction:**

Cette discussion concerne les résultats relatifs aux efforts tranchants et spectres de réponse. L'objectif est de comprendre les divergences et les similitudes entre ces normes en matière de conception parasismique.

#### **5.2 Efforts Tranchants**

##### **5.2.1 Points Communs:**

- **Objectif visé:** Tous les règlements visent à assurer la sécurité des structures contre les séismes en définissant des critères précis pour les efforts tranchants.
- **But de l'utilisation des Efforts Tranchants:** Chaque règlement utilise les efforts tranchants pour vérifier la résistance des structures aux forces sismiques.

##### **5.2.2 Points de Différence:**

- **Valeurs des Efforts Tranchants:**
  - **RPA99:** L'effort tranchant est  $V_b = 906.13 \text{ kN}$ , ce qui est relativement modéré.
  - **EC08:** Le plus faible avec  $742.12 \text{ kN}$ ,
  - **UBC97:** Le plus élevé avec  $1268.59 \text{ kN}$ ,
  - **RPS2000:** Presque aussi élevé que l'UBC97 avec  $1210.93 \text{ kN}$ ,

### Discussion et interprétation des résultats

#### 5.3 Spectres de Réponse:

Le spectre de réponse est un outil essentiel permettant de comprendre comment une structure réagit à un séisme en fonction de sa période propre.

##### 5.3.1 Points Communs:

- **Objectif visé:** Tous les codes expriment la réponse des structures aux séismes en fonction de leur période propre,

- **Allure générale des courbes:** Les courbes ont une allure descendante avec l'augmentation de la période.

##### 5.3.2 Points de Différence:

- **Amplitude des Spectres:**

- **RPA99:** Faible (0,125 kN à 0,02 s), donc réponse modérée.
- **EC08:** initialement élevée (0,64 kN à 0,02 s) donc réponse sensible aux courtes périodes.

- **UBC97:** modérée (0,22 kN à 0,02 s),
- **RPS2000:** la plus élevée (1,81 kN à 0,02 s), donc réponse sévère pour les périodes courtes.

- **Forme des Courbes:**

- **RPA99 et UBC97:** Diminution rapide notamment pour les courtes périodes.

- **EC08:** Pics aigus

- **RPS2000:** Allure plus étendue



## **Chapitre 5**

---

### **Discussion et interprétation des résultats**

#### **5.4 conclusion:**

Cette comparaison montre l'influence des philosophies de conception et des conditions sismiques spécifiques sur les valeurs de la réponse.

# Conclusion générale

## Conclusion générale

---

### Conclusion générale

Le RPA 2003, l'Eurocode 8, l'UBC 97 et le RPS 2000 sont autant de codes établis par les pays concernés pour se prémunir des dégâts causés par les séismes qui sont essentiellement imprévisibles.

Cette étude comparative des quatre codes a porté sur différents aspects, notamment le calcul de la force sismique à la base.

Les conclusions de cette comparaison peuvent être résumées ainsi :

**Zones Sismiques:** La classification de l'Eurocode 8 semble plus détaillée.

**Spectre de Réponse:** Les spectres de réponse RPA 2003 et RPS 2000 paraissent relativement simples mais suffisamment efficaces.

**Méthodes de Calcul:** l'Eurocode 8 se distingue par l'utilisation de la méthode de la force équivalente.

Enfin, on peut dire que le contexte sismique local joue un rôle important dans la réglementation sismique. Toutefois, les écarts entre les différents codes qui sont parfois importants, prouvent la nécessité d'une harmonisation de ces codes à l'échelle internationale.

## Références :

- [1] Règles Parasismiques Algériennes (RPA99/version 2003), Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique, Algérie.
- [2] EC 8 (2004) Eurocode 8: conception de structures pour leur résistance aux séismes Partie 1: règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments, norme européenne. Comité européen de normalisation, Comité européen pour Secrétariat de normalisation Central, rue de Stassart 36, B-1050 Bruxelles.
- [3] UBC (1997) Uniform Building Code, Conférence internationale des responsables du bâtiment. Whittier, Californie, États-Unis.
- [4] REGLEMENT DE CONSTRUCTION PARASISMIQUE (R.P.S 2002) (applicable aux bâtiments)
- [5] FEKHIT Ahmed, HANI Mustapha , Etude comparative relative à la prise en compte des conditions de site locales dans les spectres de réponses RPA, Eurocode et UBC , Université Ziane Achour de Djelfa , 2.16.
- [7] Règlement de construction parasismique (R.P.S 2000 version 2011), Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Urbanisme, de l'Habitat et de l'Environnement. Royaume du Maroc.
- [8] Règles Parasismiques Algériennes (RPA99), Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique, Algérie.
- [9] FEKHIT Ahmed, HANI Mustapha, Etude comparative relative à la prise en compte des conditions de site locales dans les spectres de réponses RPA, Eurocode et UBC, Université Ziane Achour de Djelfa, 2.16.
- [10] Rpa99, règles parasismiques algériennes 99 version 2003, Algérie, OPU 2003.

[11] Eurocode 8. Calcul des structures pour leur résistance aux séismes. Partie 1 : Règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments. AFNOR : NF EN 1998-1, Saint-Denis La Plaine, France, Septembre 2005.

[12] DOGONGUN Adem ,LIVAOGL Ramazan, A comparative study of the design spectra defined by Eurocode 8, UBC, IBC and Turkish Earthquake Code on R/C sample buildings, Karadeniz Technical

(13] BADAOUI.M, Influence de l'hétérogénéité géologique et mécanique sur la réponse des sols multicouches, Thèse de doctorat, Ecole Nationale Polytechnique ENP, 2008.

(14] UBC 1997 Structural Engineering Design Provisions, Uniform Building Code, Volume 2 California, 1997

(15] Roger M. Di Julio Jr., Ph.D., P.E , Chapter 5 Linear Static Seismic Lateral Force Procedures , California State University, Northridge (1997), pp. 1–28

[16] Maha Gaafar Ahmed El-Nourani, Seismic Forces in Buildings: A Comparative Study with Universal Seismic Codes, A THESIS SUBMITTED TO UNIVERSITY OF KHARTOUM IN PARTIAL FULFILLMENT FOR THE DEGREE OF M.SC. IN STRUCTURAL ENGINEERING, University of Khartoum 2003.

[17] LE REGLEMENT DE CONSTRUCTION PARASISMIQUE RPS 2000.pdf <https://geniecivilpdf.com/wp-content/uploads/LE-REGLEMENT-DE-CONSTRUCTION-PARASISMIQUE-RPS-2000.pdf>

[18]: ANKIK Djamel Incidence des périodes fondamentales proposées par les différents règlements parasismiques sur la performance sismique des bâtiments, Mémoire de Magister, Université Tizi – Ouzou 2013.

[19]: CHEBIHI Amina & LAOUAMI Nasser ETUDE COMPARATIVE DES REPNSES SISMIQUES REGLEMENTAIRES DE STRUCTURES EN BETON ARME. Alger, 17 et 18 Nov. 2014

[20]: COMPARAISON DES NORMES EURO CODE 8 (EC8) ET LES REGLES PARASISMIQUES ALGERIENNES RPA99/V2003 KASSOUL Amar<sup>1</sup>, Yousfi Mahfoud<sup>1</sup>, BOUKORSI Elarbi<sup>1</sup> et ELKHEIRI Noureddine<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Laboratoire de Structures, Géotechnique et Risques (LSGR), Université Hassiba Benbouali de Chlef, Algérie

[21]: Rpa99, règles parasismiques algériennes 99 version 2003, Algérie, OPU 2003.

[22]:COMPARAISON ENTRE RPS 2000 V2011 & EUROCODE 8 ETUDED'UNE CLINIQUE DENTAIRE FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE TANGER.