

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

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

N° :



DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE

FILIERE : GENIE CIVIL

OPTION : STRUCTURES

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par : LEBOUAZDA Djallel & DARDOUR Saad

Intitulé

**Etude comparative de l'RPA 99 version 2003 avec l'ubc 97 et
l'Eurocode 8 – Etude de cas d'un bâtiment de 04 étages.**

Soutenu devant le jury composé de :

Dr. MENASRI Youcef

Université de M'sila

Encadreur

Année universitaire : 2019 /2020

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

REMERCIEMENTS

Nous remercions avant tout Allah de nous avoir gardé en bonne santé afin de mener à bien ce projet de fin d'étude.

Nous exprimons toutes nos profondes reconnaissances à notre encadreur

Mr. MENASRI .Y qui nos a témoigné de sa confiance et de son aide scientifique et qui par son expérience et sa compétence.

Nous adressons de chaleureux remerciements à tous les enseignants qui on contribue à notre réussite dans nos études, depuis notre première année scolaire jusqu'à la dernière année universitaire.

Nous remercions également les membres des jurys pour l'effort qu'ils feront dans le but d'examiner ce modeste travail.

Que tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire de fin d'études trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

MERCI

Dédicace

Je rends un grand hommage

A travers ce modeste travail, en signe de

Respect et de reconnaissance envers :

Ma mère

Mon père (Rabi yarahmo)

Pour tous les sacrifices et leur

Soutien moral et matériel dont ils ont fait

Preuve pour que je réussisse.

Je le dédie également à :

Tous Mes Frères

Me Sœurs

En un mot, à tous ceux qui ont contribué

De près ou de loin à ma formation

DJALLEL.L

إهداء

الحمد لله الذي وفقنا لهذا العمل المتواضع و اهدي هذا التخرج :
إلى نبع الحنان التي وهبت فلذة كبدها كل العطاء ورعتني حق الرعاية و سهرت ليالي
طويلة تتبعني خطوة بخطوة وتحيطني بدعواتها كل صباح وتسندني في كل الشدائد وتصبر
على كل شيء في سبيل أن أصل الى هذا النجاح

..... أمي الغالية.....

إلى الذي وهبني كل ما يملك لأحقق له آماله ,إلى من دفعني قدما نحو النجاح
إلى الذي ضحى بالغالي والنفيس من أجل تربيته وتعليمنا إلى قدوتي في الحياة
.....أبي الغالي.....

إلى الذين تقاسموا معي عبأ الحياة
إلى إخوتي (إسماعيل- احمد- لخضر - البشير - محمد- بلال) وأخواتي (السعدية-النصرية-
ريم) و أبناء أخواتي (موسى- محمدالامين)
إلى الأستاذ المؤطر الذي أعانني ووجهني في انجاز المذكرة ولم يبخل علي بكل معلومة
الدكتور مناصري يوسف

إلى رئيس القسم الذي سهل لنا طريقا للعلم الأستاذ القدير بعلي العيد.
إلى كافة أساتذة قسم الهندسة المدنية خاصة و كلية التكنولوجيا عامة.
إلى جميع الأساتذة من الابتدائي إلى الجامعة الذين بذلو كل مجوداتهم لأصلا إلى هذا النجاح

إلى أصدقائي (بن يحي - خالد - عبد القادر- حميدا- إبراهيم - مراد - أحسن - الياس-
حميدا - رياض وكل الأصدقاء)

إلى كل من ساهم في هذا النجاح من قريب أو من بعيد ولم أنكر اسمه سهوا.
وإلى كل من يؤمن بأن بذور نجاح التغيير في ذواتنا وفي أنفسنا قبل أن تكون في أشياء
أخرى.

واهدي هذا التخرج إلى عائلة دردور.

الطالب : دردور ساعد

Résumé : les enseignements tirés des violents séismes du passé à Boumerdès en 2003, et le séisme de Mexique en 1985, et qui a occasionné des dégâts importants sur le niveau humain et matériel (constructions), ont montré qu'il est nécessaire de prendre en compte les résultats de la recherche scientifique et d'utiliser l'expertise disponible dans les règles parasismiques afin de renforcer les bâtiments endommagés. Dans cette perspective, nous essayons de donner ici une contribution à l'amélioration des règles parasismiques et sécurité du bâtiment.

L'objectif de ce travail est de mener une étude comparative entre RPA99/V2003 Avec L'Eurocode 8 et UBC97, et de conclure des points de divergence et de convergence entre les trois codes dans différentes instructions de calcul.

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

ملخص :

الدروس المستفادة من الزلازل الماضية في بومرداس عام 2003 وزلزال المكسيك في عام 1985، والتي تسببت في أضرار بالغة على المستوى الإنساني والمادي (المباني)، أظهر أنه من الضروري الأخذ بعين الاعتبار بنتائج البحوث العلمية والاستعانة بالخبرات المتوفرة في القواعد الزلزالية من أجل تقوية مختلف المباني المتضررة . وفي هذا الإطار تندرج هذه الدراسة في محاولة لتحسين القواعد الزلزالية وتعزيز سلامة المباني. والهدف من هذا العمل هو إجراء دراسة مقارنة بين القواعد الزلزالية الجزائرية مع الكود الأوربي والكود الأمريكي 97 ، واستنتاج نقاط التباعد والتقارب بين القواعد الثلاثة في تعليمات حسابية مختلفة.

الكلمات المفتاحية : مقارنة – الزلزال - القواعد الزلزالية - القواعد الزلزالية الجزائرية 2003 - معيار الأوربي اوروكود 8 - معيار الأمريكي 97 .

Abstract The lessons learned from the past earthquakes in Boumerdes in 2003 and the Mexico earthquake in 1985, which caused severe damage at the human and material level (demolished constructions). Such natural risks showed that it is necessary to take into account the results of scientific research and to use the available expertise about seismic data bases for the objective of reinforcement and repair of the various damaged buildings.

In this context, this study here in is an attempt to improve seismic code of practice for building construction safety.

The aim of this work is to conduct a comparative study between the Algerian seismic code and both the European code and the American code 97. Thus, to deduce the convergence or differences among the three bases in earthquake studies to propose instructions and rules to be undertaken in such seismic calculation.

Key words: comparison study - earthquake - seismic bases - Algerian seismic code

2003 - European standard Eurocode 8 - American standard code 97.

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|------------------------------------|----------|
| Remerciement | I |
| Dédicace | II |
| Résumé | IV |
| Table des matières | V |
| Liste des tableaux | IX |
| Liste des illustrations | XII |
| Liste des notations | XIII |
| Introduction générale | 1 |

CHAPITRE I

NOTIONS GENERALES SUR LES REGLEMENTS PARASISMIQUES

| | |
|--|----------|
| 1.1 Introduction | 3 |
| 1.2 Philosophie des codes parasismiques | 4 |
| 1.3 Philosophie de base de conception | 4 |
| 1.3.1 Séismes à faible intensité | 4 |
| 1.3.2. Séismes modérés | 4 |
| 1.3.3. Séismes violents | 4 |
| 1.4 La réglementation parasismique dans le monde | 5 |
| 1.5 Présentation des codes parasismique | 5 |
| 1.5.1 Règles parasismique algérien (RPA 99 Version 2003) | 5 |
| 1.5.1.1. Evolution de règles parasismique algérien (RPA) | 6 |
| 1.5.1.2 Objectifs de RPA 99 Version 2003 | 6 |
| 1.5.1.3 Domaine D'application | 7 |
| 1.5.1.4 Conditions D'application | 7 |
| 1.5.2 Eurocode 8 | 7 |
| 1.5.2.1 Les objectifs de l'Eurocode 8 | 8 |
| 1.5.2.2 Contexte du programme Eurocode | 8 |
| 1.5.2.3 Programme des Eurocodes | 8 |

| | |
|---|-----------|
| 1.5.2.4 Documents d'Application Nationale (DAN) | 9 |
| 1.5.3 Code américaine : Uniform Building Code (UBC97) | 10 |
| 1.5.3.1 Histoire de uniform Building Code (UBC) | 10 |
| 1.6 Conclusion | 11 |

CHAPITRE II

COMPARAISON DES REGLES PARASISMIQUES RPA99/V2003 AVEC L'EUROCODE 8 (EC8) ET UBC 97

| | |
|---|-----------|
| 2.1 Introduction | 12 |
| 2.2 Comparaison de la classification des sites | 12 |
| 2.2.1 Classification des sites selon RPA99/ v2003 | 13 |
| 2.2.2 Classification des sites selon l'EC8 | 16 |
| 2.2.3 Classification des sites selon l'UBC97 | 17 |
| 2.3 Comparaison des zones sismiques | 18 |
| 2.3.1 Classification des zones sismiques selon RPA99/v2003 | 20 |
| 2.3.2 Classification des zones sismiques selon l'EC8 | 20 |
| 2.3.3 Classification des zones sismiques selon L'UBC 97 | 21 |
| 2.4 Comparaison des spectres de réponse du RPA99/v2003 avec l'EC8 et UBC97 | 22 |
| 2.4.1 Spectre de réponse | 22 |
| 2.4.1.1 Spectre de Réponse élastique | 23 |
| 2.4.1.2 Spectre de Réponse anélastique | 24 |
| 2.4.1.3 Spectre de Réponse de calcul du RPA 99 Version 2003 | 25 |
| 2.4.1.4 Spectre de Réponse de l'Eurocode 8 | 26 |
| 2.4.1.4.1 Spectre de réponse élastique horizontal (N 1998-1 Art. 3.2.2)..... | 27 |
| 2.4.1.4.2 Spectre de réponse élastique vertical | 29 |
| 2.4.1.4.3 Spectre de calcul pour l'analyse élastique | 30 |
| 2.4.1.5 Spectre de Réponse de l'UBC 97 | 31 |
| 2.5 Estimation empirique de la période fondamentale | 34 |
| 2.5.1 Période fondamentale selon le RPA 99/v 2003 | 34 |

| | |
|--|-----------|
| 2.5.2 La période fondamentale selon l'Eurocode 8 | 34 |
| 2.5.3 La période fondamentale selon le code Américain UBC 97 | 35 |
| 2.6 Classification des ouvrages selon leur importance | 38 |
| 2.7 Méthodes de calcul sismique | 41 |
| 2.7.1 Présentation des différentes méthodes d'estimation des forces Sismiques | 41 |
| 2.7.2 Actions sismiques | 42 |
| 2.7.2.1 Calcul de la force sismique totale selon RPA99/v2003 | 42 |
| 2.7.2.1.1 Distribution de la résultante des forces selon la hauteur | 43 |
| 2.7.2.1.2 Distribution horizontale des forces sismiques | 44 |
| 2.7.2.2 Calcul de la force sismique totale selon l'Eurocode 8 | 44 |
| 2.7.2.2.1 Effort tranchant à la base de la structure | 44 |
| 2.7.2.2.2 Distribution des forces sismiques horizontales | 45 |
| 2.7.2.3 Calcul de la force sismique totale selon l'UBC 97 | 45 |
| 2.7.2.3.1 Distribution des forces sismiques verticales | 46 |
| 2.7.2.3.2 Distribution des forces sismiques horizontales | 47 |
| 2.7.2.4 Comparaison les actions sismique | 48 |
| 2.7.2.4.1 méthodes de calcul de l'effort tranchant à la base | 48 |
| 2.7.2.4.2 Distribution des forces sismiques | 48 |
| 2.8 Conclusion | 50 |

CHAPITRE III APPLICATION

| | |
|--|-----------|
| 3.1 Introduction | 51 |
| 3.2 Présentation de l'ouvrage | 51 |
| 3.3 Description de l'ouvrage | 51 |
| 3.3.1 Caractéristiques géométriques | 51 |
| 3.3.2 Contreventement | 52 |
| 3.3.3 Planchers | 52 |
| 3.3.4 Maçonnerie | 52 |
| 3.3.5 Revêtement | 52 |

| | |
|--|-----------|
| 3.3.6 Balcons | 53 |
| 3.3.7 Escaliers | 53 |
| 3.4 Caractéristiques des matériaux | 53 |
| 3.4.1 Béton | 53 |
| 3.4.1.1 Définition | 53 |
| 3.4.1.2 Caractéristiques mécaniques du béton | 53 |
| 3.4.2 Acier | 54 |
| 3.5 Evaluation des charges et surcharges | 55 |
| 3.5.1 Plancher terrasse (inaccessible) | 55 |
| 3.5.2 Plancher étage courant | 55 |
| 3.5.3 Maçonnerie | 56 |
| 3.5.4 Balcon | 57 |
| 3.5.5 Acrotère | 57 |
| 3.5.6 Voile | 58 |
| 3.5.7 Les escaliers | 58 |
| a) La volée (Palliasse) | 58 |
| b) Palier | 59 |
| 3.6 Etude sismique comparative | 60 |
| 3.6.1 Action sismique selon RPA99/v2003 (Effort tranchant à la base) | 60 |
| 3.6.2 Action sismique selon l'EC8 (Effort tranchant à la base) | 69 |
| 3.6.3 Action sismique selon l'UBC97 (Effort tranchant à la base) | 73 |
| 3.6.4 Comparaison des forces sismiques | 76 |
| 3.7 Conclusion. | 76 |
| Conclusion générale | 77 |
| Références bibliographie | |

ANNEXE

LISTE DES TABLEAUX

| | | |
|--------------|--|----|
| Tableau 2.1 | Classification des sites RPA99/v2003 | 14 |
| Tableau 2.2 | Valeurs du coefficient C_T | 15 |
| Tableau 2.3 | Valeurs de ξ (%) | 15 |
| Tableau 2.4 | la classification des sites selon l'EC8 | 17 |
| Tableau 2.5 | Classification des sites UBC 1997 | 17 |
| Tableau 2.6 | Valeurs de ξ (%) Comparaison de la classification des sites Entre RPA99/v2003, l'EC8 et UBC 97 | 18 |
| Tableau 2.7 | Classification des zones sismiques RPA99/V2003 | 20 |
| Tableau 2.8 | la classification des zones sismiques sites selon l'EC8 | 20 |
| Tableau 2.9 | la classification des zones sismiques UBC 97 | 21 |
| Tableau 2.10 | Comparaison entre la classification des zones sismiques entre RPA99 Version 2003 et EC8 et UBC 97..... | 21 |
| Tableau 2.11 | Coefficient d'accélération de zone A | 25 |
| Tableau 2.12 | Type de site en fonction des périodes de transition | 26 |
| Tableau 2.13 | Valeurs des paramètres décrivant les spectres de réponse élastique recommandés de type 1 | 28 |
| Tableau 2.14 | Valeurs des paramètres décrivant les spectres de réponse élastique recommandés de type 2 | 29 |
| Tableau 2.15 | Valeurs recommandées des paramètres décrivant les spectres de réponse élastique vertical | 29 |
| Tableau 2.16 | Valeurs de coefficient sismique C_a selon l'UBC 1997 | 32 |
| Tableau 2.17 | Valeurs de coefficient sismique C_v selon l'UBC 1997 | 32 |
| Tableau 2.18 | Comparaison des spectres de calcul du RPA99/v2003 avec l'EC8 et UBC 97 | 33 |

| | | |
|--------------|---|----|
| Tableau 2.19 | Comparaison des périodes | 37 |
| Tableau 2.20 | Classification des ouvrages selon le RPA 99/v2003 | 38 |
| Tableau 2.21 | Classification des ouvrages selon l'EC8 | 38 |
| Tableau 2.22 | Classification des ouvrages selon l'UBC 1997 | 39 |
| Tableau 2.23 | Comparaison des Méthodes de calcul de la force sismique | 41 |
| Tableau 2.24 | comparaison les expressions des forces sismique | 48 |
| Tableau 2.25 | Distribution des forces sismiques | 49 |
| Tableau 3.1 | Caractéristiques géométriques | 51 |
| Tableau 3.2 | Charges et surcharges de la terrasse inaccessible | 55 |
| Tableau 3.3 | Charges et surcharge d'étage courant | 55 |
| Tableau 3.4 | Chargement permanente revenant mur extérieur..... | 56 |
| Tableau 3.5 | Charge permanente revenant mur intérieur | 56 |
| Tableau 3.6 | Charges et surcharge de balcon..... | 57 |
| Tableau 3.7 | Charges permanente de voile | 58 |
| Tableau 3.8 | Charges et surcharge de la paillasse | 58 |
| Tableau 3.9 | Charges et surcharge de la Palier | 59 |
| Tableau 3.10 | Tableau récapitulatif | 61 |
| Tableau 3.11 | les dalles Niveau 1-2-3-4 | 62 |
| Tableau 3.12 | Les escaliers Niveau 1-2-3-4 | 63 |
| Tableau 3.13 | Balcon Niveau 1-2-3-4 | 63 |
| Tableau 3.14 | Murs Niveau 1-2-3-4..... | 64 |
| Tableau 3.15 | Voiles Niveau 1-2-3-4 | 64 |

| | | |
|--------------|---|----|
| Tableau 3.16 | les poutres Niveau 1-2-3-4 | 65 |
| Tableau 3.17 | les Poteaux Niveau 1-2-3-4 | 65 |
| Tableau 3.18 | Poids total récapitulatif de Niveau 1-2-3-4 | 66 |
| Tableau 3.19 | Les dalles Niveau 5 | 66 |
| Tableau 3.20 | L'acrotère Niveau 5 | 67 |
| Tableau 3.21 | Poids total récapitulatif de Niveau 5 | 67 |
| Tableau 3.22 | Les paramètres sismique de RPA | 68 |
| Tableau 3.23 | Les paramètres sismique de l'EC8 | 72 |
| Tableau 3.24 | Les paramètres sismique de l'UBC97 | 75 |
| Tableau 3.25 | Comparaison l'effort tranchant à la base | 76 |

LISTE DES ILLUSTRATIONS

| | | |
|-------------|---|----|
| Figure 2.1 | Les différents effets de site | 12 |
| Figure 2.2 | Effet de site dans la vallée de Tagliamento(Italie): l'amplitude et la durée des sismogrammes sont plus élevés dans les sédiments que sur le rocher | 13 |
| Figure 2.3 | Coefficient d'amplification dynamique RPA 99 /v 2003 | 16 |
| Figure 2.4 | Les cartes des zones sismique de l'Algérie et de la France | 19 |
| Figure 2.5 | Carte des zones sismiques États-Unis d'Amérique (UBC 97) | 19 |
| Figure 2.6 | Graphique indicatif de la méthode de détermination du spectre de Réponse | 23 |
| Figure 2.7 | Spectres inélastiques en utilisant: (a) R constant, (b) R variable, (Méthode de NEWMARK et HALL) | 24 |
| Figure 2.8 | Spectres de réponses élastiques normalisé pour les 04 types de sites | 26 |
| Figure 2.9 | Forme du spectre de réponse élastique donné par l'Eurocode | 28 |
| Figure 2.10 | Spectre de calcul de l'UBC 97..... | 31 |
| Figure 2.11 | Distribution de la résultante des forces sur les différents niveaux | 43 |
| Figure 3.1 | Diagramme contraintes - déformations du béton | 54 |
| Figure 3.2 | Diagramme déformation-contrainte d'acier | 54 |
| Figure 3.3 | coupe verticale du mur extérieur | 56 |

NOTATIONS ET SYMBOLES

1 – Notations latines

| | |
|-----------|---|
| A | Coefficient d'accélération de zone |
| a_g | Accélération de calcul pour un sol de classe A |
| a_{vg} | L'accélération maximale EC8 |
| A_C | L'aire effective totale des sections des murs de contreventement au premier niveau du bâtiment |
| A_i | L'aire effective de la section transversale du mur de contreventement dans la direction considérée i au premier |
| A_e | Section transversale du mur de contreventement dans la direction considérée au premier du bâtiment |
| C_a | Coefficient sismique d'accélération |
| C_v | Coefficient sismique de vitesse |
| C_T | Coefficient en fonction du système de contreventement |
| D | Facteur d'amplification dynamique |
| $D_{x,y}$ | Dimension du bâtiment mesurée à sa base dans la direction de calcul considérée selon la direction x-x et y-y |
| D_e | La longueur du mur de contreventement au premier niveau dans la direction parallèle Aux forces appliquées |
| E_p | Module pression métrique du pressiomètre |
| E_b | Module d'élasticité (Young instantané) |
| E_s | Module d'élasticité de l'acier |
| F_t | Force concentrée au sommet de la structure |
| F_i | Effort horizontal revenant au niveau i |
| F_b | L'effort tranchant sismique à la base de la structure EC8 |
| f_e | Résistance limite élastique de l'acier haute adhérence |
| f_{es} | Résistance limite élastique de l'acier rond lisse |
| f_c | Résistance en compression du béton |
| f_{bu} | Contrainte limite du béton en compression |
| f_{c28} | Résistance caractéristique du béton à la compression |
| f_{t28} | Résistance limite du béton à la traction |
| G_i | 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 |
| h_N | Hauteur mesurée en mètres à partir de la base de la structure |
| h_i | Niveau du plancher où s'exerce |

| | |
|-------------|---|
| h_j | Niveau d'un plancher quelconque |
| I | Facteur d'importance sismique |
| I_p | Facteur d'importance sismique |
| K_w | Coefficient reflétant le mode de rupture prédominant dans les systèmes structuraux de murs. |
| L | Longueur |
| L_p | Longueur de paillasse |
| l_{wi} | Est la longueur du mur de contreventement i |
| M | La masse du bâtiment |
| m_i, m_j | Les masses des niveaux (i, j) |
| N | Nombre des coups moyens non corrigés pour 30cm |
| N_v | Facteur de source proche utilisé dans la détermination du C_v |
| N_a | Acteur de source proche utilisé dans la détermination du C_a |
| $P1$ | Pression limite du pressiomètre |
| Pq | pénalité à retenir selon que le critère de qualité q |
| Q | Facteur de qualité |
| Q_u | Résistance en compression simple |
| Q_c | Résistance de pointe du pénétromètre statique |
| Q | Coefficient de comportement Concernant l'EC8 |
| q_0 | Valeur de base du coefficient de comportement, dépendant du type de système structural et de la régularité en élévation |
| Q_i | Différentes charges variables |
| R | Coefficient de comportement |
| $S1$ | Site rocheux |
| $S2$ | Site ferme |
| $S3$ | Site meuble |
| $S4$ | Site très meuble |
| $S_d(T)$ | Spectre de calcul |
| S_a | Spectres de réponse d'accélération |
| S | Surface |
| SA | Site Roche dure |
| SB | Site Roche |
| SC | Site Sol très dense |
| SD | Site Sol raide |
| SE | Site Sol mou |
| SF | Site Sols nécessitant une évaluation spécifique |
| $S_e(T)$ | Spectre de réponse élastique |
| $S_{ve}(T)$ | Spectre de réponse élastique vertical |
| S | Paramètre du sol (EC8) |
| S_i, S_j | Sont les déplacements des masses m_i, m_j dans le mode fondamental |

| | |
|------------|---|
| T | Période propre correspondant à spectres d'accélération élastiques |
| T_1, T_2 | Périodes caractéristiques associées à la catégorie du site |
| T_B | Limite inférieure des périodes correspondant au palier d'accélération spectrale constante |
| T_c | Limite supérieure des périodes correspondant au palier d'accélération spectrale constante |
| T_D | Valeur définissant le début de la branche à déplacement spectral constant |
| T_s | Période propre de la structure |
| T | Temps |
| V | Effort tranchant sismique à la base |
| V_k | L'effort tranchant au niveau de l'étage k |
| V_s | Vitesse des ondes de cisaillement |
| W | Poids total de la structure |
| Z | Zone sismique |
| Z_i, Z_j | Les hauteurs des masses m_i, m_j |
| W_i | Charges gravitaires au niveau « i » |
| WG_i | Charges permanentes au niveau « i » |
| WQ_i | Charges d'exploitations au niveau « i » |
| W_t | poids total de la structure |

2 – Notations grecques

| | |
|------------|---|
| η | Coefficient de correction de l'amortissement |
| ρ | Masse volumique |
| ω | Pulsation |
| δ_i | Le déplacement élastique |
| ϕ_i | Vecteur déplacement du mode fondamental |
| Φ | coefficient de masse partielle |
| β | est le coefficient correspondant à la limite inférieure du spectre de calcul horizontal |
| ν | Coefficient de poisson |
| γ_b | Masse volumique du béton |
| γ_I | Coefficient d'importance EC8 |

| | |
|--------------------|--|
| ε_{be} | Déformation limite élastique |
| ε_{bu} | Déformation ultime du béton |
| ε_{se} | Déformation limite élastique de l'acier |
| ε_{su} | Déformation ultime de l'acier |
| β | Coefficient de pondération |
| α | Coefficient qui tient compte de la diminution de la rigidité due à la fissuration. |
| α_1 | coefficient multiplicateur de l'action sismique horizontale de calcul à la formation de la première rotule plastique dans le système |
| α_u | coefficient multiplicateur de l'action sismique horizontale de calcul à la formation du mécanisme plastique global |
| ξ | Amortissement relatif |
| λ | Coefficient de correction EC8 |
| $\psi_{E,i}$ | Coefficient de combinaison des actions variable |
| $\psi_{2,i}$ | coefficient de combinaison pour la valeur quasi-permanente d'une action variable i |

3 – Abréviations

| | |
|--------|---|
| PBA | Portique en béton armé sans remplissage en maçonnerie |
| PA | Portique en acier sans remplissage en maçonnerie |
| PBA/RM | Portique en béton armé avec remplissage en maçonnerie |
| PA/RM | Portique en acier avec remplissage en maçonnerie |
| PAE | Portique en acier à triangulations excentrées |
| VBA/M | Voile en béton armé ou murs en maçonnerie |
| RPA | Règles Parasismiques Algériennes |
| EC8 | Code européenne (Eurocode) |
| UBC | Uniform Building Code |
| IBC | International Building Code |
| CCE | Commission des Communautés Européennes |
| FEMA | Fédérale Emergency Management Agency |
| PGA | Peak Ground Accélération "en anglais" |
| ADRS | Accélération Déplacement Réponse Spectral |
| HAZUS | Hazard US |
| DAN | Document d'Application Nationale |

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La réglementation de la construction est en perpétuelle évolution. Les techniques de mesure et de calculs ainsi que les retours d'expérience accumulés au fil des siècles permettent aux concepteurs de tenter d'anticiper un grand nombre de sinistres auxquels les bâtiments sont susceptibles d'être confrontés dans leur vie. Ces sinistres peuvent être de plusieurs natures : nature des matériaux, mise en œuvre, sollicitations d'exploitation ou bien encore naturelles comme le vent ou les séismes.

La réglementation présentée concerne les bâtiments à risque normal, pour lesquels les conséquences d'un séisme sont limitées à la structure même du bâtiment et à ses occupants.

L'objectif principal de la réglementation parasismique 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, mais elle ne doit pas s'effondrer sur ses occupants. 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.

En Algérie, le premier code parasismique est paru après le séisme d'El Asnam 1980. Ce code a connu plusieurs versions. La version actuelle utilisée est nommée le règlement parasismique algérien RPA 99/v2003 « DTR BC 2-48 », et qui a été approuvé par la commission technique permanente lors de sa réunion du 4 Décembre 1999.

En Europe, l'Eurocode 8 (EC8) est le code officiel de conception et de calcul des structures pour leur résistance aux séismes. Ce code comporte les recommandations pour le dimensionnement parasismique des Bâtiments, des Ponts et autres types de structures.

En États-Unis d'Amérique et quelques autres pays, les Règlements utilisables comportent L'UBC (uniforme building code), et l'IBC (international building code), ce

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Dernier a été développé à partir du programme national de recherche du risque sismique (NEHRP), en vue d'apporter une uniformité au code national du bâtiment des États-Unis, dans cette étude nous allons nous intéresser seulement à « l'UBC97 ».

L'objectif de ce mémoire c'est l'étude comparative de l'RPA99 Version 2003 avec l'UBC97 et l'Eurocode 8 – Etude de cas d'un bâtiment de 04 étages. et faire une comparaison entre les recommandations (prescriptions) et les paramètres des trois règlements et confronter les résultats obtenus.

Pour atteindre l'objectif de ce travail, le présent mémoire est organisé en trois chapitres comme suit :

Le **premier chapitre** destiné à une Notions générales sur les Règlements parasismiques et traite l'historique des codes sismiques RPA99/v 2003, l'Eurocode 8(EC8) et l'UBC.

Dans le **second chapitre** nous avons fait une comparaison des paramètres sismiques et les spectres de réponses établis par l'RPA99/v 2003, l'Eurocode 8 et l'UBC 97.

Dans Le **troisième chapitre** nous vous fait une comparaison d'étude de cas d'un bâtiment (R+4) choisi dans ce mémoire pour une analyse sismique, Puis nous allons procéder à une étude comparative des résultats obtenus pour l'effort tranchant à la base dans les trois codes.

Enfin, notre travail est achevé par une conclusion générale.

CHAPITRE I

**NOTIONS GENERALES SUR LES
REGLEMENTS PARASISMIQUES**

1.1 Introduction

Le risque sismique reste, à nos jours, une chose difficile à cerner tant il est complexe. Il va sans dire que les événements sismiques sont destructeurs et leur prédiction est très difficile, voire impossible. Par conséquent, la prévention du risque sismique consisterait, tout d'abord, à construire parasismique. L'Algérie est un pays qui a beaucoup souffert des effets dévastateurs des séismes. Lors du dernier tremblement de terre qui a secoué les régions d'Alger et de Boumerdès (21 Mai 2003), le bilan dressé est très lourd : plus de 3000 morts, environ 10000 blessés, d'importants immeubles complètement détruits ou endommagés, plusieurs ouvrages d'art déplacés. Après le séisme de Chlef en 1980, l'Algérie est passée de l'inconscience totale des Risques encourus à la mise en place d'actions d'information et de la prise en considération de l'aléa sismique dans la construction. Pour se protéger des destructions pouvant être occasionnées par les tremblements de terre, les pays concernés se sont dotés de règles parasismiques. Ces règles proposent un calcul simple avec des méthodes statiques équivalentes caractérisant le mouvement dynamique de la structure moyennant certains coefficients de sécurité. Ces méthodes sont basées sur l'évaluation de la force sismique, qui sollicitera la construction, en fonction de certains paramètres et en particulier les paramètres dynamiques de cette construction, qui sont la période propre fondamentale, l'amortissement et les formes modale [1].

Les règles parasismiques visent à assurer une protection acceptable des vies humaines et des constructions vis-à-vis des effets des actions sismiques par une conception et un dimensionnement appropriés, et les dégâts causés par les tremblements de terre récents ont été de bonnes leçons et ont réveillé les consciences, tel que le séisme de Chlef en 1980 et celui de Boumerdes en 2003 qui ont permis au règlement parasismique algérien d'être révisé et mis à jour, en modifiant quelques paramètres de calcul des forces sismiques [2].

Dans la conception parasismique des structures en béton armé, les règles utilisées sont basées sur les connaissances plus récentes dans le domaine de la recherche scientifique. Ces règles constituent un ensemble de normes de conception très avancé. Parmi les objectifs visés de ces normes sont d'assurer la protection des vies humaines et de limiter les dommages que peut avoir la structure durant une secousse sismique [3].

1.2 Philosophie des codes parasismiques

La construction parasismique est le moyen le plus sûr de prévention du risque sismique. Il convient de respecter les règles normales de bonne construction mais aussi des principes spécifiques dus à la nature particulières des charges sismiques. Les codes Parasismiques n'ont pas but de garantir la sécurité de chaque bâtiment considéré individuellement, mais ils recherchent un résultat global au niveau de l'ensemble des constructions d'un territoire (caractère probabiliste et statistique). Ils visent à assurer en cas de séisme, la sécurité des personnes menacées par l'effondrement des bâtiments à risque normal et à limiter les dommages économiques [4].

1.3 Philosophie de base de conception

Le niveau de sécurité requis pour une structure en zone sismique, dépend en premier lieu, du niveau de l'intensité du séisme dans la zone en question. De ce fait et compte tenu des objectifs du présent règlement, la philosophie de base pour le calcul sismique des structures est définie en fonction de l'importance du séisme contre lequel on veut se prémunir. Cette philosophie se définit comme suit :

1.3.1 Séismes à faible intensité

Pour un séisme à faible intensité, le calcul doit permettre de conférer à la structure une rigidité suffisante afin de limiter les déformations et éviter les dommages dans les éléments aussi bien structuraux que non structuraux.

1.3.2 Séismes modérés

Pour un séisme à intensité moyenne, la structure doit avoir non seulement une rigidité capable de limiter les déformations, mais aussi une résistance suffisante pour demeurer dans le domaine élastique sans subir de dommages importants.

1.3.3 Séismes violents

Pour un séisme violent, le calcul doit permettre de conférer à la structure non seulement une rigidité et une résistance suffisantes, mais également une ductilité importante pour absorber l'énergie sismique et résister sans s'effondrer. En outre les constructions ayant un rôle vital pour le public, devraient être à même de rester fonctionnelles pendant et après le séisme [5].

1.4 La réglementation parasismique dans le monde

Le premier code parasismique a été publié au début des années 20 au Japon, à forte sismicité. Les immeubles conçus conformément à ce code se sont bien comportés lors du séisme de magnitude 8,2 qui s'est produit dans la région du Kanto en 1923. Aux Etats Unis d'Amérique, la première édition de l'Uniform Building Code (UBC) date de 1927. Il était mis à jour quasiment tous les 3 ans jusqu'en 1997. En 2000, il devient l'International Building Code (IBC). En Californie, un autre pays exposé à des séismes majeurs, le premier code parasismique spécifique a vu le jour en 1933.

En France le séisme d'Orléans ville (Algérie) de 1954 a entraîné la rédaction des recommandations « Antisismiques AS 55 », et après le séisme d'Agadir (Maroc) en 1960, ont été élaborées les règles parasismiques PS 62/64, et en 1969, ces règles ont été transformées en Document Technique Unifié (DTU) PS 69 (norme P 06-003). Les enseignements du séisme d'El Asnam (Algérie) en 1980 ont conduit à compléter les règles PS 69 qui sont devenues les règles PS 69 / ADDENDA 82. L'évolution rapide des connaissances en matière de génie parasismique bénéficiant des observations de récents séismes (Mexico 1985, Spitak en Arménie 1988, Loma-Priéta en Californie 1989) fait apparaître des lacunes dans les règles PS 69/82. et l'élaboration des recommandations AFPS 90 qui ont été en grande partie reproduites dans la rédaction des règles PS 92. Les évolutions techniques en matière de construction parasismique et la volonté d'harmoniser les normes au niveau européen ont conduit à l'adoption d'une nouvelle réglementation parasismique basée sur les règles Eurocode8 (EC 8).

1.5 Présentation des codes parasismique

1.5.1 Règles parasismique algérien (RPA 99 Version 2003)

La première application de loi nationale Algérienne sur la conception de la résistance des bâtiments aux tremblements de terre date de 1983, et ce à la suite du tremblement de terre d'El Asnam 1980 avec une magnitude de 7,3 sur l'échelle de Richter. Avant cette date, en Algérie le code du bâtiment français a été appliqué, et qui ne prévoyait pas une conception parasismique des bâtiments face aux tremblements de terre. En 1980 il a été adopté une loi et qui a par la suite été révisé en 1988, 1999 et 2003 suite du tremblement de terre dévastateur de Boumerdes [6].

1.5.1.1. Evolution de règles parasismique algérien (RPA)

- 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 + compléments
- 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)
 - 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 [6].

1.5.1.2 Objectifs de RPA 99 Version 2003

Les présentes règles visent à assurer une protection acceptable des vies humaines et des constructions vis à vis des effets des actions sismiques par une conception et un dimensionnement appropriés.

Pour des ouvrages courants, les objectifs ainsi visés consistent. à doter la structure :

⇒ 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 [7].

1.5.1.3 Domaine D'application

Les présentes règles sont applicables à toutes les constructions courantes. Par contre, elles ne sont pas directement applicables aux constructions telles que :

⇒ constructions et installations pour lesquelles les conséquences d'un dommage Même léger peuvent être d'une exceptionnelle gravité : centrales nucléaires, installations GNL, installations de fabrication et de stockage des produits inflammables, explosifs, toxiques, ou polluants. Ouvrages d'art (barrages, ouvrages maritimes, ponts, tunnels,..) Réseaux et ouvrages enterrés.

Pour ces types de constructions, il y a lieu de se référer à des règles ou recommandations spécifiques.

Par ailleurs les dispositions du présent règlement ne s'appliquent pas en zone de sismicité négligeable de la classification des zones sismiques [7].

1.5.1.4 Conditions D'application

Les constructions auxquelles s'appliquent les présentes règles doivent satisfaire Concomitamment aux règles de conception, de calcul et d'exécution applicables. Par ailleurs , au cas où les sollicitations issues d'un calcul aux effets du vent sont Plus défavorables, ce sont ces dernières qu'il y a lieu de prendre en considération pour la vérification de la résistance et de la stabilité de l'ouvrage , mais, en même temps , les dispositions constructives des règles RPA doivent être respectées [7].

1.5.2 Eurocode 8

En Europe, l'Eurocode 8 (EC8) est le code officiel de conception et de calcul des structures pour leur résistance aux séismes. Ce code comporte les recommandations pour le dimensionnement parasismique des Bâtiments, des Ponts et autres types de structures [8].

1.5.2.1 Les objectifs de l'Eurocode8

- Les « Eurocodes structuraux » constituent un ensemble de normes concernant la conception structurale et géotechnique des bâtiments et des ouvrages de génie civil.
- Ils ne traitent de l'exécution, et du contrôle que dans la mesure où il est nécessaire d'indiquer la qualité des produits de construction et le niveau de qualité de la mise en œuvre, nécessaires pour assurer la compatibilité avec les 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.

1.5.2.2 Contexte du programme Eurocodes

La Commission des Communautés Européennes (CCE) a entrepris d'établir un ensemble de règles techniques harmonisées concernant la conception des bâtiments et des ouvrages de génie civil, afin de proposer une solution de rechange aux différentes règles en vigueur dans les États membres et, finalement, de les remplacer. Ces règles techniques sont habituellement connues sous le nom de «Eurocodes structuraux».

- En 1990, après consultation des différents États membres, la CCE a chargé le CEN d'assurer le développement, la publication et la mise à jour des Eurocodes et le secrétariat De l'AELE a accepté de soutenir le CEN dans son travail.
- Le comité Comité Technique CEN / TC 250 est responsable de l'ensemble des Eurocodes structuraux.

1.5.2.3 Programme des Eurocodes

- Les travaux concernant les Eurocodes structuraux suivants sont en cours, chacun étant en général constitué d'un certain nombre de Parties :

ENV 1991 Eurocode 1 : Bases de calcul et actions sur les structures.

ENV 1992 Eurocode 2 : Calcul des structures en béton.

ENV 1993 Eurocode 3 : Calcul des structures en acier.

ENV 1994 Eurocode 4 : Calcul des structures mixtes acier-béton.

ENV 1995 Eurocode 5 : Calcul des structures en bois.

ENV 1996 Eurocode 6 : Calcul des structures en maçonnerie.

ENV 1997 Eurocode 7 : Calcul géotechnique.

ENV 1998 Eurocode 8 : Conception et dimensionnement des structures pour leur résistance aux séismes.

ENV 1999 Eurocode 9 : Calcul des structures en alliage d'aluminium.

- Des sous - comités distincts, chargés des divers Eurocodes énumérés ci-dessus, ont été institués par le CEN/TC 250.

- la présente partie d l'ENV 1998 a été publiée sous le titre de prénorme européenne pour une durée de vie initiale de trois ans.

- la présente prénorme européenne est destinée à une application expérimentale et à un recueil d'observations.

- dans deux ans environ, les membres du CEN seront invités à formaliser leurs observations en vue de les prendre en compte pour déterminer les actions futures à entreprendre.

- Entre temps, il convient d'envoyer les réactions et les observations concernant cette prénorme européenne au secrétariat du CEN/TC 250. Ou à votre organisme national de normalisation.

1.5.2.4 Documents d'Application Nationale (DAN)

- Étant donné les responsabilités des autorités des États Membres en matière de sécurité, de santé, et d'autres aspects couverts par les exigences essentielles de la Directive des Produits de Construction (DPC), des valeurs indicatives ont été attribuées à certains éléments de sécurité, identifiées par le sigle. Il incombe aux autorités de chaque État Membre d'attribuer des valeurs définitives à ces des valeurs définitives à ces éléments de sécurité.

- Certaines des normes d'accompagnement harmonisées peuvent ne pas être disponibles lors de publication de cette prénorme. C'est pourquoi il est prévu que le Document d'Application Nationale (DAN), donnant les valeurs définitives des éléments de sécurité, faisant référence aux normes d'accompagnement compatibles et précisant les directives nationales d'application de cette prénorme européenne, soit publié par chaque pays membre ou par son organisme national de normalisation .

- Il est prévu que cette prénorme européenne soit utilisée conjointement avec le DAN valable dans le pays où l'ouvrage de bâtiment ou de génie civil est situé. Problèmes spécifiques à cette prénorme européenne.

- La définition de l'action sismique est un des points fondamentaux de cette prénorme. Étant données les différences importantes en matière d'aléa sismique et de caractéristiques des sources sismogènes existant entre les États membres, l'action sismique est définie par un nombre suffisamment important de paramètres dont les valeurs numériques sont encadrées ; ainsi les autorités de chaque pays membre peuvent adapter l'action sismique à leur situation. Particulière. Néanmoins, l'utilisation d'un modèle de base commun pour représenter l'action sismique constitue un pas important franchi par cette prénorme en vue de l'harmonisation des Codes [9].

1.5.3 Code américaine : Uniform Building Code (UBC97)

L'UBC a été publiée en 1927 par le Conseil international des officiels de la construction, qui était basée à Whittier, Californie. Il était destiné à promouvoir la sécurité publique et a fourni des exigences normalisées pour la construction. Sécuritaire qui ne varient de ville en ville comme cela avait été le cas auparavant.

1.5.3.1 Histoire d'Uniform Building Code (UBC)

ICBO a continué de publier les versions mises à jour du code env. 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 (code de construction uniforme).

Comme déjà mentionné dans le début que les normes jouent un rôle très important dans la mesure du niveau de précision et d'optimisme dans la qualité et le degré de la performance est à maintenir et renforcée. 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 observé dans le génie civil que chaque projet a différents ensembles de caractéristiques malgré le fait que, même si les matériaux et les exigences sont considérées comme identiques.

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 [6].

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 au 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.

1.6 Conclusion

Ce chapitre à été destine a une revue les règlements parasismiques pour identifier les motifs qui ont conduit à l'adoption de normes parasismiques en Algérie (RPA 99 Version 2003), en Europe Européen code (Eurocode 8) et en Amérique le Code du bâtiment uniforme USA (UBC 97), et les efforts déployés pour la délivrance de ces règles du le séisme historique.

CHAPITRE II
COMPARAISON DES REGLES PARASISMIQUES
RPA99/V2003 AVEC L'EUROCODE 8 (EC8) ET UBC 97

2.1 Introduction

La nécessité d'une recherche sur la relation entre l'action d'un séisme et la structure d'un bâtiment, ou en autre terme la réponse du bâtiment face à un tremblement de terre donné est justifiée par les dommages constatés lors des grands séismes historiques. L'analyse de la variabilité géographique des intensités et l'observation des dommages provoqués lors de ces grands séismes historiques ont constitué la base de la prise de conscience de l'influence des sols et ont amené à leurs attributions des effets sur la distribution des dommages. Différents types de sol soumis à la même sollicitation sismique ont des réponses différentes, ce qui explique la variabilité des dommages des constructions et des intensités. Les effets de site ont des conséquences sur l'aggravation du risque sismique, comme c'était le cas lors du séisme de Mexico (Mexique) en 1985 ou lors du séisme de Kōbe 1995. [6] [10].

Dans le présent chapitre nous présentons une étude comparative, pour une analyse sismique des bâtiments par l'utilisation d'une part, du code Algérien RPA99/ v2003, et d'autre part le code Européen l'EC 8 et UBC 1997. Des différences fondamentales existent entre les trois codes. Ces principales différences sont définies ci-dessous :

2.2 Comparaison de la classification des sites

L'effet de site est le terme utilisé pour décrire la modification de la secousse sismique induite par la géologie locale. Ces effets se caractérisent généralement par une augmentation de l'amplitude des enregistrements de la secousse sismique et de sa durée. Les effets de site sont dus aux effets topographiques, effet de piégeage d'ondes entre une roche rigide et sols mous, et les effets lithologiques dans de fortes épaisseurs de sols mous (voir Figure 2-1).

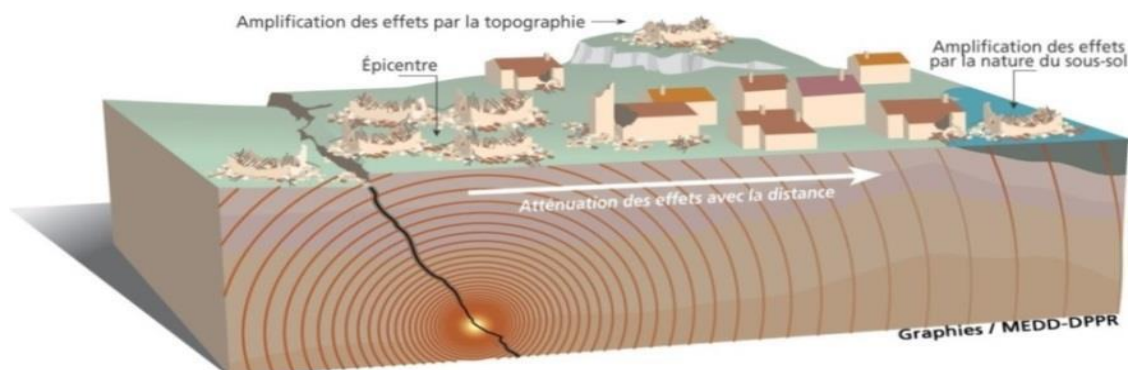


Figure 2.1 Les différents effets de site.

La violence avec laquelle un tremblement de terre affecte un ouvrage ne dépend pas seulement de la sécurité parasismique de sa construction, mais également des propriétés du sol. Le sol joue un rôle important dans la construction parasismique. On remarque que lors d'un séisme, les bâtiments qui sont fondés sur rocher sont moins vulnérables que ceux qui sont fondés sur sol meuble (couche sédimentaire). En effet, l'effet d'une onde sismique peut être amplifié sous l'influence du site. Par exemple, le sol meuble se comporte comme un oscillateur qui amplifie l'excitation entre le sol et la base du bâtiment. La Figure 2-2 présente un exemple sur la variation des amplitudes sismiques due à l'effet de site.

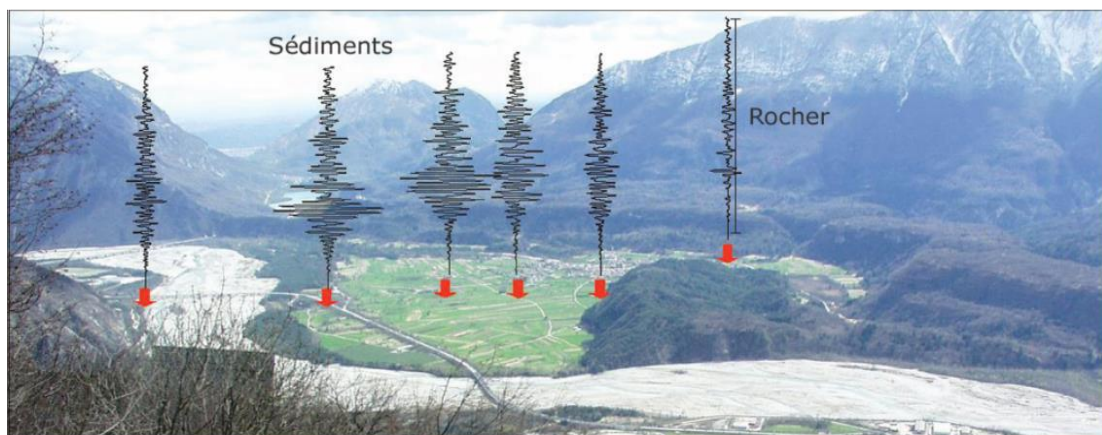


Figure 2.2 Effet de site dans la vallée de Tagliamento (Italie): l'amplitude et la durée des sismogrammes sont plus élevés dans les sédiments que sur le rocher.

Les trois codes prennent en compte les effets du site en introduisant différentes catégories de sites. L'EC 8 définit cinq principaux types de sol et deux types spéciaux avec un facteur de sol "S" pour chaque type, tandis que RPA99/v2003 considère quatre types S1, S2, S3 et S4 sans facteur de sol, ainsi que, les vitesses des ondes de cisaillement, UBC 97 définit six types de sol SA, SB, SC, SD, SE et SF. [11] [12].

Pour EC8 sont prises pour une profondeur de 30 m, tandis que pour RPA99/v2003 la profondeur est de 10 à 20 premiers mètres.

2.2.1 Classification des sites selon RPA99/ v2003

Les sites sont classés en quatre (04) catégories en fonction des propriétés mécaniques des sols qui les constituent.

Tableau 2.1 Classification des sites RPA99/v2003. [7]

| cat. | Description | qc (MPa) | N | Pl (MPa) | Ep (MPa) | qu (MPa) | Vs (m/s) |
|-----------|--|-------------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| S1 | Rocheux (a) | - | - | > 5 | >100- | >10 | ≥800 |
| S2 | Ferme | >15 | > 50 | > 2 | >20 | > 0.4 | ≥400 - <800 |
| S3 | Meuble | 1.5~15 | 10~50 | 1 ~ 2 | 5 ~ 20 | 01~0.4 | ≥200 - <400 |
| S4 | Très Meuble ou Présence de 3m au moins d'argile molle | < 1.5 | < 10 | <1 | < 5 | < 0.1 | ≥ 100 <200 |

Avec :

qc : Résistance de pointe du pénétromètre statique.

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

Pl : Pression limite du pressiomètre.

Ep : Module pression métrique du pressiomètre.

qu : Résistance en compression simple.

Vs : Vitesse des ondes de cisaillement.

A chaque type de site est associé un spectre de réponse en accélération en considérant les périodes caractéristiques T1 et T2 (voir tableau 2.12),

D'après RPA99/v2003, ce paramètre est considéré dans le calcul de la force sismique à la base par le coefficient d'amplification dynamique D (Figure 2.3) [7].

Ce coefficient est exprimé par la relation suivante :

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

Avec :

T₂ : périodes caractéristiques associées à la catégorie du site , donnée par le tableau (2.12).

T : période fondamentale de la structure, peut être estimée à partir de formules empiriques ou calculée par des méthodes analytiques ou numériques.

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

$$T = C_T h_N^{3/4} \quad (2.1)$$

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

C_T : Coefficient, fonction du système de contreventement, du type de remplissage et donné par le tableau suivant :

Tableau 2.2 Valeurs du coefficient C_T [7]

| Cas n° | Système de contreventement | C_T |
|--------|---|-------|
| 1 | Portiques auto stables en béton armé sans remplissage en maçonnerie | 0.075 |
| 2 | Portiques auto stables en acier sans remplissage en maçonnerie | 0.085 |
| 3 | Portiques auto stables en béton armé ou en acier avec remplissage en maçonnerie | 0.050 |
| 4 | Contreventement assuré partiellement ou totalement par des voiles en béton armé, des palées triangulées et des murs en maçonnerie | 0.050 |

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

$$T = 0.09 h_N \sqrt{D} \quad (2.2)$$

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

η : Facteur de correction d'amortissement (quant l'amortissement est différent de 5%)

$$\eta = \sqrt{7/(2 + \xi)} \geq 0.7 \quad (2.3)$$

ξ (%) : est le pourcentage d'amortissement critique fonction du matériau constitutif, du type de structure et de l'importance des remplissages est donné par le tableau (2.3).

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

Tableau 2.3 Valeurs de ξ (%) [7]

| Remplissage | Portiques | | Voiles ou murs |
|-------------|------------|-------|-----------------------|
| | Béton armé | Acier | Béton armé/maçonnerie |
| Léger | 6 | 4 | 10 |
| Dense | 7 | 5 | |

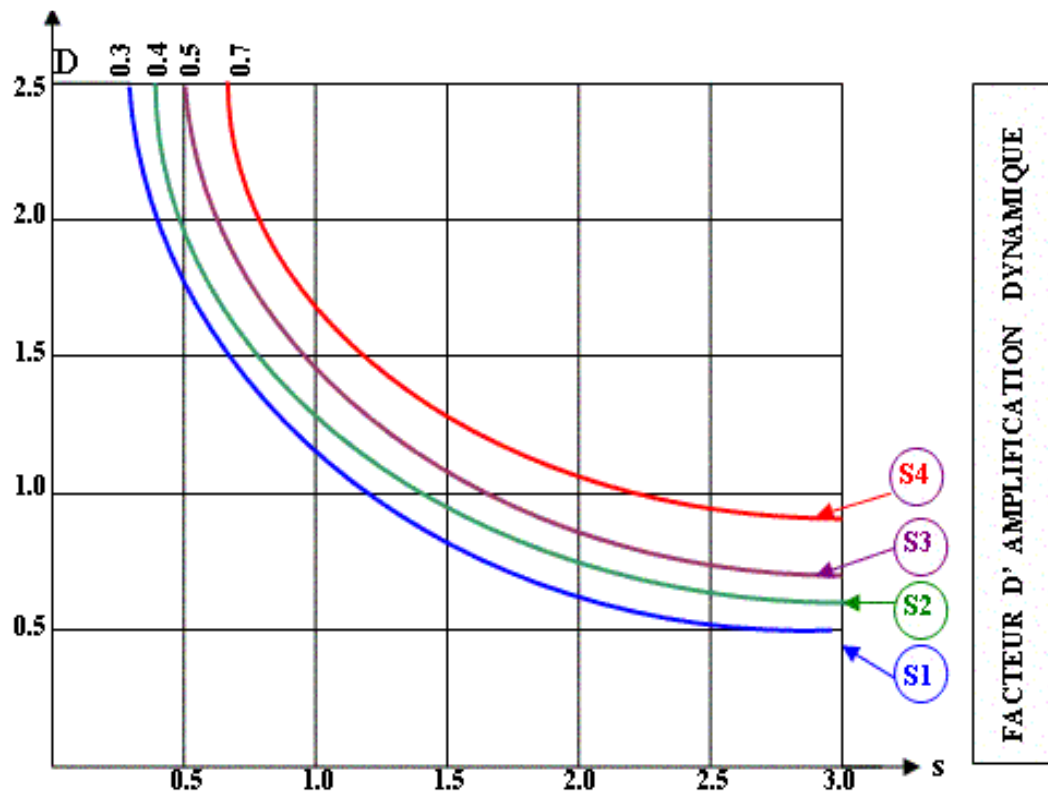


Figure 2.3 Coefficient d'amplification dynamique RPA 99 /v 2003 [7]

2.2.2 Classification des sites selon l'EC8

L'EC8 distingue Cinq (5) catégories de site 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 (2.4) de l'EC8 ci-dessous désigne les 7 classes de sol.

Tableau 2.4 la classification des sites selon l'EC8 [3] [13] [14] [15]

| Classe de sol | Description | Paramètres | | |
|---------------|---|------------------------------|-------------------------|---------------|
| | | $V_{s,30}$ (m/s) | $NSPT$ (coups/30 cm) | CU (kPa) |
| A | Site rocheux | >800 | - | - |
| B | Site ferme | 360 – 800 | > 50 > | > 250 |
| C | Site profond de sable moyennement dense et gravier ou d'argile moyennement raide | 180 – 360 | 15 – 50 | 70 – 250 |
| D | Site de sol sans cohésion de densité faible à moyenne | < 180 | < 15 | < 70 |
| E | Site de sol avec une couche superficielle d'alluvions repose sur un matériau plus raide | | | |
| S1 | Site composé ou contenant une couche argileuse de plus de 10 m d'épaisseur | < 100 (valeur indicative) | — | 10 – 20 |
| S2 | Site de sol liquéfiable d'argiles sensibles ou autre sol non compris précédemment | | | |

2.2.3 Classification des sites selon l'UBC97

L'UBC 97 distingue six types de sols SA, SB, SC, SD, SE et SF, le tableau (2.5) ci-dessous donne ces différents types de sols ainsi que les vitesses de propagation des ondes de cisaillement pour les 30 mètres supérieurs.

Tableau 2.5 Classification des sites UBC 1997 [11] [12] [16]

| Type de profil de sol | Description | Valeur moyenne de V_s dans les 30m supérieurs en m/s |
|-----------------------|--|--|
| SA | Roche dure | ≥ 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 | |

Tableau 2.6 Comparaison de la classification des sites Entre RPA99/v2003, l'EC8 et UBC 97

| RPA 99/ v 2003 | | Eurocode 8 | | UBC 97 | |
|----------------|-----------------|------------|------------------------------|-----------|-----------------|
| Catégorie | Vs, 30 (m/s) | Catégorie | Vs, 30 (m/s) | Catégorie | Vs, 30 (m/s) |
| - | - | - | - | SA | ≥ 1500 |
| S1 | ≥ 800 | A | > 800 | SB | 760 -1500 |
| S2 | ≥400 - <800 | B | 360 – 800 | SC | 360-760 |
| - | - | C | 180 – 360 | SD | 180-360 |
| S3 | ≥200 - <400 | D | < 180 | SE | < 180 |
| - | - | E | - | SF | - |
| S4 | ≥ 100 <200 | S1 | < 100 (valeur indicative) | - | - |
| - | - | S2 | - | - | - |

2.3 Comparaison des zones sismiques

Les cartes sismiques sont des documents portés à connaissance, qui visent à rendre Cartographiquement visible le risque. Elles se basent sur les données géologiques et géotechniques disponibles, et sur l'analyse des évènements récents et de l'histoire sismique quand elle existe.

La Figure 2.4 présente le zonage sismique de l'Algérie utilisé dans RPA 99/ v 2003 et comme exemple on présente le zonage de la France comme pays Européen. et La Figure 2.5 Zonage dans les États-Unis d'Amérique (UBC 97).

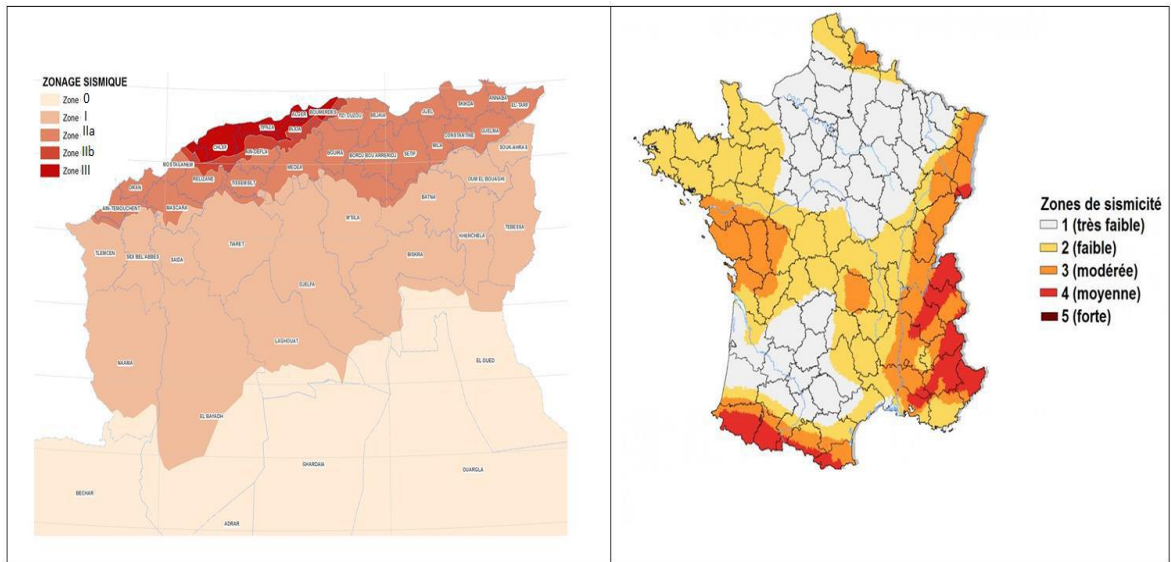


Figure 2.4 Les cartes des zones sismique de l'Algérie et de la France

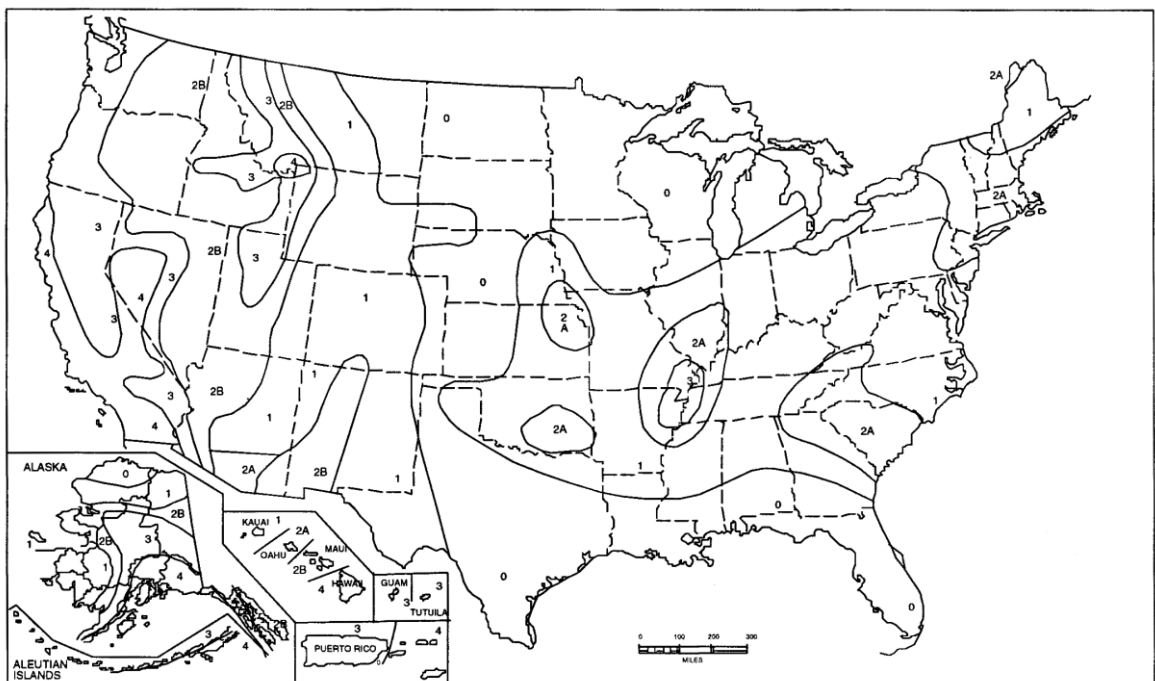


Figure 2.5 Carte des zones sismiques États-Unis d'Amérique (UBC 97)

On remarque que les recommandations de l'eurocode8 classent les sols sur la base de la valeur moyenne de la vitesse de propagation des ondes cisaillement, en Sept (07) catégories. Par contre, RPA99/v2003 adopte quatre catégories seulement et le code américain (UBC97) distingue six types de sols.

2.3.1 Classification des zones sismiques selon RPA99/v2003

D'après l'amélioration du RPA Le territoire national est divisé en 5 zones de sismicité croissante, définies sur la carte des zones de sismicité (pages 12 et 13 du RPA99/v2003) et le tableau associé qui précise cette répartition par wilaya et par communes (annexe 1 page 85 du RPA99/v2003).

Tableau 2. 7 Classification des zones sismiques RPA99/V2003 [3] [7] [17]

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

2.3.2 Classification des zones sismiques selon l'EC8

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 2.8 Classification des zones sismiques sites

Selon l'EC8 [3] [14] [18] [19] [20]

| EUROCODE 8 | |
|------------|-----------------------|
| Zone 1 | Sismicité Très faible |
| Zone 2 | Sismicité Faible |
| Zone 3 | Sismicité Modérée |
| Zone 4 | Sismicité Moyenne |
| Zone 5 | Sismicité Forte |

2.3.3 Classification des zones sismiques selon L'UBC 97

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, 3 et 4.

Tableau 2.9 la classification des zones sismiques UBC 97 [6] [11] [12]

| UBC97 | | 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 |

Tableau 2.10 Comparaison des zones sismiques pour L' RPA99/v2003 et EC8 et UBC 97

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

D'après les résultats du tableau (2.10) nous pouvons conclure que: Les zones sismiques Selon L'UBC 97 et l'eurocode 8 et RPA sont classés en cinq zones. Ce paramètre est intégré dans le calcul des spectres dans L'Eurocode8. Cependant, dans RPA99/v2003, ce paramètre est considéré avec le paramètre de la classification des ouvrages dans le calcul de la force sismique à la base.

2.4 Comparaison des spectres de réponse du L'RPA99/v2003 et l'EC8 et UBC 97

2.4.1 Spectre de réponse

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. [6] [16].

❖ Specter de reponse

Un oscillateur est caractérisé par sa pulsation propre ω_0 , son amortissement réduit ζ et sa masse m . Il est soumis à une force variable $p(t) = -m \gamma_s(t)$ avec $\gamma_s(t)$ l'accélération imposée à l'appui.

Le déplacement obtenu $u(t)$ est donné par l'intégrale de Duhamel [21] :

$$u(t) = \frac{-1}{\omega} \int_0^1 \gamma_s(\tau) e^{-\zeta \omega_0 (1-\tau)} \sin \omega(1-\tau) d\tau \quad (2.4)$$

Avec :

$$\omega = \omega_0 \sqrt{1 - \zeta^2} \quad (2.5)$$

ω : Pulsation du système amorti.

Le déplacement U_{max} ne dépend que de ω_0 et de ζ . Pour un amortissement donné, on fait varier la pulsation propre et on trace la courbe ($U_{max} ; (\omega_0)$), spectre de déplacement élastique de l'oscillateur.

Les accélérographes mesurés au cours des séismes ne permettent pas de construire des spectres directement exploitables. En effet, les mesures effectuées pour un séisme ne seront jamais les mêmes que pour un autre séisme. Les spectres construits à partir d'accélérographes distincts ne peuvent être que différents, il faut donc fixer des critères afin de définir des spectres normalisés. Ceux-ci sont obtenus en considérant un assez grand nombre de spectres naturels pour des mouvements dont les caractéristiques sont

proches de celles de la zone considérée. Les spectres naturels sont eux normalisés sur la base de l'accélération maximale, ou de l'accélération efficace.

Pour expliquer de manière conceptuelle la procédure de construction d'un spectre de réponse on considère des structures avec un degré de liberté (ou oscillateurs simples) avec différentes périodes de vibration T , tous avec le même facteur d'amortissement. Si on soumet tous ces oscillateurs à l'action d'un même séisme (en utilisant un registre d'accélérations, $\ddot{u}_g(t)$), chacun d'eux montrera une réponse différente, laquelle peut être représentée, par exemple, au travers de l'histoire de déplacements $u(t)$. Une fois la réponse des oscillateurs calculée il est possible de déterminer le maximum (en valeur absolue, puisque le signe n'a pas d'importance) de chacun d'eux et les mettre dans un graphique en fonction de la période de vibration, pour obtenir un spectre de réponse. En effet, chaque point du spectre représente la réponse maximale de chaque oscillateur avec période T (Figure 2.6). Chaque séisme a un spectre qui lui est propre. Mais suivant le type de sismicité, il est possible d'établir des spectres enveloppes qui décrivent le séisme qu'il est possible d'envisager.

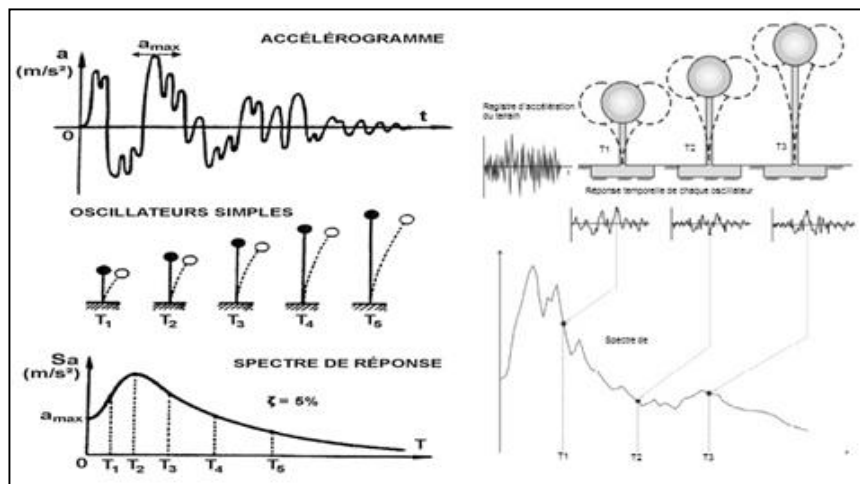


Figure 2.6 Graphique indicatif de la méthode de détermination du spectre de réponse

2.4.1.1 Spectre de Réponse élastique

La réponse élastique d'un système à un seul degré de liberté (1DDL) est déterminée après avoir digitalisé l'accélérogramme (naturel ou artificiel) d'un séisme donné en assumant des valeurs numériques pour la période et l'amortissement. Le mouvement dynamique est appliqué à la base du modèle (comme une console représentant la structure encastrée dans le sol). L'histoire complète de la réponse de ce système élastique peut être calculée. Les valeurs maximales des accélérations, vitesses et déplacements sont alors déterminées. En répétant cette procédure pour un grand nombre de systèmes

(1DDL) pour une valeur spécifique de l'amortissement, le graphe du spectre de réponse est obtenu. Pour cause d'effet de résonance, le spectre a la tendance à amplifier l'action sismique pour une certaine gamme de périodes. [22]

2.4.1.2 Spectre de Réponse anélastique

Le spectre de réponse élastique est obtenu à partir de l'amplification de la réponse maximale du mouvement du sol exprimée soit en accélération, vitesse et déplacement sous l'effet de la résonance. Le spectre inélastique est obtenu en réduisant le spectre élastique de calcul afin de tenir compte de la capacité de dissipation d'énergie de la structure.

Ce spectre inélastique peut être obtenu de plusieurs façons :

- En réduisant le spectre de réponse élastique par un coefficient empirique indépendant de la période de vibration de la structure connu aussi comme facteur de comportement R afin de considérer la déformation inélastique de la structure (figure 2.7.a).
- En réduisant le spectre de réponse élastique par un coefficient variable en fonction de la période de vibration de la structure connu comme le facteur de comportement (R ou q) afin de considérer la déformation inélastique de la structure (figure 2.7.b).
- Le spectre inélastique peut être déterminé directement en utilisant un système élasto-plastique à un seul degré de liberté (1DDL) sujet à un mouvement du sol Le spectre inélastique dans ce cas prend en considération les conditions locales du site, la période de vibrationetc. [22]

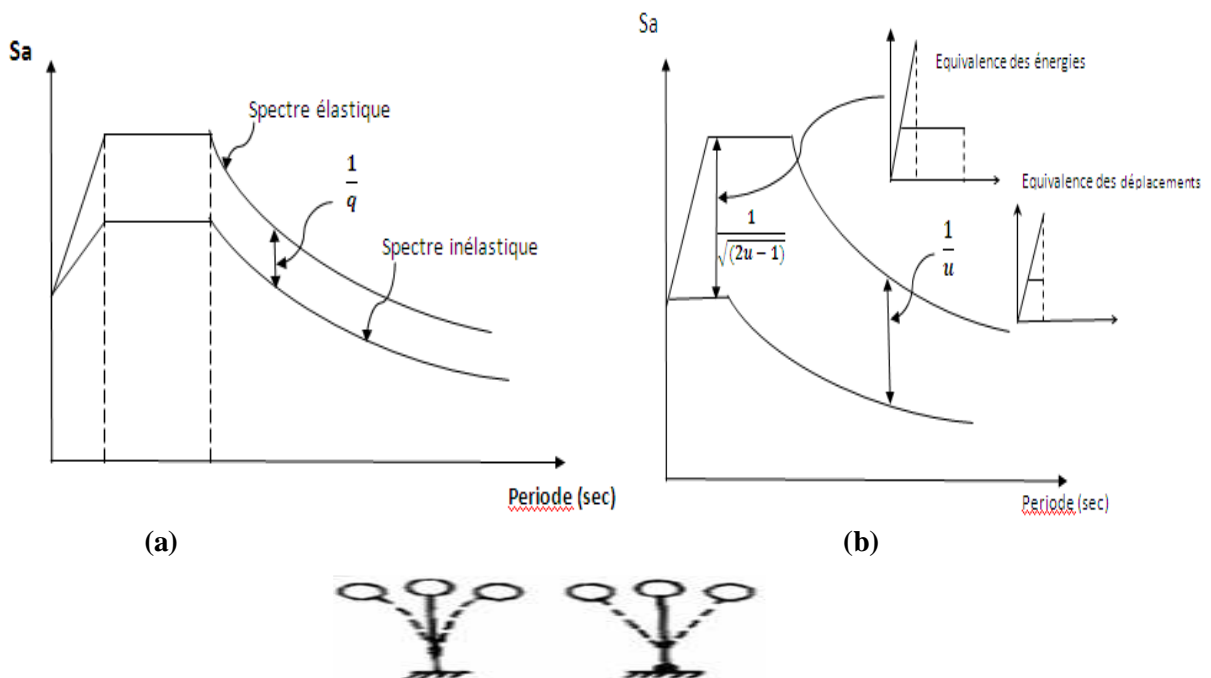


Figure 2-7 Spectres inélastiques en utilisant: (a) R constant, (b) R variable, (Méthode de NEWMARK et HALL) [23].

2.4.1.3. Spectre de Réponse de calcul du RPA 99 Version 2003

Les règlements parasismiques algériens (Art 4.3.3) définissent des spectres de réponse de calcul qui dépendent de la classe de risque des ouvrages, de la zone sismique et du site..... etc. Selon les règles parasismiques algériennes RPA (99/v2003), le spectre de réponse de calcul en fonction de la période T, se calcul à l'aide des relations suivantes :

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

Avec :

S_a : Accélération spectrale associée au mode de vibration de période T du bâtiment

A : Coefficient d'accélération de zone, donné par le tableau (tableau 2 .11).

R : Coefficient de comportement de la structure.

Q : Facteur de qualité, donné par la formule.

η : Facteur de correction d'amortissement (quant l'amortissement est différent de (5%), $\eta = \sqrt{7/(2 + \xi)} \geq 0,7$).

ξ : Pourcentage d'amortissement critique est donné par le tableau (2.3).

T₁, T₂ : périodes caractéristiques associées à la catégorie du site, donnée par le tableau (2.12).

Tableau 2.11 Coefficient d'accélération de zone A. [7]

| 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 | 0.30 |
| 2 | 0.10 | 0.15 | 0.20 | 0.25 |
| 3 | 0.07 | 0.10 | 0.14 | 0.18 |

Tableau 2.12. Type de site en fonction des périodes de transition [7]

| 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 |

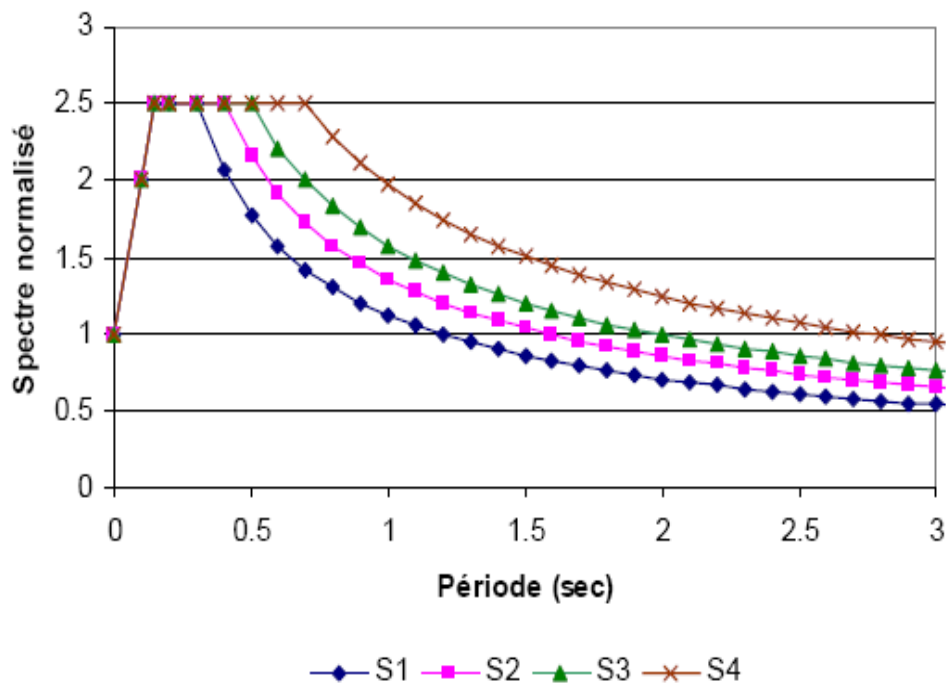


Fig.3.8 – Spectres de réponse élastiques normalisés pour les 4 types de sites

2.4.1.4. Spectre de Réponse de l'Eurocode 8

Dans le domaine d'application de L'eurocode 8, le mouvement dû au séisme en un point donné de la surface du sol est représenté par un spectre de réponse élastique en accélération, dénommé par la suite «spectre de réponse élastique».

2.4.1.4.1. 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 :

$$\begin{aligned}
 S_e(T) &= a_g \cdot S \left[1 + \frac{T}{T_B} (\eta \cdot 2,5 - 1) \right] & 0 \leq T \leq T_B \\
 S_e(T) &= a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 & T_B \leq T \leq T_C \\
 S_e(T) &= a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left[\frac{T_C}{T} \right] & T_C \leq T \leq T_D \\
 S_e(T) &= a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right] & T_D \leq T \leq 4s
 \end{aligned}$$

Avec :

$S_e(T)$: Spectre de réponse élastique ;

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

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

γI : Coefficient d'importance. [13] [14]

T_B : Limite inférieure des périodes correspondant au palier d'accélération spectrale constante

T_C : Limite supérieure des périodes correspondant au palier d'accélération spectrale constante ;

T_D : Valeur définissant le début de la branche à déplacement spectral constant ;

S : Paramètre du sol.

Les valeurs des T_B , T_C , T_D et S sont données par les Tableaux : (2-13) et (2-14).

η : Coefficient de correction de l'amortissement avec la valeur de référence. $\eta = 1$

Pour 5 % d'amortissement.

La valeur du coefficient de correction d'amortissement visqueux η peut être déterminée par l'expression :

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55 \quad (2.6).$$

ξ : est le coefficient d'amortissement visqueux, exprimé en pourcentage. Il est donné par (EC8 partie 2-Art4.1.3 page 28) : [13] [26]

L'amortissement dans un matériau est conventionnellement introduit par un modèle visqueux. La valeur du taux d'amortissement critique ξ (en %) est :

2% : pour du béton précontraint et de la charpente métallique soudée,

3% : pour du béton non Armé,

4% : Pour la charpente métallique boulonnée,

5% : pour du béton Armé.

La Figure 2.9 montre la forme du spectre de réponse élastique de l'EC8.

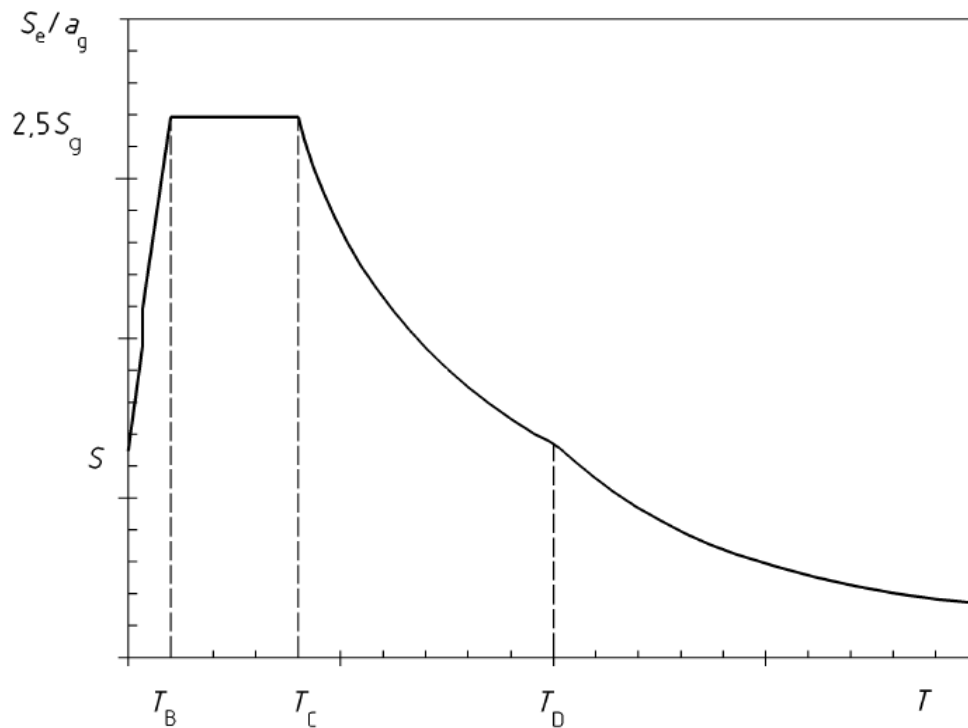


Figure 2.9 Forme du spectre de réponse élastique donné par l'Eurocode

Tableau 2.13 Valeurs des paramètres décrivant les spectres de réponse élastique recommandés de type 1

| Classe de sol | S | T_B (s) | T_C (s) | T_D (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 2.14 Valeurs des paramètres décrivant les spectres
de réponse élastique recommandés de type 2**

| Classe de sol | S | T _B (s) | T _C (s) | T _D (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 |

2.4.1.4.2. 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 :

$$\begin{aligned}
 S_{ve}(T) &= a_{vg} \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 3,0 - 1) \right] & 0 \leq T \leq T_B \\
 S_{ve}(T) &= a_{vg} \cdot \eta \cdot 3,0 & T_B \leq T \leq T_C \\
 S_{ve}(T) &= a_{vg} \cdot \eta \cdot 3,0 \left[\frac{T_C}{T} \right] & T_C \leq T \leq T_D \\
 S_{ve}(T) &= a_{vg} \cdot \eta \cdot 3,0 \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right] & T_D \leq T \leq 4s
 \end{aligned}$$

Avec :

Les paramètres a_{vg} , T_B , T_C , T_D définissant la forme des spectres verticaux de réponse élastique. Ils sont donnés par le Tableau 2.15.

**Tableau 2.15 Valeurs recommandées des paramètres
décrivant les spectres de réponse élastique verticale.**

| Spectre | a_{vg}/a_g | T _B (s) | T _C (s) | T _D (s) |
|---------------------------------------|--------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Zone sismicité 5 (type 1) | 0.90 | 0.05 | 0.15 | 1.0 |
| Zones sismicité 1 à 4 (type 2) | 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 a_{vg} est supérieure à 0,25 g. (2..5 m/s²), 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.

2.4.1.4.3. 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 :

$$S_d(T) = a_g \cdot S \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \left(\frac{2.5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad 0 \leq T \leq T_B$$

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

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

$$S_d(T) = \begin{cases} a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad T_D \leq T$$

Où :

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.

β : est le coefficient correspondant à la limite inférieure du spectre de calcul horizontal.

La valeur de β selon [13] (Art-3.2.2.5 (4)) recommandée est de 0.2.

2.4.1.5. Spectre de Réponse de l'UBC 97

L'UBC 97 considère les expressions suivantes du spectre de réponse de calcul et est représenté sur la figure 1.10. [16] [27] [28].

$$S_d(T) = \left[C_a + \frac{1,5 C_a T}{T_B} \right] \quad T \leq T_B$$

$$S_d(T) = 2.5 C_a \frac{Y_I}{R} \quad T_B \leq T \leq T_C$$

$$S_d(T) = C_v \frac{Y_I}{R} \quad T \geq T_C$$

Avec :

C_a et C_v sont les coefficients sismiques et les paramètres T_B et T_C sont définis par les formules : $T_C = \frac{C_v}{2.5 C_a}$ et $T_B = 0.2 T_C$.

Les coefficients sismiques C_a et C_v sont donnés dans les tableaux : (2.16) et (2.17).

La Figure 2.10 montre la forme du spectre de réponse de calcul de l'UBC 97

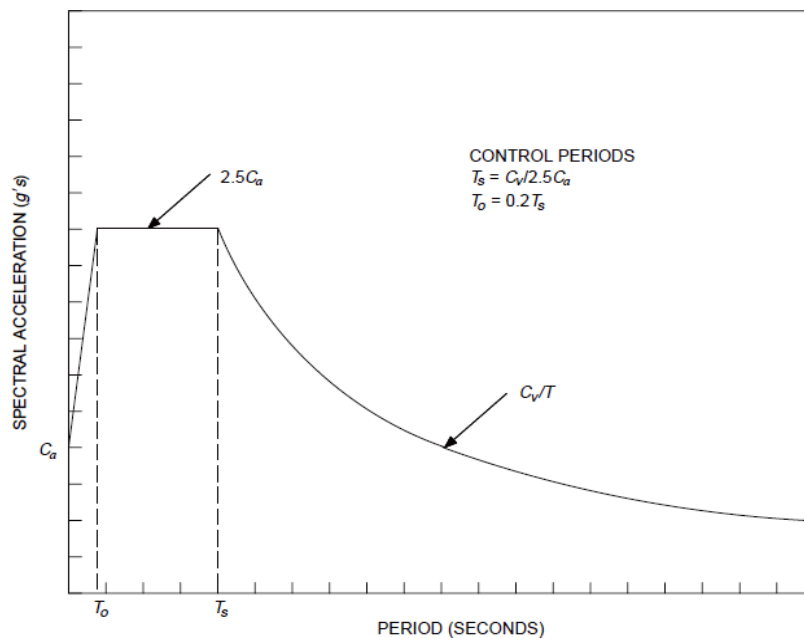


Figure 2.10 spectre de calcul de l'UBC 97

Tableau 2.16 Valeurs 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 | 0.32 N_a |
| SB | 0.08 | 0.15 | 0.20 | 0.30 | 0.40 N_a |
| SC | 0.09 | 0.18 | 0.24 | 0.33 | 0.40 N_a |
| SD | 0.12 | 0.22 | 0.28 | 0.36 | 0.44 N_a |
| SE | 0.19 | 0.30 | 0.34 | 0.36 | 0.36 N_a |

Avec :

N_a et N_v facteurs de source proche pour les courtes et longues. Périodes respectivement.

Tableau 2.17 Valeurs 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 | 0.32 N_v |
| SB | 0.08 | 0.15 | 0.20 | 0.30 | 0.40 N_v |
| SC | 0.13 | 0.25 | 0.32 | 0.45 | 0.56 N_v |
| SD | 0.18 | 0.32 | 0.40 | 0.54 | 0.64 N_v |
| SE | 0.26 | 0.50 | 0.64 | 0.84 | 0.96 N_v |

Tableau 2.18 Comparaison des spectres de calcul du RPA99/v2003 l'EC8 et UBC 97

| codes | Les spectres de calcul |
|--------------|--|
| RPA 99/v2003 | $\frac{S_a}{g} = \begin{cases} 1.25A \left(1 + \frac{T}{T_1} \left(2.5\eta \frac{Q}{R} - 1 \right) \right) & 0 \leq T \leq T_1 \\ 2.5\eta (1.25A) \left(\frac{Q}{R} \right) & T_1 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta (1.25A) \left(\frac{Q}{R} \right) \left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3.0S \\ 2.5\eta (1.25A) \left(\frac{T_2}{3} \right)^{2/3} \left(\frac{3}{T} \right)^{5/3} \left(\frac{Q}{R} \right) & T > 3.0S \end{cases}$ |
| EC8 | $S_d(T) = a_g \cdot S \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \left(\frac{2.5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad 0 \leq T \leq T_B$ $S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \quad T_B \leq T \leq T_C$ $S_d(T) = \begin{cases} a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \left[\frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad T_C \leq T \leq T_D$ $S_d(T) = \begin{cases} a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad T_D \leq T$ |
| UBC 97 | $S_d(T) = \left[C_a + \frac{1.5 C_a T}{T_B} \right] \quad T \leq T_B$ $S_d(T) = 2.5 C_a \frac{\gamma I}{R} \quad T_B \leq T \leq T_C$ $S_d(T) = C_v \frac{\gamma I}{R} \quad T \geq T_C$ |

En remarque que l'RPA99/v2003 adopte un seul spectre de réponse élastique horizontale de calcul, similaire au 3eme spectre de l'EC8 qui préconise trois spectres de réponse suivant le type de sol par contre L'UBC 97 présente deux spectres de réponse .

2.5 Estimation empirique de la période fondamentale

2.5.1 Période fondamentale selon le RPA 99/v 2003

La formule empirique qui est donnée dans le code parasismique algérien RPA 99/v 2003 Art 4.2.4 tableau (4.6 ; 4.7) dont nous avons parlé précédemment et pour le calcul de la période fondamentale de vibration est : $T = C_T h_N^{3/4}$ (l'expression 2.1).

Avec :

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

C_T : Coefficient, fonction du système de contreventement, du type de remplissage et donné par le tableau 2.2.

Dans les cas n° 3 et 4 dans le Tableau 2.2 (Valeurs du C_T), on peut également utiliser aussi la formule : $T = 0.09 h_N \sqrt{D}$ (l'expression 2.2)

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

2.5.2 Période fondamentale selon l'Eurocode 8

La période fondamentale d'un bâtiment doit être calculée pour chaque direction considérée par les méthodes suivantes : [13]

⇒ 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.

⇒ Pour les bâtiments jusqu'à 40 m de hauteur, une valeur approchée de T (en s) peut être obtenue par l'expression suivante :

$$T_1 = C_T h^{3/4} \quad (2.7)$$

Où :

$C_T = 0,085$ portiques spatiaux en acier

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

$C_T = 0,050$ 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 (2.7) précédente pour les structures avec des murs de contreventement en béton ou en maçonnerie, peut être prise égale à :

$$C_T = 0.075/\sqrt{A_C} \quad (2.8)$$

Où

$$A_C = \sum A_i \cdot \left[\left(0.2 + \left(\frac{l_{wi}}{H} \right) \right)^2 \right] \quad (2.9)$$

A_C : Est l'aire effective totale des sections des murs de contreventement au premier niveau du bâtiment en m^2 ;

A_i : est l'aire effective de la section transversale du mur de contreventement dans la direction considérée i au premier niveau du bâtiment, en m^2 .

l_{wi} : Est la longueur du mur de contreventement i au premier niveau dans la direction parallèle aux forces appliquées, en m, sous la condition que $\frac{l_{wi}}{H}$ ne dépasse pas 0.9.

2.5.3 Période fondamentale selon le code Américain UBC 97

La période du mode fondamental T mentionnée doit être déterminée comme suit :

[11] [29].

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

$$T = C_T h_N^{3/4} \quad (2.10)$$

Où :

$C_T = 0,0853$ pour les ossatures en portique en acier résistant aux moments ;

$C_T = 0,0731$ pour les ossatures en portique en béton armé résistant aux moments ;

$C_T = 0,0488$ pour toutes les autres structures.

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

$$C_T = 0.075/\sqrt{A_C} \quad (2.11)$$

La valeur de A_C en m^2 est déterminé par la formule suivante :

$$A_C = \sum A_e \cdot [0.2 + (D_e/h_n)^2] \quad (2.12)$$

Où :

A_e ; Est la section transversale du mur de contreventement dans la direction considérée au premier niveau du bâtiment, en m^2 ;

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

h_n : Est la hauteur du bâtiment (m), depuis les fondations jusqu'au dernier étage ; La valeur de (D_e/h_n) utilisées dans la formule (2.12) 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 :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{(\sum_i^n w_i \delta_i^2)}{g(\sum_i^n f_i \delta_i)}} \quad (2.13)$$

Les valeurs de f_i représentent les forces latérales. Le déplacement élastique δ_i doit être calculé en utilisant les forces latérales f_i .

Tableau 2.19 Comparaison des périodes.

| Typologies CODE | PBA | PA | PBA/RM | PA/RM | PAE | VBA/M |
|--------------------|-----------------|-------|--|-------|-------|----------------------------|
| RPA99/v2003 | $T = C_T h_n^x$ | | $T = \min(C_T h_n^{3/4}; 0.09 h_n \sqrt{D_{x,y}})$ | | | |
| | Valeur de C_T | | Valeur de C_T | | | |
| | 0.075 | 0.085 | 0.05 | | | |
| EC8 | $T = C_T h_n^x$ | | | | | |
| | Valeur de C_T | | | | | |
| | 0.075 | 0.085 | 0.075 | 0.085 | 0.075 | 0.05 $0.075/\sqrt{A_C}$ |
| UBC 97 | $T = C_T h_n^x$ | | | | | |
| | Valeur de C_T | | | | | |
| | 0.075 | 0.085 | 0.075 | 0.085 | 0.075 | 0.05 $0.075/\sqrt{A_C}$ |

Les différentes typologies des structures sont définies comme suit :

PBA : Portique en béton armé sans remplissage en maçonnerie.

PA : Portique en acier sans remplissage en maçonnerie.

PBA/RM : Portique en béton armé avec remplissage en maçonnerie

PA/RM : Portique en acier avec remplissage en maçonnerie..

PAE : Portique en acier à triangulations excentrées.

VBA/M : Voile en béton armé ou murs en maçonnerie.

D'après les différents règlements nous constatons que les formules empiriques diffèrent d'un règlement à un autre et sont généralement fonction de type de structure, La formule de calcul de la période fondamentale. $T = C_T h_n^x$. est utilisée dans les trois codes.

2.6 Classification des ouvrages selon leur importance

Les bâtiments sont classés selon leur importance croissante du point de vue de la sécurité des biens et des personnes et du point de vue leur importance économique. A chaque catégorie d'importance correspond un coefficient multiplicateur des sollicitations sismiques afin de prendre en compte l'importance du bâtiment dans sa protection.

Le RPA99 /v2003 (Art - 3.2), l'EC8 (Art - 4.2.5) et L'UBC 97 (art 1629.2- table 16k) 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).

Tableau 2.20 Classification des ouvrages selon le RPA 99/v2003. [7]

| Groupes | Bâtiments |
|---------|---|
| (1A) | Ouvrages d'importance vitale -Bâtiments abritant les centres de décisions stratégiques. - Bâtiments abritant le personnel et le matériel de secours et (ou) de défense nationale - Bâtiments des établissements publics de santé...etc. |
| (1B) | Ouvrages de grande importance - Ouvrages abritant fréquemment de grands rassemblements de personnes (mosquée, université, constructions sportives...) |
| (2) | Ouvrages courants ou d'importance moyenne - Bâtiments d'habitation collective ou à usage de bureaux dont la hauteur ne dépasse pas 48 m. - Parking de stationnement public... |
| (3) | Ouvrages de faible importance - Bâtiments industriels ou agricoles abritant des biens de faible valeur. - Bâtiments à risque limité pour les personnes - Constructions provisoires - |

Tableau 2.21 Classification des ouvrages selon l'EC8. [13]

| Catégorie d'importance | Bâtiments |
|------------------------|--|
| I | - Bâtiments d'importance mineure pour la sécurité des personnes, par exemple, bâtiments agricoles,..... etc. |
| II | - Bâtiments courants n'appartenant pas aux autres catégories - Habitations collectives de hauteur inférieure à 28 m. |
| III | - Bâtiments dont la résistance aux séismes est importante compte tenu des conséquences d'un effondrement, par exemple : écoles, salles de réunion. |
| IV | - Bâtiments dont l'intégrité en cas de séisme est d'importance vitale pour la protection civile : hôpitaux, casernes de pompiers, centrales électriques. |

Tableau 2.22 Classification des ouvrages selon l'UBC 1997 [11] [12].

| catégorie d'occupation | Occupation ou fonctions de structure | Facteur d'importance sismique, I | Facteur d'importance sismique, Ip |
|------------------------|--|----------------------------------|-----------------------------------|
| 1. | <p>Ouvrages essentielles</p> <p>Groupe I, Division 1 Occupations ayant zones de chirurgie et de traitement d'urgence</p> <ul style="list-style-type: none"> - station d'incendie et de police . - Garages et abris pour véhicules d'urgence et avions d'urgence. - Structures et abris dans les centres de préparation aux situations d'urgence. - Tours de contrôle de l'aviation. - Structures et équipements des centres de communication gouvernementaux et autres les installations nécessaires pour les interventions d'urgence - Équipements de production d'énergie de secours pour Installations de catégorie 1. | 1,25 | 1,50 |
| 2. | <p>Ouvrages dangereuses</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"> - Structures non constructives abritant, supportant ou contenant des quantités de substances toxiques ou les substances explosives qui, si elles étaient contenues dans un bâtiment, provoqueraient bâtiment à classer dans le groupe H, division 1, 2 ou 7 occupation. | 1,25 | 1,50 |
| 3. | <p>Structures D'occupation Spécial</p> <p>Groupe A, divisions 1, 2 et 2.1 occupations</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bâtiments abritant des logements Groupe E, divisions 1 et 3 Locaux d'une certaine capacité plus de 300 étudiants . - 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. | 1,00 | 1,00 |
| 4. | <p>Structures D'occupation Standard</p> <p>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</p> | 1,00 | 1,00 |
| 5. | <p>Autres ouvrages</p> <p>Groupe U Occupations à l'exception des tours</p> | 1,00 | 1,00 |

D'après les tableaux 2.20, 2.21 et 2.22 nous pouvons conclure que: L'Eurocode8 et le RPA 99/v2003 classent les ouvrages selon leurs importances en 4 catégories. Par contre le code américain (UBC97) adopte 4 à 5 catégories.

La différence entre les trois codes réside dans la prise en compte de ce paramètre dans le calcul de la force sismique à la base L'EC8 et l'UBC 97, considère ce paramètre par le coefficient d'importance. Par contre RPA99/v2003 le considère en combinaison avec la classification des zones dans un seul coefficient qui est. Coefficient d'accélération des zones.

2.7 Méthodes de calcul sismique

2.7.1 Présentation des différentes méthodes d'estimation des forces sismiques

L'action sismique est la traduction en « données d'entrées » physiques permettant de décrire le phénomène sismique. Il s'agit des méthodes du calcul par nature simplifiées pour décrire la complexité du phénomène.

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

Tableau 2.23 Comparaison des Méthodes de calcul de la force sismique.

| codes | Méthodes de calcul |
|------------------------|---|
| RPA99/v2003 | D'après RPA99/v2003 (Art 4.1) [7], le calcul des forces sismiques peut être mené suivant trois méthodes : <ul style="list-style-type: none"> - méthode statique équivalente ; - méthode d'analyse modale spectrale ; - méthode d'analyse dynamique par accélérogrammes. |
| Eurocode8 (EC8) | D'après L'Eurocode 8. [13] (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"> . Méthode d'analyse par forces latérales. . Méthode d'analyse modale spectrale ; . Analyse statique non linéaire (en poussée progressive) ; . Analyse temporelle linéaire. . Analyse temporelle non linéaire par intégration directe |
| UBC 97 | 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. <p>Ces sont résumées comme suit : [11] [12]</p> <ul style="list-style-type: none"> . Méthode des forces latérales équivalentes (linéaire, statique). . Analyse modale utilisant une procédure de spectre de réponse (linéaire, dynamique). . Analyse statique non linéaire (pushover) . Analyse non linéaire de l'histoire du temps (dynamique). . Procédure d'histoire du temps de réponse linéaire (dynamique). |

2.7.2 Actions sismiques

2.7.2.1 Calcul de la force sismique totale selon RPA99/v2003

Les forces sismiques seront déterminées en fonction de la catégorie du bâtiment, Les périodes propres de ces modes fondamentaux, les facteurs de comportement et de qualité et du 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 (art 4, 2, 3).

$$V = \frac{A \cdot D \cdot Q}{R} W \quad (2.14)$$

Avec :

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 :

$$Q = 1 + \sum_1^5 P_q \quad (2.15)$$

P_q : 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) :

$$W = \sum_{i=1}^n W_i \quad (2.16)$$

Avec :

$$W_i = w_{Gi} + \beta w_{Qi} \quad (2.17)$$

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

W_{Qi} : charges d'exploitation

β : coefficient de pondération, fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation et donné par le tableau 4.5 (RPA99 version 2003 page 44).

2.7.2.1.1 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 :

$$V = F_t + \sum F_i \quad (2.18)$$

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 :

$$F_t = \begin{cases} 0,07 TV & T > 0,7 \text{ s} \\ 0 & T \leq 0,7 \text{ s} \end{cases} \quad (2.19)$$

$$F_i = \frac{(V-F_t)w_i h_i}{\sum_{j=1}^n w_j h_j} \quad (2.20)$$

Où :

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 .

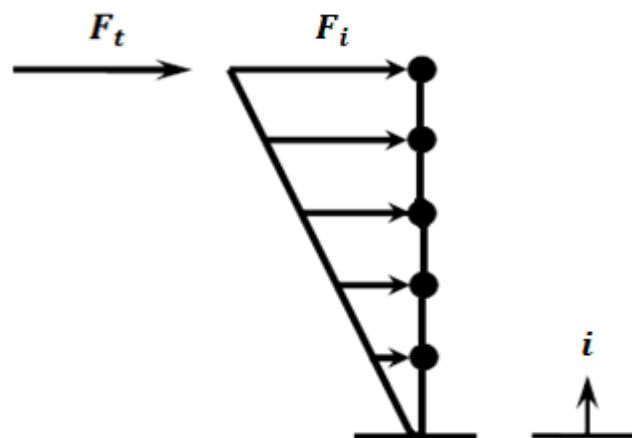


Figure 2.11 Distribution de la résultante des forces sur les différents niveaux

2.7.2.1.2 Distribution horizontale des forces sismiques

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

$$V_k = F_t + \sum_{i=k}^n F_i \quad (2.21)$$

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.

2.7.2.2 Calcul de la force sismique totale selon l'Eurocode 8

L'action sismique est représentée dans «la méthode de la force latérale», elle peut être appliqué aux bâtiments dont la réponse n'est pas affectée de manière significative par les contributions de modes de vibration de rang plus élevé que le mode fondamental dans chaque direction principale, et les critères de régularité en plan et en élévation doivent être remplis (paragraphe 4.2.3.2 et 4.2.3.3). et la condition données en (Art-4.3.3.2.1 (2-a) de l'EN 1998).

2.7.2.2.1 Effort tranchant à la base de la structure

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 :

$$F_b = S_d(T_1) \cdot m \cdot \lambda \quad (2.22)$$

Où :

$S_d(T_1)$: 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 :

$$m_t = \sum G_i + \sum \psi_{E,i} Q_i \quad (2.23)$$

Où :

G_i : Les différentes composantes du poids propre ;

Q_i : Les différentes charges variables ;

$\psi_{E,i}$: La portion permanente de ces charges variables. $\psi_{E,i}$ est calculé comme le produit de deux coefficients $\psi_{2,i}$ et ϕ donnés par les Eurocodes EN 1990, EN 1991 et EN 1998.

λ : le coefficient de correction. [13]

2.7.2.2.2 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 :

$$F_i = F_b \frac{S_i \cdot m_i}{\sum S_j \cdot m_j} \quad (2.24)$$

Où :

F_i : Ordonnée est la force horizontale agissant au niveau i ;

F_b : Est l'effort tranchant à la base obtenu par la relation (2.22) ;

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

- 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 :

$$F_i = F_b \frac{Z_i \cdot m_i}{\sum Z_j \cdot m_j} \quad (2.25)$$

Où :

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)

2.7.2.3 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. [11] [12].

- L'effort tranchant sismique à la base dans une direction donnée est défini par la formule suivante :

$$V = \frac{C_v I}{R T} \cdot W \quad (2.26)$$

Avec :

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_v : Coefficient sismique dépendant de la catégorie de site et de la zone sismique.

L'effort sismique donné par l'équation (2.26) ne doit pas être supérieur à :

$$V = \frac{2,5 C_a I}{R} \cdot W \quad (2.27)$$

Et ne doit pas être inférieur à :

$$V = 0,11 C_a I W \quad (2.28)$$

Avec :

C_a : 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 :

$$V = \frac{0,8 Z N_v I}{R} W \quad (2.29)$$

Avec :

Z : Facteur de zone sismique.

N_v : Facteur de source proche utilisé dans la détermination du C_v 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 [11].

2.7.2.3.1 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 :

$$V = F_t + \sum_{i=1}^n F_i \quad (2.30)$$

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

$$F_t = 0.07 TV \quad (2.31)$$

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 (2-26).

F_t : 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_t) doit être distribuée sur la hauteur de la structure, y compris le niveau n, selon la formule suivante :

$$F_x = \frac{(V-F_t)w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i} \quad (2.32)$$

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 comme étant l'effet des forces F_x et F_t appliquées aux niveaux appropriés au-dessus de la base. [11].

2.7.2.3.2 Distribution des forces sismiques horizontales

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

$$V_x = F_t + \sum_{i=x}^n F_x \quad (2.33)$$

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

2.7.2.4 Comparaison les actions sismique

2.7.2.4.1 méthodes de calcul de l'effort tranchant à la base

Le tableau ci-dessous comparent les actions sismiques pour les trois règlements considérés.

Tableau 2.24 comparaison les expressions des forces sismiques.

| RPA99/v2003 | L'Eurocode8 (EC8) | UBC 97 |
|-------------------------|------------------------------|---|
| $V = \frac{A.D.Q}{R} W$ | $F_b = S_d(T_1). m. \lambda$ | $V = \frac{C_v I}{R T} . W$ $\leq \frac{2,5 C_a I}{R} . W$ $\geq 0,11 C_a I W$ <p>Dans le cas de la zone 4 (zone de forte sismicité)</p> $\geq \frac{0,8 Z N_v I}{R} W$ |

2.7.2.4.2 Distribution des forces sismiques

Les forces sismiques à la base (V, F) doivent être distribuées sur la hauteur de la structure pour les trois codes selon les formules indiquées sur le tableau 2.25 suivantes :

Tableau 2.25 Distribution des forces sismiques.

| RPA99/v2003 | Eurocode 8 | UBC 97 |
|--|--|--|
| $V = F_t + \sum F_i$ <p>La valeur de Ft ne dépassera en aucun cas 0,25 V.</p> $F_t = \begin{cases} 0,07 TV & T > 0,7 s \\ 0 & T \leq 0,7 s \end{cases}$ <p>T : Période fondamentale de la structure.</p> $F_i = \frac{(v - F_t)w_i h_i}{\sum_{j=1}^n w_j h_j}$ <p>Où :</p> <p>F_i : Effort horizontal revenant au niveau i.</p> <p>h_i : niveau du plancher où s'exerce la force F_i.</p> <p>h_j : niveau d'un plancher quelconque.</p> <p>W_i, W_j : poids revenant aux planchers i, j.</p> <p>Distribution horizontale</p> <p>L'effort tranchant au niveau de l'étage k :</p> $V_k = F_t + \sum_{i=k}^n F_i$ | $F_i = F_b \frac{S_i m_i}{\sum S_j m_j}$ <p>Où :</p> <p>F_i : ordonnée est la force horizontale au niveau i ;</p> <p>F_b : est l'effort tranchant à la base obtenu par la relation (2.22) ;</p> <p>S_i, S_j : sont les déplacements des masses m_i, m_j dans le mode fondamental ;</p> <p>m_i, m_j : sont les masses des niveaux.</p> <p>Si on considère la déformée linéaire, on a</p> $F_i = F_b \frac{Z_i m_i}{\sum Z_j m_j}$ <p>Où :</p> <p>Z_i, Z_j : sont les hauteurs des masses m_i, m_j, au-dessus du niveau d'application de l'action sismique.</p> | $V = F_t + \sum_{i=1}^n F_i$ <p>La force concentrée F_t au sommet, qui est en plus de F_n, sont déterminés à partir de la formule suivante :</p> $F_t = \begin{cases} 0,07 TV & T > 0,7 s \\ 0 & T \leq 0,7 s \end{cases}$ <p>F_t : ne doit pas dépasser 0,25 V.</p> <p>La partie restante (V-Ft) doit être distribuée sur la hauteur de la structure, y compris le niveau n, selon la formule suivante :</p> $F_x = \frac{(v - F_t)w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i}$ <p>- Distribution horizontale</p> <p>L'effort tranchant au niveau x est la somme des forces Ft et Fx au-dessus de cette Niveau.</p> $V_x = F_t + \sum_{i=x}^n F_x$ |

D'après le tableau précédent nous pouvons remarquer que : Pour le calcul de la force sismique l'Eurocode 8 utilise la méthode d'analyse par forces latérales, alors que RPA99/V2003 et UBC 97 utilisent la méthode statique équivalente .la méthode d'analyse modale spectrale est adoptée par les trois codes.

– Pour le calcul de la force sismique, l'Eurocode 8 et L'UBC 97 utilise cinq méthodes Par contre, RPA99/v2003 utilise trois méthodes .

– Les trois codes parasismiques définissent presque de la même manière les masses sismiques qui sont égales à l'ensemble de charge permanente plus une fraction des charges variables, et cette fraction dépend du type de l'ouvrage

2 .8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une comparaison des règles parasismiques algériennes RPA99/v2003, l'Eurocode 8 (EC8) et le code américain (Uniform Building Code UBC 97) pour quelques paramètres importants entrent dans le calcul de l'action sismique. les paramètres étudiés sont : l'effet de sites, zonage sismique, période fondamentale, coefficient d'amortissement et l'importance des ouvrages.

CHAPITRE III

APPLICATION

ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT (R+4)

A USAGE D'HABITATION

3.1 Introduction

Les règles parasismiques visent à assurer une protection acceptable des vies humaines et des constructions vis-à-vis des effets des actions sismiques par une conception et un dimensionnement appropriés, et les dégâts causés par les tremblements de terre récents ont été de bonnes leçons et ont réveillé les consciences.

Dans ce chapitre on présente le cas du bâtiment en béton armé (R+4) choisi pour une analyse comparative entre les règles parasismiques algériennes RPA (99/v2003) avec l'Eurocode 8 (EC8) et le code américain (Uniform Building Code UBC 97).

3.2 Présentation de l'ouvrage

Le cas étudié est un bâtiment à usage d'habitation en béton armé composé d'un rez de chaussée plus quatre étages (R+4),

Le bâtiment envisagé est situé à la ville de M'sila. Il s'agit d'une zone de moyenne sismicité (zone II a) selon le règlement parasismique Algérien (RPA99 version 2003, page117). Selon l'importance, l'ouvrage est classé dans le groupe 2 (Ouvrage courant ou d'importance moyenne, le RPA 99 version 2003). Le bâtiment est implanté dans un site meuble S3.

3.3 Description de l'ouvrage

3.3.1 Caractéristiques géométriques

Cette étude se fera en considérant les paramètres suivants:

Tableau 3.1 Caractéristiques géométriques

| | |
|------------------------------|----------------|
| Longueur totale | 24.70 m |
| Largeur totale | 10.00 m |
| Hauteur de RDC | 3.06 m |
| Hauteur étage courant | 3.06 m |
| Hauteur totale avec acrotère | 15.90 m |

3.3.2 Contreventement

D'après les conditions de l'RPA 99 version 2003 Art. 1-b, nous avons opté, dans les deux directions de ce bâtiment, pour un contreventement mixte assuré par des voiles De (20 cm d'épaisseur), et des portiques (poteaux 40x40 cm² et les poutres principales de section 30x45 cm² et les poutres secondaires de section 30x40 cm²), Avec justification de l'interaction portiques-voiles.

3.3.3 Planchers

Les planchers des différents niveaux sont prévus en corps creux (hourdis + table de compression) noté (16+4) cm. 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.

3.3.4 Maçonnerie

La maçonnerie la plus utilisée en Algérie est la brique creuse en terre cuite. Pour ce bâtiment, nous avons deux types de murs :

Murs extérieurs : le remplissage des façades est composé :

- 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.

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

3.3.5 Revêtement

- Carrelage pour les planchers et les escaliers.
- Mortier de ciment pour les murs extérieurs.
- Enduit de plâtre pour les plafonds et les murs intérieurs.
- Céramique pour les salles d'eau.

3.3.6 Balcons

Les balcons de ce bâtiment seront réalisés en dalle plein.

3.3.7 Escaliers

Ce sont des éléments non structuraux, permettant le passage d'un niveau à un autre. Notre structure comprend à un seul type d'escaliers à deux volées, séparée par un palier de repos. Les escaliers seront réalisés en béton armé et coulés sur place.

3.4 Caractéristiques des matériaux

Le calcul des structures en béton armé s'effectue à partir des hypothèses qui tiennent compte, en particulier, des caractéristiques physiques et mécaniques des matériaux (béton et acier)

- . Ces caractéristiques concernent principalement :
 - Les résistances mécaniques à la compression et à la traction.
 - Les déformations (allongement et raccourcissement).
 - Les diagrammes contraintes - déformations.

3.4.1 Béton

3.4.1.1 Définition

Le béton est un mélange de liant (ciment + eau) et d'agrégat (gravillon + sable), dans des proportions définies, pour avoir une résistance convenable et une bonne qualité après durcissement.

3.4.1.2 Caractéristiques mécaniques du béton

- Résistance caractéristique à la compression : $f_{c28}=25$ MPa
- Contrainte limite du béton en compression : $f_{bu}=14,1$ MPa
- Coefficient de poisson : $\nu=0.2$
- Résistance limite en traction du béton : $f_{t28}=2,1$ MPa
- Masse volumique du béton : $\gamma_b=2,5$ t/m³
- Déformation limite élastique : $\epsilon_{bc}=2$ ‰
- Déformation ultime : $\epsilon_{bu}=3,5$ ‰
- Module d'élasticité (Young instantané): $E_b=32164$ MPa

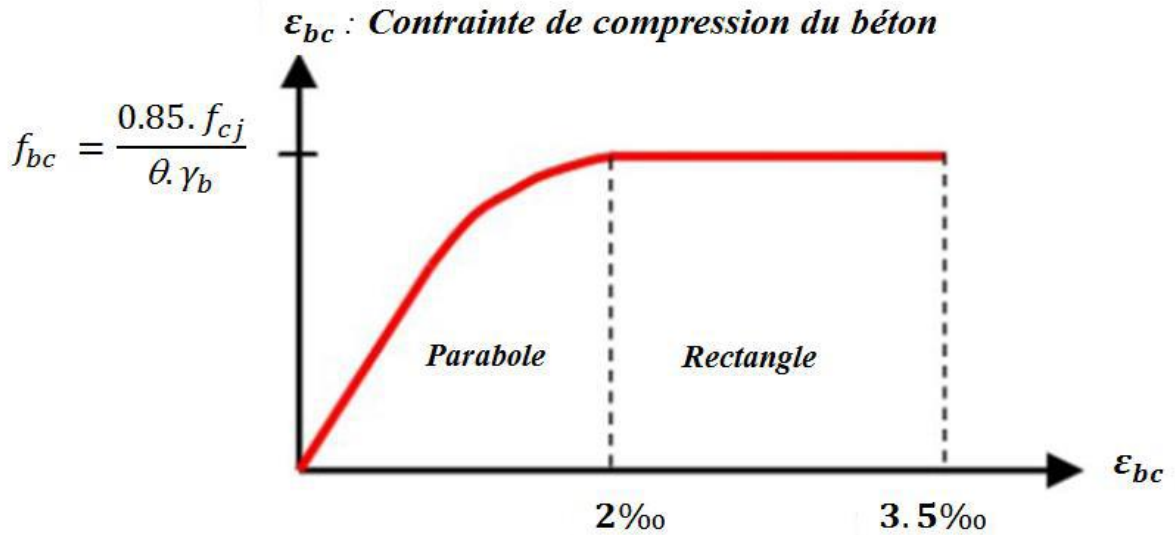


Figure 3.1 Diagramme contraintes - déformations du béton.

3.4.2 Acier [30].

Les aciers utilisés pour le ferrailage des éléments de notre structure sont :

- Les barres à haute adhérence de nuance FeE400 pour les armatures longitudinales.
- Les barres rondes et lisses de nuance FeE235 pour les armatures transversales.
- Les treillis soudés, pour l'hourdis des planchers à corps creux.
- Module d'élasticité de l'acier : $E_s = 2,1 \times 10^5$ MPa
- Résistance limite élastique de l'acier Haute adhérence : $f_e = 400$ MPa
- Résistance limite élastique de l'acier Rond lisse : $f_{eS} = 235$ MPa
- Déformation limite élastique : $\varepsilon_{se} = 2$ ‰
- Déformation ultime : $\varepsilon_{su} = 10$ ‰

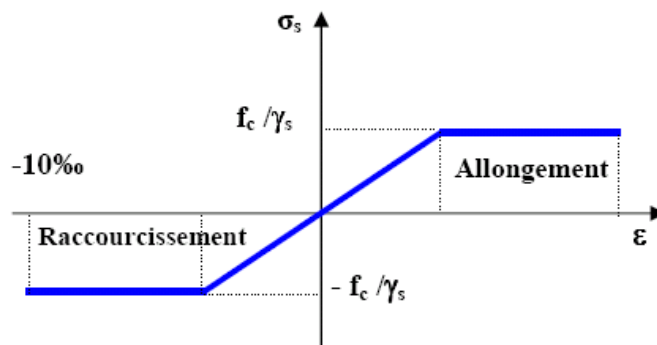


Figure 3.2 Diagramme déformation-contrainte d'acier [30].

3.5 Evaluation des charges et surcharges

Les charges permanentes G et les surcharges d'exploitation Q sont évaluées selon [32].

3.5.1 Plancher terrasse (inaccessible)

Tableau 3.2 Charges et surcharges de la terrasse inaccessible.

| Matériaux | Poids volumique (KN/m ³) | Poids (KN/m ²) |
|---------------------------------------|---|----------------------------|
| 1-Protection en gravillon roulé (5cm) | 17 | 0.85 |
| 2-Etanchéité multicouches (2cm) | 6 | 0.12 |
| 3-Forme de pente 1% (9cm) | 22 | 1.98 |
| 4-Isolation thermique en liège (4cm) | 4 | 0.16 |
| 5-Plancher en corps creux (16+4) | - | 2.80 |
| 6-Enduit en plâtre (2cm) | 10 | 0.20 |

| | | |
|------------|-------------|---------------------------|
| G = | 6.11 | (KN/m²) |
| Q = | 1 | (KN/m²) |

3.5.2 Plancher étage courant

Tableau 3.3 Charges et surcharge d'étage courant.

| Matériaux | Poids volumique (KN/m ³) | Poids (KN/m ²) |
|--------------------------------------|---|----------------------------|
| 1- Revêtement en carrelage (2cm) | 20 | 0.40 |
| 2- Mortier de pose (2cm) | 20 | 0.40 |
| 3- Lit de sable (2cm) | 18 | 0.36 |
| 4- Plancher en corps creux (16+4) cm | - | 2.8 |
| 5-Enduit en plâtre (2cm) | 10 | 0.20 |
| 6-Brique creux | - | 1.00 |

| | | |
|------------|-------------|---------------------------|
| G = | 5.16 | (KN/m²) |
| Q = | 1.5 | (KN/m²) |

3.5.3 Maçonnerie

a - Cloison extérieur

Les murs extérieurs sont réalisés en doubles parois par des briques creuses de 15cm et 10 cm séparées par une lame d'air de 5 cm d'épaisseur

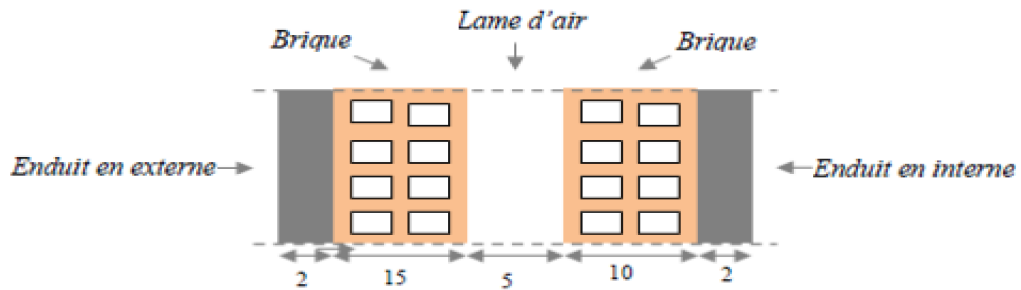


Figure 3.3 coupe verticale du mur extérieur

Tableau 3.4 Chargement permanente revenant mur extérieur.

| Matériaux | Poids volumique (KN/m ³) | Poids (KN/m ²) |
|----------------------------|---|----------------------------|
| 1- Enduit extérieure (2cm) | 18 | 0.36 |
| 2- Brique creuse (15cm) | 9 | 1.30 |
| 3- Brique creuse (10cm) | 9 | 0.90 |
| 4- Enduit intérieure (2cm) | 10 | 0.2 |

| | | |
|------------|-------------|---------------------------|
| G = | 2.76 | (KN/m²) |
|------------|-------------|---------------------------|

b - Cloison intérieur à double paroi

Tableau 3.5 charge permanente revenant mur intérieur

| Matériaux | Poids volumique (KN/m ³) | Poids (KN/m ²) |
|------------------------------------|---|----------------------------|
| 1- Maçonnerie brique creuse (10cm) | 9 | 0.90 |
| 2- Enduit en ciment (2cm) *2 | 18 | 0.72 |

| | | |
|------------|-------------|---------------------------|
| G = | 1.62 | (KN/m²) |
|------------|-------------|---------------------------|

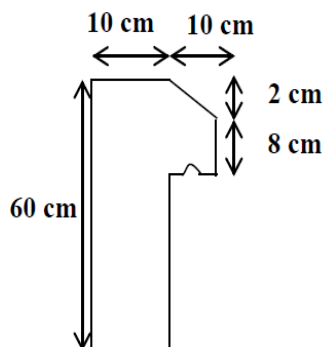
3.5.4 Balcon

Tableau 3.6 Charges et surcharge de balcon

| Matériaux | Poids volumique (KN/m ³) | Poids (KN/m ²) |
|-------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| 1- Revêtement en carrelage (2cm) | 20 | 0.40 |
| 2- Mortier de pose (2cm) | 20 | 0.40 |
| 3- Lit de sable (2cm) | 18 | 0.36 |
| 4- dalle plein en béton armé (12cm) | 25 | 3.00 |
| 5-Enduit en ciment (2cm) | 18 | 0.36 |

| | | |
|------------|-------------|---------------------------|
| G = | 4.52 | (KN/m²) |
| Q = | 3.5 | (KN/m²) |

3.5.5 Acrotère



Section transversale

$$S = (0,1 \times 0,6) + (0,1 \times 0,08) + \left(\frac{0,1 \times 0,02}{2}\right) = 0,069m^2$$

Poids linéaire

$$P = S \times \rho = 0,069 \times 25 = 1,73 \text{ KN/ml}$$

Revêtement enduit en ciment

$$0,02 \times 18(0,6 + 0,2 + 0,08 + 0,1 + 0,5) = 0,53 \text{ KN/m}$$

$$G = 1,73 + 0,53 = 2,26 \text{ KN/m}$$

| | |
|------------|------------------|
| G = | 2,26 KN/m |
|------------|------------------|

3.5.6 Voile

Tableau 3.7 Charges permanente de voile

| Matériaux | Poids volumique (KN/m ³) | Poids (KN/m ²) |
|---------------------------------|---|----------------------------|
| 1- Poids propre du voile (20cm) | 25 | 5.00 |
| 2- Enduit en ciment (2cm) | 18 | 0.36 |
| 3- Enduit en plâtre (2cm) | 10 | 0.20 |

| | |
|------------|------------------------------|
| G = | 5.56 KN/m² |
|------------|------------------------------|

3.5.7 Escaliers

a) La volée (Palliasse)

Tableau 3.8 Charges et surcharge de la paillasse

| Matériaux | Poids volumique (KN/m ³) | Poids (KN/m ²) |
|--|---|-------------------------------|
| 1- Revêtement horizontal en carrelage) (2cm) | 20 | 0.40 |
| 2-Revêtement verticale en carrelage (2cm) *(17/30) | 20 | 0.23 |
| 3- Mortier de pose horizontale (2cm) | 20 | 0.40 |
| 4- Mortier de pose verticale (2cm)*(17/30) | 20 | 0.23 |
| 5- marche (17/2) (cm) | 22 | 1.87 |
| 6- Poids propre de la paillasse (15cm) | 25/cos30, 47 | 4.36 |
| 7- Lit de sable (2cm) | 18 | 0.36 |
| 8-Enduit en ciment (2cm) | (18/cos30, 47) | 0.34 |

| | | |
|------------|-------------|---------------------------|
| G = | 8.19 | (KN/m²) |
| Q = | 2.5 | (KN/m²) |

b) Palier

Tableau 3.9 Charges et surcharge de la Palier

| Matériaux | Poids volumique (KN/m ³) | Poids (KN/m ²) |
|-----------------------------------|---|-------------------------------|
| 1- Revêtement en carrelage) (2cm) | 20 | 0.40 |
| 2- Mortier de pose (2cm) | 20 | 0.40 |
| 3- Lit de sable (2cm) | 18 | 0.36 |
| 4- Poids propre de palier (15cm) | 25 | 3.75 |
| 5-Enduit en ciment (2cm) | 18 | 0.36 |

| | | |
|------------|-------------|---------------------------|
| G = | 5.27 | (KN/m²) |
| Q = | 2.5 | (KN/m²) |

3.6 Etude sismique comparative

3.6.1 Action sismique selon RPA99/v2003 (Effort tranchant à la base)

Calcul de la force sismique RPA99 version 2003 article (4.2.3)

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

Avec :

A : M'sila - Zone II a ; Groupe 2

A = 0,15

D : facteur d'amplification dynamique

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

T₂ : donnée par le tableau (2.12) : S3 (Site meuble)

T₂ = 0.50 s

η : D'après la formule 4.3 : $\eta = \sqrt{7/(2 + \xi)} \geq 0.7$

ξ (%) : est le pourcentage d'amortissement critique fonction du matériau constitutif, du type de structure et de l'importance des remplissages est donné par le tableau (2.3)

$$\xi = 5\% \Rightarrow \eta = 1 \geq 0.7$$

Période fondamentale (l'expression 2.1)

$$T = C_T h_N^{3/4}$$

C_T = 0.050 structure mixte (portique et voiles) avec un remplissage

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

La période de la structure (l'expression 2.2)

$$T = 0.09 h_N / \sqrt{L}$$

L : La dimension du bâtiment mesurée à sa base dans la direction de calcul

$$L_x = 24.70 \text{ m} ; \quad L_y = 10.00 \text{ m} ; \quad h_N = 15.30 \text{ m}$$

$$T_x = \frac{0.09 \times 15.30}{\sqrt{24.70}} \Rightarrow T_x = 0.277 \text{ s}$$

$$T_y = \frac{0.09 \times 15.30}{\sqrt{10.00}} \Rightarrow T_y = 0.435 \text{ s}$$

$$0 < T_x = 0.277 < T_2 = 0.50 \text{ s} \quad \text{et} \quad 0 < T_y = 0.386 < T_2 = 0.50 \text{ s}$$

Donc on prend $D_x = D_y = 2,5 \eta \Rightarrow \mathbf{D} = 2.5$

R= coefficient de comportement global de la structure

Dans notre structure on a un système de contreventement mixte assuré par des voiles et des portiques avec justification d'interaction (portiques – voiles) Catégorie 4a. Alors le coefficient de comportement global de la structure est égale à : $R = 5$.

Q : facteur de qualité.

La valeur de Q est déterminée par la formule (2.15) :

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

P_q : est la pénalité à retenir selon que le critère de qualité q "est satisfait ou non".

Sa valeur est donnée au tableau (4.4 RPA99/v2003).

$$\sum_1^5 P_q = 0 ; \quad \mathbf{Q} = 1$$

❖ Détermination du poids total de la structure W_t

Tableau 3.10 Tableau récapitulatif

| Elément | Charge permanente G (kN/m ²) | Sur charge d'exploitation Q (kN/m ²) |
|----------------------------------|---|--|
| Plancher terrasse (inaccessible) | 6.11 | 1 |
| Plancher étage courant | 5.16 | 1.5 |
| Mur extérieur | 2.76 | / |
| Mur intérieur | 1.62 | / |
| Balcon | 4.52 | 3.5 |
| Acrotère | 2.26 kN/ml | / |
| Voile | 5.56 | / |
| La volée (Palliasse) | 8.19 | 2.5 |
| Palier | 5.27 | 2.5 |

W : poids total de la structure, il est égal à la somme des poids W_i ,

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

Avec :

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

❖ Poids propre des éléments par niveau

❖ Niveau : 1 - 2 - 3 - 4

a) Dalles

Tableau 3.11 les dalles Niveau 1-2-3-4

| élément | Nbr | g (KN/m ²) | q (KN/m ²) | S (m ²) | G(KN) | Q(KN) |
|---------|-----|------------------------|------------------------|---------------------|-------|-------|
| dalle A | 1 | 5.16 | 1.5 | 14.03 | 72.39 | 21.05 |
| dalle B | 1 | 5.16 | 1.5 | 15.02 | 77.50 | 22.53 |
| dalle C | 1 | 5.16 | 1.5 | 14.88 | 76.78 | 22.32 |
| dalle D | 1 | 5.16 | 1.5 | 15.93 | 82.20 | 23.90 |
| dalle E | 1 | 5.16 | 1.5 | 17.64 | 91.02 | 26.46 |
| dalle F | 1 | 5.16 | 1.5 | 18.88 | 97.42 | 28.32 |
| dalle H | 1 | 5.16 | 1.5 | 18.88 | 97.42 | 28.32 |
| dalle I | 1 | 5.16 | 1.5 | 14.88 | 76.78 | 22.32 |
| dalle J | 1 | 5.16 | 1.5 | 15.93 | 82.20 | 23.90 |
| dalle k | 1 | 5.16 | 1.5 | 14.03 | 72.39 | 21.05 |
| dalle L | 1 | 5.16 | 1.5 | 15.02 | 77.50 | 22.53 |

| | |
|------------|------------------|
| G = | 903.60 kN |
| Q = | 262 70 kN |

b) Escaliers

Tableau 3.12 Les escaliers Niveau 1-2-3-4

| élément | Nbr | g (KN/m ²) | q (KN/m ²) | S (m ²) | L(m) | G(KN) | Q(KN) |
|--------------|-----|------------------------|------------------------|---------------------|------|-------|--------|
| palier | 1 | 5.27 | 2.5 | 5.42 | - | 28.58 | 13.56 |
| paillasse | 2 | 8.19 | 2.5 | 5.76 | - | 47.17 | 14..40 |
| pout palière | 1 | 1.5 | 2.5 | - | 4.15 | 6.225 | 3.75 |

| | |
|------------|-----------------|
| G = | 81,98 kN |
| Q = | 31,71 kN |

c) Balcons

Tableau 3.13 Balcon Niveau 1-2-3-4

| élément | Nbr | g (KN/m ²) | q (KN/m ²) | S (m ²) | G(KN) | Q(KN) |
|-------------|-----|------------------------|------------------------|---------------------|-------|-------|
| b (séchoir) | 2 | 4.52 | 3.5 | 6.77 | 30.60 | 23.70 |
| b (loggia) | 2 | 4.52 | 3.5 | 2.48 | 11.20 | 8.68 |
| b (chamb) | 2 | 4.52 | 1.5 | 4.98 | 22.51 | 7.47 |

| | |
|------------|-----------------|
| G = | 64,31 kN |
| Q = | 39,85 kN |

d) Murs

Tableau 3.14 Murs Niveau 1-2-3-4

| élément | Nbr | g (KN/m ²) | S (m ²) | L(m) | G(KN) |
|---------------|-----|------------------------|---------------------|-------|--------|
| Mur extérieur | | | | | |
| M1 | 3 | 2.76 | 11.87 | 13.65 | 98,33 |
| M2 | 4 | 2.76 | 11.09 | 17 | 122,46 |
| M3 | 4 | 2.76 | 8.61 | 13.2 | 95,09 |
| M4 | 4 | 2.76 | 9,14 | 14.00 | 100,91 |
| M5 | 6 | 2.76 | 10,83 | 24,90 | 179,37 |
| Mur intérieur | | | | | |
| M6 | 2 | 1.62 | 8.78 | 6.60 | 28,44 |
| M7 | 4 | 1.62 | 9.31 | 14.00 | 60,33 |
| M8 | 2 | 1.62 | 11,31 | 8.50 | 36,64 |
| M9 | 4 | 1.62 | 12.10 | 18.20 | 78,41 |

| | |
|------------|------------------|
| G = | 800,00 kN |
|------------|------------------|

e) Voiles

Tableau 3.15 Voiles Niveau 1-2-3-4

| élément | Nbr | g (KN/m ²) | S (m ²) | L(m) | G(KN) |
|---------|-----|------------------------|---------------------|------|-------|
| Voile1 | 4 | 5,56 | 3,98 | 5.20 | 88,47 |
| Voile2 | 2 | 5,56 | 3,06 | 2.00 | 34,02 |
| Voile3 | 2 | 5,56 | 2,75 | 1,80 | 30,62 |

| | |
|------------|------------------|
| G = | 153,11 kN |
|------------|------------------|

f) Poutres

Tableau 3.16 les poutres Niveau 1-2-3-4

| élément | Nbr | g (KN/m ²) | S (m ²) | L(m) | G(KN) |
|-------------------------|-----|------------------------|---------------------|------|--------|
| Les poutres principales | | | | | |
| Poutre P1 | 7 | 3,375 | - | 4,55 | 107,49 |
| Poutre P2 | 7 | 3,375 | - | 4,25 | 100,41 |
| Les poutres Secondaires | | | | | |
| Poutre S1 | 6 | 3,00 | - | 3,30 | 59,40 |
| Poutre S2 | 6 | 3,00 | - | 3,50 | 63,00 |
| Poutre S3 | 6 | 3,00 | - | 4,15 | 74,70 |

| | |
|------------|------------------|
| G = | 405,00 kN |
|------------|------------------|

j) Poteau

Tableau 3.17 les Poteaux Niveau 1-2-3-4

| élément | Nbr | g (KN/m ²) | H(m) | G(KN) |
|---------|-----|------------------------|------|--------|
| Poteau | 21 | 4 | 3.06 | 257,04 |

| | |
|------------|------------------|
| G = | 257,04 kN |
|------------|------------------|

Tableau 3.18 Poids total récapitulatif de Niveau 1-2-3-4

| Elément | G (kN) | Q (kN) |
|------------|---------------|---------------|
| Les dalles | 903,60 | 262,70 |
| Escalier | 81,98 | 31,71 |
| Balcon | 64,31 | 39,85 |
| Mur | 800,00 | / |
| Voile | 153,11 | / |
| Poutre | 405,00 | / |
| Poteaux | 257,04 | / |

| | |
|------------------|-------------------|
| G Total = | 2665,04 kN |
| Q Total = | 334,26 kN |

❖ Niveau : 5 (plancher terrasse)

a) Dalles

Tableau 3.19 Les dalles Niveau 5

| élément | Nbr | g (KN/m ²) | q (KN/m ²) | S (m ²) | G(KN) | Q(KN) |
|---------|-----|------------------------|------------------------|---------------------|--------|-------|
| dalle A | 1 | 6.11 | 1.00 | 14.03 | 85,72 | 14.03 |
| dalle B | 1 | 6.11 | 1.00 | 15.02 | 91,77 | 15.02 |
| dalle C | 1 | 6.11 | 1.00 | 14.88 | 90,92 | 14.88 |
| dalle D | 1 | 6.11 | 1.00 | 15.93 | 97,33 | 15.93 |
| dalle E | 1 | 6.11 | 1.00 | 17.64 | 107,78 | 17.64 |
| dalle F | 1 | 6.11 | 1.00 | 18.88 | 115,36 | 18.88 |
| dalle H | 1 | 6.11 | 1.00 | 18.88 | 115,36 | 18.88 |
| dalle I | 1 | 6.11 | 1.00 | 14.88 | 90,92 | 14.88 |
| dalle J | 1 | 6.11 | 1.00 | 15.93 | 97,33 | 15.93 |
| dalle k | 1 | 6.11 | 1.00 | 14.03 | 85,72 | 14.03 |
| dalle L | 1 | 6.11 | 1.00 | 15.02 | 91,77 | 15.02 |

| | |
|------------|-------------------|
| G = | 1069,98 kN |
| Q = | 175,12 kN |

b) Acrotère

Tableau 3.20 L'acrotère Niveau 5

| élément | g (kN/ml) | S (m ²) | L(m) | G(kN) |
|----------|-----------|---------------------|-------|--------|
| acrotère | 2.26 | 0.069 | 77.20 | 174,47 |

| | |
|------------|------------------|
| G = | 174,47 kN |
|------------|------------------|

Tableau 3.21 Poids total récapitulatif de Niveau 5

| Elément | G (kN) | Q (kN) |
|------------|---------|--------|
| Les dalles | 1069,98 | 175,12 |
| Escalier | 40,99 | 15,85 |
| Balcon | 64,31 | 39,85 |
| Mur | 400,00 | / |
| Voile | 76,55 | / |
| Poutre | 405,00 | / |
| Poteaux | 128,52 | / |
| Acrotère | 174,47 | / |

| | |
|------------------|-------------------|
| G Total = | 2359,82 kN |
| Q Total = | 230,82 kN |

➤ Poids total de la structure

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

Niveau 1-2-3-4 : $G = 2665,04 \text{ KN}$ et $Q = 334,26 \text{ KN}$

$B = 0,2$: bâtiment d'habitation, [7]

$$W = 2665,04 + 0,2 \times 334,26 \Rightarrow \mathbf{W = 2731,89 \text{ KN}}$$

Niveau 5 : $G = 2359,82 \text{ KN}$ et $Q = 230,82 \text{ KN}$

$$W = 2359,82 + 0,2 \times 230,82 \Rightarrow \mathbf{W = 2405,98 \text{ KN}}$$

Le poids total :

$$W = 2731,89 \times 4 + 2405,98 \Rightarrow \mathbf{W = 13333,55 \text{ KN}}$$

➤ calcul de la force sismique totale

La formule de la force sismique totale à la base est donnée par le RPA (Art 4.2.3)

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

Le Tableau. 3.22 Résumé des résultats

Tableau 3.22 Les paramètres sismique de RPA. [7]

| Paramètres | Résultats |
|------------|-----------|
| A | 0,15 |
| D | 2,5 |
| Q | 1 |
| R | 5 |
| W (KN) | 13333,55 |

On a donc

$$D_x = D_y \Rightarrow V_x = V_y$$

$$V = \frac{0,15 \times 2,5 \times 1}{5} 13333,55 \Rightarrow \mathbf{V = 1000,02 \text{ KN}}$$

3.6.2 Action sismique selon l'EC8 (Effort tranchant à la base)

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 (2.22) :

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

Avec :

λ : est le coefficient de correction, dont la valeur est égale à : $\lambda = 1,0$. le bâtiment a plus de deux étages. [13]

m : est la masse totale du bâtiment, au-dessus des fondations ou du sommet d'un soubassement rigide donne par l'expression 2.23 :

$$m_t = \sum G_i + \sum \psi_{E,i} Q_i$$

Où :

G_i : Les différentes composantes du poids propre ;

Q_i : Les différentes charges variables ;

$\psi_{E,i}$: La portion permanente de ces charges variables. $\psi_{E,i}$ est calculé comme le produit de deux coefficients $\psi_{2,i}$ et Φ donnés par [9].

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

$\Phi = 0,8$: pour étage courant

$\Phi = 1$: pour les toits.

$\psi_{2,i} = 0,3$: Pour bâtiment habitation.

$\psi_{2,i} = 1$: Pour les toits.

Niveau 1-2-3-4 (Etage courant) : $G = 2665,04 \text{ KN}$ et $Q = 334,26 \text{ KN}$

$$\psi_{1-4} = 0,8 \times 0,3 \Rightarrow \psi_{1-4} = 0,24$$

$$m = 2665,04 + 0,24 \times 334,26 \Rightarrow m = 2745,26 \text{ KN}$$

Niveau 5 (Toiture): $G = 2359,82 \text{ KN}$ et $Q = 230,82 \text{ KN}$

$$\psi_5 = 1 \times 0,30 \Rightarrow \psi_5 = 0,30$$

$$m = 2359,82 + 0,3 \times 230,82 \Rightarrow m = 2429,07 \text{ KN}$$

Le poids total :

$$m_t = 2745,26 \times 4 + 2429,07 \quad \Rightarrow \quad m_t = 13410,11 \text{ KN}$$

Période fondamentale (l'expression 2.7) :

$$T = C_T h_N^{3/4}$$

Où :

$$C_T = 0,05 : \text{ autre structure [9]}$$

$$H = 15,30 \text{ m hauteur du bâtiment}$$

$$T_1 = 0,05 \times 15,30^{3/4} \quad \Rightarrow \quad T_1 = 0,386 \text{ s}$$

Par ailleurs, la valeur de C_T pour les structures avec des murs de contreventement en béton ou en maçonnerie, peut être prise égale à (l'expression 2.8) :

$$C_T = 0,075 / \sqrt{A_C} \quad \text{et} \quad A_C = \sum A_i \cdot \left[\left(0,2 + \left(\frac{l_{wi}}{H} \right) \right)^2 \right] \quad (\text{l'expression 2.9})$$

A_i : est l'aire effective de la section transversale du mur de contreventement dans la direction considérée i au premier niveau du bâtiment, en m^2 .

On doit d'abord vérifier la condition suivante : $\frac{l_{wi}}{H}$ ne dépasse pas 0,9.

l_{wi} : Est la longueur du mur de contreventement i .

l_{Max_x} Et l_{Max_y} les plus grandes longueurs des voiles suivant la direction i .

$$l_{Max_x} = 1,00 \text{ m} \quad ; \quad l_{Max_y} = 1,30 \text{ m}$$

$$\begin{cases} l_{Max_x} = \frac{1}{15,30} = 0,065 < 0,9 \\ l_{Max_y} = \frac{1,3}{15,30} = 0,085 < 0,9 \end{cases} \quad \text{Condition vérifiée.}$$

- **Sens x-x :** $A_C = .2 \left[1 \times 0,2 \left(0,2 + \left(\frac{1}{15,30} \right) \right)^2 \right] + 2 \left[0,9 \times 0,2 \left(0,2 + \left(\frac{0,90}{15,30} \right) \right)^2 \right]$

$$A_C = 0,155 \text{ m}^2 \quad \Rightarrow \quad C_{Tx} = 0,075 / \sqrt{0,155} = 0,19$$

- **Sens y-y :** $A_C = 4 \left[1,30 \times 0,2 \left(0,2 + \left(\frac{1,30}{15,30} \right) \right)^2 \right] = 0,20 \text{ m}^2$

$$A_C = 0,20 \text{ m}^2 \quad \Rightarrow \quad C_{Ty} = 0,075 / \sqrt{0,20} = 0,17$$

$$\Rightarrow \begin{cases} T_x = 0,19 \times 15,30^{3/4} = 1,47 \text{ s} \\ T_y = 0,17 \times 15,30^{3/4} = 1,315 \end{cases}$$

$$\begin{cases} T = \min(0,386 ; 1,47) \\ T = \min(0,386 ; 1,315) \end{cases} \Rightarrow T = 0,386 \text{ s}$$

La période calculée à partir des méthodes numériques de l'EC8 sera proche de la période empirique : $T = 0,386 \text{ s}$.

❖ paramètres sismiques de l'EC8

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

NB : la zone IIa de (RPA99/2003) correspond à la zone d'asismicité moyenne de l'EC8, zone 4. Pour notre bâtiment : $a_{gR} = 1,6 \text{ m/s}^2$

b) L'accélération nominale horizontale de calcul

$$a_g = \gamma I \cdot a_{gR} = 1,6 \times 1 \Rightarrow a_g = 1,6 \text{ m/s}^2$$

c) Coefficient de comportement q : Concernant l'EC8 le type de structure dans le cas étudié est un système de murs couplés dans les deux directions.

$$q = q_0 K_w$$

Avec :

q_0 : Valeur de base du coefficient de comportement, dépendant du type de système structural et de la régularité en élévation. $q_0 = 3,0 \frac{\alpha_u}{\alpha_1}$;

Systèmes à ossatures ou systèmes à contreventement mixte équivalents à des ossatures à plusieurs travées de plusieurs étages : $\frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 1,3$. [13]

$K_w = 1$: dans le cas d'un système De contreventement mixte ;

$$q = q_0 K_w = 3 \times 1,3 \Rightarrow q = 3,9$$

d) La valeur de β selon [13] (Art-3.2.2.5 (4)) recommandée est de 0.2

La valeur devant être attribuée à β pour être utilisée dans un pays peut être trouvée dans l'annexe nationale au présent document. La valeur recommandée est $\beta = 0,2$.

e) classe de sol :

Au sol meuble de l'RPA99/v2003 correspond le sol de catégorie D selon l'EC8 (tableau 2.6).

Le spectre horizontale que nous allons introduire lors de la modélisation de la structure est le définit spectre élastique (spectre de calcul $S_d(T)$).

Les valeurs des paramètres sismiques de l'ouvrage sont :

Tableau 3.23 Les paramètres sismique de l'EC8. [13]

| Paramètres | Résultats |
|--------------|-----------|
| $a_g(m/s^2)$ | 1,6 |
| Q | 3,9 |
| S | 1,8 |
| $T_B(s)$ | 0,10 |
| $T_C(s)$ | 0,30 |
| $T_D(s)$ | 1,2 |
| β | 0,2 |

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

$$T_C = 0,30s < T = 0,386s < T_D = 1,2s$$

- L'accélération spectral de calcul :

$$S_d(T) = \begin{cases} a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \left[\frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad T_C \leq T \leq T_D$$

$$S_d(T) = \begin{cases} 1,6 \cdot 1,8 \cdot \frac{2,5}{3,9} \left[\frac{0,3}{0,386} \right] \\ \geq 0,2 \cdot 1,6 \end{cases} \Rightarrow S_d(T) = \begin{cases} 1,43 \text{ m/s}^2 \\ \geq 0,32 \text{ m/s}^2 \end{cases} \quad \text{Condition vérifiée.}$$

$$S_d(T) = 1,43 \text{ m/s}^2 = 0,143g \text{ avec } g = 10 \text{ m/s}^2$$

➤ calcul de la force sismique totale

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

$$F_b = 0,143 \times 13410,11 \times 1 = 1917,65 \text{ KN} \Rightarrow F_b = 1917,65 \text{ KN}$$

3.6.3 Action sismique selon l'UBC97 (Effort tranchant à la base)

L'effort tranchant sismique à la base dans une direction donnée est défini par la formule suivante l'expression (2.26) :

$$V = \frac{C_v I}{R_T} \cdot W$$

Avec :

- $I = 1$; Facteur d'importance sismique, donnée par le tableau 2.22 ;
- W : poids total de la structure.

$$W = 13333.55 \text{ KN}$$

- $R = 5,5$ Coefficient de comportement de la structure, tableau (16-N). [11];
- Période :

$$T = C_T h_N^{3/4}$$

Où :

$C_T = 0,05$: toutes les autres structures. [11]

$H = 15,30 \text{ m}$ hauteur du bâtiment

$$T = 0,0488 \times 15,30^{3/4} \Rightarrow T = \mathbf{0,39 \text{ s}}$$

Alternativement, la valeur de C_T pour les structures avec des murs de refend en béton ou en maçonnerie peut être pris égales à (l'expression 2.11) :

$$C_T = 0.075 / \sqrt{A_C} \quad \text{Et} \quad A_C = \sum A_e \cdot [0.2 + (D_e/h_n)^2]$$

Où :

A_e : Est la section transversale du mur de contreventement dans la direction considérée au premier niveau du bâtiment, en m^2 ;

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

h_n : Est la hauteur du bâtiment (m),

On doit d'abord vérifier la condition suivante : $(D_e/h_n) < 0.9$.

Avec :

$$D_{Max_x} = 1,00 \text{ m} \quad ; \quad D_{Max_y} = 1,30 \text{ m}$$

$$\begin{cases} D_{Max_x} = \frac{1}{15.30} = 0,065 < 0,9 \\ D_{Max_y} = \frac{1,3}{15.30} = 0,085 < 0,9 \end{cases} \quad \text{Condition vérifiée.}$$

- **Sens x-x :** $A_C = 2 \left[1 \times 0,2 \left(0,2 + \left(\frac{1}{15.30} \right)^2 \right) \right] + 2 \left[0,9 \times 0,2 \left(0,2 + \left(\frac{0,90}{15.30} \right)^2 \right) \right]$

$$A_C = 0,155 \text{ m}^2 \quad \Rightarrow \quad C_{Tx} = 0.075 / \sqrt{0,155} = 0.19$$

- **Sens y-y :** $A_C = 4 \left[1,30 \times 0,2 \left(0,2 + \left(\frac{1,30}{15.30} \right)^2 \right) \right] = 0.20 \text{ m}^2$

$$A_C = 0,20 \text{ m}^2 \quad \Rightarrow \quad C_{Ty} = 0.075 / \sqrt{0,20} = 0,17$$

$$\Rightarrow \begin{cases} T_x = 0,19 \times 15,30^{\frac{3}{4}} = 1,47 \text{ s} \\ T_y = 0,17 \times 15,30^{\frac{3}{4}} = 1.315 \end{cases}$$

$$\begin{cases} T = \min(0,39 ; 1,47) \\ T = \min(0,39 ; 1,315) \end{cases} \quad \Rightarrow \quad T = 0,39 \text{ s}$$

La période calculée à partir des méthodes numériques de l'UBC 97 sera proche de la période empirique : **T = 0,39 s.**

❖ Les paramètres de l'UBC97 :

Au sol meuble de l'RPA99/v2003 correspond le sol de catégorie SD (tableau 2.9).de l'UBC 97.

Les valeurs des paramètres sismiques de l'ouvrage sont résumées dans le Tableau (3.24) suivant :

Tableau 3.24 Les paramètres sismique de l'UBC97 [11]

| Paramètres | Résultats |
|------------|-----------|
| C_a | 0,28 |
| C_v | 0,40 |
| R | 5,5 |
| Z | 0,20 |
| I | 1 |
| β | 0,2 |

La zone II a de (RPA99/v 2003) correspond à la zone d'asismicité moyenne de l'UBC97 : $Z = 0,20$

➤ **calcul de la force sismique totale**

$$V = \frac{C_v I}{R T} \cdot W = \frac{0,40 \times 1}{5,5 \times 0,39} \cdot 13333,55 \Rightarrow \mathbf{V = 2486,44 \text{ KN}}$$

L'effort sismique V ne doit pas être inférieur à : $V = 0,11 C_a I W$

et ne doit pas être supérieur à : $V = \frac{2,5 C_a I}{R} \cdot W$ (l'expression 2.27 et 2.28.) :

$$V = 0,11 C_a I W = 0,11 \times 0,28 \times 1 \times 13333,55 \Rightarrow \mathbf{V_{Min} = 410,67 \text{ KN}}$$

$V_{Min} = 410,67 \text{ KN} < V = 2486,44 \text{ KN}$ Condition vérifiée.

$$V_{Max} = \frac{2,5 C_a I}{R} \cdot W = \frac{2,5 \times 0,28 \times 1}{5,5} \cdot 13333,55 \Rightarrow \mathbf{V_{Max} = 1697 \text{ KN}}$$

$V = 2486,44 \text{ KN} > V_{Max} = 1697$ Condition Non vérifiée.

Donc on prend :

$$\mathbf{V = V_{Max} = 1697 \text{ KN}}$$

3.6.4 Comparaison des forces sismiques

Tableau 3.25 Comparaison l'effort tranchant à la base

| RPA99/v2003 | EC8 | UBC 97 |
|------------------------|-----------------------------------|--------------------|
| V = 1000, 02 KN | F_b = 1917 ,65KN | V = 1697 KN |

D'après les résultats présentes dans le tableau 3.15 nous pouvons constater que :

$$\mathbf{V = 1000, 02 KN < V = 1697 KN < F_b = 1917, 65KN}$$

Et on observe que, les efforts tranchants à la base selon l'UBC 97 sont supérieurs à l'effort tranchant de l'RPA99/v2003, et les deux sont inférieures à l'EC8

3.7 Conclusion

Dans ce chapitre, on a effectué une analyse comparative des résultats obtenus pour l'effort tranchant à la base.

Les règles parasismiques algériennes RPA99/v2003, l'Eurocode 8 (EC8) et le code américain (Uniform Building Code UBC 97) définissent presque de la même manière les masses sismiques qui sont égales à l'ensemble de charge permanente plus une fraction des charges variables, et cette fraction dépend du type de l'ouvrage.

Ceci s'explique par la différence entre les paramétrés ou les facteurs dans les différents Réglés parasismiques (Site, Zone, Spectre de réponse, période, coefficient d'importance).

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le séisme est un évènement naturel qui provoque plusieurs dégâts humains et Matériels, c'est pour cela que l'on trouve dans le monde plusieurs règlements concernant le calcul parasismique.

L'Algérie utilise un code parasismique qui s'appelle RPA99 version 20003 par contre en Europe on trouve l'eurocode8. et en En États-Unis d'Amérique on trouve l'UBC 97 (Uniforme building code).

L'analyse sismique de la structure est effectué conformément aux prescriptions et aux recommandations du règlement parasismique Algérien (RPA 99/2003) et du règlement Européen (EC8) et le code américain (l'UBC 97).

L'objectif de ce mémoire c'est d'effectuer une étude comparative entre les règlements algériens RPA99 /v2003 avec l'Eurocode 8 et l'UBC97. Pour cela on a essayé d'abords de comparer les directives des trois règlements d'une manière générale, ensuite on a fait une étude comparative pour un cas d'un bâtiment de 04 étages en béton armé. A travers ce mémoire, on a pu voir que les objectifs des trois codes sont les mêmes et qu'en général, les méthodes et les hypothèses sont similaires. Cependant il existe certaines différences à noter :

- Les zones sismiques Selon L'UBC 97 et l'Eurocode 8 et RPA sont classés en cinq zones. Ce paramètre est intégré dans le calcul des spectres dans L'Eurocode8 Cependant, dans RPA99/v2003, ce paramètre est considéré avec le paramètre de la classification des ouvrages dans le calcul de la force sismique à la base.

- Eurocode8 préconise trois spectres de réponse suivant le type de sol par contre L'UBC 97 présenté deux spectres de réponse. et RPA99/v2003 adopte un seul spectre de réponse élastique horizontale de calcul, similaire au 3eme spectre de l'EC8.

- D'après les différents règlements nous constatons que La formule de calcul de la période fondamentale est utilisée dans les trois codes.

- Selon le RPA99/v 2003 La détermination du coefficient d'amortissement dépend de type de structure et la nature des matériaux. alors que les autres codes (tels que l'EC8 et l'UBC 97) utilisent la même valeur du coefficient.

CONCLUSION GÉNÉRALE

- L'Eurocode8 et le RPA classent les ouvrages selon leurs importances en 4 catégories. Par contre le code américain (UBC97) adopte 4 à 5.
- Pour le calcul de la force sismique nous avons utilisée la méthode statique équivalente.

Après l'application et l'analyse comparative on observe que, les efforts tranchants à la base selon l'UBC 97 sont supérieurs à l'effort tranchant de l'RPA99/v2003, et les deux sont inférieures à l'EC8. même que les trois règles parasismiques Définissent presque de la même manière les masses sismiques qui sont égales à l'ensemble de charge permanente plus une fraction des charges variables, et cette fraction dépend du type de l'ouvrage. Ceci s'explique par la différence entre les paramétrés ou les facteurs dans les différents Réglés parasismiques.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIE

- [1] 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.
- [2] CHEBIHI Amina & LAOUAMI Nasser ETUDE COMPARATIVE DES REPONSES SISMIQUES REGLEMENTAIRES DE STRUCTURES EN BETON ARME. Alger, 17 et 18 Nov. 2014
- [3] KASSOUL Amar, Yousfi Mahfoud, BOUKORSI Elarbi et ELKHEIRI Nouredine, (2013), Comparaison des normes euro code 8 (EC8) et les règles parasismiques algériennes rpa99/v2003, Laboratoire de Structures, Géotechnique et Risques (LSGR) Université Hassiba Benbouali de Chlef ,Algérien, 10 Octobre 2013,10p.
- [4] Christian CHAMS, NORMES ET REGLEMENTATION PARASISMIQUE, Mercredi 28 mars 2012.
- [5] Règlement de Construction Parasismique (R.P.S 2000), Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Urbanisme, de l'Habitat et de l'Environnement. Royaume du Maroc.
- [6] 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] Rpa99, règles parasismiques algériennes 99 version 2003, Algérie, OPU 2003.
- [8] SADEDDINE Sabrina , ZOUANE Siham , Comparaison des règles parasismiques algériennes RPA99/2003 et européennes EUROCODE8 .Application a un bâtiment en béton armé, en R+4 à usage multiples implanté à Bouira, UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ-BOUIRA 2018.
- [9] 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.
- [10] AFPS., Diagnostic et renforcement du bâti existant vis à vis du séisme, Groupe de travail AFPS – CSTB, Mars 2013 .
- [11] UBC 1997, Structural Engineering Design Provisions, Uniform Building Code, Volume 2, California, 1997.
- [12] 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.
- [13] 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.

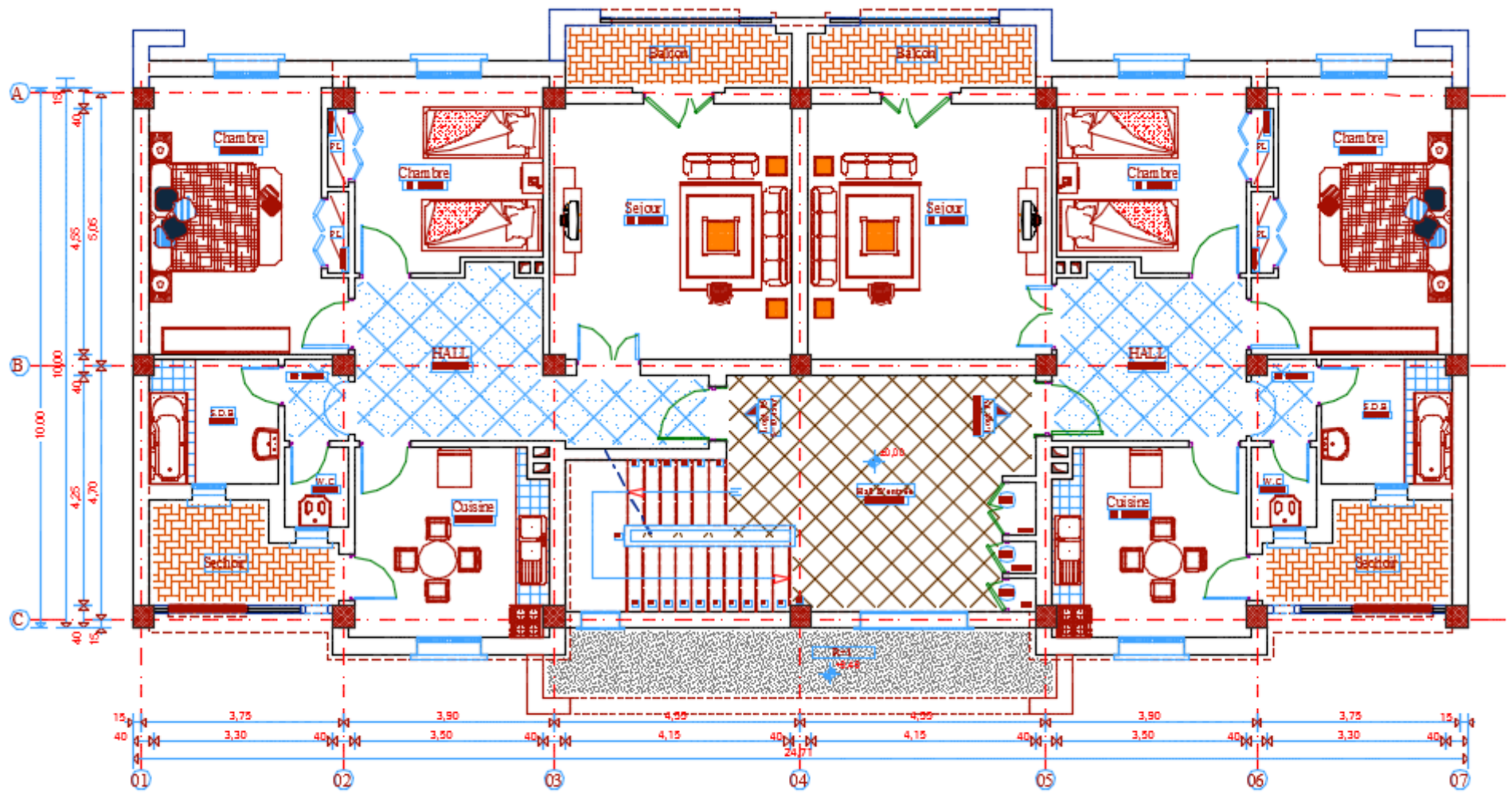
- [14] JEAN Lemaire, Évaluation de la vulnérabilité sismique du bâti existant selon l'Eurocode : Essai méthodologique et application au cas de Mulhouse – Bâle Volume 1, Thèse De Doctorat, Université Paris Nanterre, 2018.
- [15] PLUMIER André et DEGEE Hervé, Conception parasismique dans le contexte de l'Eurocode 8, Chapitre 2, Réponse élastique des structures aux séismes. Université de Liège, 2011.
- [16] CHEBIHI Amina, Investigations numériques sur la réponse sismique des structures et confrontation aux dispositions réglementaires des RPA 99/2003, UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE HOUARI BOUMEDIENE ,2010 .
- [17] MERAH Adel et KAHOUADJI Nadir , Étude paramétrique comparative de la conception et du dimensionnement Parasismique d'une structure selon Le règlement algérien RPA 2003 et l'Eurocode 8, Université ABOU-BEKR-BELKAID-TLEMCEN, 2019.
- [18] La nouvelle RÉGLEMENTATION PARASISMIQUE applicable aux bâtiments, Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement de France, Janvier 2011
- [19] Goulven Bertholom, Mise en application des Eurocodes 8 en zone de faible sismicité : conséquences techniques et économiques par l'étude de cas concrets et impact organisationnel dans un bureau d'études de structures béton de taille moyenne. Géotechnique, Mémoire présenté en vue d'obtenir le diplôme d'Ingénieur CNAM, Paris 2013.
- [20] ANNEXE 4-4 Réglementation parasismique nationale Eurocode 8 / PS-MI
- [21] PECKER Alain., Dynamique des structures et des ouvrages, Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Edition 2006
- [22] Hassani Karim. Effet des séismes proches et lointains sur La performance sismique des structures auto – stables en Béton armé rapport final, université Tizi-Ouzou 1/12/2013.
- [23] BELMOUDENI Youssef, Analyse spectrale non itérative des oscillateurs simples sous l'action des tremblements de terre, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne EPFL, rapport de recherche, ENAC-IS-IMAC, 2 janvier 2004.
- [24] EUROCODE 8 Initiation 68P, Séminaire Melody.
- [25] EUROCODE 8 : Conception et dimensionnement des structures pour leur résistance aux séismes et document d'application nationale, Partie 1-2 : Règles générales — Règles générales pour les bâtiments, Paris, AFNOR 2000.
- [26] EUROCODE 8 : Conception et dimensionnement des structures pour leur résistance aux séismes, Partie 2 : Ponts, Paris, AFNOR 2000.
- [27] BADAOUIM, Influence de l'hétérogénéité géologique et mécanique sur la réponse des sols multicouches, Thèse de doctorat, Ecole Nationale Polytechnique ENP, 2008.
- [28] 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 University, Department of Civil Engineering, 61080 Trabzon, Turkey.2006

- [29] 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

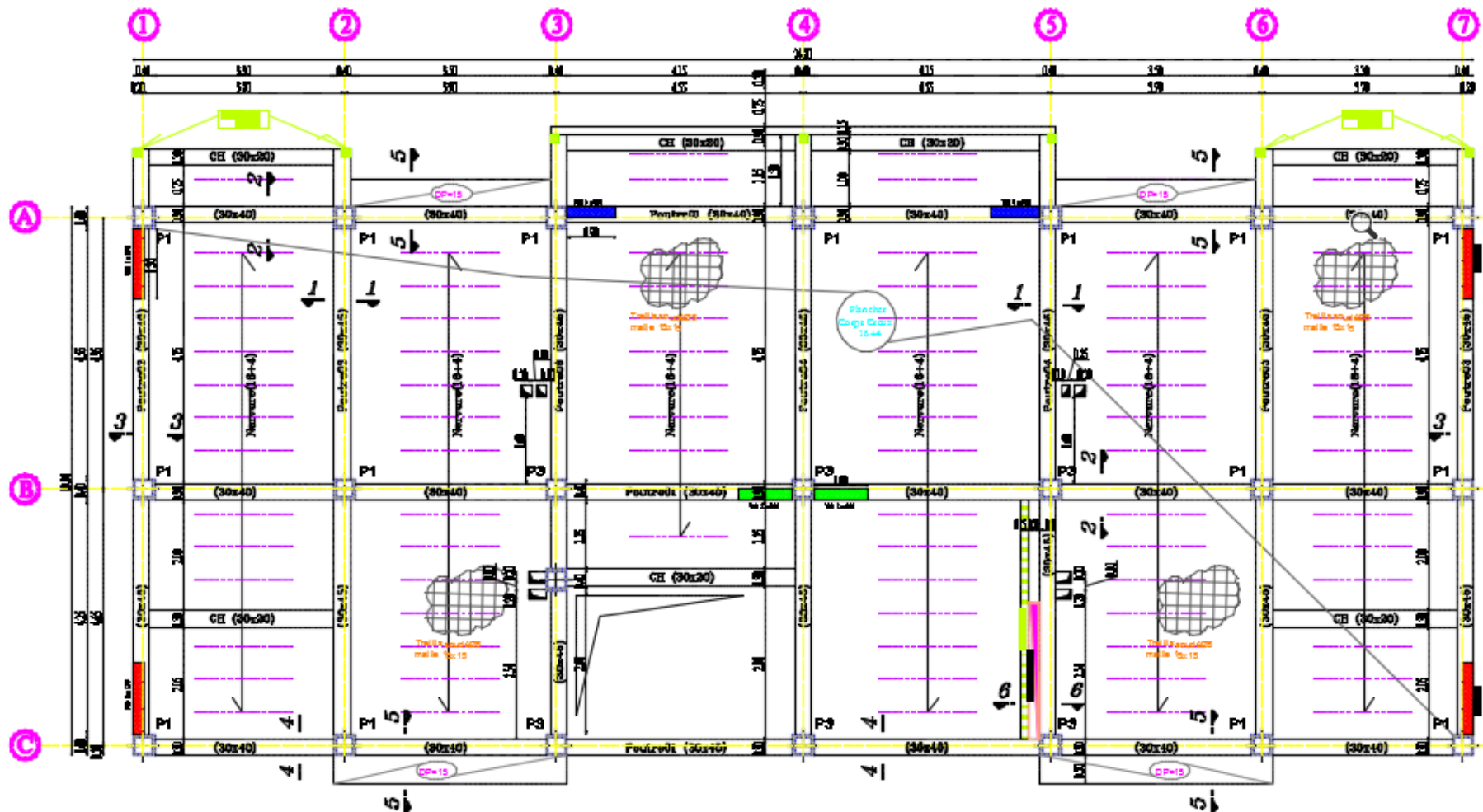
- [30] Règles Techniques de Conception et de Calcul des Ouvrages et Constructions en Béton Armé suivant la Méthode des États Limites BAEL 91 et BAEL 91 version 99, Edition Eyrolles, Paris, France.
- [31] Règles de conception et de calcul des structures en béton armé C.B.A93, Document Technique Réglementaire, DTR-B.C2.41.

- [32] Charge permanente et surcharges d’exploitation, Document Technique Réglementaire, DTR-B.C2.2

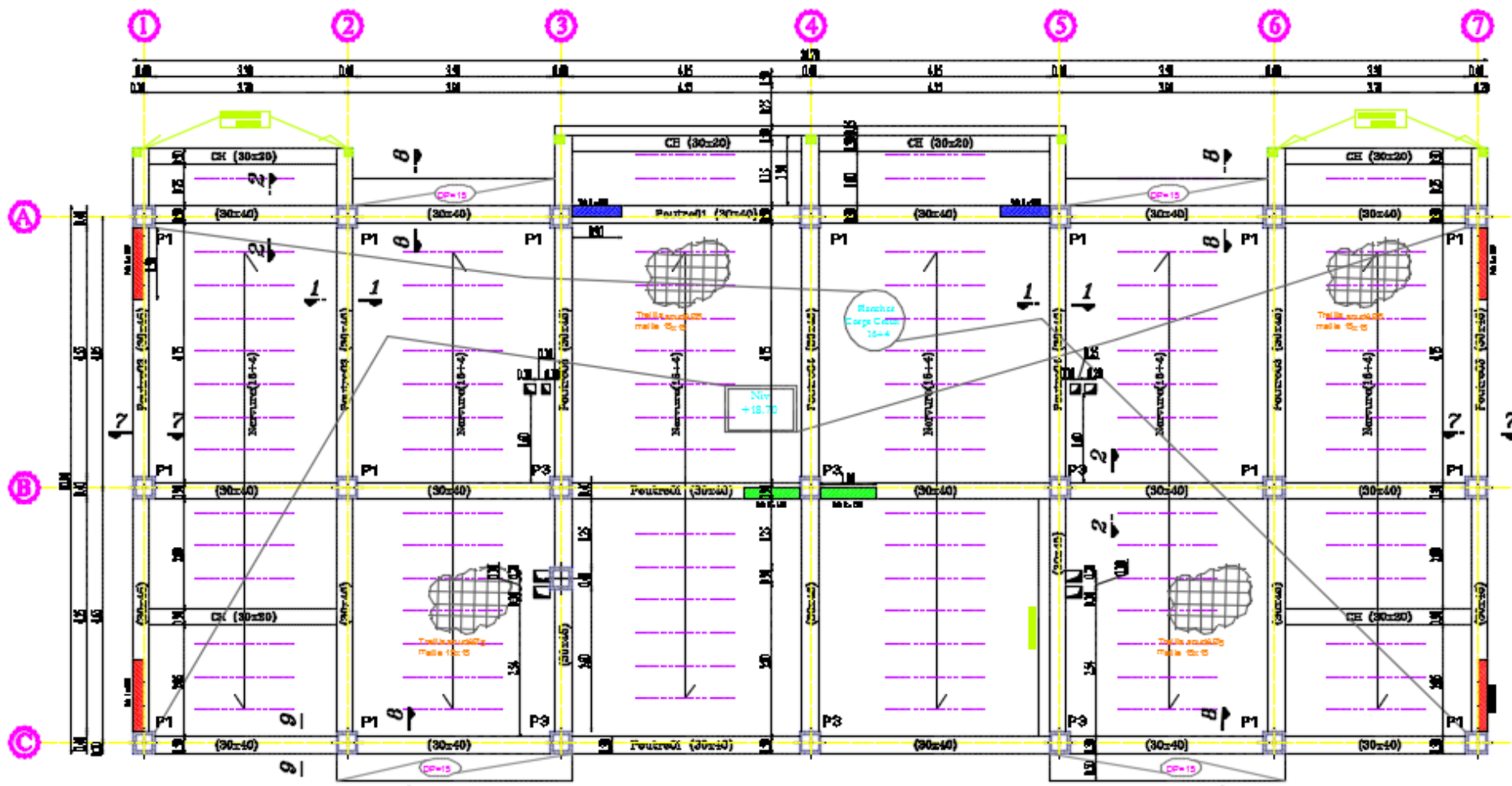
ANNEXE



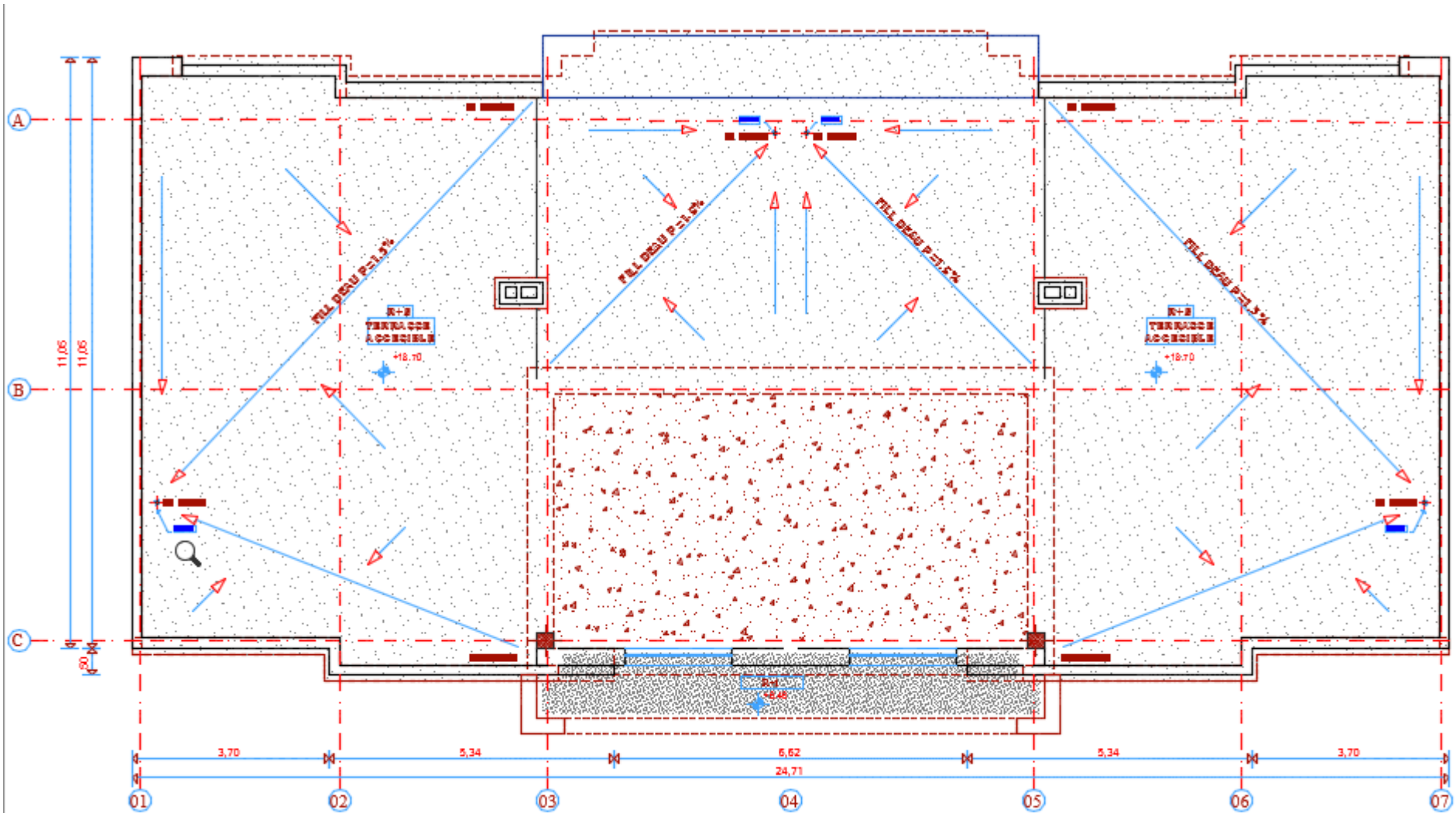
PLAN ETAGE COURANT



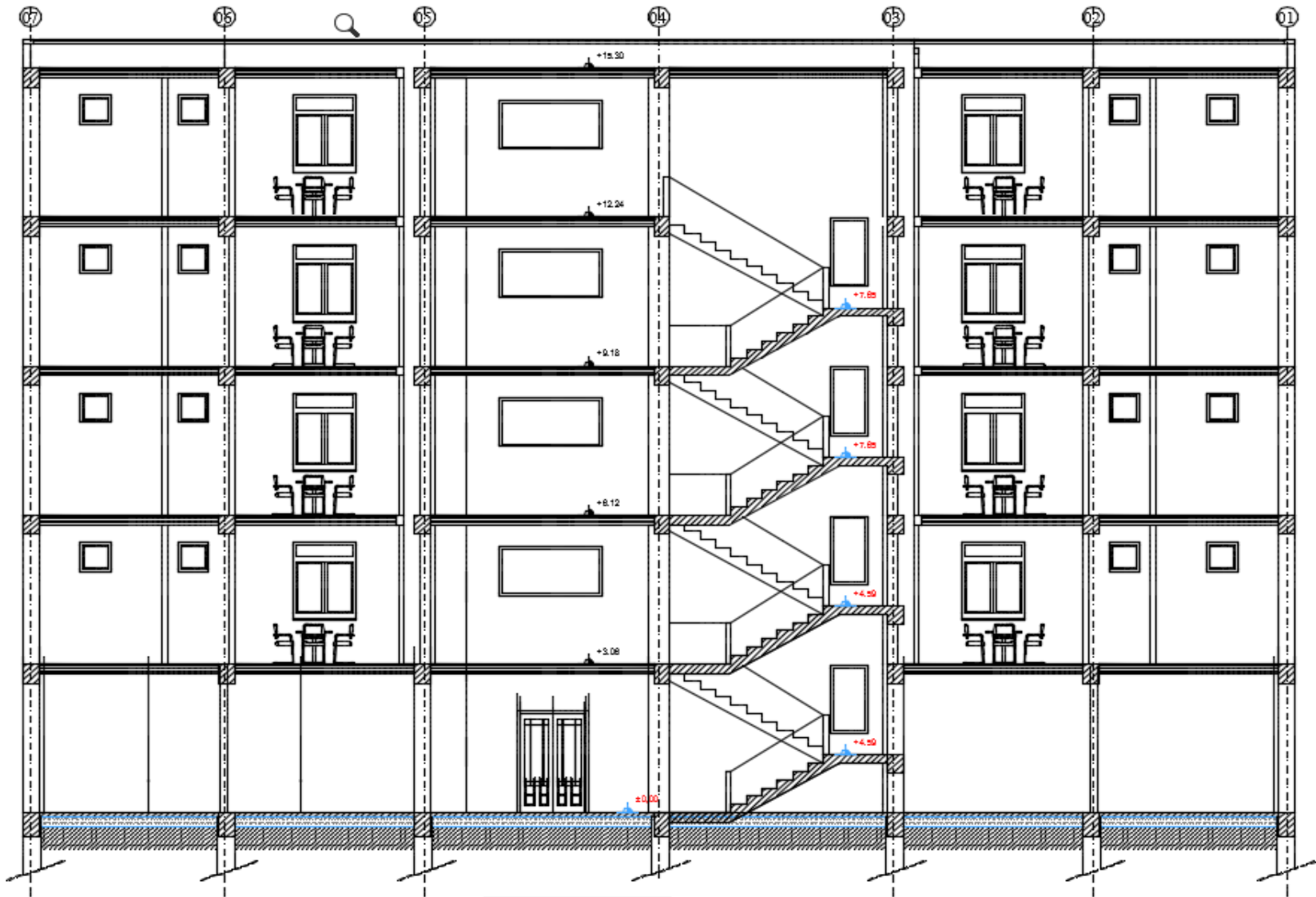
Plan Coffrage NIV: 3.06/ 6.12/ +9.18/ +12.24 Ech: 1/50



Plan Coffrage NIV: +15.30 Ech: 1/50



PLAN TERRASSE



COUPE B-B



Façade principale