

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ IBN KHALDOUN DE TIARET



FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES
DÉPARTEMENT DE GÉNIE CIVIL

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master

Spécialité: Genie Civil.

Option: Structures.

Présenté par :

AIT ALLAOUA FARES

BOUDALI ADDA

Sujet du mémoire:

**Evaluation de l'impact des périodes empiriques de
divers codes sur la réponse sismique des structures**

Soutenu publiquement le 09/06/2024 devant le jury composé de:

Mr. T. BENSATTALAH	Pr	Président
Mr. A. SAOULA	MCA	Rapporteur
Mr. T. HASSAINE DAOUADJI	Pr	Examineur
Mr. M. ZIDOUR	Pr	Examineur
Mme A. KABLIA	MCB	Examinatrice

Promotion: 2023-2024.

REMERCIEMENT

Je tiens tout d'abord à remercier mon encadreur, M.SAOULA .A, pour m'avoir fait confiance malgré les connaissances plutôt légères que j'avais, puis pour m'avoir guidé, encouragé, conseillé.

Je remercie tous ceux sans qui cette thèse ne serait pas ce qu'elle est : aussi bien par les discussions que j'ai eu eu la chance d'avoir avec eux, leurs sujétions ou contributions.

Les Profs. Mr.T.BENSATTALAH et Mr T.HASSAINE DAOUADJI et Mr M.ZIDOUR et Mme A.KABLIA qui ont accepté d'être les rapporteurs de cette thèse, et je les en remercie, de mémé que pour leur participation au jury.

Ils ont également contribué par leurs nombreuses remarques et suggestions à améliorer la qualité de ce mémoire, et je leur en suis très reconnaissant.

Sans oublier le chef département Mr.REBAHI. qui m'a aidé beaucoup et tout le staff administrateur qui travaille avec lui.

Je tiens aussi à mentionner le plaisir que j'ai eu à étudier au sein de l'université IBN KHALDOUN, département de génie civil.

Mr. BOUDALI.ADDA

Mr. AIT ALLAOUA FARES

DEDICACE

A la mémoire de mes parents .et mon père que j'ai tant aimé qu'il assiste à ma soutenance. A ma famille mon épouse BOUZZA .F, A mes chers enfants << OMNIA, ASSMA, ABOUABDELLAH, MALAK, AMIRA « qui ont toujours été là pour moi, et qui m'ont donné un magnifique modèle de labeur et persévérance. J'espère qu'ils trouveront dans ce travail toute ma reconnaissance et tout mon amour. A mes chers frères et sœurs: A mes Bou parents BOUAZZA.D et BOUGHANJA.N, A chaque amie de prêt au de loin, A mon cher frère AIT ALAOUA FARES

Mr. BOUDALI .ADDA

DEDICACE

A la mémoire de mes parents .et mon père que j'ai tant aimé qu'il assiste à ma soutenance. A ma famille. « qui ont toujours été là pour moi, et qui m'ont donné un magnifique modèle de labeur et persévérance. J'espère qu'ils trouveront dans ce travail toute ma reconnaissance et tout mon amour. A mes chers frères et sœurs: A mes Bou parents A chaque amie de prêt au de loin, A mon cher frère BOUDALI .ADDA & AIT ALLAOUA KADDA

Mr. AIT ALLAOUA FARES

Résumé :

La période fondamentale des structures constitue un paramètre primordial dans le dimensionnement et la détermination de la réponse des structures en zone sismique. A cet effet, des formules empiriques qui ont été déduites à partir des données statistiques sont présentées dans les codes parasismiques, et qui permettent de d'estimer la valeur de cette période fondamentale pour les différentes types de structures. Ces formules empiriques diffèrent d'un code parasismique à l'autre, ce qui affecte certainement le comportement des structures.

Le but de ce travail est d'estimer l'impact des périodes propres fondamentales fournies par les différents règlements parasismiques sur le dimensionnement et la performance sismique des structures en portiques auto-stables en charpente métallique. Une structure en charpente métallique a été considérée, et puis des analyses statiques linéaires sont exécutées en considérant les formules empiriques données par les différents règlements en vigueur. Ensuite, des analyses linéaires sont effectuées en tenant en compte l'effet de site et de la zone d'implantation. Les résultats des analyses linéaires montrent clairement l'influence de la valeur des périodes fondamentales estimées par les différents codes sur le comportement des structures.

Mots clés : Structure, portique auto-stable, Périodes fondamentales, code parasismique, méthodes d'analyse.

Abstract :

The fundamental period of structures constitutes a primordial parameter in the design and determination of the response of structures in seismic zones. To this end, empirical formulas which have been deduced from statistical data are presented in the seismic codes, and which make it possible to estimate the value of this fundamental period for the different types of structures. These empirical formulas differ from one seismic code to another, which certainly affects the behavior of structures.

The aim of this work is to estimate the impact of the fundamental natural periods provided by the different seismic regulations on the design and seismic performance of self-stable steel frame portal structures. A steel frame structure was considered, and then linear static analyzes are carried out by considering the empirical formulas given by the various regulations in force. Then, linear analyzes are carried out taking into account the effect of site and implantation area. The results of the linear analyzes clearly show the influence of the value of the fundamental periods estimated by the different codes on the behavior of the structures.

Keywords: Structure, self-stable portal, fundamental periods, seismic code, analysis methods.

ملخص:

يشكل الدور الأساسي للهياكل معلمة أساسية يف تصميم وحتديد استجابة اهلياكل يف املناطق الزلزالية. ولتحقيق هذه الغاية، يتم عرض الصيغ التجريبية املستخلصة من البيانات الإحصائية يف الرموز الزلزالية، واليت تتبح تقدير قيمة هذا الدور الأساسي الأنواع خمتلفة من اهلياكل. الصيغ التجريبية من رمز وختلاف هذه زلزایل إبل أخر، مما يؤثر بالتأكيد على سلوك اهلياكل.

اهلدف من هذا العمل هو تقدير تأثيري الدور الأساسي الذي توفره الأنظمة الزلزالية املختلفة على الأبعاد والأداء الزلزایل هلياكل البناية ذات الإطار املعدين املستقر ذاتياً. مت أخذ هيكل الإطار املعدين بعني الاعتبار، ومن مت يتم إجراء التحليلات الثابتة اخلطية من خالل النظر يف الصيغ التجريبية اليت تقدمها خمتلف اللوائح املعمول هبا. بعد ذلك، يتم إجراء التحليلات اخلطية مع الأخذ يف الاعتبار

البناية. تظهر نتائج التحليلات اخلطية بوضوح تأثيري قيمة تأثيري املوقع ومنطقة الدور الأساسي املقدرة

بالرموز املختلفة على سلوك اهلياكل.

الكلمات المفتاحية: اهلياكل، البناية ذاتية الثبات، الدور الأساسي، الكود الزلزایل، طرق التحليل.

SOMMAIRE

Remerciements	i
Dédicace	ii
Résumés.....	iv
Sommaire.....	vii
Liste des figures.....	x
Liste des tableaux	xii
Notations.....	xiv
Introduction Générale.....	2

CHAPITRE – I–

Aperçu sur les effets sismiques.

I.1. Les Séismes	5
I.1.2. Les aspects physiques.....	5
I.1.3. Le mécanisme.....	5
I.1.4. La propagations des ondes.....	6
I.1.5. Classification des séismes	7
I.1.5.1. Superficiels	7
I.1.5.2. Intermédiaires	8
I.1.5.3. Profonds	8
I.1.6. les propriétés et les mesures	8
I.1.7. Magnitude.....	8
I.1.8. L'intensité.....	8
I.2. L'aléa sismique et le risque sismique.....	9
I.2.1. L'aléa sismique dans une région donnée	9
I.2.2. Le risque sismique.....	9
I.2.3. L'évaluation de l'aléa sismique	10
I.3. Effets particuliers des séismes sur les constructions	11
I.4. Effets de site	13
I.5. Terminologie	14
I.6. Conclusion.....	15

Aperçu sur les différents règlements parasismiques.

II.1. Introduction.....	17
-------------------------	----

II.2. Formules empiriques de différents règlements	17
II.2.1. Formule de RPA 99 version 2009.....	17
II.2.2. Formule de l'Eurocode 8	18
II.2.3. Formule de code Américain ASCE 7-05	19
II.2.4. Formule de Code NBCC 95 (Canada)	20
II.2.5. Formule de code Américain UBC 97.....	20
II.3. Présentation des différentes méthodes d'estimation des forces sismiques	21
II.3.1. Méthode statique équivalente.....	21
II.3.1.1. Principe de la méthode.....	21
II.3.1.2. Modélisation.....	21
II.3.1.3. Domaine d'application	22
II.3.2. Méthode d'analyse modale spectrale	22
II.3.2.1. Principe de la méthode.....	22
II.3.2.2. Modélisation.....	22
II.3.2.3. Domaine d'application	22
II.3.3. Méthode d'analyse dynamique par accélérogrammes	22
II.3.4. Critères de classification	23
II.4. Conclusion	24

CHAPITRE – III–

Présentation de la structure.

III.1. Introduction :	26
III.2. Présentation et description de la structure	26
III.3. Caractéristiques mécaniques des matériaux	28
III.4. Descente de charges.....	28
III.5. Dimensions des éléments de la structure (poteaux et poutres)	30
III.6. Calcul des charges sismiques par la méthode statique équivalente	30
III.6.1. Force sismique totale à la base	30
III.6.2. Distribution de la résultante des forces selon la hauteur	32
III.6.3. Effort tranchant à l'étage	32
III.7. Modélisation et analyse	33
III.7.1. Description du logiciel « ETABS »	33
III.8. Conclusion	34

CHAPITRE –IV–

Effet des périodes fondamentales sur le comportement linéaire des structures.

SOMMAIRE

IV.1. Introduction	36
IV.2. Résultats et analyse.....	36
IV.2.1. Valeurs des périodes selon les différents codes.....	36
IV.2.2. Forces sismiques totales à la base	37
IV.2.3. Distribution des résultantes des forces selon la hauteur	39
IV.2.4. Efforts tranchants aux étages.....	40
IV.2.5. Vérification des déplacements relatifs.....	42
IV.2.6. Vérification de l'effet P- Δ	36
IV.3. Conclusion.....	45
IV.1. Introduction	48

CHAPITRE –V–

Effet de site sur le comportement sismique des structures.

V.1. Introduction.....	50
V.2. Forces sismiques pour différentes zones sismiques.....	50
V.3. Déplacements pour différentes zones sismiques.....	55
V.4. Effet de site sur les forces sismiques totales à la base	59
V.5. Effet de site sur les déplacements des niveaux	62
V.6. Conclusion	65
Conclusion générale et perspectives.....	66
Références bibliographiques.....	70

Liste des figures

Figure I.1 : Carte du monde montrant les principales plaques tectonique	06
Figure I.2 : Schéma avec définition du foyer et de l'épicentre	06
Figure I.3 : Ondes sismiques	07
Figure I.4 : Périodes couvertes par les différents types de données	10
Figure I.5 : Trace d'un paléoséisme sur une faille	11
Figure I.6 : Trois causes principales de destruction des constructions pendant les séismes	11
Figure I.7 : Glissement de terrain majeur résultant de la liquéfaction d'une couche de sable....	13
Figure I.8 : Le sol liquéfié entraîne l'inclinaison, voire le renversement, des bâtiments	13
Figure III.1 : La structure étudiée (RDC+8)..	27
Figure III.2 : Vue en plan de la structure étudiée (RDC+8)..	27
Figure III.3 : Distribution de la résultante des forces sur les différents niveaux.	32
Figure III.4 : Fenêtre de logiciel ETABS	34
Figure IV.1 : Différentes valeurs de forces sismiques totales à la base..	38
Figure IV.2 : Distribution des forces selon la hauteur pour les différents codes	39
Figure IV.3 : Efforts tranchants aux étages pour les différents codes	41
Figure IV.4 : Déplacements des étages pour les différents codes	45
Figure V.1 : Forces sismiques de chaque niveau (Zone I)..	52
Figure V.2 : Forces sismiques de chaque niveau (Zone II).	53
Figure V.3 : Forces sismiques de chaque niveau (Zone III)..	53
Figure V.4 : Efforts tranchants pour chaque niveau (Zone I)..	54
Figure V.5 : Efforts tranchants pour chaque niveau (Zone II)...	54
Figure V.6 : Efforts tranchants pour chaque niveau (Zone III).	55
Figure V.7 : Déplacements des niveaux (Zone I).	57
Figure V.8 : Déplacements des niveaux (Zone II)..	57
Figure V.9 : Déplacements des niveaux (Zone III)...	58
Figure V.10 : Déplacements max de dernier niveau pour les différentes zones sismiques	58
Figure V.11 : Forces sismiques totales à la base pour différentes sites (Zone III)..	59
Figure V.12 : Force sismique de dernier niveau pour les différents sites.....	61

Figure V.13 : Déplacements relatifs des niveaux (Zone III-S1).....	62
Figure V.14 : Déplacements relatifs des niveaux (Zone III-S2).....	63
Figure V.15 : Déplacements relatifs des niveaux (Zone III-S3).....	63
Figure V.16 : Déplacements relatifs des niveaux (Zone III-S4).....	64
Figure V.17 : Déplacements de dernier niveau pour les différents sites.....	64

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Valeurs du coefficient C_t	17
Tableau II.2 : Valeurs du coefficients C_t et x	19
Tableau III.1 : Charges sur plancher terrasse inaccessible	28
Tableau III.2 : Charges sur plancher étage courant	29
Tableau III.3 : Charges des murs de façade	29
Tableau III.4 : Charges des murs intérieurs	29
Tableau IV.1 : Formules empiriques pour l'évaluation du période.	36
Tableau IV.2 : Différentes valeurs du période.	37
Tableau IV.3 : Différentes valeurs de forces sismiques à la base	37
Tableau IV.4 : comparaison de valeurs de périodes et forces sismiques à la base.....	38
Tableau IV.5 : Distribution des forces selon la hauteur pour les différents codes.....	39
Tableau IV.6 : Comparaison de valeurs de forces sismiques aux valeurs numériques	40
Tableau IV.7 : Efforts tranchants aux étages pour les différents codes.	41
Tableau IV.8 : Comparaison de valeurs des efforts tranchants aux valeurs numériques	42
Tableau IV.9 : Déplacements obtenus par la formule RPA1.	43
Tableau IV.10 : Déplacements obtenus par la formule RPA2.	43
Tableau IV.11 : Déplacements obtenus par la formule de l'Eurocode 8	43
Tableau IV.12 : Déplacements obtenus par la formule de l'ASCE.....	44
Tableau IV.13 : Déplacements obtenus par la valeur numérique.....	44
Tableau IV.14 : Effet P- Δ obtenus par la formule de RPA1.....	46
Tableau IV.15 : Effet P- Δ obtenus par la formule de RPA2.	46
Tableau IV.16 : Effet P- Δ obtenus par la formule de l'Eurocode 8.	46
Tableau IV.17 : Effet P- Δ obtenus par la formule de l'ASCE.	47
Tableau IV.18 : Effet P- Δ obtenus par la valeur numérique.	47
Tableau V.1 : Forces sismiques totales à la base pour différentes zones sismiques (Sol S3).....	50
Tableau V.2 : Forces sismiques et efforts tranchants de niveaux (RPA1).	50
Tableau V.3 : Forces sismiques et efforts tranchants de niveau (RPA2).	51
Tableau V.4 : Forces sismiques et efforts tranchants de niveau (EC8).	51
Tableau V.5 : Forces sismiques et efforts tranchants de niveau (ASCE).	51
Tableau V.6 : Forces sismiques et efforts tranchants de niveau (Numérique).	52

Tableau V.7 : Déplacements des niveaux (Zone I).....	56
Tableau V.8 : Déplacements des niveaux (Zone II).	56
Tableau V.9 : Déplacements des niveaux (Zone III).	56
Tableau V.10 : Forces sismiques totales à la base pour différentes sites (Zone III).	59
Tableau V.11 : Forces sismiques et efforts tranchants pour différents sites (Zone III-RPA1).....	60
Tableau V.12 : Forces sismiques et efforts tranchants pour différents sites (Zone III-RPA2).....	60
Tableau V.13 : Forces sismiques et efforts tranchants pour différents sites (Zone III-EC8).	60
Tableau V.14 : Forces sismiques et efforts tranchants pour différents sites (Zone III-ASCE). ...	61
Tableau V.15 : Forces sismiques et efforts tranchants pour différents sites (Zone III-NUM).	61

NOTATIONS ET SYMBOLES

PGA : Accélération de pointe

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

C_t : Coefficient qui est en fonction du système de contreventement.

T_{RPA} : Période empirique de la structure donnée par le RPA.

T_{EC8} : Période empirique de la structure donnée par l'Eurocode 8.

T_{ASC} : Période empirique de la structure donnée par le règlement ASC.

T_{NBCC} : Période empirique de la structure donnée par le règlement BNCC.

T_{UBC} : Période empirique de la structure donnée par le règlement UBC.

T_{num} : Période numérique.

D : Dimension du bâtiment mesurée à sa base dans la direction de calcul considéré.

δ_N : Flèche horizontale au sommet du bâtiment

h : Est la hauteur du bâtiment (m)

d : Est le déplacement élastique horizontal du sommet du bâtiment (m),

N : Nombre de niveaux ;

D_s : Longueur du mur ou de l'ossature

G : Les charges permanentes qui présentent le poids mort.

Q : Les charges d'exploitation ou surcharge.

f_y : La limite élastique de l'acier.

f_u : La limite plastique.

E_a : Le module d'élasticité.

f_{c28} : La résistance à la compression du béton à 28 jours.

f_{t28} : La résistance à la traction du béton.

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

b : Dimension de la structure.

g : Accélération de la pesanteur.

V : Force sismique totale à la base.

V_{num} : Force sismique numérique totales à la base.

F_i : Force sismique au niveau i .

F_i^{num} : Force sismique numérique au niveau i .

V_k : Effort tranchant de niveau k .

δ_{ek} : Déplacement absolu latéral d'un étage.

Δ_k : Déplacement relatif latéral d'un étage.

R : Coefficient de comportement de la structure.

h_k : Hauteur du niveau k .

P_k : Poids total de la structure et des charges d'exploitations associées au-dessus du niveau k .

A : Coefficient d'accélération de zone.

D : Facteur d'amplification dynamique moyen.

η : Facteur de correction d'amortissement.

T_2 : Période caractéristique, associée à la catégorie du site.

Q : Facteur de qualité.

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

R : Coefficient de comportement global de la structure.

W : Poids total de la structure.

W_{Gi} : Poids dû aux charges permanentes et à celles des équipements fixes.

W_{Qi} : Charges d'exploitations.

β : Coefficient de pondération, fonction de la nature et de la durée de la charge.

F_t : Force concentrée au sommet de la structure.

W_i : Poids revenant au plancher i .

1. Introduction :

Un tremblement de terre est un risque violent et imprévu qui sollicite tous les structures d'une manière très différente de celle des actions usuelles. Si les structures n'ont pas été conçues pour cette éventualité et construites correctement, des sollicitations sismiques importantes peuvent les endommager fortement jusqu'à entraîner leur ruine.

Pour protéger les constructions contre les destructions qui peuvent être provoquées par les tremblements de terre, tous les pays du monde concernés ont adoptés des règles parasismiques pour faire face à ce phénomène. Les méthodes statiques équivalentes définissant l'excitation sismique et le mouvement dynamique de la structure sont choisies. Ces méthodes sont fondées sur l'estimation de la force sismique, qui sollicite la structure, en fonction de quelques paramètres et particulièrement les paramètres dynamiques (la période propre fondamentale, l'amortissement et les formes modales).

La période fondamentale des structures forme un paramètre primordial dans le dimensionnement et la conception de structures lorsqu'elles sont implantées dans une zone sismique. Dans le même cadre, les différents règlements parasismiques proposent des formules empiriques qui donnent la possibilité d'estimer la valeur de la période fondamentale selon le type de structures. Ces formules, sont généralement en fonction des caractéristiques géométriques de la structure.

Ce présent travail vise à évaluer l'impact des périodes fondamentales proposées par les différents codes parasismiques sur le comportement des structures en portique auto-stables en charpente métallique en utilisant une méthode d'analyse qui est la méthode statique équivalente.

Il s'agit de montrer l'effet de la période fondamentale sur le comportement d'une structure de bâtiment de 8 étages en portique auto-stables en charpente métallique. Sur la base d'une analyse par la méthode statique équivalente, quatre formules empiriques pour estimer la période fondamentale ont été considérées. Ces formules sont données par les règlements parasismiques RPA 99 version 2003, l'Eurocode 8 et le code américain ASCE 7-05.

Ce mémoire s'articule autour de cinq chapitres, après une introduction générale dont laquelle la problématique est introduite :

- Le premier chapitre est consacré à un aperçu sur les effets sismiques ;
- Un deuxième chapitre est dédié à la présentation des différentes méthodes de calcul de la période propre fondamentale d'une structure par les différents règlements parasismiques ;
- La présentation de la structure, les caractéristiques géométriques et mécaniques des matériaux font l'objet du chapitre trois.
- Le quatrième chapitre est consacré à l'étude de l'effet des périodes fondamentales sur le comportement linéaire des structures ;
- Le dernier chapitre consacré à l'étude de l'effet de site ainsi que de zone sur le comportement sismique des structures.
- En fin, on termine par une conclusion générale qui synthétise le travail.

Chapitre –I–

Aperçu sur les effets sismiques.

I.1. Les Séismes

Dans la plupart des cas, l'effondrement des structures est causé par des tremblements de terre. Le degré de dégâts varie en fonction de la gravité de l'impact du tremblement de terre ainsi que la distance de la structure par rapport à la source sismique. Dans le cas d'un tremblement de terre, le mouvement sismique s'étend de la source sismique, et ses caractéristiques à la surface de terrain dépendent de plusieurs facteurs à savoir : le mécanisme de la source, la distance de la source de rayonnement et les effets de site

Les séismes sont l'une des manifestations de la tectonique des plaques. Le risque sismique se mesure sous forme de probabilité établie d'après deux variables : l'aléa et la vulnérabilité. L'étude d'un séisme est effectuée par des équipes pluridisciplinaires, associant différents domaines de la science : géologie, sismologie, histoire, archéologie, ingénierie et architecture. [1]

I.1.2. Les aspects physiques

Un tremblement de terre, ou séisme, résulte de l'accumulation de tensions jusqu'au moment où les plaques de la croûte terrestre qui ont emmagasiné l'énergie de déformation la relâchent brusquement. Suite à ce processus les plaques bougent, pour reprendre leur état initial d'équilibre, ce qui crée des ondes sismiques qui se propagent dans toutes les directions.[2]

I.1.3. Le mécanisme

Les continents ne sont pas immobiles. Ceux-ci s'éloignent ou se rapprochent les uns des autres ou alors se chevauchent. Les différents phénomènes qui régissent les mouvements de ces plaques sont regroupés sous le terme de tectonique des plaques

Sous l'effet des contraintes causées le plus souvent par le mouvement des plaques tectoniques, la lithosphère (la croûte terrestre) accumule de l'énergie. Lorsqu'en certains endroits, la capacité de se déformer est atteinte, il se produit une ou des ruptures que l'on nomme des failles.

Le mécanisme du tremblement de terre résulte de la brusque libération de l'énergie emmagasinée par les différentes plaques de la croûte terrestre lors de leurs mouvements relatifs le long de ces failles. [3]

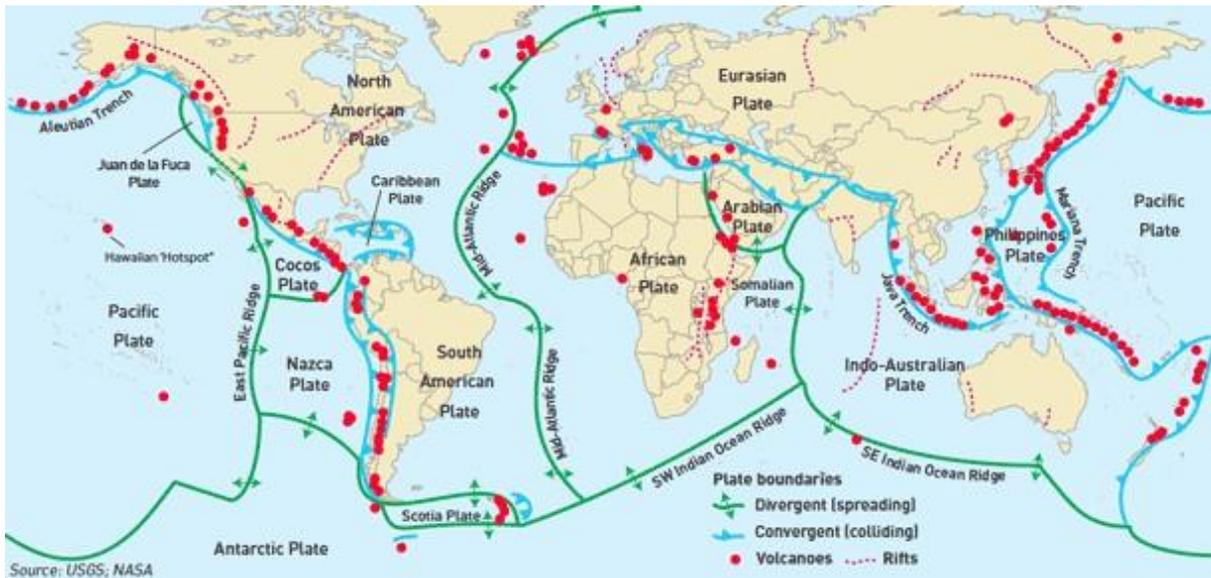


Figure I.1: Carte du monde montrant les principales plaques tectonique.

Dans une région donnée, si les mouvements se poursuivent, l'énergie va à nouveau s'accumuler et la rupture se fera dans les plans de failles déjà existants car ceux-ci constituent des plans de faiblesse dans la lithosphère.

I.1.4. La propagations des ondes

Lorsqu'un séisme se déclenche, un front d'onde sismique se propage dans la croûte terrestre dans toutes les directions. « On nomme hypocentre, ou foyer, le lieu dans le plan de la faille où se produit réellement le tremblement de terre. Alors que l'épicentre désigne le point à la surface terrestre à la verticale du foyer ».

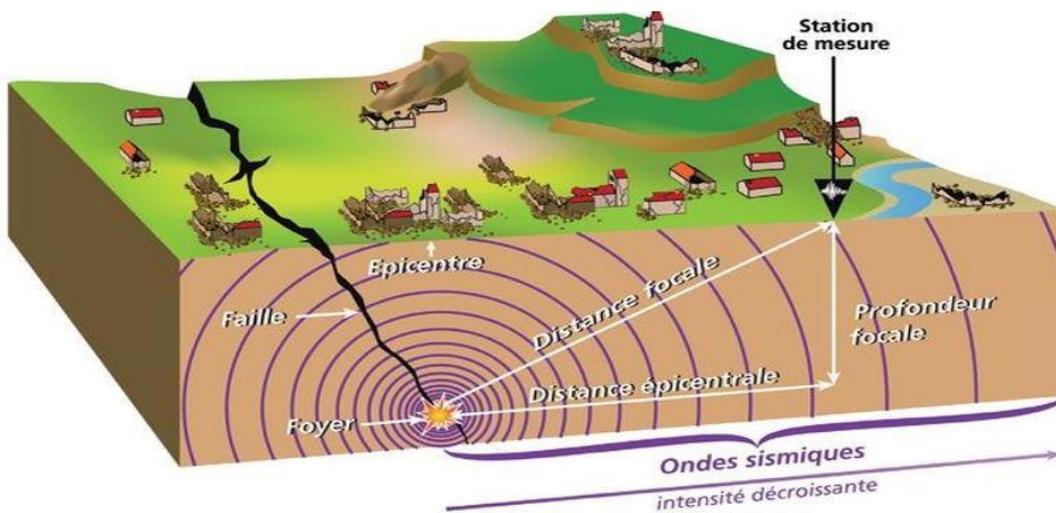


Figure I.2 : Schéma avec définition du foyer et de l'épicentre.

On distingue deux grands types d'ondes émises par un séisme, les ondes de volumes qui se propagent à l'intérieur de la terre en sphères concentriques à partir du foyer du séisme. Les deux ondes de volume les plus importantes sont les ondes P et les ondes S. La deuxième grande famille d'ondes, est celle de surface, qui se propage depuis l'épicentre jusqu'à la surface de la terre. On distingue les ondes L et les ondes de Rayleigh.[4]

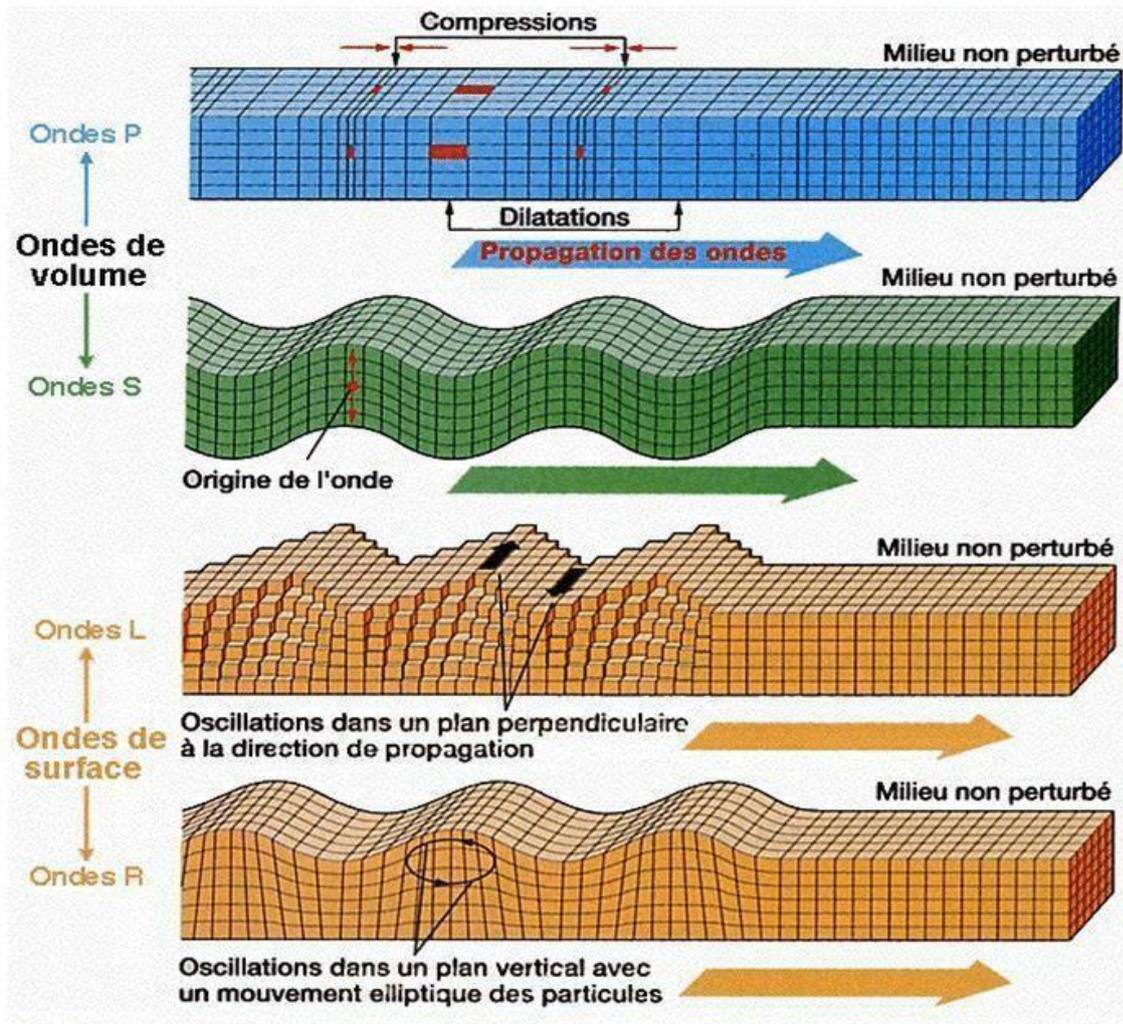


Figure I.3: Ondes sismiques.

I.1.5. Classification des séismes

Les séismes sont classés selon [5] :

I.1.5.1. Superficiels

Les plaques lithosphériques ont une épaisseur moyenne d'environ 70Km, la majorité des séismes sont superficiels c'est à dire leurs foyers ne dépassent pas une profondeur de quelques dizaines de kilomètres (0-70Km). Cette catégorie de séismes constitue la majorité des séismes destructeurs.

I.1.5.2. Intermédiaires

Ce sont des ébranlements dont la profondeur des foyers est comprise entre 70 et 300 ou 350 Km, ils constituent environ 25% de la totalité des séismes.

I.1.5.3. Profonds

Ils sont plus rare que les deux catégories précédentes et ne représentent qu'environ 5%. Ils ont des foyers qui se situent entre 300 et 700 Km. On les distingue des autres types de séismes du fait qu'ils produisent des dégâts sur de grandes surfaces

I.1.6. les propriétés et les mesures

Pour pouvoir décrire et qualifier un tremblement de terre, il est nécessaire de pouvoir le localiser ainsi que de pouvoir mesurer les mouvements du sol et ses impacts.

I.1.7. Magnitude

La magnitude M (échelle de RICHTER) est une évaluation de l'énergie libérée au foyer du tremblement de terre. Comme telle, cette quantité n'est pas utilisable par l'ingénieur des constructions qui s'intéresse à un mouvement en surface et dans une zone géographique donnée. Le foyer peut se trouver à plusieurs kilomètres sous la surface et à plusieurs centaines de kilomètres de la zone donnée.

I.1.8. L'intensité

L'intensité I (échelle de MERCALLI) est une caractérisation de l'importance des effets matériels observés en surface et de la perception par la population. Cette description vaut pour une zone géographique donnée, mais est assez qualitative. L'intensité en un point dépend non seulement de la taille du séisme (magnitude) mais aussi de la distance au foyer, de la géologie locale et de la topographie.

I.2. L'aléa sismique et le risque sismique

I.2.1. L'aléa sismique dans une région donnée

On définit comme l'aléa sismique d'une région le niveau d'un fort séisme qui risque de se produire dans cette région, généralement caractérisé par la valeur de l'accélération de pointe PGA et reportée sur les cartes de zonation de l'aléa sismique. Cette définition pose le problème de l'établissement de la valeur de calcul de PGA.

Dans une région sismique donnée, il se produit de nombreux tremblements de terre au fil du temps et on observe qu'il existe une relation entre la magnitude de ces séismes et leur fréquence d'apparition : les petits séismes sont nombreux, les gros sont rares. Des lois statistiques ont été établies par différents chercheurs : Gutenberg-Richter, Ambraseys.

I.2.2. Le risque sismique

Le « risque sismique » est associé aux effets que le séisme produirait sur les « enjeux » : structures, sols (glissements de terrain, etc...), humains, activité économique. Il dépend donc de l'action (alea), des constructions ou sols et des enjeux.

Si on peut caractériser les constructions ou sols par un paramètre « vulnérabilité » et qu'on s'intéresse spécifiquement au risque associé aux constructions, on a :

$$\text{Risque sismique} = \text{alea sismique} \times \text{vulnérabilité}$$

Deux méthodes de principe différent sont utilisées pour l'évaluation du risque sismique associé à un bâtiment :

- l'approche par calcul structurel détaillé : on établit un modèle de la structure dont on fait l'analyse afin d'établir les sollicitations internes, qu'on compare alors à des résistances et déformations de référence pour chaque élément structural. Ces comparaisons permettent d'établir le niveau de sécurité ou le risque associé à la structure. Cette procédure est très longue pour chaque bâtiment (~ 1 mois par bâtiment).
- On possède une base de données statistiques du comportement de structures, relevée lors de précédents tremblements de terre. On caractérise la structure étudiée par un « coefficient global de vulnérabilité ». En se référant à la base de données, on estime le

risque sismique associé à la structure. Cette procédure est rapide (~ 1 heure par bâtiment) ; on l'utilise dans des évaluations globales pour une ville ou une région.

Le risque sismique associé à un bâtiment s'exprime en % de dégradation ou en rapport du coût de réparation au coût de reconstruction. On peut aussi effectuer des études de risque en termes de pertes humaines ou économiques pour la ville ou le pays victime du séisme.

I.2.3. L'évaluation de l'aléa sismique

Il n'y a pas de protection efficace sans connaissance du danger. Si on ne peut agir sur l'aléa il faut tout mettre en œuvre pour améliorer sa connaissance. Pour savoir si un séisme important peut se produire dans une région, une première étape possible est d'installer un réseau de sismographes autour de cette région et d'enregistrer la sismicité c'est à dire toutes les secousses même minimales qui se produisent dans cette zone. Afin de connaître au mieux cette sismicité mais aussi d'estimer la magnitude maximale possible et la récurrence des séismes. Pour cela, le mieux est de faire des observations sur de très longues périodes qui doivent être d'autant plus longues que la sismicité de la zone est modérée. Cependant, enregistrer l'activité sismique pendant dix ans sans que rien ne se produise ne signifie pas qu'aucun séisme important ne se produira à plus long terme, dans 50 ou 100 ans.

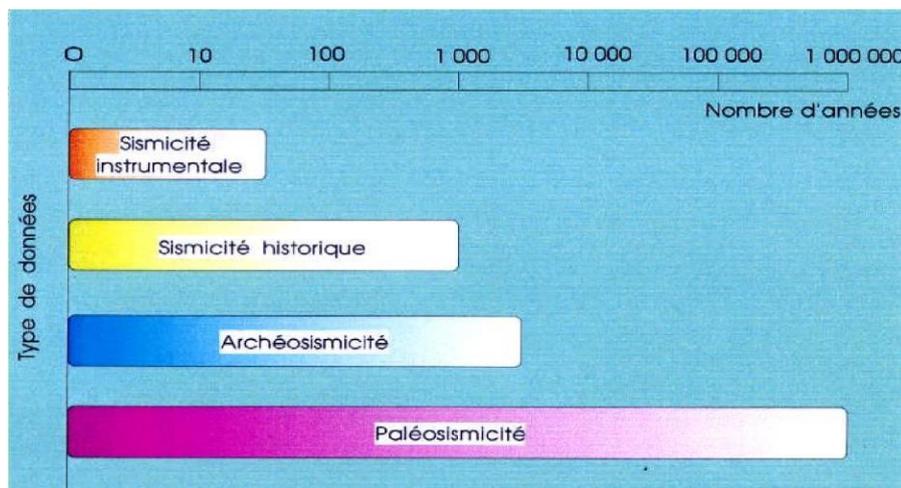


Figure I.4: Périodes couvertes par les différents types de données contribuant à l'évaluation de l'aléa sismique à long terme.

Pour évaluer l'aléa, les scientifiques essaient de retrouver la trace de séismes anciens en travaillant en collaboration étroite avec des historiens. Ce travail permet d'évaluer la « sismicité historique », il s'agit de faire une étude de la sismicité à partir des archives

historiques, de l'analyse des textes des documents historiques disponibles, soit sur une période d'environ mille ans.

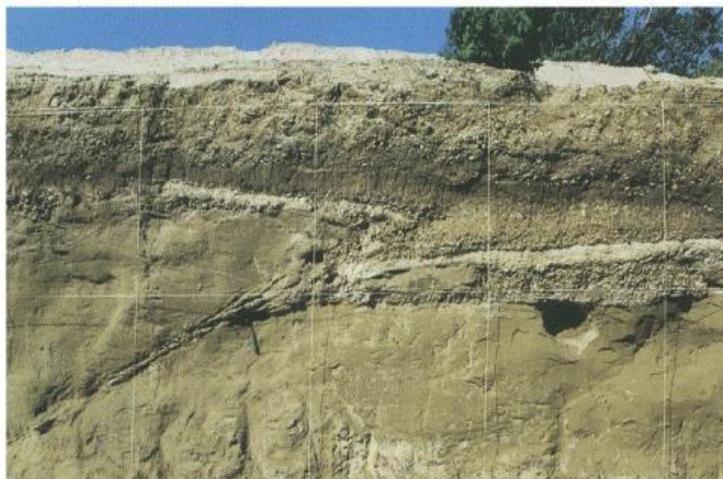


Figure I.5: Trace d'un paléoséisme sur une faille (La coupe met en évidence des couches déposées).

I.3. Effets particuliers des séismes sur les constructions

Afin de comprendre les causes d'effondrement des constructions à la suite des secousses telluriques, une connaissance approfondie du mouvement sismique et de l'interaction sols-structures est indispensable. On peut avoir trois types d'interaction structure-sollicitations sismiques.

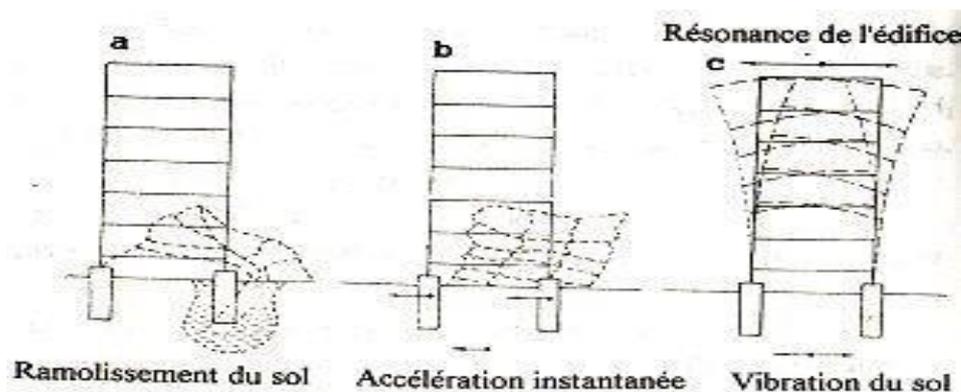


Figure I.6: Trois causes principales de destruction des constructions pendant les séismes

a- Tassement

Des sables secs soumis à vibration peuvent subir des tassements importants, qui peuvent être estimés par des mesures des vides du sable. Ces tassements peuvent atteindre quelques dizaines de cm. Différentiels ou non, ils peuvent être suffisants pour rendre une construction inutilisable.

b- Liquéfaction

Les sables fins saturés en eau peuvent être le siège d'un phénomène encore plus spécifique au contexte sismique : la liquéfaction des sols. Un matériau sans résistance au cisaillement se comporte comme un liquide, d'où le terme « liquéfaction » du sol. Ce phénomène peut entraîner des effets catastrophiques :

- une couche non liquéfiable située au-dessus d'une couche liquéfiée peut glisser sur celle-ci, si des pentes existent. Des déplacements de sol de grande amplitude sont possibles : ainsi, des glissements de terrain de plusieurs km ont été observés au Pérou. Des constructions situées dans ce genre de site sont entraînées dans le mouvement général du sol.
- dans les sites dont la surface est horizontale, on a observé des phénomènes d'inclinaison, voire de renversement des structures ; seul le respect de la condition de stabilité des bateaux (centre de gravité plus bas que le centre de carène) empêcherait ce renversement...

Les facteurs favorables à l'apparition du phénomène de liquéfaction sont :

- une énergie de vibration importante (fort tremblement de terre), nécessaire pour élever significativement la pression interstitielle.
- un sable fin à moyen, de densité peu élevée, à grains arrondis (faible cohésion) et saturé en eau.

Cette dernière circonstance se rencontre le plus souvent lorsque des loupes ou couches de sable sont comprises entre des couches d'argile imperméable. La sensibilité d'un sol au phénomène de liquéfaction est déterminable par des essais de laboratoire.

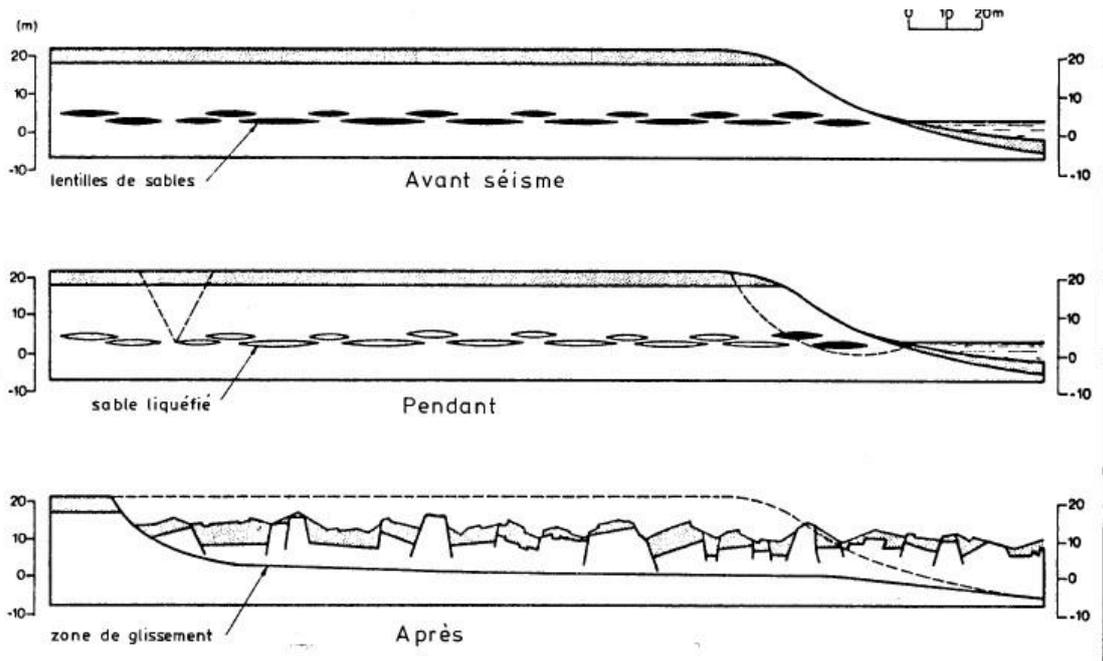


Figure I.7 : Glissement de terrain majeur résultant de la liquéfaction d'une couche de sable.



Figure I.8 : Le sol liquéfié entraîne l'inclinaison, voire le renversement, des bâtiments.

I.4. Effets de site

L'expérience montre que la distribution des accélérations dans une région n'est pas uniforme. Les couches de sols situées au-dessus du bedrock subissent leur propre excitation par le séisme et jouent un rôle de « filtre » pour les ondes transmises. Ce filtre est généralement un amplificateur. On note aussi que, toutes fréquences confondues, les zones

d'irrégularité géométrique de la surface du sol sont le siège d'amplification des mouvements du sol :

- les accélérations mesurées sur le bedrock sont plus importantes sur les crêtes qu'en zone plate
- de même dans les zones de discontinuité, telles des frontières alluvion-bedrock, en raison des déplacements différentiels de ces matériaux.

Ces informations qualitatives sont utiles lorsque le choix de l'endroit d'implantation de la construction existe.

I.5. Terminologie

Il sera plus approprié, d'exposer les définitions des termes les plus courants ayant relation étroite avec le risque sismique : [8]

a - Résilience : a résilience participe de la prévention et de la réduction des catastrophes, en particulier en s'attachant à rendre la population actrice tout à la fois des actions de réduction des risques et du devenir des territoires où elle vit, travaille, et développe différentes activités individuelles et collectives

b- Vulnérabilité : La vulnérabilité d'un système sera d'autant plus faible que sa résilience sera grande. Le risque est donc considéré comme une mesure de la situation dangereuse qui résulte de la confrontation de l'aléa et des enjeux.

c- Enjeux : personnes, biens, systèmes ou autres éléments présents dans les zones de risque et qui sont ainsi soumis à des pertes potentielles.

d- Aléas naturels : Un aléa naturel est un événement d'origine naturelle auquel sont exposés des personnes et / ou des biens : tempête, grêle, neige, inondation, tremblement de terre, mouvement de terrain, sécheresse, avalanche, éruption volcanique, submersion marine

e- Catastrophe naturelle : Il s'agit d'un événement naturel violent entraînant des effets destructeurs pour les êtres vivants affectés (animaux et humains). Pour être qualifié de catastrophe naturelle, l'événement doit se produire dans une zone habitée ou exploitée.

I.6. Conclusion

L'aléa sismique est continuellement présent sur le globe terrestre à cause de la tectonique des plaques. Actuellement, la recherche s'améliore afin de découvrir les origines des séismes, et ensuite de délimiter les effondrements des constructions en trouvant les démarches de prévention contre ce risque naturel.

Le risque sismique étant donné son incertitude, néanmoins les populations peuvent en faire face grâce à une bonne gestion. A cet effet, la gestion du risque sismique s'avère un outil très important pour la diminution de la vulnérabilité d'une construction comme des habitants, et d'autre coté, elle participe au développement de la « culture du risque».

Chapitre – II–

Aperçu sur les différents règlements parasismiques.

II.1. Introduction

Tous les règlements de calcul parasismique fournissent des formules empiriques pour évaluer la période propre fondamentale d'une structure. Ces formules empiriques sont fondées principalement sur des données expérimentales qui donnent la période fondamentale en fonction du matériau utilisés (acier, béton armé, etc.), du type de contreventement (portique auto-stable, voile, etc.), et des caractéristiques géométriques de la structure à étudier (hauteur, dimensions en plan, etc.).

Dans ce chapitre, un aperçu sur les différentes formules empiriques utilisées dans les règlements à travers le monde permettant d'estimer la valeur de la période fondamentale a été exposé.

II.2. Formules empiriques de différents règlements

II.2.1. Formule de RPA 99 version 2003

La formule empirique qui est donnée dans le code parasismique algérien RPA 99 / version 2003 [9] pour le calcul de la période propre de vibration est :

$$T_{RPA} = C_t h_n^{3/4} \quad (\text{II.1})$$

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

C_t : Coefficient donné par le tableau II.1, il est fonction du système de contreventement et du type de remplissage.

Tableau II.1 : Valeurs du coefficient C .

Cas N°	Système de contreventement	C_t
1	Portiques auto-stables en béton armé sans remplissage en maçonnerie	0,075
2	Portiques auto-stables en acier sans remplissage en maçonnerie	0,085
3	Portiques auto-stables en béton armé ou en acier avec remplissage en maçonnerie	0,05
4	Contreventement assuré partiellement ou totalement par des voiles en béton armé, des palées triangulées et des murs en maçonnerie	0,05

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

$$T_{RPA} = 0.09 \frac{h_n}{\sqrt{D}} \quad (\text{II.2})$$

Avec :

D : Dimension du bâtiment mesurée à sa base dans la direction de calcul considéré.

Dans ce cas, il y a lieu de retenir dans chaque direction considérée la plus petite des deux valeurs données respectivement par (II.1) et (II.2).

Le code précise également que la période fondamentale peut être calculée en utilisant une méthode rationnelle, telle que la méthode de Rayleigh. Il existe une version simplifiée de la formule de Rayleigh et qui s'écrit sous la forme suivante :

$$T_{RPA} = 2\sqrt{\delta_N} \quad (\text{II.3})$$

δ_N : Flèche horizontale au sommet du bâtiment, mesurée en mètres, due aux forces gravitaires appliquées horizontalement.

Les valeurs de T , calculées à partir des formules de Rayleigh ou de méthodes numériques ne doivent pas dépasser celles estimées à partir des formules empiriques appropriées de plus de 30%.

II.2.2. Formule de l'Eurocode 8

La période fondamentale d'un bâtiment doit être calculée pour chaque direction considérée par les méthodes suivantes : [10]

1. 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.
2. Pour les bâtiments jusqu'à 40 m de hauteur, une valeur approchée de T (en s) peut être obtenue par l'expression suivante :

$$T_{EC8} = C_t h^{3/4} \quad (\text{II.4})$$

Avec :

C_t : Est égal à 0,085 dans le cas des portiques spatiaux en acier, égale à 0,075 dans le cas des portiques spatiaux en béton et pour les triangulations excentrées en acier et égale à 0,050 pour toutes les autres structures ;

h : Est la hauteur du bâtiment (m), depuis les fondations ou le sommet d'un soubassement rigide jusqu'au dernier étage ;

3. La valeur de T (en s) peut être estimée aussi par l'expression suivante :

$$T_{EC8} = 2\sqrt{d} \quad (\text{II.5})$$

Avec :

d : Est le déplacement élastique horizontal du sommet du bâtiment (m), dû aux charges gravitaires appliquées horizontalement ;

II.2.3. Formule de code Américain ASCE 7-05

Les formules empiriques qui sont données dans le code américain ASCE 7-05 [11] pour le calcul de la période fondamentale sont comme suit :

- La période fondamentale en secondes, doit être déterminée à partir de l'équation suivante :

$$T_{ASC} = C_t h_n^x \quad (\text{II.6})$$

h_n : Est la hauteur (m) au-dessus de la base au plus haut niveau de la structure et les coefficients x et C_t sont déterminés à partir du tableau (II.2) :

Tableau II.2 : Valeurs du coefficients C_t et x .

Type de la structure	C_t	x
Système de portique résistant au moment dans lesquels les forces sismiques sont repris par les portiques à 100%.		
Portique en acier résistant au moment	0.0724	0.8
Portique en béton armé résistant au moment	0.0466	0.9
Portique en acier à triangulations excentrées	0.0731	0.75
Pour tout les autres structures	0.0488	0.75

D'autre part, pour les portiques résistant aux moments ne dépassant pas 12 niveaux avec une hauteur d'étage supérieur à 3.04 m, la période fondamentale peut être déterminée par :

$$T_{ASC} = 0.1 N \quad (\text{II.7})$$

N : Nombre de niveaux ;

II.2.4. Formule de Code NBCC 95 (Canada)

Les formules empiriques qui sont données dans l'édition 1995 du Code National du Bâtiment du Canada NBCC 95 [12] pour le calcul de la période fondamentale pour des ossatures résistant aux moments sont comme suit :

a- La formule suivante :

$$T_{NBCC} = 0.1 N \quad (\text{II.8})$$

Pour toute ossature résistant aux moments,

Ou par la formule :

$$T_{NBCC} = C h_n^{3/4} \quad (\text{II.9})$$

$C = 0.075$ Pour ossature en béton résistant aux moments,

$C = 0.085$ Pour ossature en acier résistant aux moments,

Si l'ossature résiste à 100% des forces latérales exigées et si elle n'est pas contreventée par des éléments plus rigides tendant à diminuer sa contribution à la résistance aux forces latérales, h_n étant en mètres ;

b- La formule suivante :

$$T_{NBCC} = 0.09 \frac{h_n}{\sqrt{D_s}} \quad (\text{II.10})$$

D_s : est la longueur du mur ou de l'ossature contreventé qui constitue le principal système de résistance aux forces latérales dans une direction parallèle aux forces exercées ;

II.2.5. Formule de code Américain UBC 97

La période du mode fondamental T mentionnée doit être déterminée comme suit : [13]

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

$$T_{UBC} = C_t h_n^{3/4} \quad (\text{II.11})$$

- $C_t = 0.0853$ 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 ;

II.3. Présentation des différentes méthodes d'estimation des forces sismiques

Les tremblements de terre sont une menace pour l'homme principalement à travers leurs effets directs sur les ouvrages (tels que la ruine partielle ou totale) et peuvent par ailleurs provoquer des effets secondaires comme les incendies et les explosions. Comme ils sont aussi dangereux par leurs effets induits sur les sites naturels tels que les glissements de terrains et les raz-de-marée (Tsunami). Les vibrations du sol (horizontales et verticales) provoquées par le passage des ondes sismiques entraînent les constructions dans leurs mouvements.

Les déplacements à la base de la construction provoqués par ces dernières engendrent des forces d'inertie qui sont proportionnelles au poids de la construction. De ce fait, plus la construction est lourde et plus l'action sismique est importante.

Différentes méthodes ont été élaborées pour estimer les forces sismiques pouvant solliciter une structure. On citera :

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

II.3.1. Méthode statique équivalente

II.3.1.1. Principe de la méthode

Les forces réelles dynamiques qui se développent dans la construction sont remplacées par un système de forces statiques fictives dont les effets sont considérés équivalents au mouvement du sol dans une direction quelconque dans le plan horizontal. Les forces sismiques horizontales équivalentes seront considérées appliquées successivement suivant deux directions orthogonales caractéristiques choisies à priori par le projeteur.

II.3.1.2. Modélisation

- Le modèle du bâtiment à utiliser dans chacune des deux directions de calcul est plan, les masses sont supposées concentrées au centre de gravité des planchers présentant un seul degré de liberté ' translation horizontale' par niveau.
- La rigidité latérale des éléments porteurs du système de contreventement est calculée à partir des sections non fissurées pour les structures en béton armé ou en maçonnerie.

- Seul le mode fondamental de vibration de la structure est à considérer dans le calcul de la force sismique totale.

II.3.1.3. Domaine d'application

Les conditions d'application de la méthode statique équivalente sont citées dans l'article 4.1.2 du RPA 99 [9]. Ces conditions sont restées inchangées dans l'addenda 2003.

II.3.2. Méthode d'analyse modale spectrale

II.3.2.1. Principe de la méthode

Le principe de cette méthode réside dans la détermination des modes propres de vibrations de la structure et le maximum des effets engendrés par l'action sismique, celle-ci étant représentée par un spectre de réponse de calcul. Les modes propres dépendent de la masse de la structure, de l'amortissement et des forces d'inerties.

II.3.2.2. Modélisation

Le modèle de bâtiment à utiliser doit représenter au mieux les distributions des rigidités et des masses de façon à prendre en compte tous les modes de déformations significatifs dans le calcul des forces d'inerties sismiques. La modélisation se base essentiellement sur quatre critères propres à la structure et au site d'implantation :

- La régularité en plan.
- La rigidité ou non des planchers.
- Le nombre de degrés de liberté des masses concentrées.
- La déformabilité du sol de fondation.

II.3.2.3. Domaine d'application

La méthode dynamique est une méthode générale et plus particulièrement quand la méthode statique équivalente ne s'applique pas.

II.3.3. Méthode d'analyse dynamique par accélérogrammes

Le même principe que la méthode d'analyse spectrale sauf que pour ce procédé, au lieu d'utiliser un spectre de réponse de forme universellement admise, on utilise des accélérogrammes réels.

Cette méthode repose sur la détermination des lois de comportement et la méthode d'interprétation des résultats. Elle s'applique au cas par cas pour les structures stratégiques (centrales nucléaires par exemple) par un personnel qualifié.

II.3.4. Critères de classification

Critères de classification par RPA 99 et l'addenda 2003 :

a- Classification des zones sismiques

Le territoire national est divisé en quatre (4) zones de sismicité croissante, définies sur la carte des zones de sismicité et le tableau associé qui précise cette répartition par wilaya et par commune :

- ZONE 0 : sismicité négligeable.
- ZONE I : sismicité faible.
- ZONE IIa et IIb : sismicité moyenne.
- ZONE III : sismicité élevée.

b- Classification de l'ouvrage

La classification des ouvrages se fait sur le critère de l'importance de l'ouvrage relativement au niveau sécuritaire, économique et social.

- Groupe 1A : ouvrages d'importance vitale.
- Groupe 1B : ouvrages de grande importance.
- Groupe 2 : ouvrages courant ou d'importance moyenne.
- Groupe 3 : ouvrages de faible importance.

II.4. Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté les formules empiriques de différents règlements parasismiques. D'après ces codes parasismiques cités auparavant, nous remarquons que ces formules empiriques diffèrent d'un règlement à un autre, et sont souvent en fonction des caractéristiques géométriques et des dimensions en plans dans la direction de l'excitation sismique.

Chapitre –III –

Présentation de la structure.

III.1. Introduction

Ce chapitre est dédié à la présentation et la modélisation de la structure à étudier. A cet effet, nous examinons une structure en portique auto-stable en charpente métallique, où les différentes formules citées précédemment seront utilisées pour estimer la période fondamentale à savoir : la formule proposée par les règlements sismiques RPA 99/ V 2003, l'Eurocode 8 et le code américain ASCE 7-05.

Cette structure est composée de neuf niveaux (rez-de-chaussée plus 8 étages). La méthode statique équivalente a été choisie pour analyser la structure, et quatre formules empiriques pour le calcul de la période propre fondamentale, proposées par les règlements sismiques RPA 99/ V 2003, l'Eurocode 8 et le code américain ASCE ont été utilisées.

III.2. Présentation et description de la structure

La structure étudiée est un bâtiment (R+8) symétrique et régulière, l'ossature est en portiques auto-stables en charpente métallique avec des remplissages en maçonnerie, et des planchers collaborant (mixtes). Ce bâtiment possède quatre travées dans les deux directions orthogonales avec un espacement uniforme de 4.80 m, et une hauteur d'étage uniforme de 3.00 m. (figures III.1 et III.2).

Le bâtiment est supposé être localisé dans une zone sismique III (forte sismicité) selon la classification du RPA 99 / version 2003, et implanté dans un site d'un sol de fondation supposé être ferme, sol de type S3 selon le même code.

- **Caractéristiques géométriques** : Les dimensions de l'ouvrage sont :

- Longueur totale du bâtiment : 19.20 m
- Largeur totale du bâtiment : 19.20 m
- Hauteur totale du bâtiment : 27.00 m
- Hauteur des étages : 3.00 m

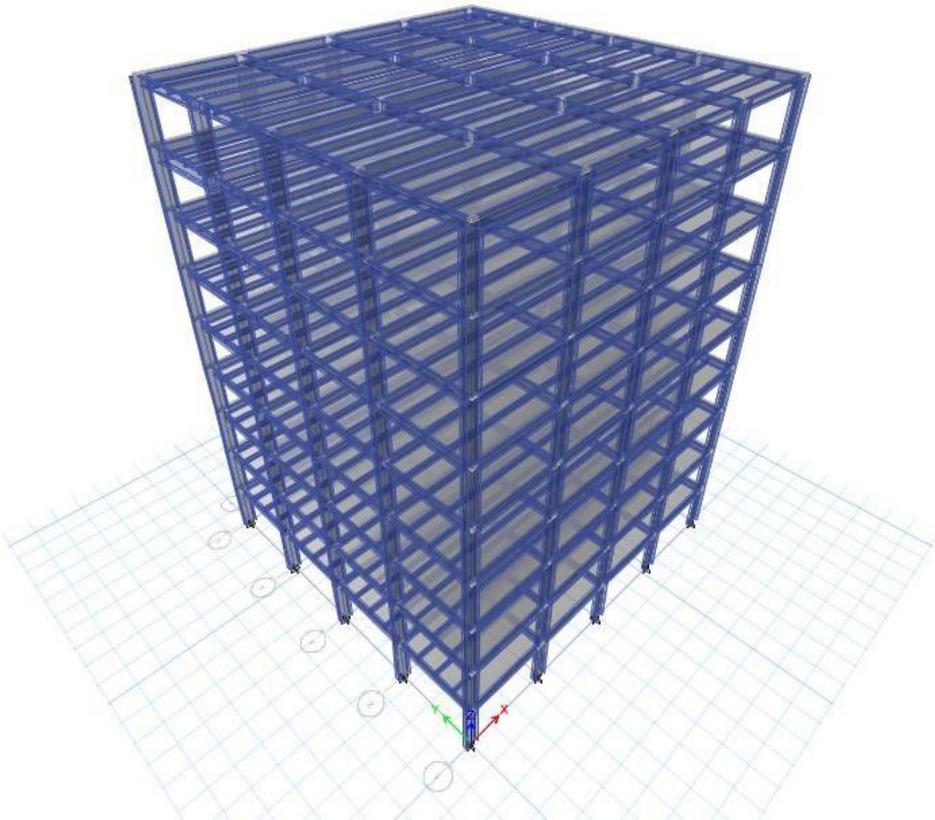


Figure III.1 : La structure étudiée (RDC+8).



Figure III.2 : Vue en plan de la structure étudiée (RDC+8).

III.3. Caractéristiques mécaniques des matériaux

- **Caractéristiques des aciers :**
 - La masse volumique : 7850 Kg/m³.
 - La limite élastique f_y : 355 MPa.
 - La limite plastique f_u : 510 MPa.
 - Le module d'élasticité E_a : 210000 MPa.
- **Caractéristiques du béton :**
 - La masse volumique de béton armé : 2500 Kg/m³.
 - La résistance à la compression du béton à 28 jours f_{c28} : 25 MPa.
 - La résistance à la traction du béton f_{t28} : 2,1 MPa.
 - Le module d'élasticité instantané E_{ij} : 32000 MPa

III.4. Descente de charges

La descente de charges a pour but la détermination des charges et surcharges revenant à chaque étage. Les charges réglementaires sont en général :

- Les charges permanentes qui présentent le poids mort G.
- Les charges d'exploitation ou surcharge Q.

a) Planchers terrasses inaccessible :

Tableau III.1 : Charges sur plancher terrasse inaccessible.

Éléments d'étanchéité	Chargement [KN/m ²]
Gravillon roulé de protection (4cm)	0.8
Etanchéité multicouche (2cm)	0.12
Forme de pente (10cm)	2.20
Isolation thermique en liège (4cm)	0.16
Enduit en plâtre (2cm)	0.20
Plancher mixte	2.8
Charge permanente G₇	6.28
Charge d'exploitation Q₇	1.00

b) Plancher d'étage courant (1er -7ème) étage :**Tableau III.2 :** Charges sur plancher étage courant.

Éléments de revêtement	Chargement [KN/m²]
Carrelage (2cm)	0.40
Mortier de pose (2cm)	0.40
Lit de sable (3cm)	0.51
Cloison (10cm)	0.9
Plancher mixte	2.8
Faux plafond	0.4
Charge permanente G_i	5.41
Charge d'exploitation Q_i	1.50

c) Murs de façade (extérieurs) :**Tableau III.3 :** Charges des murs de façade.

Enduit extérieur en ciment (2cm)	0,36 KN/m ²
Briques creuses (15cm)	1,30 KN/m ²
Briques creuses (10cm)	0,90 KN/m ²
Enduit intérieur en plâtre (2cm)	0,2 KN/m ²
Charge permanente G_{me}	2.76KN/m²

d) Murs intérieurs :**Tableau III.4 :** Charges des murs intérieurs.

Enduit en plâtre (2cm)	0,2 KN/m²
Briques creuses (10cm)	0,90 KN/m²
Enduit en plâtre (2cm)	0,2KN/m²
Charge permanente G_{mi}	1.3 KN/m²

III.5. Dimensions des éléments de la structure (poteaux et poutres)

Les dimensions des éléments du bâtiment étudié sont :

- Les poteaux : HEM650
- Les poutres principales (porteuses) : IPE400.
- Les poutres secondaires : IPE400.
- Les solives : IPE270.
- Epaisseur du plancher collaborant : 10cm
- Présence des goujons à tête : d=16mm

III.6. Calcul des charges sismiques par la méthode statique équivalente

Parmi les méthodes d'analyse des structures, la méthode statique équivalente dont les forces réelles dynamiques qui se développent dans la construction sont remplacées par un système de forces statiques fictives et les effets sont considérés équivalents à ceux de l'action sismique.

Les forces sismiques horizontales équivalentes seront considérées appliquées successivement suivant deux directions orthogonales caractéristiques choisies par le projeteur. Dans le cas général, ces deux directions sont les axes principaux du plan horizontal de la structure.

III.6.1. Force sismique totale à la base

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

$$V = \frac{A.D.Q}{R} W \quad (\text{III.1})$$

- A : Coefficient d'accélération de zone : Donné par le tableau 4.1 (RPA 99/ V 2003) suivant la zone sismique et le groupe d'usage du bâtiment.
- D : Facteur d'amplification dynamique moyen : En fonction de la catégorie du site, du facteur de correction d'amortissement « η » et de la période fondamentale de la structure T :

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

η : Facteur de correction d'amortissement donné par la formule suivante :

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{7+\xi}} \geq 0.7 \quad (\text{III.3})$$

T_2 : Période caractéristique, associée à la catégorie du site donnée par le tableau 4.7 (RPA 99/V 2003).

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

- 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 structure.
 - La régularité en plan et en élévation.
 - Contrôle de la qualité des matériaux.
 - La qualité du contrôle de la construction.
- La valeur de Q est déterminée par la formule suivante :

$$Q = 1 + \sum_1^5 P_q \quad (\text{III.4})$$

P_q : Pénalité à retenir selon que le critère de qualité q est satisfait ou non. Sa valeur est donnée au tableau 4.4 (RPA 99/ V 2003).

- R : Coefficient de comportement global de la structure : Dépend du système de contreventement sa valeur est donnée par le tableau 4.3 (RPA 99/ V 2003).
- W : Poids total de la structure : Est égal à la somme des poids W_i , calculés à chaque niveau i :

$$W = \sum W_i \quad (\text{III.5})$$

Où :

$$W_i = W_{Gi} + \beta W_{Qi} \quad (\text{III.6})$$

- W_{Gi} : Poids dû aux charges permanentes et à celles des équipements fixes éventuels, solidaires de la structure.
- W_{Qi} : Charges d'exploitations.
- β : Coefficient de pondération, fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation et donné par le tableau 4.5 (RPA 99/ V 2003).

III.6.2. 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 :

$$V = F_t + \sum F_i \quad (\text{III.7})$$

- F_t : Force concentrée au sommet de la structure permet de tenir compte de l'influence des modes supérieurs de vibration, sa valeur ne dépassera en aucun cas $0.25V$ et déterminée par :

$$F_t = \begin{cases} 0.07TV & \text{Si: } T > 0.7s \\ 0 & \text{Si: } T \leq 0.7s \end{cases} \quad (\text{III.8})$$

$$F_i = \frac{(V - F_t) h_i}{\sum_{j=1}^n W_j h_j} \quad (\text{III.9})$$

- F_i : Effort horizontal revenant au niveau i .
- h_i : Niveau du plancher où s'exerce la force F_i .
- W_i : Poids revenant au plancher i .

III.6.3. Effort tranchant à l'étage

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

$$V_k = F_t + \sum_{i=k}^n F_i \quad (\text{III.10})$$

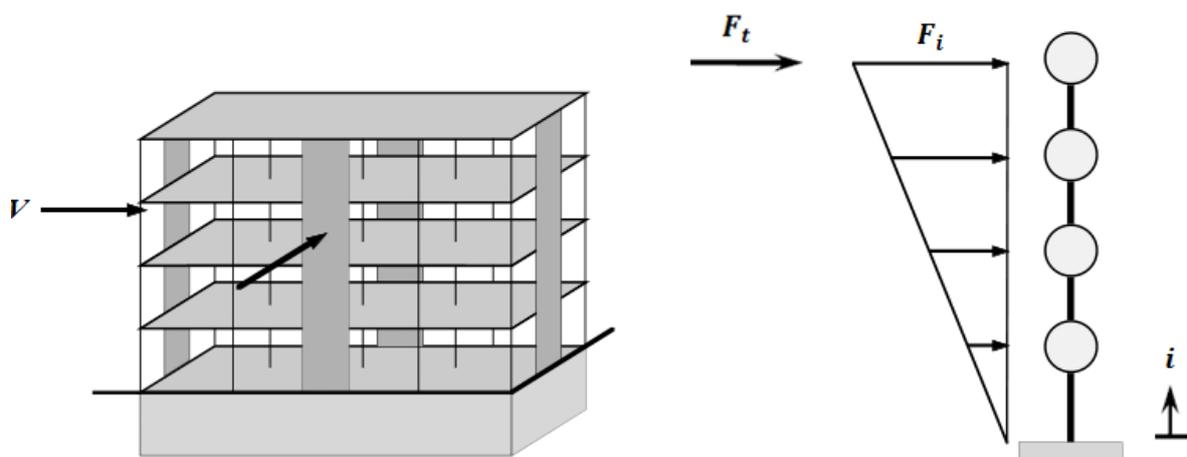


Figure III.3 : Distribution de la résultante des forces sur les différents niveaux.

III.7. Modélisation et analyse

III.7.1. Description du logiciel « ETABS »

L'ETABS est un logiciel de calcul des structures conçu exclusivement pour le calcul des bâtiments dont le nom est issu de l'abréviation « Extended 3D Analysis of Building Systems ». Il permet de modéliser facilement et rapidement tous types de bâtiments grâce à une interface graphique unique. Il offre de nombreuses possibilités pour l'analyse statique et dynamique avec des compléments de conception et de vérification des structures, ainsi il facilite considérablement l'interprétation et l'exploitation des résultats et la mise en forme des notes de calcul et des rapports explicatifs.

ETABS, Version 2016 dispose d'une interface graphique intuitive et puissante associée à la modélisation intégrée, et les procédures de conception d'analyse, le tout intégré en utilisant une base de données commune. Bien que rapide et facile pour les structures simples, ETABS peut également gérer des modèles les plus importants et les plus complexes de construction, y compris un large éventail de comportements non-linéaires, ce qui en fait l'outil de choix pour les ingénieurs structurels dans l'industrie du bâtiment.

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

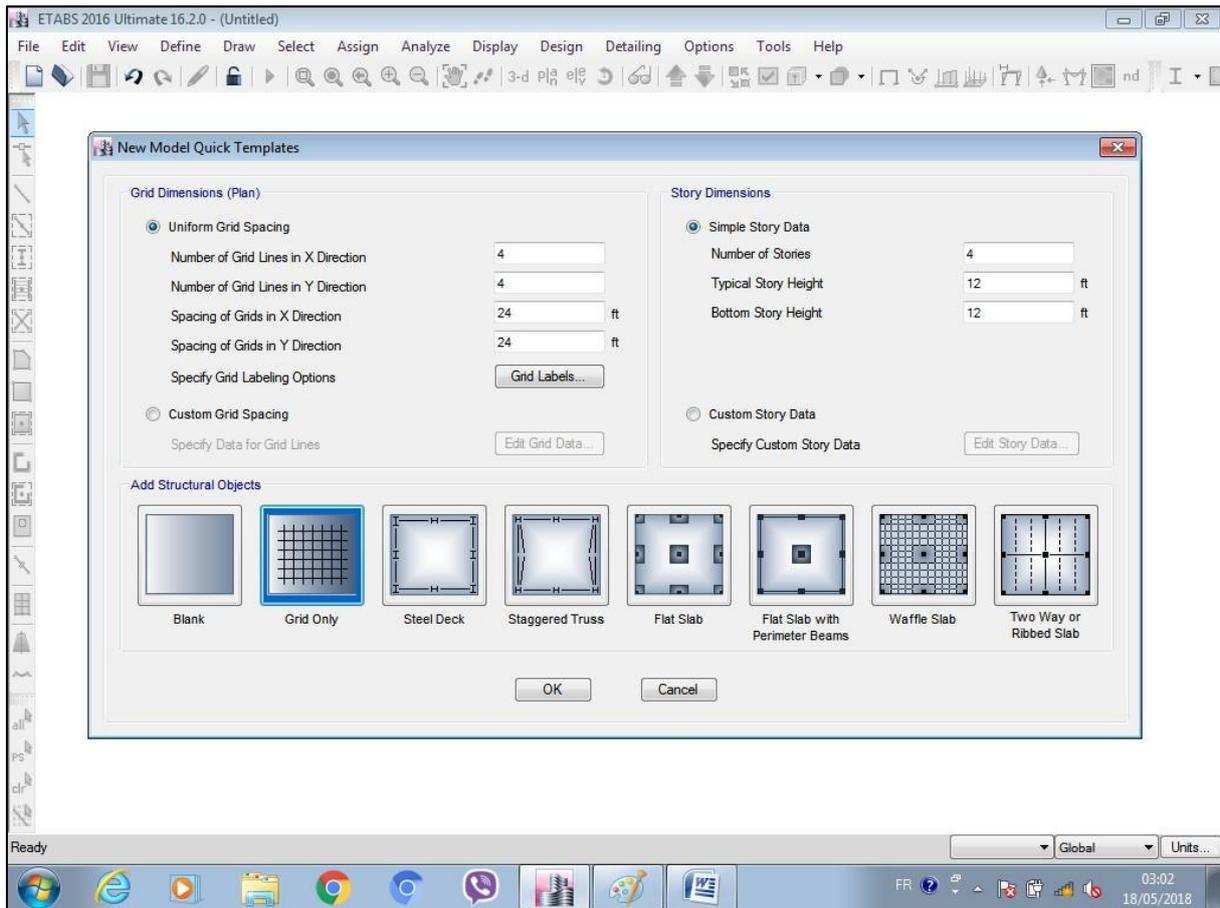


Figure III.4 : Fenêtre de logiciel ETABS.

III.8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons procédé à la présentation et à la modélisation de la structure objet de cette étude. Pour ce faire, le logiciel ETABS a été employé. Ce logiciel montre des avantages et des fonctions d'analyse tridimensionnelle, en plus des options d'application de divers types d'analyse (statique, modale, temporelle, etc.). La structure modélisée va faire l'objet d'une comparaison par la suite.

Chapitre –IV –

Effet des périodes fondamentales sur le comportement linéaire des structures.

IV.1. Introduction

Sur la base de ce qui a été mentionné dans le chapitre précédent, concernant les formules forfaitaires présentées dans les différents règlements parasismiques à travers le monde, donnant la période fondamentale d'une structure, il a été remarqué que l'expression de la période diffère d'un code à un autre, même pour un même type de structure.

Néanmoins, cette diversité entre ces formules peut avoir un effet important sur les actions sismiques qui sollicitent la structure et conduisent en conséquence à de différents dimensionnement de celle-ci.

Ce présent chapitre vise à évaluer l'impact des périodes fondamentales proposées par les différents codes parasismiques sur le comportement des structures en portique auto-stables en charpente métallique.

IV.2. Résultats et analyse

IV.2.1. Valeurs des périodes selon les différents codes

Pour l'application de la méthode statique équivalente, la première étape consiste à déterminer la période fondamentale de la structure. Les formules empiriques utilisées dans cette étude pour estimer la période fondamentale de vibration sont données dans le tableau IV.1 :

Tableau IV.1 : Formules empiriques pour l'évaluation du période.

Codes	Formules empiriques	Système de contreventement
RPA 99/2003	$T_{RPA1} = 0.05h_n^{3/4}$	Portique en acier avec remplissage en maçonnerie.
	$T_{RPA2} = 0.09 h_n/\sqrt{D}$	
Eurocode 8	$T_{EC8} = 0.085h_n^{3/4}$	portiques spatiaux en acier
ASCE 7-05	$T_{ASC} = 0.0724h_n^{0.8}$	Portique en acier résistant au moment

Le tableau suivant présente les valeurs de la période fondamentale pour les différents règlements ainsi que la valeur numérique obtenue par le logiciel ETABS.

Tableau IV.2 : Différentes valeurs du période.

Codes	Périodes (s)
RPA 99/2003	$T_{RPA1} = 0.592$
	$T_{RPA2} = 0.554$
Eurocode 8	$T_{EC8} = 1.006$
ASCE 7-05	$T_{ASCE} = 1.011$
Numérique	$T_{num} = 1.431$

IV.2.2. Forces sismiques totales à la base

Les résultats de calcul des forces sismiques totales «V» à la base obtenues par chacune des quatre formules empiriques des trois règlements considérés ainsi la valeur numérique sont donnés dans le tableau IV.3.

Tableau IV.3 : Différentes valeurs de forces sismiques à la base.

Codes	Périodes (s)	Forces sismiques totales à la base V(KN)
RPA 99/2003	$T_{RPA1} = 0.592$	5321.44
	$T_{RPA2} = 0.554$	5562.13
Eurocode 8	$T_{EC8} = 1.006$	3736.68
ASCE 7-05	$T_{ASCE} = 1.011$	3724.77
Numérique	$T_{num} = 1.431$	2955.03

L'examen des résultats de calcul des périodes propres et des forces sismiques totales à la base obtenus de la structure étudiée, nous a permis de constater ce qui suit :

- Quand la période fondamentale augmente, la force sismique à la base augmente. De ce fait, la force sismique totale à la base d'une structure est inversement proportionnelle à sa période fondamentale.
- Les périodes fondamentales obtenues par les formules RPA 99/ V 2003 sont plus faibles par rapport à celles obtenues par les formules de l'Eurocode 8 et du code américain ASCE 7-05.

- La comparaison des périodes obtenues par les règlements par rapport à la période numérique montre que la réduction des périodes de RPA 99/2003 peut atteindre plus de 61% tandis que pour EC8 et ASCE cette réduction ne dépasse pas les 30%.
- Les forces sismiques totales à la base obtenues par les formules RPA 99/ V 2003 sont plus grandes par rapport à celles obtenues par les formules de l’Eurocode 8 et du code américain ASCE 7-05. L’augmentation de cette force est entre 80 et 88% alors que ce même accroissement est environ 26%.

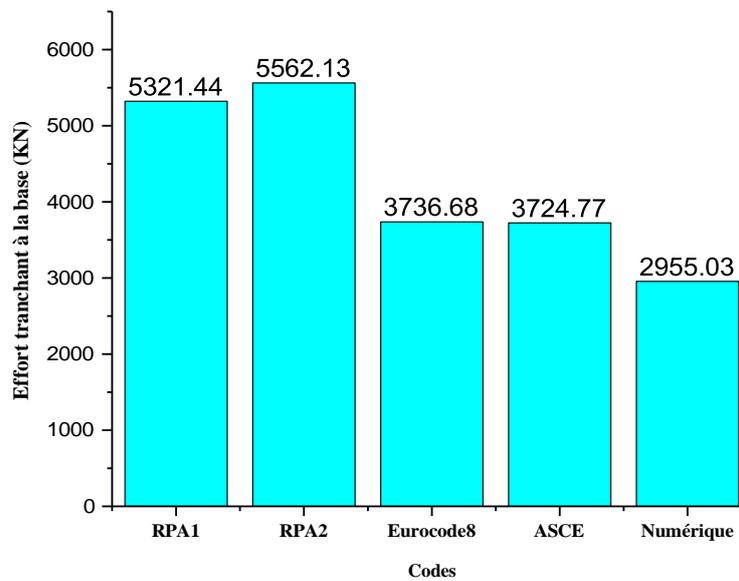


Figure IV.1 : Différentes valeurs de forces sismiques totales à la base.

Tableau IV.4 : comparaison de valeurs de périodes et forces sismiques à la base par rapport aux valeurs numériques.

Codes	T/T_{num}	$(T - T_{num}/T_{num}) \%$	V/V_{num}	$(V - V_{num}/V_{num}) \%$
RPA 99/2003	0.413	- 58.63	1.800	80.08
	0.387	- 61.29	1.882	88.23
Eurocode 8	0.703	- 29.70	1.264	26.45
ASCE 7-05	0.706	- 29.35	1.260	26.05

IV.2.3. Distribution des résultantes des forces selon la hauteur

La distribution des forces sismiques « F_i » obtenues par chacune des quatre formules empiriques des trois règlements considérés et la valeur numérique sur la hauteur de la structure est résumée et présentée dans le tableau IV.5 et la figure IV.2:

Tableau IV.5: Distribution des forces selon la hauteur pour les différents codes.

Niv	RPA (T_{RPA1})	RPA (T_{RPA2})	Eurocode 8	ASCE 7-05	Numérique
	F_i (KN)	F_i (KN)	F_i (KN)	F_i (KN)	F_i (KN)
9	1053.89	1101.56	687.92	685.47	526.61
8	949.36	992.30	619.69	617.48	474.38
7	829.55	867.07	541.48	539.55	414.51
6	711.04	743.20	464.13	462.47	355.29
5	592.53	619.33	386.77	385.39	296.08
4	474.03	495.47	309.42	308.32	236.86
3	355.52	371.60	232.06	231.24	177.65
2	237.01	247.73	154.71	154.16	118.43
1	118.51	123.87	77.35	77.08	59.22

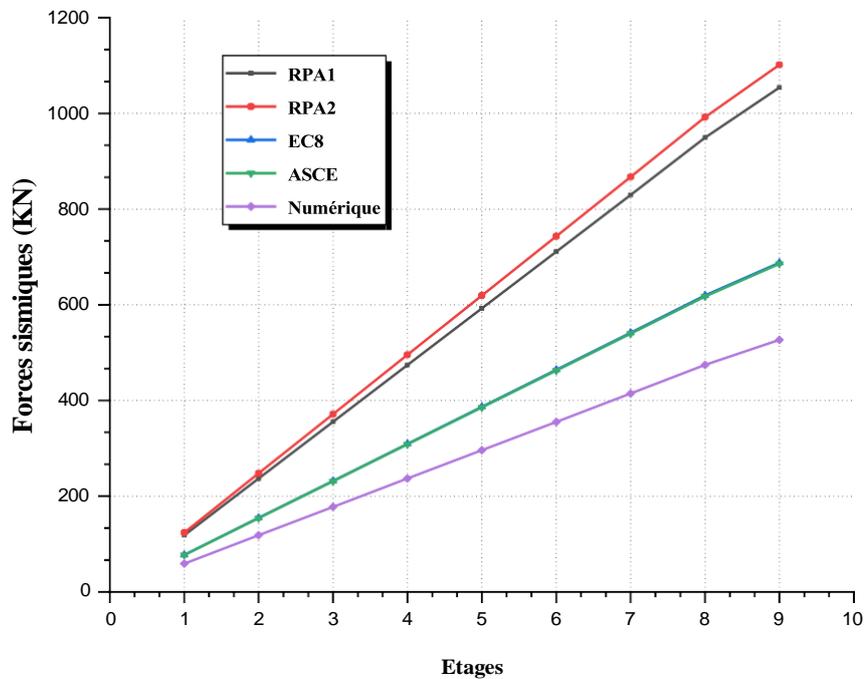


Figure IV.2 : Distribution des forces selon la hauteur pour les différents codes

Tableau IV.6 : comparaison de valeurs de forces sismiques par rapport aux valeurs numériques.

Niv	F_i^{RPA1} / F_i^{num}	F_i^{RPA2} / F_i^{num}	F_i^{EC8} / F_i^{num}	F_i^{ASCE} / F_i^{num}
9	2.00	2.09	1.31	1.30
8	2.00	2.09	1.31	1.30
7	2.00	2.09	1.31	1.30
6	2.00	2.09	1.31	1.30
5	2.00	2.09	1.31	1.30
4	2.00	2.09	1.31	1.30
3	2.00	2.09	1.31	1.30
2	2.00	2.09	1.31	1.30
1	2.00	2.09	1.31	1.30

D'après les tableaux IV.5-6 et la figure IV.2, nous constatons que :

- les forces sismiques au de niveau «i » obtenus en considérant les formules du RPA 99/ V 2003 sont plus importants que ceux résultants de l'utilisation des formules de l'Eurocode 8 et du code américain ASCE 7-05.
- Les forces sismiques totales à la base obtenues par les formules RPA 99/ V 2003 sont plus grandes par rapport à celles obtenues par les calculs numériques.
- En comparant les valeurs de F_i par rapport aux valeurs numériques, le rapport est de l'ordre de 2.00 pour les valeurs de RPA 99/ V 2003, et 1.30 pour celles de l'Eurocode 8 et du code américain ASCE 7-05.
- Les rapports des forces aux différents niveaux par rapport aux valeurs numériques sont constants quel que soit le code de calcul utilisé.

IV.2.4. Efforts tranchants aux étages

Pour mieux apprécier l'influence de la valeur de la période fondamentale sur l'effort tranchant de niveau « V_k », les efforts tranchants de niveau des, correspondant à chacune des quatre formules empiriques des trois codes considérés ainsi que les valeurs numériques sont présentés (tableau IV.7 et la figure IV.3).

Tableau IV.7 : Efforts tranchants aux étages pour les différents codes.

Niv	RPA (T_{RPA1})	RPA (T_{RPA2})	Eurocode 8	ASCE 7-05	Numérique
	V_i (KN)	V_i (KN)	V_i (KN)	V_i (KN)	V_i (KN)
9	1053.89	1101.56	687.92	685.47	526.61
8	2003.26	2093.86	1307.62	1302.96	1000.99
7	2832.80	2960.93	1849.10	1842.51	1415.50
6	3543.84	3704.13	2313.23	2304.98	1770.79
5	4136.37	4323.46	2700.00	2690.38	2066.87
4	4610.40	4818.93	3009.42	2998.69	2303.73
3	4965.92	5190.53	3241.48	3229.93	2481.38
2	5202.93	5438.26	3396.19	3384.09	2599.81
1	5321.44	5562.13	3473.55	3461.17	2659.03

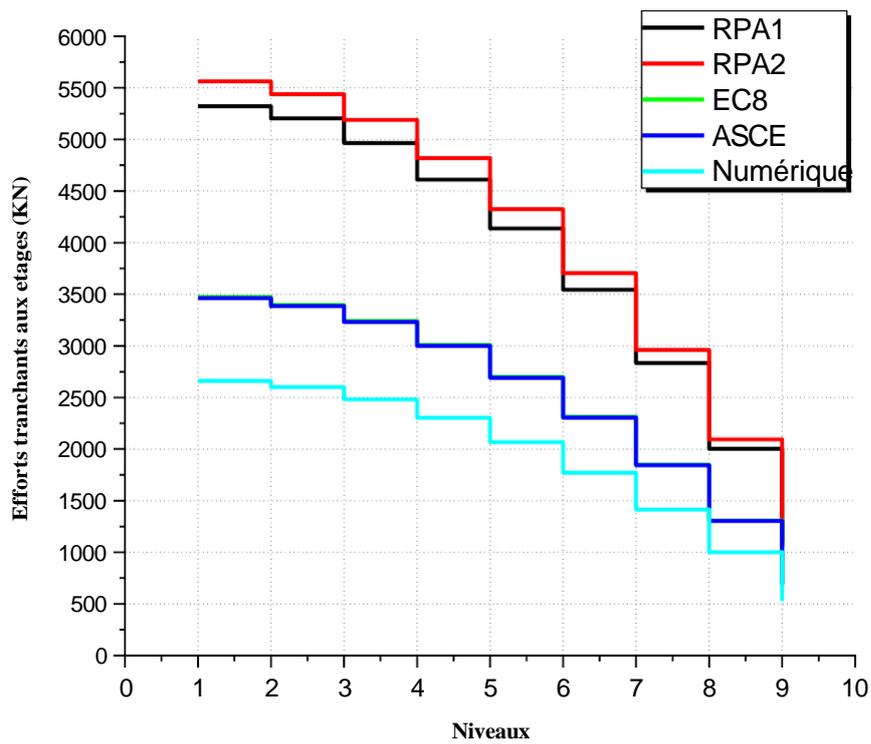


Figure IV.3 : Efforts tranchants aux étages pour les différents codes

Nous remarquons que :

- Les efforts tranchants au de niveau «i » obtenus en considérant les formules du RPA 99/ V 2003 sont plus importants que ceux résultants de l’utilisation des formules de l’Eurocode 8 et du code américain ASCE 7-05.
- En comparant les valeurs de V_i par rapport aux valeurs numériques, le rapport est de l’ordre de 2.00 pour les valeurs de RPA 99/ V 2003, et 1.30 pour celles de l’Eurocode 8 et du code américain ASCE 7-05.
- Les rapports des efforts tranchants aux différents niveaux par rapport aux valeurs numériques sont constants quel que soit le code de calcul utilisé.
- Les rapports des efforts tranchants aux différents niveaux par rapport aux valeurs numériques sont constants et sont de même valeurs que les rapports des forces sismiques. (Tableau IV.8)

Tableau IV.8 : Comparaison de valeurs des efforts tranchants par rapport aux valeurs numériques.

Niv	V_i^{RPA1}/V_i^{num}	V_i^{RPA2}/V_i^{num}	V_i^{EC8}/V_i^{num}	V_i^{ASCE}/V_i^{num}
9	2.00	2.09	1.31	1.30
8	2.00	2.09	1.31	1.30
7	2.00	2.09	1.31	1.30
6	2.00	2.09	1.31	1.30
5	2.00	2.09	1.31	1.30
4	2.00	2.09	1.31	1.30
3	2.00	2.09	1.31	1.30
2	2.00	2.09	1.31	1.30
1	2.00	2.09	1.31	1.30

IV.2.5. Vérification des déplacements relatifs

Selon le règlement RPA99/V 2003, Art 5.10, les déplacements relatifs latéraux d’un étage par rapport aux étages qui lui sont adjacents, ne doivent pas dépasser 1% de la hauteur de l’étage. Tous les résultats de calcul obtenus pour chacune des quatre formules empiriques des trois règlements considérés et ceux de calcul numérique sont récapitulés dans les tableaux suivants :

Tableau IV.9 : Déplacements obtenus par la formule RPA1.

Niv	δ_{ek} (cm)	R	$R * \delta_{ek}$ (cm)	Δ_k (cm)	$1\%h_k$ (cm)
9	11.275	4.00	45.10	2.96	3.00
8	10.535	4.00	42.14	3.87	3.00
7	9.568	4.00	38.27	4.85	3.00
6	8.355	4.00	33.42	5.77	3.00
5	6.913	4.00	27.65	6.46	3.00
4	5.298	4.00	21.19	6.79	3.00
3	3.6	4.00	14.40	6.54	3.00
2	1.964	4.00	7.86	5.35	3.00
1	0.626	4.00	2.50	2.50	3.00

Tableau IV.10 : Déplacements obtenus par la formule RPA2.

Niv	δ_{ek} (cm)	R	$R * \delta_{ek}$ (cm)	Δ_k (cm)	$1\%h_k$ (cm)
9	11.785	4.00	47.14	3.09	3.00
8	11.012	4.00	44.05	4.04	3.00
7	10.001	4.00	40.00	5.07	3.00
6	8.733	4.00	34.93	6.03	3.00
5	7.226	4.00	28.90	6.76	3.00
4	5.537	4.00	22.15	7.10	3.00
3	3.763	4.00	15.05	6.84	3.00
2	2.053	4.00	8.21	5.59	3.00
1	0.655	4.00	2.62	2.62	3.00

Tableau IV.11: Déplacements obtenus par la formule de l’Eurocode 8

Niv	δ_{ek} (cm)	R	$R * \delta_{ek}$ (cm)	Δ_k (cm)	$1\%h_k$ (cm)
9	7.36	4.00	29.44	1.93	3.00
8	6.877	4.00	27.51	2.52	3.00
7	6.246	4.00	24.98	3.17	3.00
6	5.454	4.00	21.82	3.77	3.00
5	4.512	4.00	18.05	4.22	3.00
4	3.458	4.00	13.83	4.43	3.00
3	2.35	4.00	9.40	4.27	3.00
2	1.282	4.00	5.13	3.49	3.00
1	0.409	4.00	1.64	1.64	3.00

Tableau IV.12: Déplacements obtenus par la formule de l'ASCE.

Niv	δ_{ek} (cm)	R	$R * \delta_{ek}$ (cm)	Δ_k (cm)	$1\%h_k$ (cm)
9	7.334	4.00	29.34	1.93	3.00
8	6.852	4.00	27.41	2.52	3.00
7	6.223	4.00	24.89	3.16	3.00
6	5.434	4.00	21.74	3.75	3.00
5	4.496	4.00	17.98	4.20	3.00
4	3.446	4.00	13.78	4.42	3.00
3	2.342	4.00	9.37	4.26	3.00
2	1.278	4.00	5.11	3.48	3.00
1	0.407	4.00	1.63	1.63	3.00

Tableau IV.13: Déplacements obtenus par la valeur numérique.

Niv	δ_{ek} (cm)	R	$R * \delta_{ek}$ (cm)	Δ_k (cm)	$1\%h_k$ (cm)
9	5.634	4.00	22.54	1.48	3.00
8	5.264	4.00	21.06	1.93	3.00
7	4.781	4.00	19.12	2.42	3.00
6	4.175	4.00	16.70	2.88	3.00
5	3.454	4.00	13.82	3.23	3.00
4	2.647	4.00	10.59	3.39	3.00
3	1.799	4.00	7.20	3.27	3.00
2	0.981	4.00	3.92	2.67	3.00
1	0.313	4.00	1.25	1.25	3.00

En examinant les tableaux VI.9-13, nous distinguons que :

- Les déplacements relatifs dus aux efforts sismiques sont plus importants pour les formules de RPA99/ V 2003 et dépassent largement les déplacements des valeurs numériques.
- Contrairement aux valeurs de RPA, les valeurs résultantes de l'utilisation des formules de l'Eurocode 8 et du code américain ASCE 7-05 ne dépassent pas 30% des valeurs numériques.
- Les déplacements de l'Eurocode 8 et du code américain ASCE 7-05 sont approximativement identique pour tous les niveaux.
- Les rapports des déplacements aux différents niveaux par rapport aux valeurs numériques sont constants et sont de même valeurs que les rapports des forces sismiques.

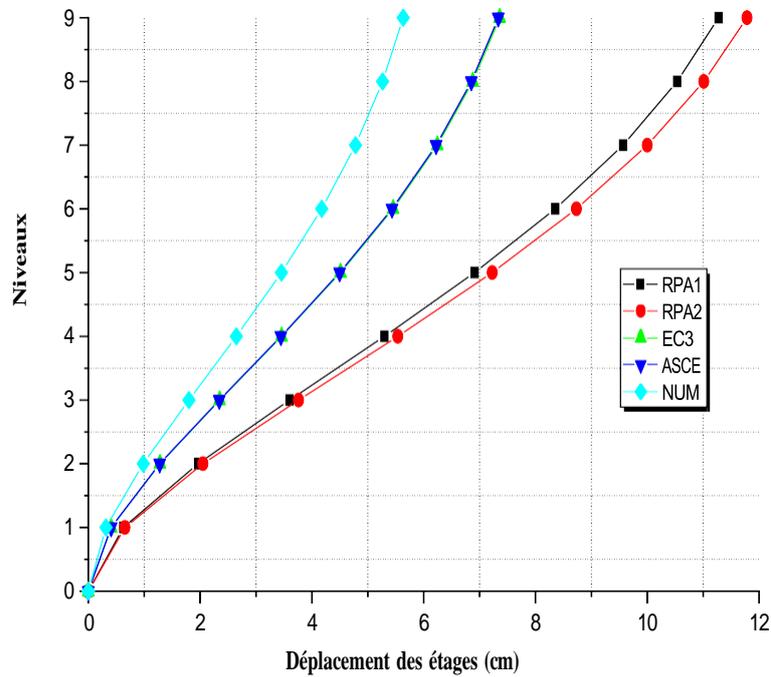


Figure IV.4 : Déplacements des étages pour les différents codes

IV.2.6. Vérification de l'effet P-Δ

Le RPA99/V 2003, Art 5.9 exige que les effets de second ordre peuvent être négligés dans le cas des bâtiments si la condition suivante est satisfaite à tous les niveaux :

$$\theta = \frac{P_k \cdot \Delta_k}{V_k \cdot h_k} \leq 0.10$$

Avec :

- P_k : Poids total de la structure et des charges d'exploitations associées au-dessus du niveau k .
- V_k : Effort tranchant d'étage au niveau k .
- Δ_k : déplacement relatif du niveau par rapport au niveau k .
- h_k : hauteur de l'étage k .

Les résultats de calcul obtenus pour chacune des quatre formules empiriques des trois règlements considérés et les valeurs numériques sont récapitulés dans les tableaux suivants :

Tableau IV.14 : Effet P-Δ obtenus par la formule de RPA1.

Niv	h_k (cm)	P_k (KN)	Δ_k (cm)	V_k (KN)	θ
9	300	3492.65	2.96	1053.89	0.033
8	300	7032.16	3.87	2003.26	0.045
7	300	10566.78	4.85	2832.80	0.060
6	300	14101.40	5.77	3543.84	0.077
5	300	17636.03	6.46	4136.37	0.092
4	300	21170.65	6.79	4610.40	0.104
3	300	24705.27	6.54	4965.92	0.109
2	300	28239.90	5.35	5202.93	0.097
1	300	31774.52	2.50	5321.44	0.050

Tableau IV.15: Effet P-Δ obtenus par la formule de RPA2.

Niv	h_k (cm)	P_k (KN)	Δ_k (cm)	V_k (KN)	θ
9	300	3492.65	3.09	1101.56087	0.033
8	300	7032.16	4.04	2093.86365	0.045
7	300	10566.78	5.07	2960.93009	0.060
6	300	14101.40	6.03	3704.12989	0.076
5	300	17636.03	6.76	4323.46306	0.092
4	300	21170.65	7.10	4818.92959	0.104
3	300	24705.27	6.84	5190.52949	0.109
2	300	28239.90	5.59	5438.26276	0.097
1	300	31774.52	2.62	5562.12939	0.050

Tableau IV.16: Effet P-Δ obtenus par la formule de l’Eurocode 8.

Niv	h_k (cm)	P_k (KN)	Δ_k (cm)	V_k (KN)	θ
9	300	3492.65	1.93	687.924076	0.033
8	300	7032.16	2.52	1307.61654	0.045
7	300	10566.78	3.17	1849.09899	0.060
6	300	14101.40	3.77	2313.2268	0.077
5	300	17636.03	4.22	2699.99998	0.092
4	300	21170.65	4.43	3009.41852	0.104
3	300	24705.27	4.27	3241.48242	0.109
2	300	28239.90	3.49	3396.19169	0.097
1	300	31774.52	1.64	3473.54633	0.050

Tableau IV.17: Effet P- Δ obtenus par la formule de l'ASCE.

Niv	h_k (cm)	P_k (KN)	Δ_k (cm)	V_k (KN)	θ
9	300	3492.65	1.93	685.472369	0.033
8	300	7032.16	2.52	1302.9563	0.045
7	300	10566.78	3.16	1842.50895	0.060
6	300	14101.40	3.75	2304.98264	0.077
5	300	17636.03	4.20	2690.37739	0.092
4	300	21170.65	4.42	2998.69319	0.104
3	300	24705.27	4.26	3229.93004	0.109
2	300	28239.90	3.48	3384.08793	0.097
1	300	31774.52	1.63	3461.16688	0.050

Tableau IV.18: Effet P- Δ obtenus par la valeur numérique.

Niv	h_k (cm)	P_k (KN)	Δ_k (cm)	V_k (KN)	θ
9	300	3492.65	1.48	526.610925	0.033
8	300	7032.16	1.93	1000.99005	0.045
7	300	10566.78	2.42	1415.49883	0.060
6	300	14101.40	2.88	1770.79208	0.077
5	300	17636.03	3.23	2066.86978	0.092
4	300	21170.65	3.39	2303.73194	0.104
3	300	24705.27	3.27	2481.37856	0.109
2	300	28239.90	2.67	2599.80964	0.097
1	300	31774.52	1.25	2659.02518	0.050

Nous constatons que pour tous les codes, la condition est satisfaite, d'où les effets peuvent être négligés. Ce qu'on peut remarquer, c'est que la valeur de " θ " est constante pour tous les règlements.

IV.3. Conclusion

Après l'analyse et le calcul linéaire de la structure considérée, nous pouvons conclure que le règlement parasismique algérien (RPA, 2003) conduit à une surestimation des valeurs des sollicitations sismiques par rapport aux codes EC8 et ASCE. Cette surestimation conduit par la suite à une surévaluation des réponses, à savoir les valeurs des efforts tranchants aux étages ainsi que les déplacements des niveaux.

Chapitre –V–

Effet de site sur le comportement sismique des structures

V.1. Introduction

La diversité des sites en même temps que la zone sismique a certainement un effet important sur les actions sismiques qui sollicitent une structure et mènent en conséquence à de différents dimensionnement de celle-ci. Dans ce présent chapitre, nous allons montrer l'effet de site ainsi la sismicité de la zone sur le comportement des structures en portique auto-stables en charpente métallique, en considérant les formules de trois codes donnant la période fondamentale qui permet d'évaluer des efforts sismiques.

V.2. Forces sismiques pour différentes zones sismiques

Les Forces sismiques totales à la base pour différentes zones sismiques (Sol S3) ont été calculées en utilisant les formules empiriques utilisées dans cette étude pour estimer la période fondamentale de vibration. Ces forces sont données dans le tableau V.1 :

Tableau V.1 : Forces sismiques totales à la base pour différentes zones sismiques (Sol S3).

	Forces sismiques totales à la base V(KN)				
	RPA (T_{RPA1})	RPA (T_{RPA2})	Eurocode 8	ASCE 7-05	Numérique
Zone I	1702.86	1779.88	1195.74	1191.93	945.61
Zone II	3192.86	3337.28	2242.01	2234.86	1773.02
Zone III	5321.44	5562.13	3736.68	3724.77	2955.03

De même, les forces sismiques et les efforts tranchants de niveaux pour les trois zones sont présentés dans les tableaux suivants :

Tableau V.2 : Forces sismiques et efforts tranchants de niveaux (RPA1).

Niv	Zone I		Zone II		Zone III	
	F_i (KN)	V_i (KN)	F_i (KN)	V_i (KN)	F_i (KN)	V_i (KN)
9	337.25	337.25	632.34	632.34	1053.89	1053.89
8	303.80	641.04	569.62	1201.95	949.36	2003.26
7	265.45	906.50	497.73	1699.68	829.55	2832.80
6	227.53	1134.03	426.62	2126.30	711.04	3543.84
5	189.61	1323.64	355.52	2481.82	592.53	4136.37
4	151.69	1475.33	284.42	2766.24	474.03	4610.40
3	113.77	1589.09	213.31	2979.55	355.52	4965.92
2	75.84	1664.94	142.21	3121.76	237.01	5202.93
1	37.92	1702.86	71.10	3192.86	118.51	5321.44

Tableau V.3 : Forces sismiques et efforts tranchants de niveau (RPA2).

Niv	Zone I		Zone II		Zone III	
	F_i (KN)	V_i (KN)	F_i (KN)	V_i (KN)	F_i (KN)	V_i (KN)
9	352.50	352.50	660.94	660.94	1101.56	1101.56
8	317.54	670.04	595.38	1256.32	992.30	2093.86
7	277.46	947.50	520.24	1776.56	867.07	2960.93
6	237.82	1185.32	445.92	2222.48	743.20	3704.13
5	198.19	1383.51	371.60	2594.08	619.33	4323.46
4	158.55	1542.06	297.28	2891.36	495.47	4818.93
3	118.91	1660.97	222.96	3114.32	371.60	5190.53
2	79.27	1740.24	148.64	3262.96	247.73	5438.26
1	39.64	1779.88	74.32	3337.28	123.87	5562.13

Tableau V.4 : Forces sismiques et efforts tranchants de niveau (EC8).

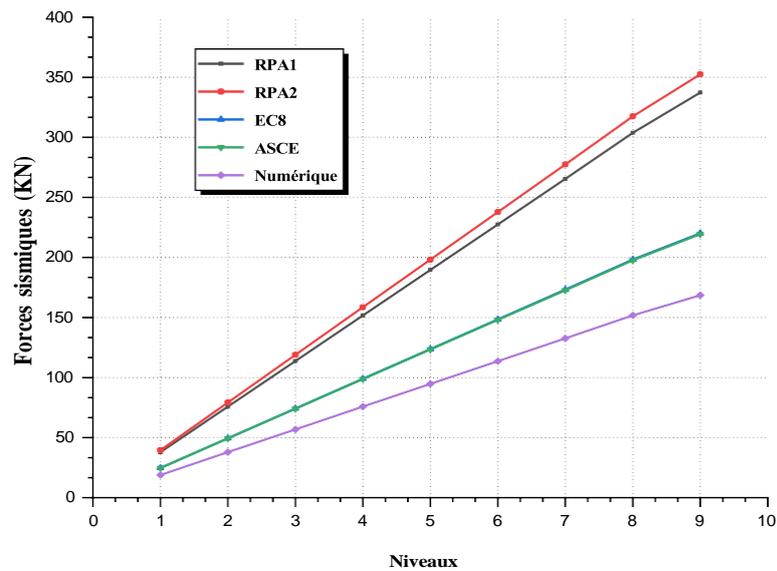
Niv	Zone I		Zone II		Zone III	
	F_i (KN)	V_i (KN)	F_i (KN)	V_i (KN)	F_i (KN)	V_i (KN)
9	220.14	220.14	412.75	412.75	687.92	687.92
8	198.30	418.44	371.82	784.57	619.69	1307.62
7	173.27	591.71	324.89	1109.46	541.48	1849.10
6	148.52	740.23	278.48	1387.94	464.13	2313.23
5	123.77	864.00	232.06	1620.00	386.77	2700.00
4	99.01	963.01	185.65	1805.65	309.42	3009.42
3	74.26	1037.27	139.24	1944.89	232.06	3241.48
2	49.51	1086.78	92.83	2037.72	154.71	3396.19
1	24.75	1111.53	46.41	2084.13	77.35	3473.55

Tableau V.5 : Forces sismiques et efforts tranchants de niveau (ASCE).

Niv	Zone I		Zone II		Zone III	
	F_i (KN)	V_i (KN)	F_i (KN)	V_i (KN)	F_i (KN)	V_i (KN)
9	219.35	219.35	411.28	411.28	685.47	685.47
8	197.59	416.95	370.49	781.77	617.48	1302.96
7	172.66	589.60	323.73	1105.51	539.55	1842.51
6	147.99	737.59	277.48	1382.99	462.47	2304.98
5	123.33	860.92	231.24	1614.23	385.39	2690.38
4	98.66	959.58	184.99	1799.22	308.32	2998.69
3	74.00	1033.58	138.74	1937.96	231.24	3229.93
2	49.33	1082.91	92.49	2030.45	154.16	3384.09
1	24.67	1107.57	46.25	2076.70	77.08	3461.17

Tableau V.6 : Forces sismiques et efforts tranchants de niveau (Numérique).

Niv	Zone I		Zone II		Zone III	
	F_i (KN)	V_i (KN)	F_i (KN)	V_i (KN)	F_i (KN)	V_i (KN)
9	168.52	168.52	315.97	315.97	526.61	526.61
8	151.80	320.32	284.63	600.59	474.38	1000.99
7	132.64	452.96	248.71	849.30	414.51	1415.50
6	113.69	566.65	213.18	1062.48	355.29	1770.79
5	94.74	661.40	177.65	1240.12	296.08	2066.87
4	75.80	737.19	142.12	1382.24	236.86	2303.73
3	56.85	794.04	106.59	1488.83	177.65	2481.38
2	37.90	831.94	71.06	1559.89	118.43	2599.81
1	18.95	850.89	35.53	1595.42	59.22	2659.03

**Figure V.1** : Forces sismiques de chaque niveau (Zone I).

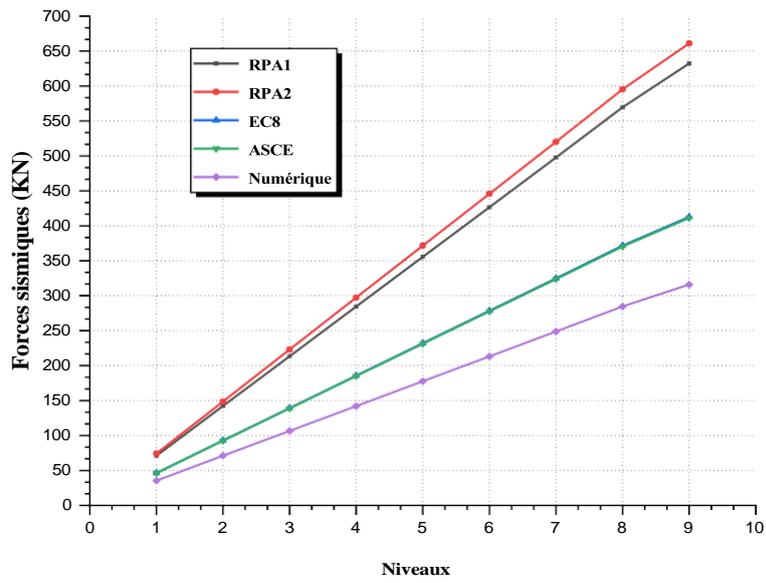


Figure V.2 : Forces sismiques de chaque niveau (Zone II).

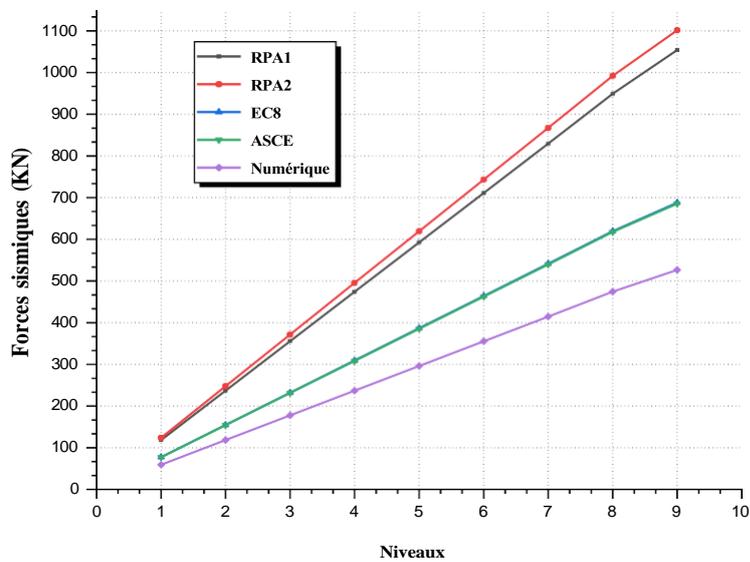


Figure V.3 : Forces sismiques de chaque niveau (Zone III).

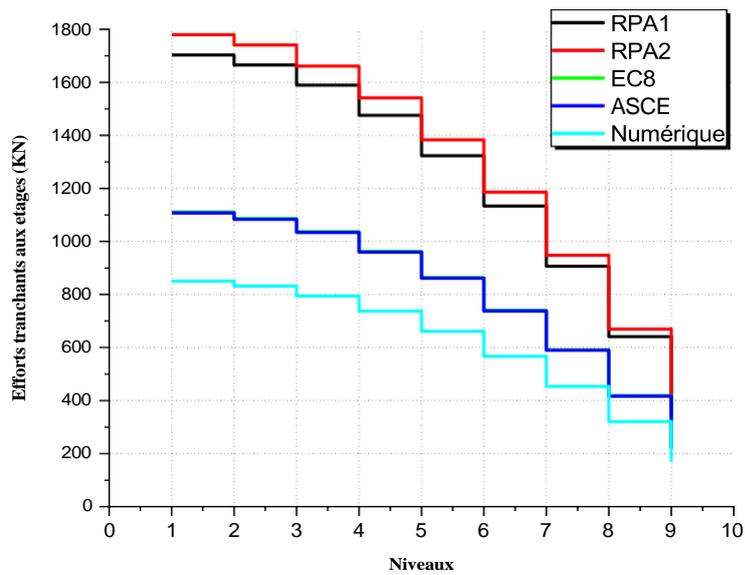


Figure V.4 : Efforts tranchants pour chaque niveau (Zone I).

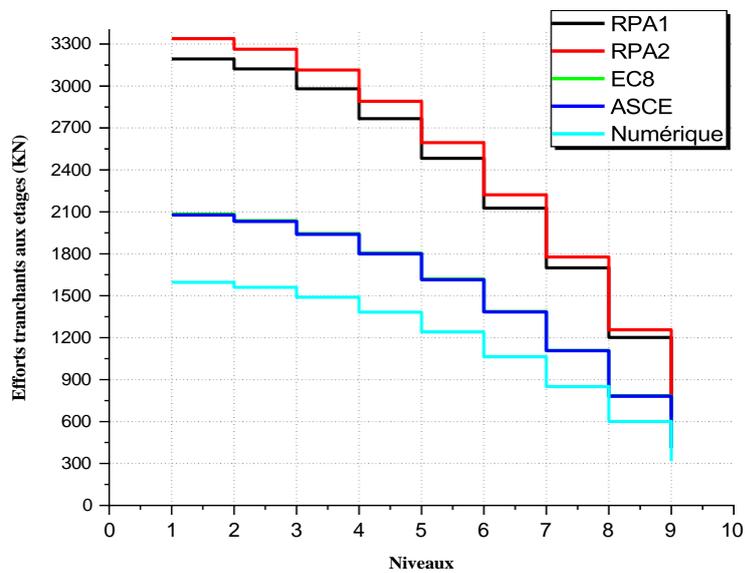


Figure V.5 : Efforts tranchants pour chaque niveau (Zone II).

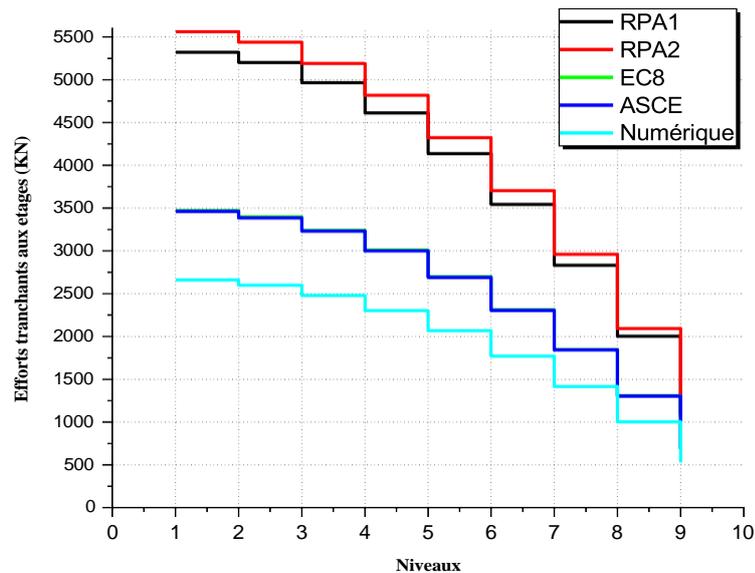


Figure V.6 : Efforts tranchants pour chaque niveau (Zone III).

L'examen des résultats de calcul des forces sismiques totales à la base obtenus pour les différentes zones, nous a permis d'observer ce qui suit :

- Les excitations sismiques pour tous les codes sont plus grandes par rapport à celles numériques. L'augmentation est de 80 à 88 % pour RPA, et environ 26% pour l'Eurocode 8 et ASCE.
- Les forces sismiques (Efforts tranchants) obtenues par les formules RPA 99/ V 2003 sont plus grandes par rapport à celles obtenues par les formules de l'Eurocode 8 et du code américain ASCE 7-05 quel que soit la zone sismique.
- Les forces sismiques obtenues par les formules de l'Eurocode 8 et du code américain ASCE 7-05 sont proches pour toutes les zones sismiques.

V.3. Déplacements pour différentes zones sismiques

Les déplacements des niveaux obtenus par chacune des quatre formules empiriques des trois règlements considérés et la valeur numérique, pour toutes les zones sont résumés dans les tableaux et les figures suivants :

Tableau V.7 : Déplacements des niveaux (Zone I).

Niv	RPA1	RPA2	EC 8	ASCE	Numérique
9	3.60	3.77	2.35	2.34	1.80
8	3.37	3.52	2.20	2.19	1.68
7	3.06	3.20	1.99	1.99	1.53
6	2.67	2.79	1.74	1.73	1.33
5	2.21	2.31	1.44	1.43	1.10
4	1.69	1.77	1.10	1.10	0.84
3	1.15	1.20	0.75	0.74	0.57
2	0.62	0.65	0.41	0.40	0.31
1	0.20	0.20	0.13	0.13	0.10

Tableau V.8 : Déplacements des niveaux (Zone II).

Niv	RPA1	RPA2	EC 8	ASCE	Numérique
9	6.76	7.07	4.41	4.40	3.38
8	6.32	6.60	4.12	4.11	3.15
7	5.74	6.00	3.74	3.73	2.86
6	5.01	5.24	3.27	3.26	2.50
5	4.14	4.33	2.70	2.69	2.07
4	3.17	3.32	2.07	2.06	1.58
3	2.16	2.25	1.41	1.40	1.07
2	1.17	1.23	0.76	0.76	0.58
1	0.37	0.39	0.24	0.24	0.18

Tableau V.9 : Déplacements des niveaux (Zone III).

Niv	RPA1	RPA2	EC 8	ASCE	Numérique
9	11.27	11.78	7.36	7.33	5.63
8	10.53	11.01	6.87	6.85	5.26
7	9.56	10.00	6.24	6.22	4.78
6	8.35	8.73	5.45	5.43	4.17
5	6.91	7.22	4.51	4.49	3.45
4	5.29	5.53	3.45	3.44	2.64
3	3.60	3.76	2.35	2.34	1.79
2	1.96	2.05	1.28	1.27	0.98
1	0.62	0.65	0.40	0.40	0.31

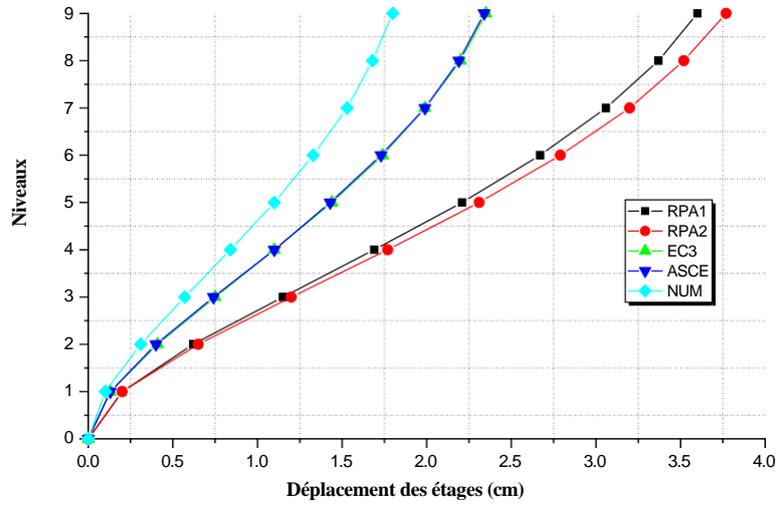


Figure V.7: Déplacements des niveaux (Zone I).

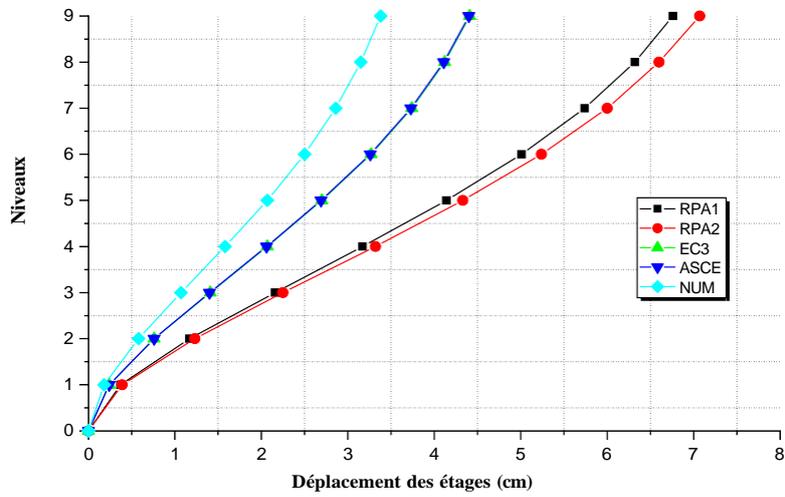


Figure V.8: Déplacements des niveaux (Zone II).

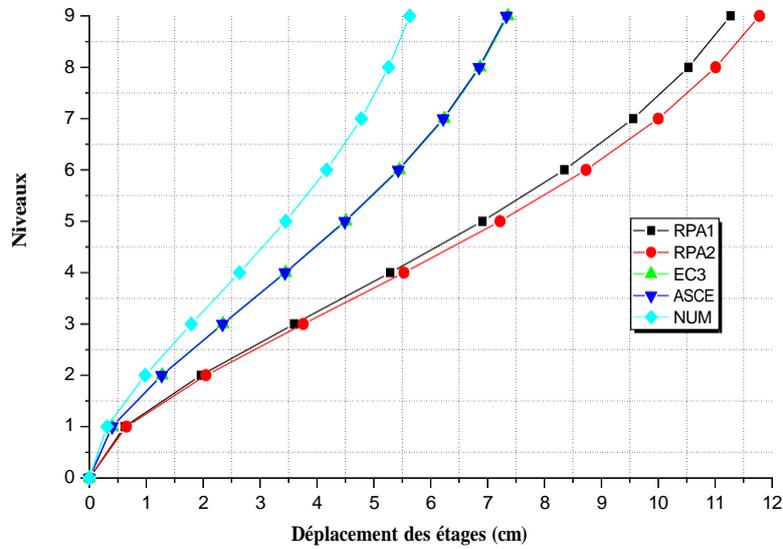


Figure V.9 : Déplacements des niveaux (Zone III).

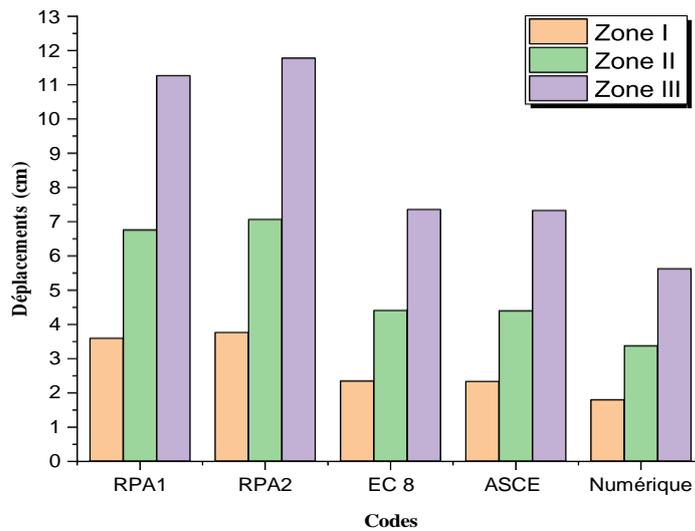


Figure V.10 : Déplacements max de dernier niveau pour les différentes zones sismiques.

En examinant les tableaux et les figures précédents, nous distinguons que :

- En allant de la zone I vers la zone III les déplacements augmentent amplement et ce pour tous les règlements.
- Pour toutes les zones, les déplacements dus aux efforts sismiques sont plus importants pour les formules de RPA99/ V 2003 et dépassent largement les déplacements des valeurs numériques.

- Les déplacements de l'Eurocode 8 et du code américain ASCE 7-05 sont approximativement identique pour tous les niveaux et toutes les zones.

V.4. Effet de site sur les forces sismiques totales à la base

Cette fois-ci, nous analysons l'effet de site (type de sol) sur le comportement de la structure située dans une zone de sismicité III. Les résultats de cette analyse sont présentés :

Tableau V.10 : Forces sismiques totales à la base pour différentes sites (Zone III).

	Forces sismiques totales à la base V(KN)				
	RPA (T_{RPA1})	RPA (T_{RPA2})	Eurocode 8	ASCE 7-05	Numérique
Site S1	3786.73	3955.93	2657.14	2649.99	2101.88
Site S2	4587.45	4794.77	3219.55	3210.02	2545.14
Site S3	5321.44	5562.13	3736.68	3724.77	2955.03
Site S4	5957.72	5957.72	4678.00	4661.32	3627.06

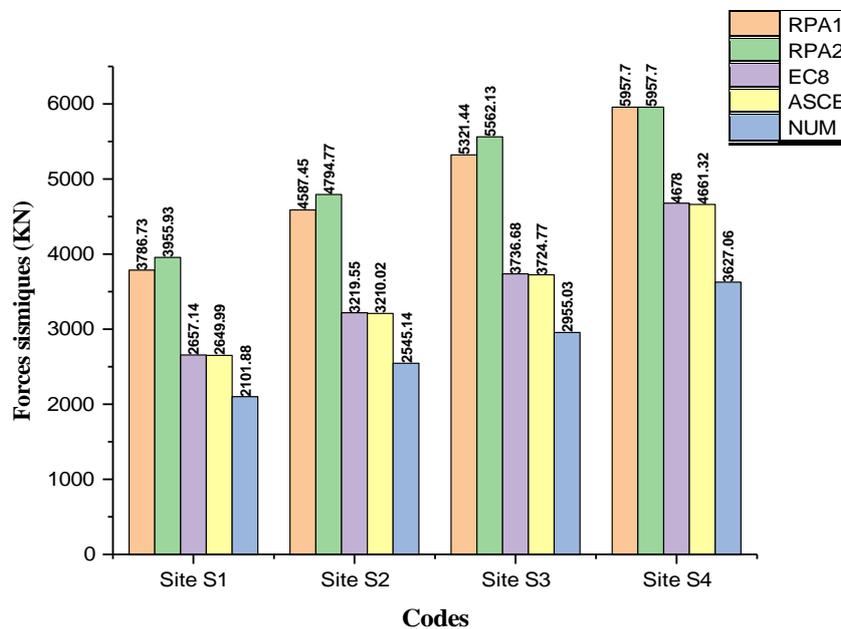


Figure V.11 : Forces sismiques totales à la base pour différentes sites (Zone III).

Tableau V.11 : Forces sismiques et efforts tranchants pour différents sites (Zone III-RPA1).

Niv	S1		S2		S3		S4	
	Fi (KN)	Vi (KN)						
9	749.95	749.95	908.53	908.53	1053.89	1053.89	1179.91	1179.91
8	675.57	1425.51	818.42	1726.94	949.36	2003.26	1062.88	2242.78
7	590.30	2015.82	715.13	2442.07	829.55	2832.80	928.73	3171.52
6	505.97	2521.79	612.96	3055.03	711.04	3543.84	796.06	3967.58
5	421.65	2943.44	510.80	3565.84	592.53	4136.37	663.38	4630.96
4	337.32	3280.75	408.64	3974.48	474.03	4610.40	530.71	5161.66
3	252.99	3533.74	306.48	4280.96	355.52	4965.92	398.03	5559.69
2	168.66	3702.40	204.32	4485.29	237.01	5202.93	265.35	5825.05
1	84.33	3786.73	102.16	4587.45	118.51	5321.44	132.68	5957.72

Tableau V.12 : Forces sismiques et efforts tranchants pour différents sites (Zone III-RPA2).

Niv	S1		S2		S3		S4	
	Fi (KN)	Vi (KN)						
9	783.46	783.46	949.59	949.59	1101.56	1101.56	1179.91	1179.91
8	705.75	1489.21	855.40	1804.99	992.30	2093.86	1062.88	2242.78
7	616.68	2105.89	747.45	2552.44	867.07	2960.93	928.73	3171.52
6	528.58	2634.47	640.67	3193.11	743.20	3704.13	796.06	3967.58
5	440.49	3074.96	533.89	3727.00	619.33	4323.46	663.38	4630.96
4	352.39	3427.34	427.11	4154.11	495.47	4818.93	530.71	5161.66
3	264.29	3691.64	320.33	4474.44	371.60	5190.53	398.03	5559.69
2	176.19	3867.83	213.56	4688.00	247.73	5438.26	265.35	5825.05
1	88.10	3955.93	106.78	4794.77	123.87	5562.13	132.68	5957.72

Tableau V.13 : Forces sismiques et efforts tranchants pour différents sites (Zone III-EC8).

Niv	S1		S2		S3		S4	
	Fi (KN)	Vi (KN)						
9	489.18	489.18	592.72	592.72	687.92	687.92	861.22	861.22
8	440.66	929.84	533.93	1126.65	619.69	1307.62	775.80	1637.02
7	385.05	1314.89	466.55	1593.20	541.48	1849.10	677.89	2314.91
6	330.04	1644.93	399.90	1993.09	464.13	2313.23	581.05	2895.96
5	275.03	1919.96	333.25	2326.34	386.77	2700.00	484.21	3380.17
4	220.03	2139.99	266.60	2592.94	309.42	3009.42	387.37	3767.53
3	165.02	2305.01	199.95	2792.89	232.06	3241.48	290.52	4058.06
2	110.01	2415.02	133.30	2926.18	154.71	3396.19	193.68	4251.74
1	55.01	2470.03	66.65	2992.83	77.35	3473.55	96.84	4348.58

Tableau V.14 : Forces sismiques et efforts tranchants pour différents sites (Zone III-ASCE).

Niv	S1		S2		S3		S4	
	Fi (KN)	Vi (KN)						
9	487.68	487.68	590.74	590.74	685.47	685.47	857.83	857.83
8	439.31	926.99	532.15	1122.89	617.48	1302.96	772.74	1630.57
7	383.87	1310.86	464.99	1587.88	539.55	1842.51	675.22	2305.79
6	329.03	1639.88	398.56	1986.44	462.47	2304.98	578.76	2884.55
5	274.19	1914.07	332.13	2318.58	385.39	2690.38	482.30	3366.84
4	219.35	2133.43	265.71	2584.29	308.32	2998.69	385.84	3752.68
3	164.51	2297.94	199.28	2783.57	231.24	3229.93	289.38	4042.06
2	109.68	2407.62	132.85	2916.42	154.16	3384.09	192.92	4234.98
1	54.84	2462.45	66.43	2982.85	77.08	3461.17	96.46	4331.44

Tableau V.15 : Forces sismiques et efforts tranchants pour différents sites (Zone III-NUM).

Niv	S1		S2		S3		S4	
	Fi (KN)	Vi (KN)						
9	374.57	374.57	453.56	453.56	526.61	526.61	646.37	646.37
8	337.42	711.99	408.58	862.14	474.38	1000.99	582.26	1228.63
7	294.84	1006.83	357.01	1219.16	414.51	1415.50	508.78	1737.41
6	252.72	1259.55	306.01	1525.17	355.29	1770.79	436.09	2173.50
5	210.60	1470.14	255.01	1780.18	296.08	2066.87	363.41	2536.92
4	168.48	1638.62	204.01	1984.18	236.86	2303.73	290.73	2827.65
3	126.36	1764.98	153.01	2137.19	177.65	2481.38	218.05	3045.69
2	84.24	1849.22	102.00	2239.19	118.43	2599.81	145.36	3191.06
1	42.12	1891.34	51.00	2290.19	59.22	2659.03	72.68	3263.74

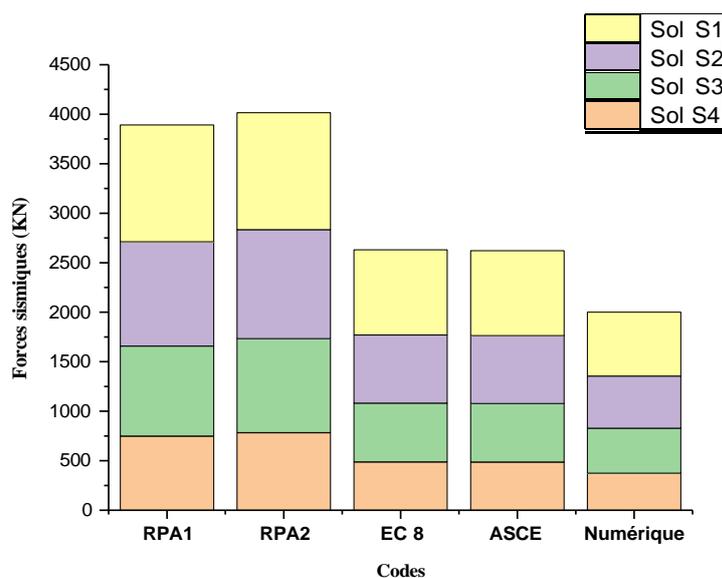


Figure V.12 : Force sismique de dernier niveau pour les différents sites.

Les résultats de calcul des forces sismiques totales à la base obtenus pour les différents sites, montrent ce qui suit :

- Les excitations sismiques pour tous les codes sont plus grandes par rapport à celles numériques pour tous les sites (S1, S2, S3 et S4).
- Les forces sismiques obtenues par les formules RPA 99/ V 2003 sont plus grandes par rapport à celles obtenues par les formules de l’Eurocode 8 et du code américain ASCE 7-05 quel que soit le site.
- Les forces sismiques obtenues par les formules de l’Eurocode 8 et du code américain ASCE 7-05 sont proches pour tous les sites.

V.5. Effet de site sur les déplacements des niveaux

L’effet de site (type de sol) sur les déplacements de la structure située dans une zone de sismicité III a été aussi analysé. Les résultats de cette analyse sont tracés dans les figures suivantes :

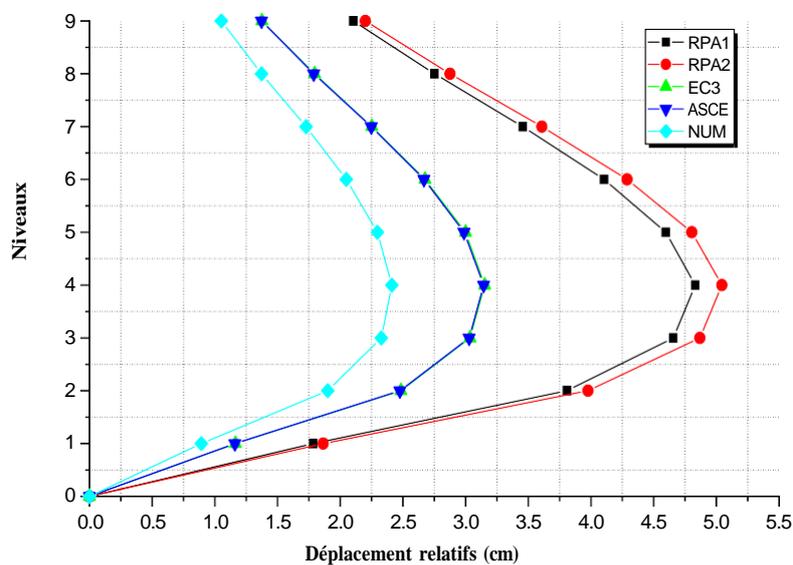


Figure V.13: Déplacements relatifs des niveaux (Zone III-S1).

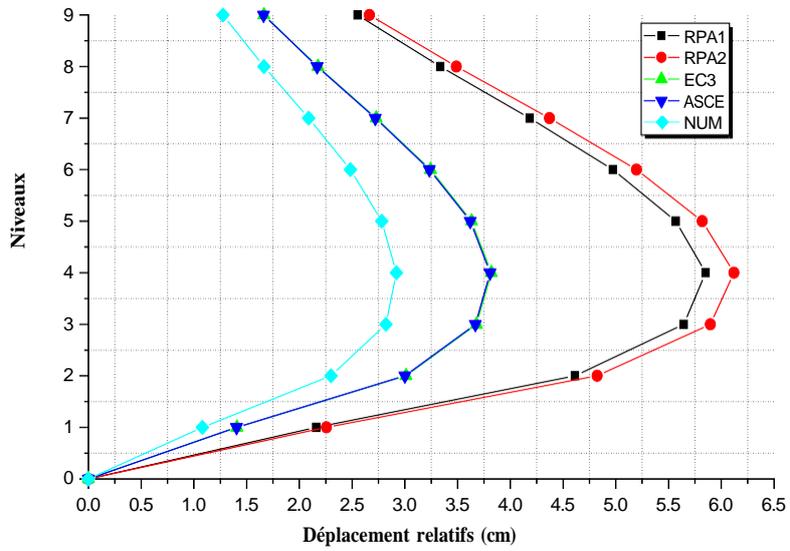


Figure V.14: Déplacements relatifs des niveaux (Zone III-S2).

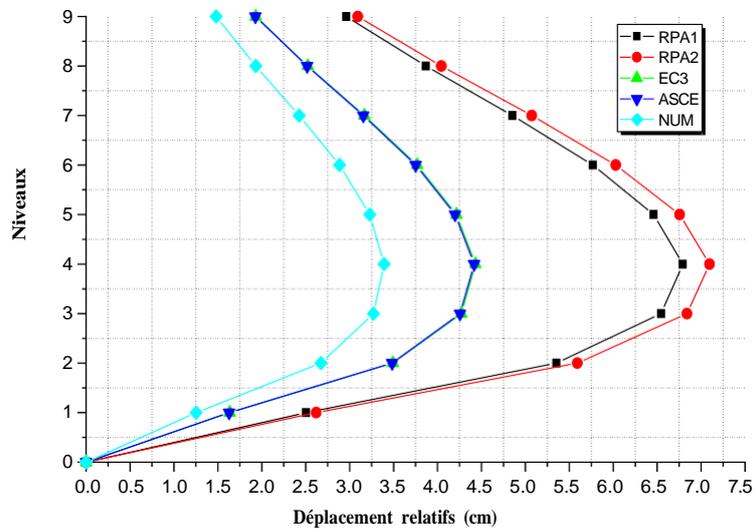


Figure V.15: Déplacements relatifs des niveaux (Zone III-S3).

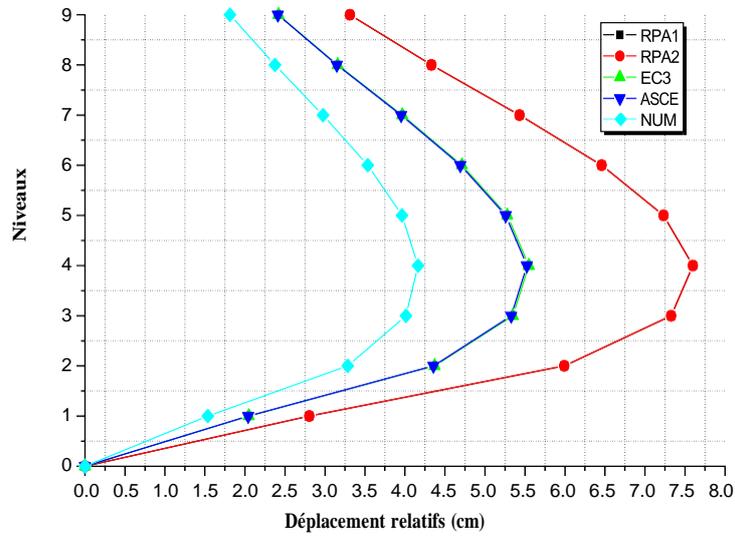


Figure V.16: Déplacements relatifs des niveaux (Zone III-S4).

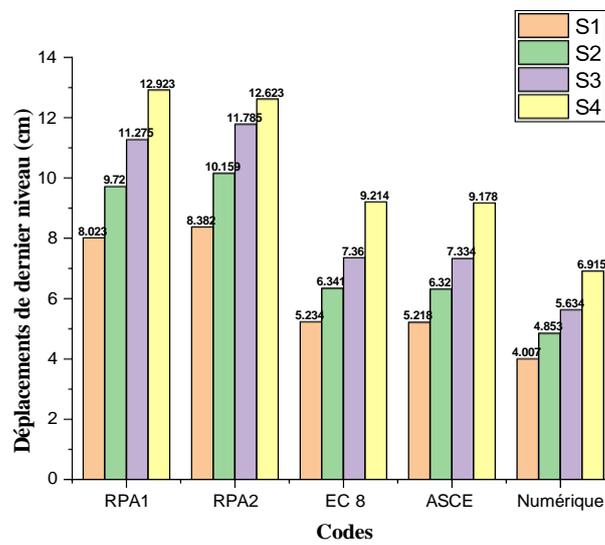


Figure V.17 : Déplacements de dernier niveau pour les différents sites.

En observant les figures précédentes, nous distinguons que :

- En allant de site S1 vers le site S4 les déplacements augmentent considérablement et ce pour tous les règlements.
- Pour toutes les sites, les déplacements dus aux efforts sismiques sont plus importants pour les formules de RPA99/ V 2003 et dépassent largement les déplacements des valeurs numériques.
- Pour un site S4 les deux formules de RPA99/ V 2003 donnent pratiquement les mêmes valeurs de déplacements. Même constat pour les déplacements de l’Eurocode 8 et du code américain ASCE 7-05 mais cette fois pour tous les sites.

V.6. Conclusion

L’étude de l’effet de zone ainsi que de site d’implantation sur le calcul linéaire de la structure considérée par la prise en compte de distinctes formules des codes considérés, nous a permis de conclure que le règlement parasismique algérien (RPA, 2003) conduit toujours à une surestimation des valeurs des sollicitations sismiques (une surévaluation des réponses) par rapport aux codes EC8 et ASCE, et ce quel que soit la zone sismique ou le site d’implantation.

Conclusion générale & perspectives

1- Conclusion générale :

Pour l'étude dynamique et sismique, la période fondamentale des structures constitue un paramètre primordial dans la conception et le dimensionnement de ces structures notamment dans les zones où les structures sont sujettes à des excitations sismiques importantes. A cet effet, les règlements et les codes parasismiques permettent d'estimer la valeur de la période fondamentale pour les différents types de structures en utilisant des formules empiriques. Ces formules diffèrent d'un code à l'autre.

De ce fait, l'objectif de la détermination de la période fondamentale est de déterminer les effets des excitations sismiques ainsi que les différentes réponses à savoir les déplacements, et les efforts tranchants à la base, et faire face à ces excitations moyennant une bonne conception et un dimensionnement précis.

Le travail présenté dans ce mémoire a été consacré à de l'impact des périodes fondamentales proposées par les différents règlements parasismiques à travers le monde sur le comportement sismique des structures en portiques auto-stables en charpente métallique en utilisant une méthode d'analyse qui est la méthode statique équivalente.

Pour ce faire, nous avons considéré une structure de bâtiment de 8 étages en portique auto-stables en charpente métallique. Sur la base d'une analyse par la méthode statique équivalente, quatre formules empiriques pour estimer la période fondamentale ont été considérées. Ces formules sont données par les règlements parasismiques RPA 99 version 2003, l'Eurocode 8 et le code américain ASCE 7-05.

Au cours de ce travail, nous avons procédé à une analyse comparative des résultats obtenus pour chaque paramètre considéré. Les paramètres de comparaison sont l'effort tranchant à la base, les forces sismiques aux niveaux, les déplacements relatifs inter-étages. L'effet de site et de la zone de sismicité a été également examiné. L'investigation des résultats obtenus nous a permis d'émettre les conclusions suivantes :

- Quand la période fondamentale augmente, la force sismique à la base augmente. De ce fait, la force sismique totale à la base d'une structure est inversement proportionnelle à sa période fondamentale.
- Les périodes fondamentales obtenues par les formules RPA 99/ V 2003 sont plus faibles par rapport à celles obtenues par les formules de l'Eurocode 8 et du code américain ASCE 7-05.

- La comparaison des périodes obtenues par les règlements par rapport à la période numérique montre que la réduction des périodes de RPA 99/2003 peut atteindre plus de 61% tandis que pour EC8 et ASCE cette réduction ne dépasse pas les 30%.
- Les forces sismiques totales à la base obtenues par les formules RPA 99/ V 2003 sont plus grandes par rapport à celles obtenues par les formules de l'Eurocode 8 et du code américain ASCE 7-05. L'augmentation de cette force est entre 80 et 88% alors que ce même accroissement est environ 26%.
- Les rapports des efforts tranchants aux différents niveaux par rapport aux valeurs numériques sont constants et sont de même valeurs que les rapports des forces sismiques.
- Les déplacements relatifs dus aux efforts sismiques sont plus importants pour les formules de RPA99/ V 2003 et dépassent largement les déplacements des valeurs numériques. Les déplacements de l'Eurocode 8 et du code américain ASCE 7-05 sont approximativement identiques pour tous les niveaux.
- Les rapports des déplacements aux différents niveaux par rapport aux valeurs numériques sont constants et sont de même valeurs que les rapports des forces sismiques.
- Les forces sismiques (Efforts tranchants) obtenues par les formules RPA 99/ V 2003 sont plus grandes par rapport à celles obtenues par les formules de l'Eurocode 8 et du code américain ASCE 7-05 quel que soit la zone sismique.
- En allant de la zone I vers la zone III les déplacements augmentent amplement et ce pour tous les règlements.
- Les excitations sismiques pour tous les codes sont plus grandes par rapport à celles numériques pour tous les sites (S1, S2, S3 et S4).
- En allant de site S1 vers le site S4 les déplacements augmentent considérablement et ce pour tous les règlements.

2- Perspectives :

Dans notre étude, nous avons tenté de traiter l'influence de la période fondamentale sur la réponse sismique d'une structure en charpente métallique. Il serait aussi intéressant à l'avenir d'étudier les réponses dynamiques de la structure par la prise en compte d'autres paramètres. Comme perspectives, d'autres travaux de recherche peuvent avoir lieu à savoir :

- Impact des périodes fondamentales proposées par les différents règlements parasismiques sur le comportement non linéaire des structures.
- Effet de de la période empirique sur le comportement d'une structure en charpente métallique équipée d'un autre système de contreventement
- Impact des périodes fondamentales empirique de différents règlements sur le comportement des structures en béton armé.

Références Bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Ernst Stéphanie, In helder Christoph, Silvant Sébastien, Étude du tremblement de terre au Cachemire en octobre 2005, projet SHS de l'année master, Lausanne, année 2006-2007, p2
- [2] Agnès LEVRET-Groupe APS, Les tremblements de terre : de l'origine à l'aléa, Séminaire : L'homme et la terre. Risques sismiques et comportements des communautés, 4 décembre 2003.
- [3] BADDARI Kamel, DJEDDI Mabrouk, Les séismes et leur prévision, OPU, Alger, 2002, p12-p14.
- [4] Le Service Interministériel de Défense et de Protection Civile de la Préfecture du Doubs, www.brgm.fr/Rapport?code=RP-51304-FR/PDF.
- [5] Abbas SENOUCI, Définition et évaluation des termes de références du risque sismique dans le POS, mémoire de Magister, USTO, Oran, Juin 2004, p 20.
- [6] Documents pédagogiques, E.O.S.T Strasbourg, Évaluer le risque sismique <http://eost.u-strasbg.fr/pedago/fiche2/risques.html>, consulté en Janvier 2009.
- [7] BADDARI Kamel, DJEDDI Mabrouk, Les séismes et leur prévision, OPU, Alger, 2002, p58.
- [8] GARNIER Philippe et Moles Oliviers, Aléas naturels, catastrophes et développement local, CRA terre, 2011.
- [9] Règlement parasismique algérien (RPA 99/ version 2003), Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique.
- [10] Eurocode 8 : Conception et dimensionnement des structures pour leur résistance aux séismes et document d'application national.
- [11] ASCE 7-05. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures - SEI/ASCE Standard No. 7-05. American Society of Civil Engineers. Reston, VA: American Society of Civil Engineers.
- [12] Code national du bâtiment, Canada 1995. Première modification publié par la commission canadienne des codes du bâtiment et de prévention des incendies. Juillet 1998.

- [13] Uniform Building Code UBC 97, Structural Engineering Design Provisions, Volume 2. International Conference of Building Officials, USA 1997.
- [14] ANKIK Djamel, « Incidence des périodes fondamentales proposées par les différents règlements parasismiques sur la performance sismique des bâtiments » Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie, 89 p.
- [15] FELLAH Mohamed Oussama & BOUMAZA Abd El Madjid, « Influence du type de système d'isolation sur la réponse dynamique des structures isolées » Mémoire de Master 2019-2020, Université Ibn Khaldoun Tiaret, Algérie, 96 p.
- [16] Milan ZACEK : construction parasismique. Edition parenthèses, France 1996.
- [17] Alain CAPRA et Victor DAVIDOVICI, Calcul Dynamique Des Structures En Zone Sismique, Editions Eyrolles.
- [18] Pierino Lestuzzi et Marc Badoux : Guide de la conception parasismique des bâtiments. Eyrolles, Paris, 2004.
- [19] Kelly Christine Young : An Investigation of the Fundamental Period of Vibration of Irregular Steel Structures, The Ohio State University.
- [20] Computers and Structures Inc. (CSI), ETABS Program-Extended Tridimensional Analysis of building Structures, Berkeley, California, U.S.A.