

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT : GENIE CIVIL



FILIERE : GENIE CIVIL
OPTION : STRUCTURES

N° :

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par:

BENAZOUZ Mohamed
LAIFAOUI Hani

Intitulé:

**Effet de la variation de zone sismique sur le coefficient
de comportement R des structures**

Soutenu devant le jury composé de:

Mr Siline Mohamed

Mr Boulaouad Abderrachid

Mr Menasri Youcef

Université Md Boudiaf M'sila

Université Md Boudiaf M'sila

Université Md Boudiaf M'sila

Président

Rapporteur

Examineur

Année universitaire : 2021/2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Avant tout propos, nous remercions Allah Tout-Puissant de nous avoir donné la volonté, la force la santé et le courage de mener à bien ce modeste travail, et de nous aider à surmonter toutes les difficultés auxquelles nous avons été confrontés. Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail en acceptant d'examiner notre mémoire et de l'enrichir par leurs propositions. Nous remercions également l'ensemble des enseignants du département de génie civil. Nous tenons à exprimer notre reconnaissance à nos très chers parents qui ont toujours été là pour nous et à tous nos amis et collègues pour le soutien moral et matériel. Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail. Merci à tous et à toutes

DÉDICACES

NOUS DÉDIONS CE MODESTE TRAVAIL, COMME PREUVE DE RESPECT, DE GRATITUDE, ET DE RECONNAISSANCE À :

NOS CHERS PARENTS : QUI N'ONT JAMAIS CESSÉ DE NOUS ENCOURAGER ET NOUS CONSEILLER, ILS NOUS ONT BEAUCOUP AIDE TOUT EN LONG DE NOTRE CHEMIN, GRÂCE À LEUR AMOUR, LEUR COMPRÉHENSION, LEURS SACRIFICES, LEUR TENDRESSE, LEURS PRIÈRES ET LEUR PATIENCE SANS JAMAIS NOUS QUITTER DES YEUX NI BAISSER LES BRAS ET LEURS SOUTIEN MORAL ET MATÉRIEL, ON NE SAURAIT JAMAIS TRADUIRE CE QU'ON RESSENT VRAIMENT ENVERS EUX.

NOS CHERS FRÈRES ET SOEURS : POUR LEURS ENCOURAGEMENTS PERMANENTS, ET LEUR SOUTIEN MORAL, POUR LEUR INDULGENCE EN NOTRE FAVEUR QU'ILS TOUCHENT ICI L'AFFECTION LA PLUS INTIME QU'ON RESSENT À LEUR ÉGARD.

NOS AMIS ET COLLÈGUES : POUR LEUR COMPAGNIE ET BONS MOMENTS PASSÉS ENSEMBLE.

ET TOUS CEUX QUI NOUS SONT CHERS...

MERCI D'ÊTRE TOUJOURS LÀ POUR NOUS.

QUE DIEU VOUS GARDE.

Mohamed et Hani

ملخص

كانت الجزائر ضحية لعشرات الزلازل ، لكن أهمها كان في عام 2003 في بومرداس إصدار أحدث تعديل للكود الجزائري RPA بعد النتائج التي تم تسجيلها في أعقاب زلزال بومرداس في 2003 أدخلت تغييرات RPA 99 تتعلق ب : التقسيم الزلزالي ؛ القيم المخصصة لمعامل تسريع المنطقة ؛ والقيمة المخصصة لمعامل السلوك / RPA99 يمنح المصممين خيار الاختيار بين عدة أنظمة تقوية اعتماداً على الفعل الزلزالي والسلوك الزلزالي المطلوب 2003 (المتين والصلب) أثناء الزلزال في هذا السياق ، يتعامل هذا العمل مع أحد هذه العوامل : المنطقة الزلزالية وتأثيرها على السلوك الزلزالي. سيتم إجراء الحساب وفقاً للتحليل الزلزالي للهياكل المختارة. ستتم دراسة حالتين للوائح المطبقة في الجزائر باستخدام برنامج حساب العناصر المحدودة روبات وفق التقسيم الزلزالي الأخر إصدار RPA99 v 2003 يمكن استخلاص النقاط التالية تأثير التغيير في المنطقة الزلزالية على قيمة عامل التصرف للمنشآت المدروسة ضعيف جداً عند تغيير المنطقة الزلزالية) المنطقة IIa • إلى المنطقة (III ستزداد قوة القص والعزم الزلزالي والإزاحة بسبب زيادة معامل تسريع المنطقة أ ؛ أخيراً لاستخدام أداة الكمبيوتر ، في مثل هذا المجال الحالي والمتنوع وهو الهندسة المدنية والبناء بشكل عام ، فهي في الوقت الحاضر أداة عمل أساسية

الكلمات المفتاحية : المنطقة الزلزالية؛ روبات بات . هيكل خرساني مقوى عامل تصرف المنشأة RPA2003

Résumé

L'Algérie était victime de plusieurs catastrophes naturelles, on cite des dizaines de séismes mais le plus marquant c'était en 2003 à Boumerdès.

La dernière révision du code parasismique algérien RPA99 version 2003 après les constatations enregistrées suite au séisme de Boumerdès en 2003 a porté des modifications concernant : le zonage sismique; les valeurs attribuées au coefficient d'accélération de zone; et la valeur attribuée au coefficient de comportement R.

Le RPA99/2003 laisse le choix aux concepteurs de choisir entre plusieurs systèmes de contreventement en fonction de l'action sismique et du comportement sismique recherché (ductile, rigide) durant un séisme.

Dans ce contexte, ce travail traite une de ces paramètres: la zone sismique ainsi son influence sur le comportement sismique. Le calcul effectué sera fait conformément aux règlements appliqués en Algérie en utilisant le logiciel de calcul par élément finis ROBOT Bat pour l'analyse sismique des structures choisies. Trois cas de structures seront étudiées: R+3, R+4 et R+5 pour deux zones sismiques: forte (zone III) et moyenne (IIa) selon le zonage sismique de la dernière version du RPA 99 version 2003.

Les points suivant peuvent être tirés :

- Le changement de la zone sismique affecte très peu la valeur du coefficient de comportement de structures étudiées
- Lorsqu'on change la zone sismique (zone IIa en Zone III); l'effort tranchant, moment sismique et le déplacement seront augmentés à cause de l'augmentation du coefficient d'accélération de zone A ;
- Enfin pour l'utilisation de l'outil informatique, dans un domaine aussi présent et diversifier qui est le génie civil et la construction en générale, il est de nos jours un outil de travail indispensable.

Mots-clés : Zone sismique ; RPA 99 version 2003 ; ROBOT Bat ; structure en béton armé ; coefficient de comportement.

Abstract

Algeria was subjected to several natural disaster times, dozens of earthquakes are cited, but the most significant was in 2003 in Boumerdès.

The last revision of the Algerian parasismic code RPA99 version 2003 after the findings recorded following the Boumerdès earthquake in 2003 made changes concerning: seismic zoning; the values assigned to the zone acceleration coefficient; and the value assigned to the behavior coefficient R. RPA99/2003 gives designers the option of choosing between several bracing systems depending on the seismic action and the desired seismic behavior (ductile, rigid) during an earthquake.

In this context, this work deals with one of these parameters: the seismic zone and its influence on the seismic behavior. The calculation will be made in accordance with the regulations applied in Algeria using the finite element calculation software ROBOT Bat for the seismic analysis of the chosen structures. Three cases of structures will be studied: R+3, R+4 and R+5 for two seismic zones: (zone III and zoneIIa) according to the seismic zoning of the latest version of RPA 99 v2003.

The following points can be drawn:

- The variation of seismic zone affects very slightly the values of the behavior factor
- When the seismic zone is changed (zone IIa to Zone III); the shear force, seismic moment and displacement will be increased due to the increase of the zone A acceleration coefficient;
- Finally for the use of the computer tool, in such a present and diversified field which is civil engineering and construction in general, it is nowadays an essential working tool.

Keywords : Seismic zone; RPA 99 2003 release; ROBOT Bat; reinforced concrete structure; behavior factor.

Sommaire

Chapitre I	
Introduction:.....	7
Chapitre II	12
Facteur de comportement.....	12
Formules de calcul	13
Facteur de ductilite R_{μ}	15
Facteur de sur resistance Ω	20
Chapitre III	21
Geometrie et configuration structurale	22
Dimensionnement des elements structuraux.....	23
Charges appliquees	24
Modelisation des structures.....	25
Presentation generale du logiciel Robot	27
Chapitre IV	
Introduction.....	28
Resultas des analyses Pushover.....	29
Mécanisme de ruine et distribution des rotules plastique a la ruine.....	30
Analyse comparative des resultas obtenus des portiques etudies.....	31
Ductilités globale μ des portiques étudiées.....	31
Facteur de sur-resistance Ω des portiques étudiées.....	32
Facteur de comportement R des portiques étudiées.....	32
Resultas des analyses dynamique incrementales.....	33
Mécanisme de ruine et distribution des rotules plastique a la ruine.....	34
Ductilités globale μ des portiques étudiées	35
Facteur de sur-resistance Ω des portiques étudiées	36
Facteur de comportement R des portiques étudiées.....	37
Conclusion.....	39
Perspectives.....	39
Références.....	40

Liste des figures

Chapitre I

Figure 1.1	7
Figure 1.2	9

Chapitre II

Figure 2.1	14
Figure 2.2	17
Figure 2.3	19
Figure 2.4	19
Figure 2.5	20
Figure 2.6	21

Chapitre III

Figure 3.1	25
Figure 3.2	26
Figure 3.3	28

Chapitre IV

Figure 4.1	35
Figure 4.2	36
Figure 4.3	36
Figure 4.4	39

Liste des Tableaux

Chapitre II

Tableaux2.1	23
-------------------	----

Chapitre IV

Tableaux 4.1	39
--------------------	----

CHAPITRE 1 :Introduction

Parmi les phénomènes naturels qui menacent la sécurité de l'être humain et son abri, les séismes viennent en première position vu les pertes qu'ils occasionnent en vies humaines et dégâts matériels.

A travers l'histoire, plusieurs séismes dévastateurs se sont produits dans différentes régions du monde, par exemple séisme de Boumerdes en 2003.

Les statistiques précitées nous donnent l'information que les séismes présentent une sollicitation violente capable de conduire facilement à la ruine de la structure les conséquences sont souvent catastrophiques.

L'effondrement des bâtiments (figure 1.1), par exemple, entraîne des pertes humaines et économiques. De manière différée, les dégâts infligés au bâti se répercutent lourdement au niveau socio – économique de toute la région concernée

Dans ce contexte, se doter de moyens de prévention contre leurs effets par la mise en place de moyens techniques (dispositions constructives, choix du site, choix des matériaux,...) et réglementaires (codes parasismiques) sont les principales préoccupations de la communauté scientifique dans le domaine du génie parasismique.



Séisme de Chlef (Octobre, 1980).

Le génie parasismique moderne trouve son origine dans l'observation et l'investigation de plusieurs événements qui se sont produits au 20^e siècle. Parmi les catastrophes qui ont marqué les prémices du génie parasismique on peut faire ressortir certains événements du début du siècle : le tremblement de terre de San

Francisco aux États-Unis (1906), la catastrophe de Messina en Italie (1908) qui a causé la mort de 83 000 personnes.

Au cours des 50 dernières années, la communauté scientifique du génie parasismique a réévalué ses procédures de dimensionnement, et ce grâce à une meilleure compréhension du phénomène sismique. Ces procédures de dimensionnement considèrent les spécificités de l'action des tremblements de terre et tirent partie des particularités de la réponse sismique des structures. Cependant, les séismes étant des événements rares et imprévisibles, il n'est pas raisonnable de vouloir que les constructions ressortent indemnes de tous les tremblements de terre. Dans ce sens, l'objectif premier de la construction parasismique consiste généralement à éviter l'effondrement des structures pour sauver les vies humaines. Ainsi, dans les codes parasismiques, pour permettre un dimensionnement économique, les recommandations pour le calcul sismique de structures prennent en compte le comportement ductile et hystérétique de ces dernières [1].

En zone sismique, les structures ont souvent un comportement non linéaire important qui doit être pris en compte. Cette prise en compte se fait soit directement sur la base du calcul non linéaire soit indirectement en utilisant les résultats du calcul linéaire réduits par un certain "coefficient de comportement", noté R (RPA 2003) ou q (EC8). Ce coefficient tel que proposé par les codes dépend essentiellement du type de contreventement (cf. Tableau 4.3 RPA 2003 par ex). Est-ce qu'il n'y aurait pas d'autres facteurs, tels que la zone sismique, qui pourraient avoir aussi de l'influence sur ce facteur? C'est la question à laquelle cette étude essaie de répondre par le calcul et la comparaison de ce facteur pour différentes zones sismiques.

L'Algérie a connu au siècle dernier plusieurs séismes destructeurs causant d'énormes pertes humaines et matérielles. Le dernier séisme majeurs du 21 mai 2003 de Boumerdes qui a provoqué la perte de plus de 2300 vies humaines et plus de 10000 blessés. Cependant, l'expérience algérienne dans le domaine de la réduction du risque sismique.

En effet, une structure en zone sismique est dimensionnée d'une manière qu'une part de l'énergie sismique introduite par un tremblement de terre sévère soit dissipée sous forme hystérétique par le biais de déformations plastiques.

Cependant, pour empêcher la ruine de la structure, l'amplitude de ces déformations plastiques doit être limitée à des valeurs qui sont compatibles avec la ductilité locale et globale disponibles dans la structure, c'est-à-dire avec sa capacité de dissipation d'énergie. Cette dernière est assurée par les zones dissipatives qui sont essentiellement des rotules plastiques dans les éléments fléchis, des barres en traction plastique pour les éléments de contreventement.

Pour effectuer l'analyse dynamique d'une structure en tenant compte de son comportement inélastique hystérétique, il est bien rare qu'un projeteur puisse utiliser une méthode de calcul dynamique non linéaire. En effet, celle-ci exige d'effectuer l'intégration numérique, pas à pas dans le temps, d'un système matriciel complexe par suite des non linéarités matérielles et géométriques, et ce type de calcul peut être difficile à effectuer en pratique de bureau d'étude, pour plusieurs raisons : disponibilité des accélérogrammes,

disponibilités des lois de comportement des matériaux constitutifs et des éléments structuraux, complexité de la structure, temps de calcul donc coût.

Les méthodes de dimensionnement conventionnelles des bâtiments sous chargement sismique sont basées sur l'utilisation des accélérations spectrales. On suppose que le système peut être représenté par un oscillateur à un degré de liberté, de masse M , de période élastique T_e et de taux d'amortissement ξ . On connaît aussi un spectre d'accélérations élastiques de dimensionnement, provenant du code de calcul respectif. Avec ce spectre et les propriétés de l'oscillateur l'effort tranchant élastique à la base, V_e , est :

$$V_e = M g \left(S_a (T_e , \xi) / g \right)_e \quad (1.1)$$

où $\left(S_a (T_e , \xi) / g \right)_e$ est l'accélération du spectre élastique correspondante à la période élastique T_e et au taux d'amortissement ξ .

Si le système est conçu pour un effort tranchant V_i inférieur à V_e , on peut s'attendre à ce que le système subisse un comportement inélastique. Ce comportement induira une augmentation du taux d'amortissement du système, et donc une diminution des accélérations subies par la structure. Avec la prise en compte du comportement inélastique on peut construire un nouveau spectre de réponse.

Si on suppose que la période reste approximativement constante et égale à T_e on obtient :

$$V_i = M g \left(S_a (T_e , \xi) / g \right)_i = V_e / R \quad (1.2)$$

où R est le facteur de réduction des forces ou le facteur de comportement.

Du point de vue économique, le dimensionnement d'un système qui reste élastique seulement jusqu'à la valeur V_i est moins coûteux que celui d'un système qui reste élastique jusqu'à la valeur V_e . Mais pour profiter de cette économie, il est nécessaire de garantir que les différents éléments du bâtiment puissent développer le comportement inélastique requis. En plus, de façon implicite on doit accepter l'apparition d'un certain niveau de dommage après le mouvement sismique.

Notre travail a pour objectif principal d'évaluer le facteur de comportement de structures en portique en béton armé sur la base de critères de ruine préalablement définis en utilisant deux méthode d'analyse, à savoir : l'analyse statique non linéaire en poussée progressive (*analyse pushover*) et l'analyse dynamique non linéaire (*analyse dynamique incrémentale*).

Dans cette étude, l'évaluation du facteur de comportement de la structure en portique tient compte du facteur de réduction, R_μ , dû à la ductilité globale, μ , du portique et du facteur de réduction, Ω , dû à sa sur-résistance. Ces paramètres de ductilité globale et du facteur de réduction sont extraits des courbes de capacité obtenues à partir des analyses pushover et dynamique incrémentale.

L'étude est menée en considérant trois portiques plans en BA d'élançements différents qui ont le même nombre de travées mais de nombre de niveaux différents (portiques R+3, R+4 et R+5).

Après un dimensionnement des portiques suivant les deux codes de calcul utilisés, le code de calcul de béton armé aux états limites, BAEL 91, et le règlement parasismique algérien, RPA99/version 2003, on effectue, pour chaque portique, à l'aide du logiciel Robot, une analyse statique non linéaire en poussée progressive (analyse pushover) sous des forces sismiques horizontales progressivement croissantes à distribution triangulaire inversé et une analyse dynamique non linéaire (analyse dynamique incrémentale) en utilisant un ensemble de 7 accélérogrammes enregistrés de par le monde.

Les poutres et poteaux des trois portiques en béton armé sont modélisés par des éléments poutres élastiques avec des rotules plastiques concentrées à chacune de leurs extrémités.

À cet effet, les modèles de Mander pour le béton confiné et non confiné pour l'acier sont utilisés, et ce pour l'établissement des lois Moment – Rotation associées à la plastification par flexion des rotules plastiques.

Au terme de ces analyses non linéaires, statique et dynamique, des portiques considérés, on procède à une discussion des résultats obtenus, relatifs aux paramètres étudiés : la ductilité globale du portique, μ , son facteur de sur-résistance, Ω , et son facteur de comportement, R .

ETUDES PRECEDENTES

Le sujet de l'effet de la variation de zone sismique a fait l'objet de plusieurs études. Nous citons ici deux études qui nous ont été particulièrement bénéfiques, l'étude menée par Louzai et Abed [2] sur "l'Influence de la zone sismique sur la valeur du facteur de comportement de structures en béton armé" et celle menée par Bouadj et Houfani [3] sur "Effet de la zone sismique, la hauteur et la disposition des voiles sur le choix du système de contreventement".

CHAPITRE 2

CALCUL DU FACTEUR DE COMPORTEMENT

1.INTRODUCTION :

Les codes parasismiques offrent la possibilité d'utiliser une analyse élastique linéaire approchée, c'est-à-dire une analyse simple, qui peut prendre différentes formes, analyse modale spectrale au départ d'un spectre de réponse élastique ou même analyse statique équivalente, en réduisant les forces sismiques obtenues afin de tenir compte de la dissipation hystérétique d'énergie de la structure réelle soumise à l'action sismique considérée. Cette réduction est réalisée, en pratique, en utilisant le concept de « facteur de comportement » R de la structure (noté q dans le code parasismique européen, l'Eurocode 8. Ainsi, pour un dimensionnement tenant compte du comportement inélastique, les forces sismiques de projet sont généralement évaluées à partir de spectres de réponse " inélastiques ", qui donnent l'accélération spectrale de projet en fonction de la ductilité globale attribuée à la structure et de sa période propre fondamentale de vibration. En pratique, dans les codes parasismiques existants, un spectre de réponse inélastique est obtenu en réduisant le spectre de dimensionnement élastique par le facteur R qui tient compte des capacités dissipatives de la structure. Cette réduction est schématisée à la figure ci-dessous où l'accélération spectrale de projet normalisée (par rapport à l'accélération de la pesanteur g) est désignée par $S_a(T)$, T étant la période propre fondamentale de vibration de la structure. Autrement dit, le facteur R tient compte à la fois de la demande de ductilité associée à l'action sismique sollicitant la structure et des ressources inélastiques de cette dernière en termes de ductilité (locale et globale) qui dépend de la topologie d'ossature. Lors d'un calcul sismique d'une structure, la valeur à attribuer au facteur R , dépend de la capacité de celle-ci à dissiper de l'énergie sismique par déformations plastiques. $R=1$, veut dire que la structure est considérée non dissipative ; celle-ci est alors dimensionnée de manière à avoir un comportement purement élastique lors d'un tremblement de terre qui lui induirait des sollicitations similaires à celles de l'action sismique de projet, pour laquelle elle a été dimensionnée. Cette valeur est d'autant plus élevée que la structure est plus dissipative. Pour fixer les idées, les valeurs de R considérées dans le code parasismique algérien sont comprises entre 1 et 5.

le facteur de comportement, R , dépend de plusieurs paramètres tels que, la ductilité, la période propre fondamentale de vibration de la structure, la réserve de résistance, appelée aussi sur-résistance, la redondance de la structure, ainsi que les caractéristiques du mouvement du sol. Par ailleurs, il est actuellement admis que le facteur de comportement R est formulé comme étant le produit de trois facteurs : un facteur de ductilité, R_μ , un facteur de sur-résistance, Ω , et un facteur de redondance, R_R . L'évolution

récente de certains codes parasismiques tels que l’Eurocode 8 a pris en considération ces paramètres dans la formulation du facteur R.

Bien que l’actualisation du code parasismique algérien RPA99/Version2003 après le séisme de Boumerdès (2003) ait été consacrée essentiellement à la révision du zonage sismique ainsi qu’aux valeurs du coefficient d’accélération de zone, A, qui s’y rattachent ; le facteur de comportement, R, n’a pas bénéficié, cependant, de recommandations appropriées.

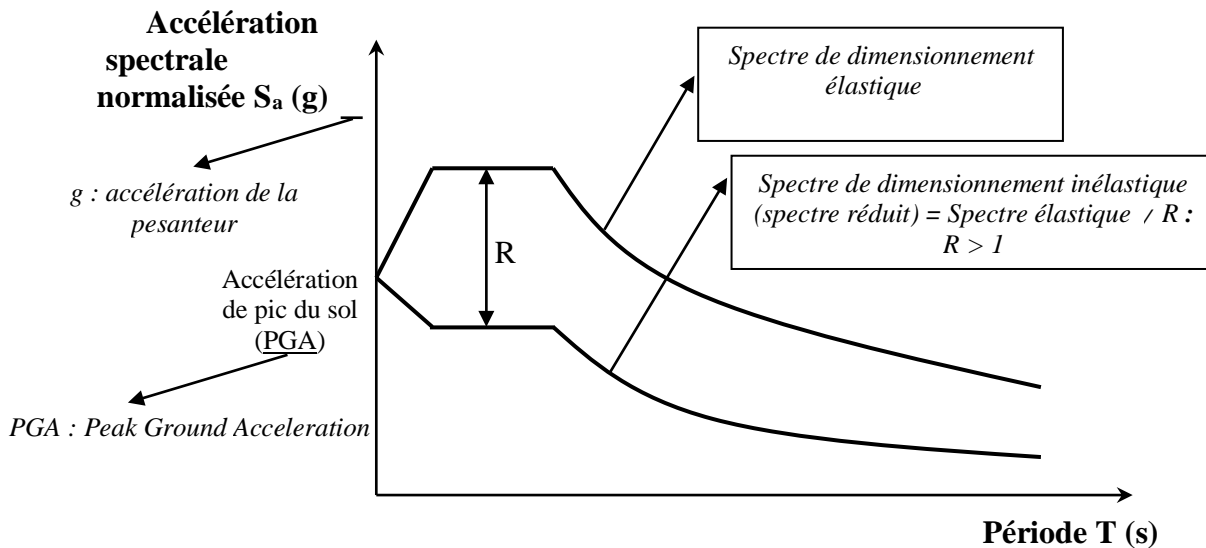


Figure 2.1 : Obtention du spectre de dimensionnement inélastique à partir du spectre élastique

Le facteur de comportement, R, représente le rapport de la force latérale maximale, V_e , que développerait, dans une structure, une réponse purement élastique linéaire sous le mouvement sismique spécifié, à la force latérale de dimensionnement, V_d , pour laquelle elle a été dimensionnée. Le rapport R est exprimé par l'équation suivante:

$$R = V_e / V_d \quad (2.1)$$

Suivant les recommandations du code NEHRP (National Earthquake Hazard Reduction Program) qualifie le facteur R de facteur empirique de réduction de la force sismique prenant en compte l’amortissement et la ductilité d’un système structurel pour des déplacements dépassant l’état initial de plastification et approchant le déplacement structurel ultime.

Le concept du facteur de comportement est basé sur la capacité qu’a une structure, convenablement dimensionnée, à supporter de larges déformations dans le domaine inélastique sans s’effondrer (comportement ductile) et à développer une capacité de résistance latérale dépassant généralement la force latérale pour laquelle elle a été dimensionnée (appelée souvent réserve de résistance). Ainsi, l’ingénieur en

structures a tiré profit de l'effet favorable de ce comportement structurel, c'est-à-dire de la plastification de la structure. Le facteur R a été initialement introduit dans le code ATC-3-06 en 1978, et sert à réduire l'effort tranchant à la base (V_e) calculé à partir de l'analyse élastique en utilisant un spectre de réponse ayant un amortissement de 5% dans le but de calculer l'effort tranchant de dimensionnement à la base (V_d).

Le facteur de comportement, R, est largement utilisé ; il est intégré dans l'analyse statique élastique des structures pour tenir compte de leur réponse inélastique. Les principales méthodes d'analyse statique sont la méthode statique équivalente et la méthode spectrale modale, dans les deux procédures le facteur R est utilisé pour le calcul de l'effort tranchant de dimensionnement à la base. Une des hypothèses les plus importantes des deux méthodes est que la réponse "inélastique" est prise en compte dans l'analyse "élastique" par la simple introduction de ce facteur. L'usage du facteur R inclut une autre ambiguïté dans le dimensionnement qui est liée au fait que l'apparition des dommages est assumée et ce par la réduction des forces latérales élastiques. Or les méthodes d'analyses élastiques citées ci-haut sont incapables de fournir une estimation sur le niveau d'endommagement structurel. Malgré que les procédures d'analyses élastiques ne donnent pas d'estimations quantitatives de la réponse non linéaire de la structure, elles restent la pierre angulaire dans la pratique du dimensionnement parasismique et sont considérées comme des procédures d'analyses valables et un outil pratique dans le dimensionnement professionnel pour plusieurs raisons, y compris:

- Elles sont faciles d'utilisation et n'exigent pas du concepteur des connaissances sur la dynamique des structures.
- Elles peuvent fournir une estimation sur les sollicitations revenant aux éléments structuraux avec une précision jugée satisfaisante pour les bâtiments réguliers et faiblement et moyennement élancés.
- Elles peuvent être utilisées pour un pré dimensionnement préliminaire des éléments structuraux devant être évalués ultérieurement par des méthodes rigoureuses [1].

2. Principales Formules de Calcul[1].

Dans la moitié des années 80, les résultats d'un programme de recherche expérimentale conduit à l'Université de Californie à Berkeley ont été utilisés pour développer une meilleure compréhension de la réponse sismique des bâtiments en portiques métalliques contreventés et proposer une formulation du facteur de comportement.

Des relations effort tranchant à la base-déplacement en tête des bâtiments expérimentés: bâtiments en portiques métalliques à contreventement triangulé centré et bâtiment à contreventement triangulé excentré, ont été établies en utilisant les données accueillies du simulateur des tremblements de terre.

Les courbes force-déplacement, appelée aussi courbes de capacité, ont été développées en traçant sur un graphique le déplacement en tête correspondant à l'effort tranchant maximal à la base, et ce pour chaque simulation sismique et pour chaque modèle considéré.

Pour chaque test, un spectre de réponse élastique en accélération a ainsi été généré en utilisant l'histoire de la réponse en accélération des plates-formes du simulateur du tremblement de terre. Ce programme de recherche expérimentale a permis aux chercheurs de Berkeley de formuler le facteur de comportement R comme le produit de 3 facteurs tenant compte de la ductilité, de la réserve de résistance et de l'amortissement visqueux. Ainsi, le facteur R est donné par la relation suivante :

$$R = R_{\mu} \cdot \Omega \cdot R_{\xi} \quad (2.2)$$

où R_{μ} est le facteur de réduction dû à la ductilité, Ω est le facteur de sur-résistance et R_{ξ} est le facteur d'amortissement. L'effet de l'amortissement est généralement inclu dans le facteur de réduction dû à la ductilité (R_{μ}). Le facteur R_{ξ} considéré dans l'équation (1) a été adopté seulement pour tenir compte de la réduction de la réponse fournie par un amortissement externe supplémentaire; aussi ce facteur peut être utilisé pour l'estimation du déplacement des structures inélastiques, mais non pour réduire proportionnellement la demande de résistance, d'où ce facteur pourrait être exclu de l'équation (2.2). Un autre facteur a été introduit par l'ATC-34 pour tenir compte de la redondance structurelle (R_R). Ce facteur est introduit dans le but de quantifier l'amélioration de la réserve de sécurité des systèmes en portiques utilisant la multiplication modulaire des travées et des niveaux dans chaque direction principale. Ainsi, le facteur R est donné par l'équation suivante :

$$R = R_{\mu} \cdot \Omega \cdot R_R \quad (2.3)$$

En outre, la sur-résistance et la redondance sont considérées comme une seule composante, comme cela a été adopté par un grand nombre de chercheurs incluant ceux de l'ATC (Freeman). Ceci est dû au fait que le paramètre "sur-résistance" tient compte implicitement de la redondance structurelle à travers le phénomène de redistribution des efforts internes, ce qui conduit à une sur-résistance élevée. Le facteur de comportement peut être alors défini comme le produit du facteur de ductilité (R_{μ}) et le facteur de sur-résistance (Ω), et ce comme montré à la figure (2.1) . Ainsi,

$$R = R_{\mu} \cdot \Omega \quad (2.4)$$

La figure (2.2) illustre aussi la ductilité globale μ de la structure, laquelle est exprimée comme le rapport entre le déplacement maximum en tête, d_u , de celle-ci et son déplacement élastique limite, d_y , correspondant à la fin de la phase élastique de la courbe de capacité idéalisée. Elle est donnée par la formule suivante :

$$\mu = d_u / d_y \quad (2.5)$$

2.3. FACTEUR DE DUCTILITÉ, R_μ :

Le facteur R_μ est une mesure de la réponse non linéaire globale d'un système de contreventement et non pas celle de ses éléments constitutants. Il est évalué pour un spectre inélastique à ductilité constante et il tient compte de la différence entre un chargement statique et un chargement dynamique réversible induit par l'action sismique. Le bâtiment est modélisé comme un système à un seul degré de liberté, où sa ductilité de déplacement disponible est estimée, et les relations entre R_μ et μ (ductilité de déplacement) sont développées. Ces relations ont été le sujet de recherche pour les 3 dernières décennies, et il a été trouvé qu'elles sont fonction des caractéristiques de la structure (ductilité, amortissement et période de vibration) ainsi que des caractéristiques du mouvement du sol.

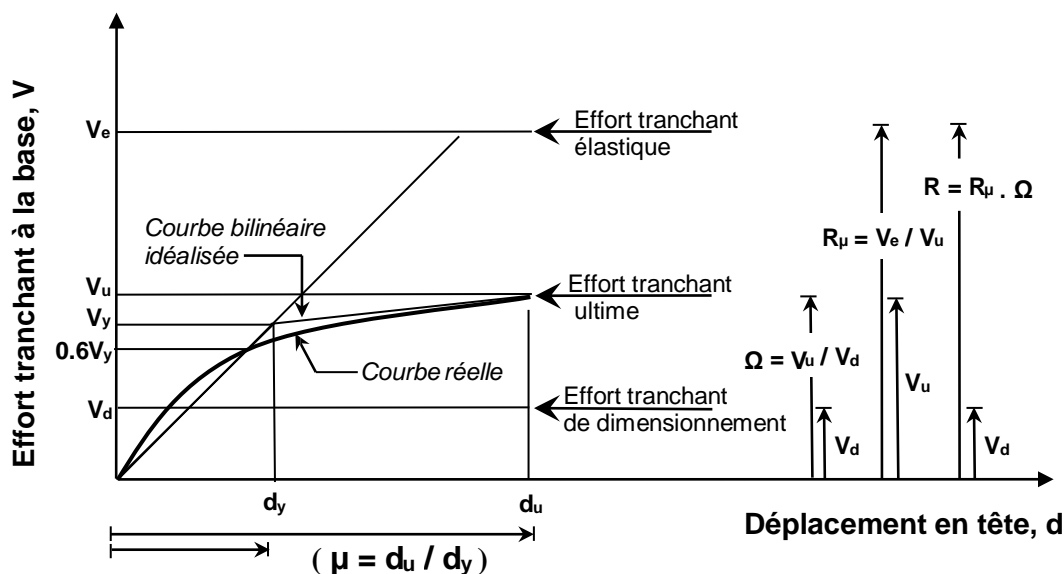


Figure 2.2 : Relation entre (R) , (Ω) , (R_μ) et (μ) .

2.3.1 Méthodes d'évaluation du facteur de ductilité R_μ

Les méthodes d'évaluation du facteur de ductilité (R_μ) sont généralement basées sur un modèle de réponse inélastique à un seul degré de liberté, ceci nécessite plusieurs analyses dynamiques non linéaires pour différents accélérogrammes, ce qui implique de la part de la structure une configuration géométrique régulière, une distribution uniforme des rigidités et un mécanisme de ruine le plus global possible. Les principales méthodes utilisées pour l'évaluation du facteur de ductilité sont:

2.3.1.1 Méthode de Newmark et Hall

L'intérêt du comportement linéaire d'un système à un seul degré de liberté ou oscillateur simple a été montré par Newmark et Hall. Ces auteurs ont étudié un grand nombre d'oscillateurs simples linéaires et non linéaires avec l'hypothèse d'un comportement élastique parfaitement plastique. Suite à une étude des spectres élastiques et inélastiques résultant du séisme d'El Centro en Californie, du 18 mai 1940, ces auteurs ont observé que :

- dans les basses fréquences (BF), les systèmes élastique et inélastique ont approximativement le même déplacement maximal ;
- dans les fréquences moyennes (MF), le principe de conservation des énergies donne une bonne et suffisante approximation ;
- dans les hautes fréquences (HF), les systèmes élastique et inélastique ont la même force.

Ces résultats peuvent être résumés en termes de périodes tels que :

- *principe d'égalité des déplacements maximaux* : $d_u = d_e$, valide pour les systèmes de période de vibration T supérieure à 0.5s (oscillateurs souples) ; dans ce cas, le facteur de ductilité R_μ est égal à la ductilité μ (figure 2.2). Ainsi,

$$R_\mu = \mu \quad \text{pour} \quad T > 0.5 \text{ s (2.6)}$$

- *principe d'égalité des énergies dissipées* : aire (OCG) = aire (OBEF), (figure 2.3), valide pour les systèmes de période de vibration T comprise entre 0.2s et 0.5s

(oscillateurs assez rigides) ; dans ce cas, le facteur de ductilité R_μ est égal à $\sqrt{2\mu - 1}$ (figure 2.3).

Ainsi,

$$R_\mu = \sqrt{2\mu - 1} \quad \text{pour} \quad 0.2 \text{ s} < T < 0.5 \text{ s (2.7)}$$

- *principe d'égalité des forces*, valide pour les systèmes de période de vibration T inférieure à 0.2s ; dans ce cas, le facteur de ductilité R_μ est égal à l'unité (figure 2.4).

Ainsi,

$$R_\mu = 1 \quad \text{pour} \quad T < 0.2 \text{ s (2.8)}$$

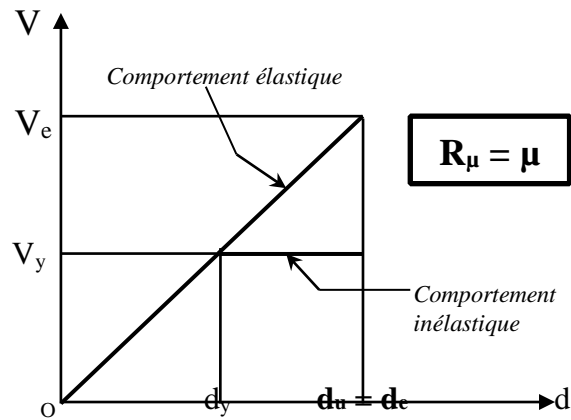


Figure 2.3: Schématisation du principe d'égalité des déplacements des oscillateurs simples ; V_e : force élastique maximale, V_y : force de plastification, d_e : déplacement élastique maximal, d_y : déplacement de plastification, d_u : déplacement inélastique maximal.

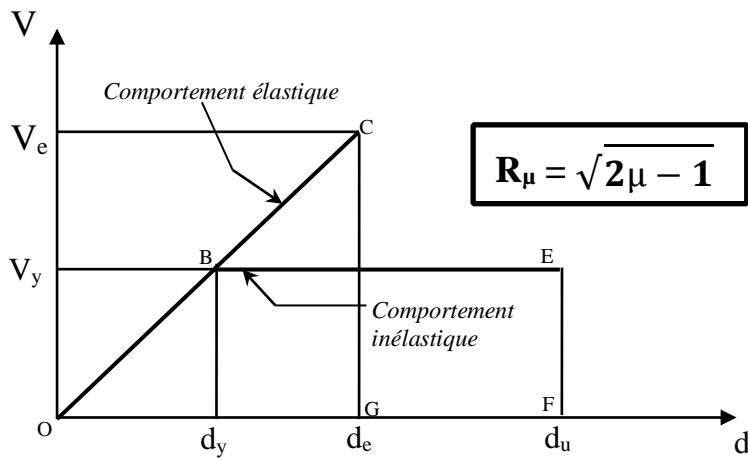


Figure 2.4: Schématisation du Principe d'égalité des énergies

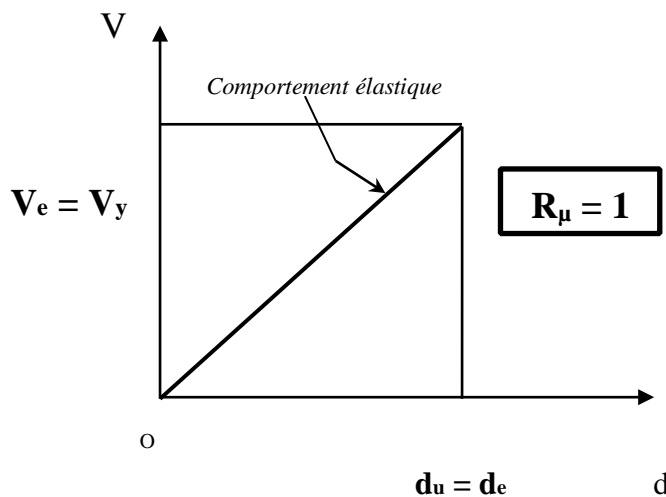


Figure 2.5 : Schématisation du principe d'égalité des forces des oscillateurs simples.

2.3.1.2 Méthode de Krawinkler et Nassar

La méthode de Krawinkler et Nassar est basée également sur la réponse sismique d'un système à un seul degré de liberté à comportement élasto-plastique avec écrouissage. Le facteur de ductilité est donné par l'expression suivante :

$$R_{\mu} = [c (\mu - 1) + 1]^{1/c} \quad (2.9)$$

$$\text{où } c(T, \alpha) = T^a / (1 + T^a) + b/T \quad (2.10)$$

avec :

T : Période propre fondamentale de vibration de la structure.

α : Rigidité post-élastique, donnée en (%) ; a et b sont les paramètres de régression. Les valeurs de ces deux paramètres sont données en fonction de α au tableau 2.1.

Rigidité post-élastique, α en (%)	Paramètres de régression	
	a	b
0	1	0.42
2	1	0.37
10	0.8	0.29

Tableau 2.1 : Valeurs des paramètres de régression a et b en fonction de la rigidité post-élastique α .

2.3.1.3 Méthode de Fajfar

Le facteur de ductilité R_{μ} proposé par Fajfar dans sa méthode N2 (N pour analyse non linéaire et 2 pour deux modèles mathématiques), prend en compte la période caractéristique spécifique au site et il est exprimé par la relation suivante:

$$R_{\mu} = (\mu - 1) T / T_c + 1 \quad \text{pour} \quad T < T_c \quad (2.11)$$

$$R_{\mu} = \mu \quad \text{pour} \quad T \geq T_c \quad (2.12)$$

avec :

T : Période propre fondamentale de vibration de la structure.

T_c : Période caractéristique du sol définie comme la période limite supérieure de la zone d'accélération constante du spectre de réponse (figure 2.5).

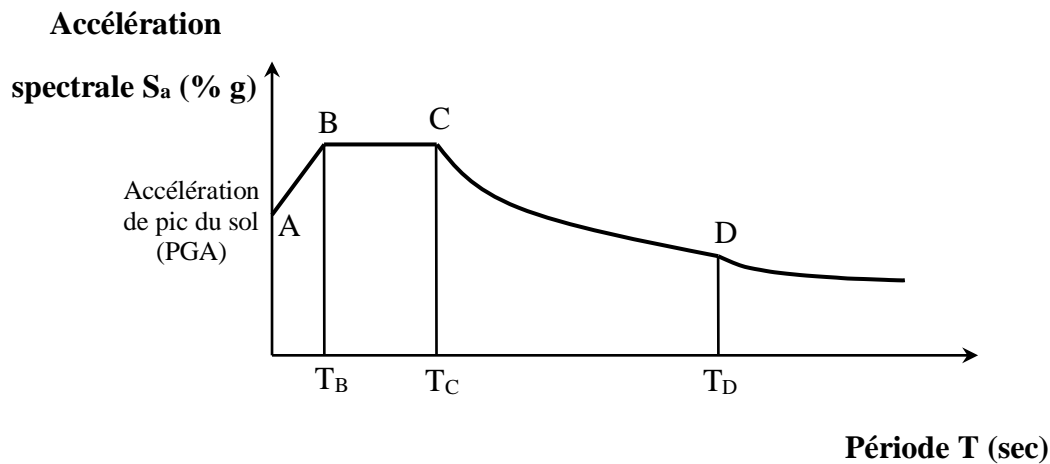


Figure 2.6: Spectre de réponse et période limite supérieure de la zone d'accélération constante, T_C .

2.3.1.4 Méthode de Priestley

Le facteur de ductilité R_μ proposé par Priestley [N4] prend en compte la période caractéristique spécifique au site et il est exprimé par la relation suivante:

$$R_\mu = 1 + (\mu - 1) T / 1.5T_c \leq \mu \quad (2.13)$$

avec :

T : Période propre fondamentale de vibration de la structure.

T_c : Période caractéristique du sol.

Cette relation suppose l'égalité des déplacements (élastique et inélastique), $R_\mu = \mu$, quant

$T > 1.5 T_c$ et l'égalité des accélérations (élastique et inélastique), $R_\mu = 1$, quand T tend vers 0.

2.4 FACTEUR DE SUR - RÉSISTANCE, Ω :

Il est observé que les structures possèdent une capacité de résistance latérale, V_u , qui dépasse généralement l'effort sismique de dimensionnement, V_d . Cette réserve de résistance, appelée aussi sur-résistance, est l'une des caractéristiques clés qui influencent la réponse des structures soumises à l'action sismique.

Beaucoup de sources de sur-résistance peuvent être facilement identifiées mais pas toutes aisément mesurables. Les sources de sur-résistance qui ont été examinées par Uang, Mitchell et Paultre, Rahgozar et Humar, Bruneau et al. et Mitchell et al. incluent, entre autres les points suivants :

- Les dimensions des éléments structuraux choisis sont généralement légèrement supérieures aux dimensions strictement nécessaires pour des raisons de disponibilité et/ou d'arrondissement de leurs tailles ;
- Les résistances pondérées sont utilisées lors de la conception est non pas les résistances nominales ;
- Les limites élastiques minimums spécifiées sont inférieures aux limites réelles ;
- Les matériaux peuvent démontrer une surcapacité reliée aux effets d'écroutissage ;
- Les structures peuvent exhiber une résistance additionnelle avant qu'un mécanisme de ruine ne se développe dans le bâtiment.

Le facteur de sur-résistance traduisant la réserve de résistance de la structure est défini comme le rapport entre l'effort tranchant ultime, V_u , de la structure et son effort tranchant de dimensionnement, V_d (figure 2.1). Il est donné par la formule suivante : $\Omega = V_u / V_d$ **(2.14)**

2.5 Facteur de comportement d'après le RPA 99 V. 2003 [4].

Le coefficient global de la structure R est donné en fonction du système de contreventement, en cas d'utilisation de systèmes de contreventement différents dans les deux directions considérées ; il y a lieu d'adopter pour le coefficient R, la valeur la plus petite

cat	Description du system de contreventement	Valeur de R
<u>A</u>	<u>Béton Armé</u>	
1a	Portiques autostables sans remplissage en maçonnerie rigide	5
1b	Portiques autostables avec remplissage en maçonnerie rigide	3.5
2	Voiles porteurs	3.5
3	Noyau	3.5
4a	Mixte portiques/voiles avec interaction	5
4b	Portiques contreventées par des voiles	4
5	Console verticale à masse répartie	2
6	Pendule Inverse	2
<u>B</u>	<u>Acier</u>	6

7	Portiques autostables ductiles	4
8	Portiques autostables ordinaires	4
9a	Ossatures contreventées par palées triangulaires en X	3
9b	Ossatures contreventées par palées triangulaires en V	5
10a	Mixte portiques / palles triangulées en X	4
10b	Mixte portiques / palles triangulées en V	2
11	Portique en console verticale	
C	<u>Maçonnerie</u>	
12	Maçonnerie porteuse chaînée	2.5

Tableau 2.1 : Valeurs de R selon le RPA 2003

Remarques sur les valeurs de R proposées par le RPA

Les valeurs attribuées par le RPA sont soumises aux commentaires suivants [5] :

- Elles ne dépendent que du type de contreventement du bâtiment.
- Elles sont données arbitrairement sans aucune base scientifique.
- Elles sont, dans de nombreux cas, supérieures à celles données par d'autres codes tels que l'Eurocode 8 (EN 1998).
- La ductilité elle-même, dont elles dépendent fondamentalement, est définie de manière vague.
- Elles semblent être surestimées d'après les résultats obtenus par certains auteurs tels que Edjtemai (1981) et Lam et al. (1998).
- Ce fait est confirmé ici par la comparaison de RPA avec méthode exact (Fig IV- 2- 3) et avec les deux exacts et proposés (Fig IV-4-b) pour évaluer les deux bases cisaillements et déplacement.
- Enfin, ils ne tiennent pas compte de la particularité de certaines régions de grande sensibilité aux tremblements de terre, comme Alger, où le critère de sécurité des personnes a la priorité sur l'économique. Dans un tel cas, l'incursion dans le domaine plastique doit être strictement limité et par conséquent R doit être réduit.

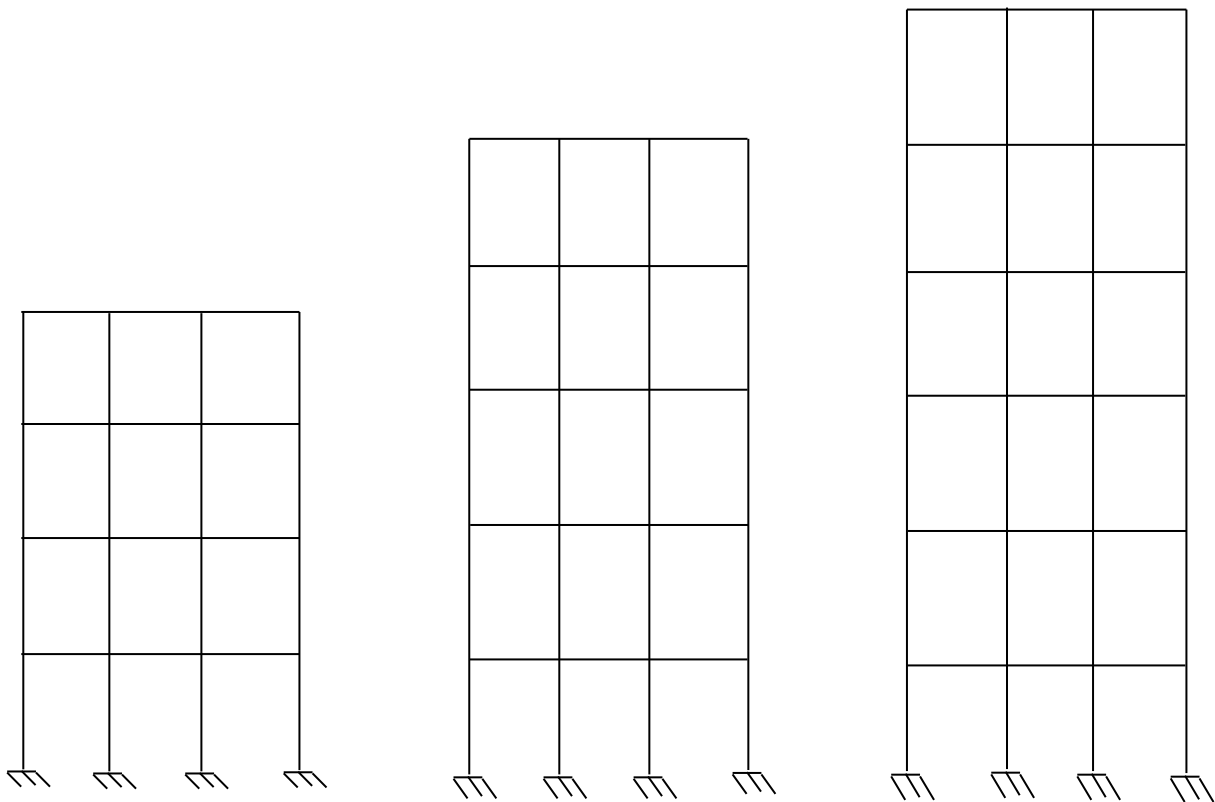
CHAPITRE 3

APPLICATION (ÉTUDE DES BATIMENTS)

GÉOMÉTRIE ET CONFIGURATION STRUCTURALE

Trois portiques plans de même nombre de travées mais de nombre d'étages différent sont considérés dans cette étude : portiques à 4 , 5 et 6 niveaux, respectivement R+3, R+4 et R+5 (figure 3.1).

les structures sont supposées encastrées à la bases.



(a) Portique R+3

(b) portique R+4

(c) portique R+5

Figure 3.1 :Portique R+3 ,R+4,R+5 étudiés

-Hauteur d'étage : 3.06m

-La distance entre les axes des poteaux : 5.00 m

DIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS STRUCTURAUX :

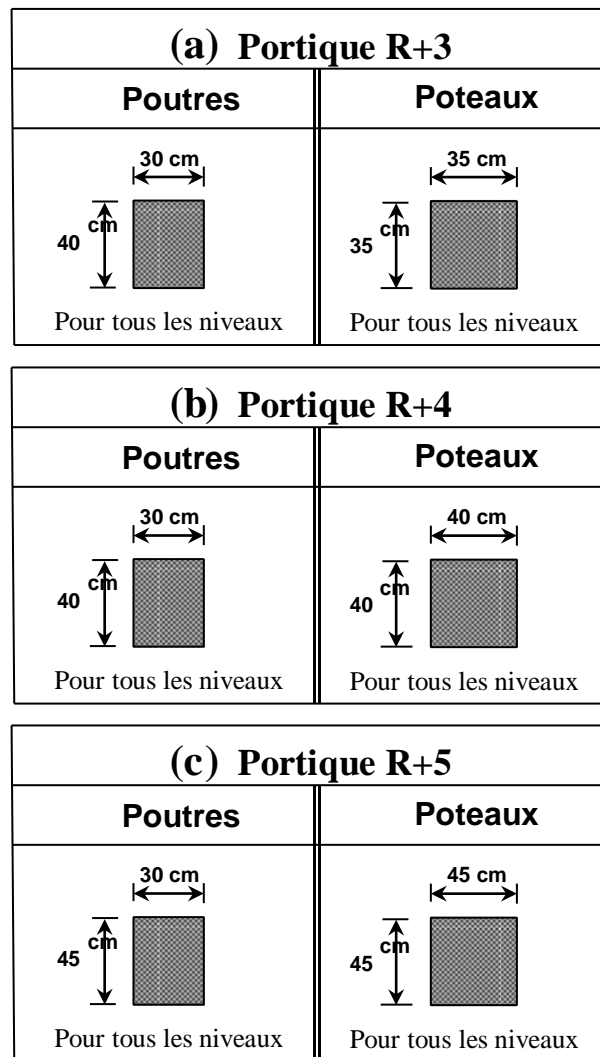


Figure 3.2 : Dimensionnement des sections de béton des poutres et des poteaux des trois portiques étudiés

CHARGES APPLIQUEES :

Charges gravitaires :

Les 3 bâtiments considérés sont à usage d'habitation à planchers en corps creux de type (16+4) ; les charges gravitaires sont évaluées comme suit :

		Poids (KN/m ²)
1. Gravier de protection (5 cm)	0.05x17	0.85
2. Etanchéité multicouches (2cm)	0.02x6	0.12
3. Forme de pente (8 cm)	0.08x20	1.6
4. Isolation thermique (4 cm)	0.04x4	0.16
5. Plancher à corps-creux (20+4)	2,60	2.60
6. Enduit en plâtre (2 cm)	0.02x13	0.26
TOTAL	G = 5.60 (KN/m²)	

Les charges permanentes (G) du plancher terrasse sont évaluées à 5.6kN/m^2

		Poids (KN/m ²)
1. Carrelage (2 cm)	0.02x22	0.44
2. Mortier de pose (2 cm)	0.02x20	0.4
3. Plancher à corps-creux (16+4)	2.60	2.60
4. Enduit en plâtre (2 cm)	0.02x13	0.26
Cloisons légères (1.5+10+1.5 cm)	1.2	1.2
TOTAL		G = 4.90 (KN/m²)

Les charges permanentes (G) du plancher étage courant sont évaluées à 4.90 kN/m^2

Les charges d'exploitation (Q)

Plancher	Surcharges
Plancher étage courant accessible	1.5 kN/m ²
Plancher non accessible	1.00 kN/m ²

Charges sismiques :

Les charges sismiques agissant sur chaque portique étudié sont des forces latérales appliquées aux différents niveaux du portique comme illustré à la figure ci-dessous

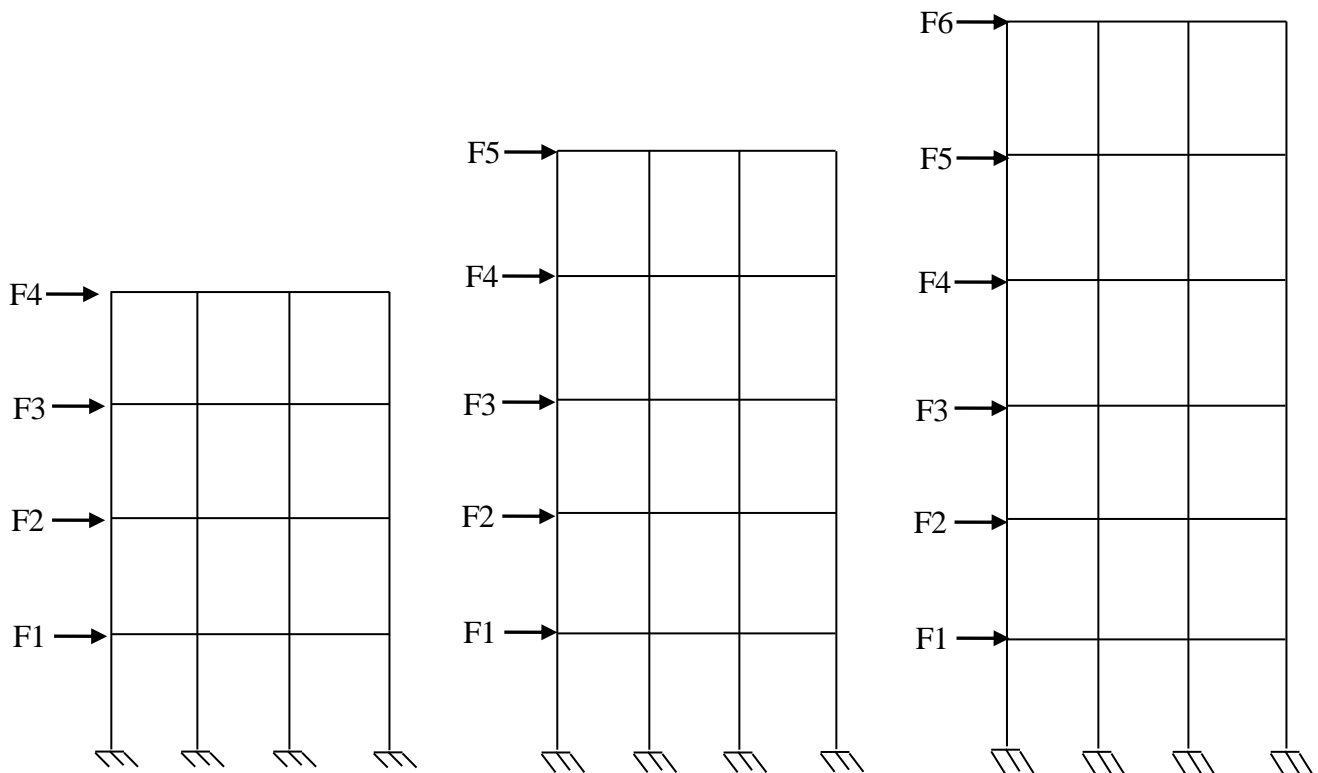


Figure 3.3 : Distribution des forces sismiques aux différents niveaux des portiques étudiés

Ces forces sismiques, agissant sur un portique, représentent une fraction des forces sismiques globales agissant sur l'ensemble du bâtiment comportant ce portique. Cette fraction des forces sismiques globales est proportionnelle à la raideur à l'effort latéral de ce dernier. Les forces sismiques globales agissant sur l'ensemble du bâtiment sont calculées sur la base d'une analyse modale spectrale de ce dernier à l'aide du logiciel Robot et en utilisant comme action sismique le spectre de réponse de calcul défini dans le RPA99/version 2003.

MODÉLISATION DES STRUCTURES :

Les simulations numériques non-linéaires ont une place importante dans les méthodes d'analyse des structures de génie civil sous chargement sismique. Pour cela, il paraît comme une nécessité de disposer de modèles permettant des simulations aussi proches que possible de la réalité, tant pour les éléments structuraux que pour les actions sismiques exercées. On effectue la modélisation des portiques dimensionnés au chapitre 3. Cette modélisation effectuée à l'aide du logiciel Robot tient compte du comportement non-linéaire des éléments structuraux poutres et poteaux du portique en béton armé.

Présentation générale du logiciel Robot:

Autodesk Robot Structural Analysis Professional propose aux ingénieurs structure des fonctionnalités de simulation et d'analyse structurelle évoluées pour des structures vastes et complexes de la construction. Ce logiciel d'analyse structurelle offre un flux de travail fluide et une meilleure interopérabilité avec le logiciel Autodesk® Revit® Structure afin d'étendre le processus de maquette numérique intelligente du bâtiment (BIM). Ce workflow, au-delà de créer des conceptions, permet aux ingénieurs d'exécuter rapidement des analyses et des simulations détaillées de nombreuses structures.

Le logiciel Robot est aussi un logiciel collaboratif pour tester la conformité BIM d'une structure en acier, une structure en béton, du design structure

Autodesk Robot Structural Analysis n'est pas uniquement un logiciel de charpente métallique. Il prend aussi en charge la conception pour le béton armé et l'acier grâce à 40 normes acier internationales et 30 normes béton armé. La conception et le choix des matériaux sont facilités ainsi que la validation des éléments structurels.

Robot Structural Analysis est un outil Autodesk qui intègre un flux de travail cohérent. Vous pouvez passer simplement d'une conception sous Autodesk Robot Structural Analysis à Revit Structure grâce à des liaisons bidirectionnelles. En maintenant à jour les résultats de l'analyse structurelle et de conception du modèle. Tout cela en vous basant sur la documentation fournie par la maquette numérique intelligente du bâtiment (BIM).

Dans Robot Structural Analysis, vous pouvez :

créer des modèles de structure et effectuer des analyses structurales pour ensuite les transférer dans Revit et générer les plans de fabrication.

Les ingénieurs structure bénéficient ainsi d'un flux de travail intégré qui va de la conception à la fabrication en passant par l'analyse.

Maillage automatique

Avec le logiciel Robot Structural Analysis vous pouvez aussi gérer des modèles complexes grâce à des techniques de maillage automatique. Chaque panneau peut être travaillé individuellement avec du maillage automatique ou avec des paramètres de maillage définis manuellement. Vous obtenez ainsi des éléments finis de haute qualité.

ETUDE SISMIQUE

Choix de la méthode de calcul :

Méthode dynamique modale spectrale

Par cette méthode, il est recherché pour chaque mode de vibration, le maximum des effets engendrés dans la structure par les forces sismiques représentés par un spectre de réponse de calcul. Ces effets sont par la suit combinés pour obtenir la réponse de la structure.

Spectre de réponse de calcul

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

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

A : Coefficient d'accélération de zone ;

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

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

ξ : Pourcentage d'amortissement critique ;

R : Coefficient de comportement de la structure ;

T₁, T₂ : périodes caractéristiques associées à la catégorie de site ;

Q : Facteur de qualité.

<i>Caractéristiques</i>			
A	0.15	R	5
D	2.18	β	0.2
Q	1.20	ξ%	10

Vérification de la résultante des forces sismiques

La résultante des forces sismique à la base V_t obtenue par combinaison des valeurs modale ne doit pas être inférieure à 80 % de la résultante des forces sismiques déterminées par la méthode statique équivalente V pour une valeur de la période fondamentale donnée par la formule empirique appropriée.

$W(t)$	A	D	Q	R	V_{st}	$0.8V_{st}$	V_t	Condition vérifiée
2596	0.15	1.34	1.20	5	120	95.	120	Oui

Ferraillage des éléments

L'étude du portique s'intéresse aux éléments les plus sollicités à condition de rester dans le domaine de sécurité.

Pour la détermination des sollicitations, on utilise les combinaisons prescrites par les règlements RPA[4] BAEL[6] et CBA 93 [7]

$$1.35G + 1.5Q \quad (C.B.A.93)$$

$$G + Q \quad (C.B.A.93)$$

Pour les poutres

$$G + Q \pm E \quad (RPA.99)$$

$$0.8G \pm E$$

Pour les poteaux

$$\{G + Q \pm 1.2E \quad (RPA.99)$$

$$\{0.8G \pm E$$

Après avoir calculé les sollicitations, il faut déterminer les sections d'aciers nécessaires à la résistance et à la stabilité des éléments constructifs de notre ouvrage.

Le calcul des sections sera mené selon les règles du calcul de béton armé (CBA et RPA99).

Exemple de calcul :

Ferraillage des poutres

Les poutres sont soumises aux moments fléchissant et des efforts tranchant donc elles sont calculées à la flexion simple .les poutre sont des éléments non exposée aux intempéries, la fissuration est considérée comme peu préjudiciable,

La section d'armateur obtenue par : $A = \text{Max} (A_U, A_{cnf}, A_{RPA})$ avec

A_u : section d'armateur calculé en flexion simple.

Condition de non fragilité

$$A_{\min} = 0.23b.d \frac{f_{c28}}{f_e}$$

Pourcentage minimal du RPA99 v. 2003

Le pourcentage total minimum des aciers longitudinaux sur toute la longueur de la poutre est de 0.5% en toute section.

Le pourcentage total maximum des aciers longitudinaux est de

- 4% en zone courante.
- 6% en zone de recouvrement.

Vérification des conditions de non fragilité (CNF) et du RPA

- Les cadres sont en T8 avec des espacements 10 et 20cm, avec des cadres U alternés au niveau des nœuds.
- La fissuration considérée comme peu préjudiciable.
- Enrobage des poutres = 3 cm.

Ferraillage poutres Niveau 3.10&6.20&9.30

Poutre	Map	Mtra	A _t	A _a	En appui	En travée
PP(30x40)	9.55	6.48	5.56	8.46	3T16 chapeau 3T14 filants	2T12 ch +3T14
PS(30x40)	7.27	7.15	6.15	6.26	3T14ch+3T12fil	3T12ch+3T14 fil.

Ferraillage poutres Niveau +12.40&15.50m

Poutre	Map	Mtra	A _t	A _a	Appui	Travée
PP(30x40)	6.21	4.66	3,90	5,29	3t14ch+3T14fil	3T14 filants
PS(30x40)	5.88	5.12	4.99	4,31	3t12ch+3T12fil	3T14 filants

Ferraillage des poteaux

Les poteaux sont soumis à des moments fléchissant en tête et à la base dans les sens transversaux et longitudinaux, des efforts normaux et des efforts tranchants.

Ils seront donc calculés en flexion composée, la fissuration étant comme peu préjudiciable.

La section d'armature obtenue par : $A = \text{Max}(A_u, A_{cnf}, A_{RPA})$ avec

A_u : section d'armature calculé en flexion composée.

Pourcentage minimal du RPA99 « version 2003 »

Les armatures longitudinales doivent être à haute adhérence, droite et sans crochets :

❖ **Leur Pourcentage minimal sera de**

- 0.7% en zone I.
- 0.8% en zone Iia.
- 0.9% en zone Iib,III.

❖ **Leur Pourcentage maximal sera de**

- 4% en zone courante.
- 6% en zone de recouvrement

❖ **le diamètre minimum est de 12mm**

Dispositions constructives

La distance entre les barres verticales dans une face du poteau ne doit pas dépassée

- 25cm en zone I et Iia
- 20cm en zone Iib, III

La longueur de recouvrements est de

- 40Φ en zone I et Iia
- 50Φ en zone Iib et III

-Diverses Vérifications

- Contrainte admissible de béton comprimé $\bar{\sigma}_{bc} = 0.6f_{c28} = 15MPa$
- Contrainte admissible d'acier tendu $\bar{\sigma}_s = 400MPa$
- Contrainte tangentielle admissible $\bar{\tau} = \min \left\{ 0.2 \frac{f_{c28}}{\gamma_b} ; 5MPa \right\} = 3.33MPa$

Vérification à L'ELS »

- Position de l'axe neutre : (A' = 0)

$$\frac{by_1^2}{2} - nA(d - y_1) = 0.$$

Moment d'inertie :

$$I_{/AN} = \frac{b}{3} y_1^3 + nA(d - y_1)^2$$

$$\sigma_{bc} = \frac{M_{ser}}{I} y_1 \langle \bar{\sigma}_{bc} = 15..MPa$$

$$\sigma_s = 15 \frac{M_{ser}}{I} (d - y_1) \langle \bar{\sigma}_s = 400...MPa$$

Justification vis-à-vis de sollicitation tangente (E.L.U) :

Les justifications de l'âme d'une poutre sont conduites à partir de la contrainte tangente τ_u prise conventionnellement égale à :

$$\tau_u = \frac{V_u}{b_0 d} \quad [MPa]$$

Avec :

- effort tranchant à l'état limite ultime ; V_u
- largeur de l'âme [mm] ; b_0
- hauteur utile de la poutre [mm] ; d

La contrainte τ_u doit être en plus égale à la plus pas des deux valeurs : $\left\{ \frac{0.2 f_{c28}}{\gamma_b} \text{ et } 5 \text{ MPa} \right\}$

• **Calcul de l'effort tranchant**

-Etats Limites D'ouverture Des fissures

-calcul le moment résistant béton réduit :-

Moment pour lequel on atteint l'état-limite de service par compression du béton ($\sigma_{bc} = \bar{\sigma}_{bc}$)

Lorsque la contrainte de l'acier tendu σ_s est invariable et égale sa valeur à l'état-limite d'ouverture Des fissures : $\bar{\sigma}_s$

Ferraillage poteau

Poteau	N(t)	M(t)	A	A _{rpa}	Choix
P (40x40)	3	5.5	4.08	11.20	8T16
P (40x40)	8.39	4.144	2.27	11.20	4T14+4T16
P □40	8.97	9.21	4.89	10.05	8T16

CALCUL DES ELEMENTS D'INFRASTRUCTURE

1.1 Introduction

Les fondations d'une construction sont constituées par des parties de l'ouvrage que sont en contact avec le sol auquel elles transmettent les charges de la superstructure, elles constituent donc la partie essentielle de l'ouvrage puisque de leur bonne conception et réalisation découle la bonne tenue de l'ensemble.

Les éléments de fondation transmettent les charges au sol, soit directement (cas des semelles reposant sur le sol ou cas du radier général), soit par l'intermédiaire d'autres éléments (cas de semelle sur pieux).

Le rapport géotechnique montre que la contrainte admissible du sol $\bar{\sigma}_{sol}$ et égale à 3 bars

Choix de type de fondation

Pour les choix du type de fondation on doit satisfaire les deux critères principaux :

- Assurer la stabilité de la structure.
- Adopter un choix économique.

Ferraillage des longrines

Les longrines sont calculées selon « art.10.1.1 P 79 », du RPA99 les dimensions minimales de la section transversale sont.

25 x 30 cm : site de catégorie S2, S3,

30 x 30 cm : site de catégorie S4.

On prend section rectangulaire (30 x 40) cm²

Ferraillage

$$\text{Armature longitudinale } A = \frac{F}{\sigma_s}$$

Armatures transversales

On adopte un cadre et une épingle de diamètre 8 mm

$$S_t \leq \min(20\text{cm}; 15\phi = 21\text{cm}) = 20\text{cm} \Rightarrow S_t = 15\text{cm}$$

CHAPITRE 4

DISCUSSION DES RÉSULTATS

Les résultats de l'étude sont présentés comme suit :

- Présentation des résultats des analyses pushover:
 - La ductilité globale, μ , des trois portiques étudiés, qui est utilisée pour le calcul du facteur de ductilité, R_{μ} , selon les quatre méthodes citées en chapitre 2
 - Le facteur de sur-résistance, Ω , des trois portiques étudiés, qui est calculé selon la formulation citée en chapitre 2 ;
 - Le facteur de comportement, R , des trois portiques étudiés, qui est le produit des deux facteurs précités, c'est-à-dire du facteur de ductilité, R_{μ} , et du facteur de sur-résistance, Ω , (chapitre 2).

Les paramètres de ductilité globale et du facteur de sur-résistance, susmentionnés, sont extraits des courbes de capacité obtenues à partir des analyses pushover et dynamique incrémentale,

- On présente, ensuite, les résultats des analyses dynamiques incrémentales. Ces derniers sont accompagnés des résultats des analyses pushover, c'est-à-dire les résultats des deux méthodes d'analyse sont donnés dans un même graphique, et ce dans le but d'effectuer une analyse comparative des résultats des différents paramètres cités ci-haut, à savoir : la ductilité globale, μ , le facteur de sur-résistance, Ω , et le facteur de comportement, R .

On précise que le facteur de comportement des trois portiques étudiés est évalué sur la base de critères de ruine préalablement définis. Dans ces critères de ruine, le critère de formation d'un mécanisme plastique à un étage de la structure ou englobant plusieurs étages, est l'un des critères de ruine les plus importants de l'étude. Pour cela, les mécanismes de ruine des trois portiques étudiés dans le cas des analyses pushover et dynamiques incrémentales.

Résultats des analyses pushover :

On montre d'abord les courbes de capacité des trois portiques étudiés, obtenues par les analyses pushover, donnant, chacune, l'effort tranchant à la base du portique en fonction de son déplacement latéral en tête. Ensuite, on présente et on analyse leurs mécanismes de ruine, en se basant sur les critères de ruine.

Enfin, on procède à une analyse comparative des résultats obtenus, relatifs aux paramètres étudiés : la ductilité globale, la sur-résistance et le facteur de comportement.

Courbes de capacité des portiques étudiés :

Les figures ci-dessus montrent les courbes de capacité des portiques R+2, R+5 et R+8 ainsi que leurs indices de stabilité maximum, $\theta_{p-\Delta, \max}$, associés à la valeur limite du déplacement inter-étages $\Delta = 3\%$ de la hauteur d'étage, h_e , considéré, ici, comme l'un des critères de ruine à retenir en situation de ruine globale. On remarque que la valeur de l'indice de stabilité maximum, $\theta_{p-\Delta, \max}$, est d'autant plus grande que l'élanement du portique est important. Ainsi, les valeurs calculées de cet indice de stabilité sont égales à 0.124, 0.17 et 0.193, respectivement pour les portiques R+3, R+4 et R+5. On remarque aussi que ces valeurs ne dépassent pas la valeur limite spécifiée pour ce paramètre, qui est de 0.2 selon le RPA 99. Ceci indique que le critère de ruine par instabilité sous l'effet P- Δ (effets du 2^{ème} ordre) ne contrôle pas la ruine des trois portiques étudiés ici. Pour mieux apprécier le type de ruine affectant ces trois portiques,

Portique R+3

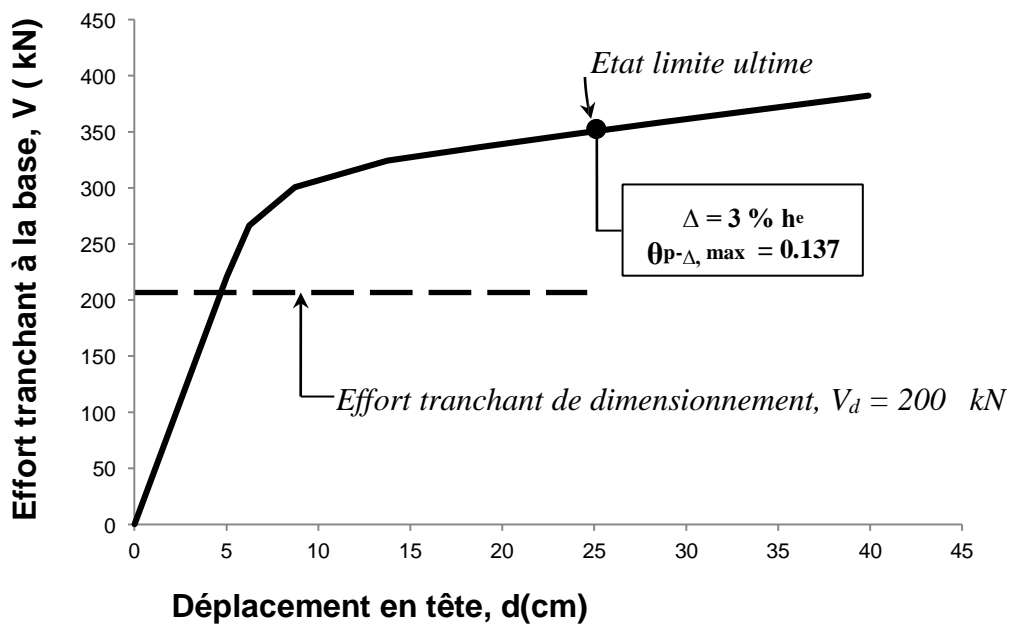


Figure 4.1 : Courbe de capacité du portique R+3

Portique R+4

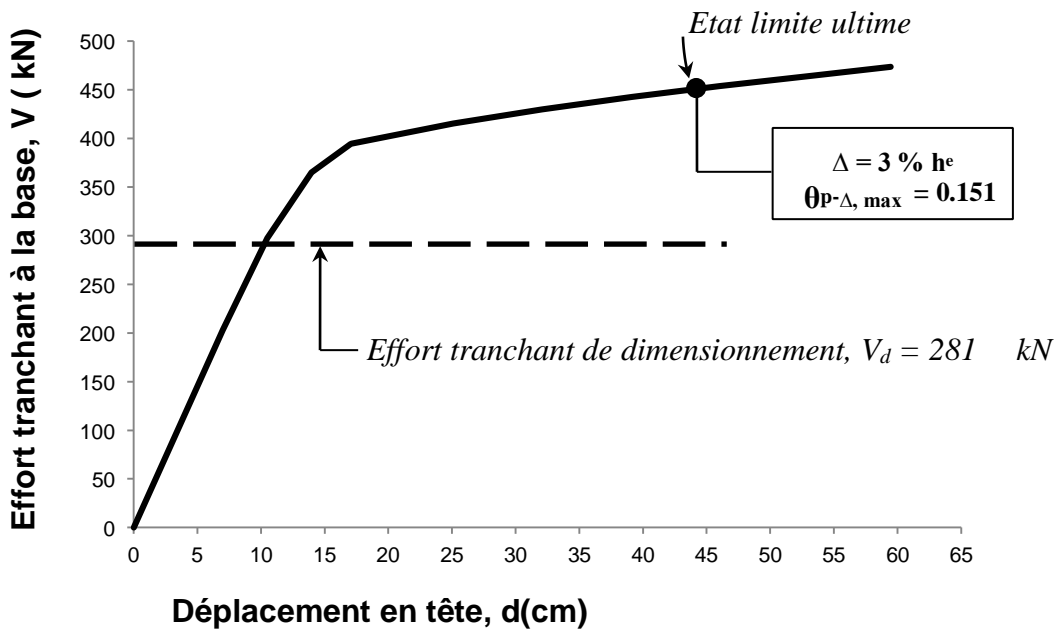


Figure 4.2 : Courbe de capacité du portique R+4

Portique R+5

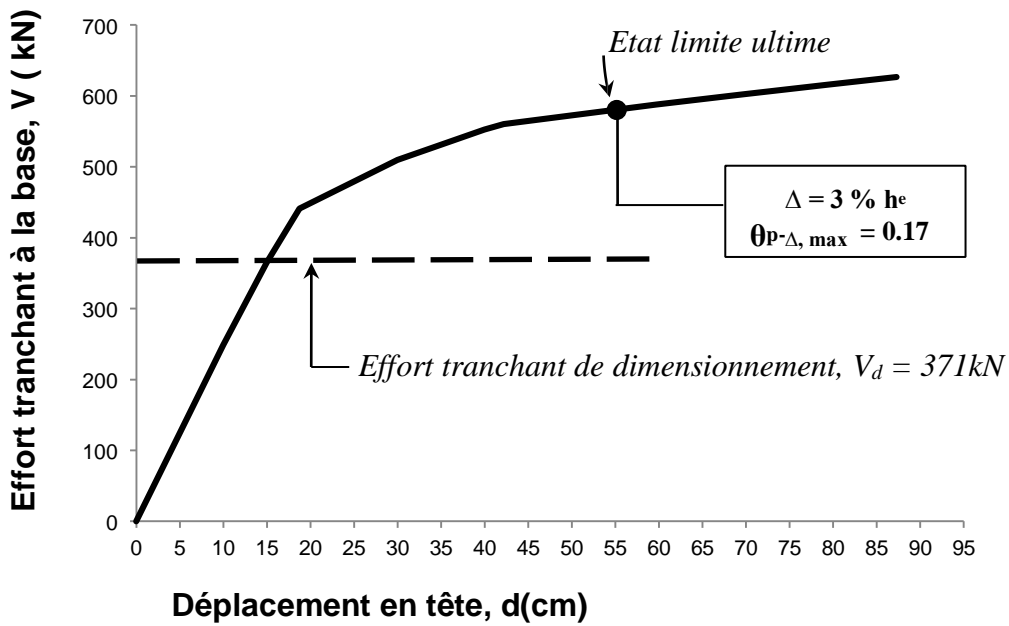


Figure 4.3 : Courbe de capacité du portique R+5

Analyse comparative des résultats obtenus des portiques étudiés :

Les résultats obtenus sont comparés pour les trois portiques étudiés, portiques R+3, R+4 et R+5, en considérant les portiques dans leurs états limites ultimes correspondant à leurs états de ruine respectifs. Outre les paramètres de ductilité globale et de sur-résistance, le facteur de comportement, R, constitue le paramètre essentiel de comparaison.

Ductilités globales, μ , des portiques étudiés :

La ductilité globale des 3 portiques étudiés est présentée au tableau ci dessous. Ce tableau montre que la ductilité globale, μ , diminue substantiellement en passant du portique R+3 au portique R+5.

On remarque que la ductilité globale diminue avec l'augmentation du nombre de niveaux. Cette réduction est due vraisemblablement à l'influence des contraintes normales dans les poteaux. En effet, l'augmentation des contraintes normales dans les poteaux, particulièrement, ceux à la base du portique, fait diminuer leurs moments résistants et donc leurs ductilités locales en rotation, ce qui, par conséquent, tend à réduire la ductilité globale du portique.

Bâtiment	Ductilité μ
Bâtiment R+3	3.50
Bâtiments R+4	3.28
Bâtiments R+5	3.08

Facteurs de sur-résistance, Ω , des portiques étudiés :

Les facteurs de sur-résistance des 3 portiques étudiés sont donnés au tableau ci-dessous.

la sur-résistance du portique R+3 est relativement élevée par rapport à celles des portiques R+4 et R+5. En effet, la valeur du facteur de sur-résistance du portique R+3 est égale à 1.59, alors que celle des portiques R+4 et R+.5 reste pratiquement constante et présente une valeur moyenne de 1.52

Bâtiment	Facteurs de sur-résistance, Ω
Bâtiment R+3	1.59
Bâtiments R+4	1.53
Bâtiments R+5	1.51

Facteur de comportement, R, des portiques étudiés :

Le facteur de comportement, R, des trois portiques étudiés est estimé en considérant ces derniers dans leurs états limites ultimes correspondant à leurs états de ruine respectifs. Le tableau 6.1 donne les valeurs du facteur R des trois portiques, en tenant compte du facteur de ductilité, R_{μ} , calculé selon les quatre méthodes citées en chapitre 2, ainsi que du facteur de sur-résistance, Ω .

La variation du facteur de comportement R, en considérant ses valeurs moyennes données au tableau ci-dessous en fonction du nombre de niveaux du portique, est présentée à la figure ci-dessous.

On observe que la valeur du facteur de comportement, R, diminue avec l'augmentation du nombre de niveaux. Une diminution similaire de la valeur du facteur de comportement due à l'augmentation du nombre de niveaux est aussi rapportée.

Ceci montre que la valeur du facteur de comportement dépend entre autres de l'élancement de la structure, paramètre non pris en compte dans les codes parasismiques.

bâtiment	facteur de Ductilité R_{μ}		Facteur de sur-résistance Ω	Facteur de comportement $R = R_{\mu} \cdot \Omega$	Valeur Moyenne de R	Valeur de R donnée par RPA99/ver2003	Différence
R+3	Newmark/éq:(2.7)	2.64	1.59	4.20	4.74	5	-0.26
	Krawinkler/éq :(2.9)	3.25		5.17			
	Fajfar/éq:(2.11)	3.39		5.39			
	Priestley/éq :(2.13)	2.63		4.18			
R+4	Newmark/éq:(2.7)	2.75	1.53	4.21	4.61	5	-0.39
	Krawinkler/éq :(2.9)	3.30		5.05			
	Fajfar/éq:(2.11)	3.44		5.26			
	Priestley/éq :(2.13)	2.55		3.90			
R+5	Newmark/éq:(2.7)	2.87	1.51	4.33	4.53	5	-0.47
	Krawinkler/éq :(2.9)	3.33		5.03			
	Fajfar/éq:(2.11)	3.48		5.25			
	Priestley/éq :(2.13)	2.31		3.49			

Tableau4.1 : Valeurs des facteurs R_{μ} , Ω et R.

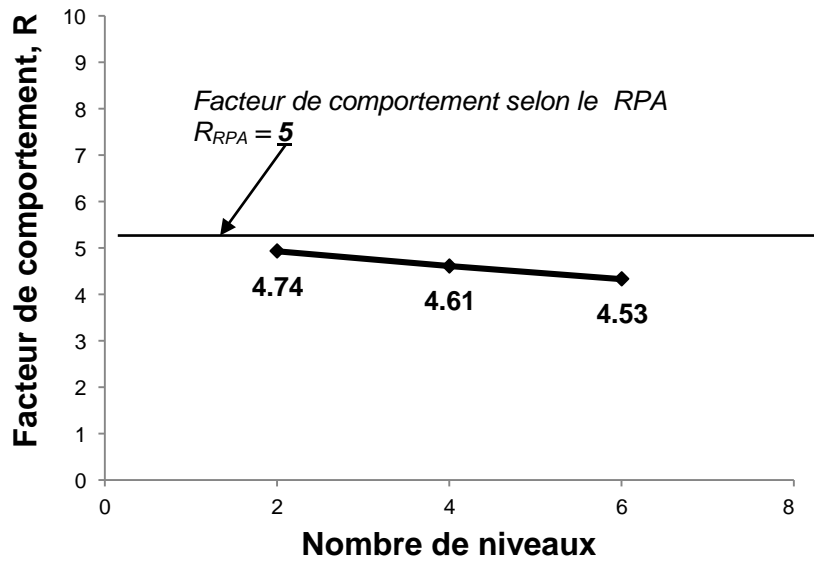


Figure 4.4 : Effet du nombre de niveaux sur le facteur de comportement.

CHAPITRE 5

CONCLUSION

CONCLUSION :

L'effet de la variation de zone sismique sur les valeurs du facteur de comportement d'ossatures en portique en béton armé a fait l'objet de la présente étude. Plusieurs critères de ruine, aussi bien au niveau de l'élément structural poutre ou poteau qu'au niveau de la structure, sont pris en considération dans le but d'évaluer la ruine de la structure en portique. Cette étude est menée en effectuant des analyses statiques non linéaires en poussée progressive (analyse pushover) sous des forces sismiques horizontales progressivement croissantes à distribution triangulaire inversée sur trois portiques plans d'élancements différents (R+3, R+4 et R+5). Les trois portiques ont été, au préalable, dimensionnés suivant les deux codes de calcul utilisés, le code de calcul de béton armé aux états limites, BAEL 91, et le règlement parasismique algérien, RPA99/version 2003. Les poutres et poteaux des trois portiques en béton armé sont modélisés par des éléments poutres élastiques avec des rotules plastiques concentrées à chacune de leurs extrémités

De l'ensemble des analyses effectuées ainsi que des résultats de recherche précédentes [3 et 4], on peut tirer les conclusions principales suivantes :

1. • Le changement de la zone sismique affecte peu la valeur du coefficient de comportement de structures étudiées
2. • Lorsqu'on change la zone sismique (zone IIa en Zone III); l'effort tranchant, moment sismique et le déplacement seront augmentés à cause de l'augmentation du coefficient d'accélération de zone A ;
3. La valeur du facteur de comportement, R, diminue avec l'augmentation du nombre de niveaux
4. • Enfin pour l'utilisation de l'outil informatique dans le domaine du génie civil et la construction en générale, est de nos jours un outil de travail indispensable.

PERSPECTIVES

Notre étude s'est limitée aux bâtiments réguliers. Elle a consisté en l'étude de la variation de zone sismique sur la valeur du facteur de comportement. En perspective, une étude similaire mais en considérant des structures en voiles pourrait faire l'objet d'une recherche future

Références

- [1] Guenfoud A. et Zitouni A. "Influence du facteur de comportement R sur la performance des structures", Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master Académique en Génie civil, Université Mohamed Boudiaf, M'sila, 2021.
- [2] Louzai A. et Abed A. "Influence de la zone sismique sur la valeur du facteur de comportement de structures en béton armé", Algérie équipement, Janvier 2020, N° 62, 48-54.
- [3] Bouadj k. et Houfani k. "Effet de la zone sismique, la hauteur et la disposition des voiles sur le choix du système de contreventement", Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master Académique en Génie civil, Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf –Mila, 2022.
- [4]. Règles parasismiques Algériennes (RPA 99/version 2003), Ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme, Document Technique Réglementaire DTR B C 2 48, Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique. 38-40, 42-44, 46-48.
- [5] Berra B. et Boulaouad A. "Méthode Simplifiée d'Analyse Sismique en Performance Intégrable dans les Règles Parasismiques Algériennes ", Thèse de Doctorat en Génie civil, Université Mohamed Boudiaf, M'sila, 2021.
- [6] BAEL 91 (1992) Règles Techniques de Conception et de Calcul des Ouvrages et Constructions en Béton Armé suivant la Méthode des Etats Limites. Edition Eyrolles
- [7] Règles de conception et de calcul des structures en B. A. C.B.A.93, Ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme, Document Technique Réglementaire D.T. R. - B.C. 2-41.