

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF M'SILA
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département Génie Civil



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER En Génie Civil

Option : Structures

Thème :

Le facteur de qualité dans le calcul sismique

Soutenu devant le jury composé de :

Dr. SILINE Mohammed

Université de M'sila

Président

Dr. GURAICHE Amar

Université de M'sila

Examineur

Dr. BOULAOUAD Abderrachid

Université de M'sila

Encadreur

Présenté par : MAZARI Redouane

ZEROUK Nabil



Remerciements :

Nous remercions d'abord le tout puissant dieu qui nous a orienter à la bonne voie et nous a donné le courage et la volonté de finir ce mémoire.

Nous remercions profondément notre dirigeant et encadreur le grand monsieur Dr. BOULAOUAD Abderrachid pour sa proposition de ce thème qui a enrichi nos connaissances du domaine du bâtiment et pour ses conseils et son aide au cour de ce travail.

Nous remercions aussi le jury, membres et président pour leur volonté d'accepter l'examinassions et la discussion de notre mémoire.

Moi MAZARI REDOUANE Je tiens à remercier aussi tous les enseignants de l'université MOHAMED BOUDIAF M'SILA en générale et spécialement les enseignants du département du génie civile sans oublier les étudiant et les étudiantes.

Mon devoir aussi et d'adresser mes chaleureuses remerciement à mes collègues et mes amis pour leur soutien.

De tout mon cœur merci à tous

Dédicaces

A ma mère et mon père

A mes frères et mes sœurs

Et surtout

A ma femme et mes enfants

(Fatima. Fakhreddine et MALIK)

Redouane

إهداء

إلى الذين ربباني صغيرا وسهرا على حسن تربيته أبي وأمي حفظهما الله.

إلى عائلتي الكبيرة والصغيرة زوجتي وابنتي الغالية سجود.

إلى جميع أفراد الأسرة الجامعية من أساتذة وطلبة.

إلى كل هؤلاء أهدي هذا العمل المتواضع.

ونسأل الله أن يجعله نبراسا لكل طالب علم.

نبيل زروق

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : NOTIONS GENERALES SUR LES SEISMES	
I-1INTRODUCTION	3
I-2-ORIGINE DES SEISMES	6
I-2-1 Séismes tectoniques	6
I-2-2 Séismes d'origine volcanique	7
I-2-2 Séismes d'origine artificielle	8
I-3-CARACTERISTIQUES DES SEISMES	8
I-3-1 la magnitude	9
I-3-2. Le foyer (ou hypocentre)	9
I-3-3 l'épicentre	10
I-3-4 l'intensité	10
I-3-5 répliques	11
I-4-LEÇONS TIREES DES GRANDS SEISMES	12
CHAPITRE II : LA PREVENTION SISMIQUE	
II -1- INTRODUCTION	16
II -2-LA REGLEMENTATION PARASISMIQUE DANS LE MONDE	16
II-2-1 Le code parasismiques Japonais	16
II-2-2 Le code parasismiques des États-Unis	16
II-2-3 Le code parasismiques Chinois	17
II-2-4 Le code parasismiques Européen	17
II-2-4- La règlementation parasismique en Algérie	17
II-3-LA PREVENTION SISMIQUE	
II-3-1- Au niveau de la conception	17
II-3-1-1- Forme en plan	18
II-3-1-2-Irrégularité en élévation	19
II-3-1-3 Système de contreventement	19
II-3-1-4 Voiles	19
II-3-1-5 Joints de dilatation	20
II-3-1-6 Matériaux de construction	20
II-3-2-Au niveau de la réalisation	20

II-3-2-1-Choix d'un site approprié	20
II-3-2-2-Réalisation de la fondation	21
II-3-2-3-Structure	21
II-3-2-4-Matériaux	21
II-3-2-5-Contrôle de qualité	21
II-3-2-6-Renforcement structurel	21
II-3-2-7-Mise en place de dispositifs de sécurité	21
II-3-2-8-Contrôle des vibrations	21
CHAPITRE III : FACTEUR DE QUALITE DANS LA REGLEMENTATION	
SISMIQUE	
III-1-INTRODUCTION	22
III-2-DEFINITION	23
III-3-LES CRITERES DE QUALITE A VERIFIER	24
III-3-1 - Conditions minimales sur les files de contreventement	25
III-3-2 - Redondance en plan	25
III-3-3 - Régularité en plan	26
III-3-4 - Régularité en élévation	29
III-3-5- Contrôle de la qualité des matériaux	32
III-3- 6- Contrôle de la qualité de l'exécution	33
III-4-Importance du facteur de qualité	34
III-4-1-Forme en plan	35
III-4-2-Irrégularité en élévation	35
III-4-3-Système de contreventement	35
III-4-4-Le respect des règles parasismiques et les dispositions Constructives	35
III-4-5-Joints de dilatation	35
III-4-6-Matériaux de construction	35
III-5-Comparaison entre le RPA 99V2003 et les codes internationaux	35
III-5-1-La force sismique selon l'Eurocode 8	35
III-5-2-La force sismique selon l'UBC 97. USA (les états unis d'Amérique)	36
III-5-3-La force sismique selon NBCC (CNBC) CANADA	37
III-5-4-La force sismique selon le RPS2000 (MAROC)	39
III-5-5-La force sismique selon le code égyptien	39
III-5-6-La force sismique selon le code sismique turque	39

III-5-7-La force sismique selon le code sismique Japonais	39
CHAPITRE IV : DISCUSSION DES CRITERES ET PENALITES LIES AU FACTEUR DE QUALITE	
IV-1-Introduction	41
IV-2-criteres et pénalités lies au facteur de qualité	41
IV-2-1-Critères contrôlables préalablement	41
A-Conditions minimales sur les files de contreventement	41
B-Redondance en plan	42
C-Régularité en plan et en élévation	43
IV-2-2-criteres incontrôlables ou difficile a contrôles	44
A- Contrôle de la qualité des matériaux	44
B- Contrôle de la qualité de l'exécution	45
IV-3-APPLICATION NUMERIQUE	46
IV-3-1-Présentation de l'ouvrage	47
IV-3-2- résultats obtenu	50
IV-3-3-l'effort normal réduit pour le dimensionnement des poteaux	55
IV-3-4-ferraillage des poutres principales	55
IV-3-5-ferraillage des voiles	55
IV-3-6-Interprétation des résultats	55
IV-3-7-recommandations	56
IV-3-8- conclusion	56
V -CONCLUSION GENERAL	59
REFERANCES	60
LISTES DES FIGURES	62

Abstract

Through the results obtained as a result of the investigations carried out by the authorities concerned in the country after the Boumerdès earthquake, which caused serious damage to lives and facilities, it was found that most of the severely damaged buildings have been caused by non-compliance with the construction rules stipulated in the anti-seismic building laws, in particular the quality conditions of the construction materials used, as well as well-made and executed, Our study aims to clarify the importance of quality factors in the construction of earthquake-resistant buildings by studying the quality factor (k), which is included in the calculation of the seismic force.

ملخص

من خلال النتائج التي تم الحصول عليها على إثر التحقيقات التي أجرتها الجهات المعنية في البلاد بعد زلزال بومرداس المدمر و الذي ألحق أضرارًا جسيمة بالأرواح والمنشآت، تبين أن معظم الأضرار الجسيمة التي لحقت بالمباني كانت نتيجة عدم الالتزام بقواعد البناء المنصوص عليها في قوانين البناء المقاومة للزلازل خاصة شروط جودة مواد البناء المستخدمة، وكذلك حسن الانجاز والتنفيذ

تهدف دراستنا إلى توضيح أهمية عوامل الجودة في انجاز المباني المقاومة للزلازل من خلال دراسة عامل الجودة (Q) الذي يدخل في حساب القوة الزلزالية.

Résumé

A travers les résultats obtenus à la suite des enquêtes menées par les autorités concernées dans le pays après le tremblement de terre de Boumerdès, qui a causé de graves dommages aux vies et aux installations, il a été constaté que la plupart des bâtiments gravement endommagés ont été causés par le non-respect des règles de construction stipulée dans les lois de construction antisismiques, en particulier les conditions de qualité des matériaux de construction utilisés, ainsi que l'exécution, Notre étude vise à clarifier l'importance du facteur de qualité dans la construction des bâtiments antisismiques en étudiant le facteur de qualité (Q), qui est inclus dans le calcul de la force sismique

INTRODUCTION
GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

La réglementation parasismique de la construction est un domaine en constante évolution qui vise à assurer la sécurité des bâtiments et des personnes face aux séismes. Au fil des décennies, les avancées scientifiques, les leçons tirées des catastrophes passées et les progrès technologiques ont conduit à une amélioration continue de ces normes. Cette évolution perpétuelle est le reflet d'un engagement constant envers la sécurité des structures, des villes et surtout des populations.

Les premières mesures de réglementation parasismique ont émergé au début du XXe siècle, après des séismes dévastateurs tels que celui de San Francisco en 1906. Ces événements tragiques ont mis en évidence la vulnérabilité des bâtiments et la nécessité de concevoir des structures capables de résister aux forces sismiques. Les premières réglementations mettaient l'accent sur des aspects basiques, tels que la qualité des matériaux de construction et l'ingénierie structurale de base. Au fil du temps, les connaissances scientifiques et techniques ont considérablement progressé, permettant une meilleure compréhension des séismes et de leurs effets sur les structures. Les études sismologiques, les essais en laboratoire et les simulations numériques ont contribué à une meilleure évaluation des forces sismiques et à une conception plus précise des structures résistantes aux séismes. Les normes parasismiques ont commencé à intégrer ces nouvelles connaissances pour garantir des constructions plus sûres.

Les séismes majeurs tels que celui de Kobe en 1995 au Japon ou le tremblement de terre de Loma Prieta en 1989 aux Etats Unis d'Amérique en Californie ont joué un rôle clé dans l'évolution de la réglementation parasismique. Ces événements ont révélé des lacunes dans les normes existantes et ont démontré la nécessité de renforcer les structures et les codes du bâtiment. Les leçons tirées de ces catastrophes ont été utilisées pour mettre à jour les réglementations en vigueur et renforcer les exigences de résistance aux séismes.

Les experts en Algérie comme dans le Monde entier continuent d'étudier les séismes pour mieux comprendre leurs causes et leurs impacts. Ils travaillent également sur des moyens de prévoir les séismes et d'atténuer leurs effets sur les populations et les constructions et dans ce sens des normes et des codes parasismiques ont été établies Le premier code parasismique algérien est apparu après le séisme d'El Asnam 1980.Ce code a connu plusieurs versions. La version actuelle utilisée est nommée le règlement parasismique algérien RPA 99/v2003 « DTR BC 2-48 », il a été approuvé par la commission technique permanente lors de sa réunion du 4 Décembre 1999 [1] ce code est mis en place pour obliger les constructeurs à réaliser des

constructions conformes aux exigences parasismiques, mais il a été constaté lors des récents séismes surtout au niveau local que la presque totalité des effondrements sont dus au non-respect de ces exigences ,notamment la non-conformité des matériaux utilisés qui se sont avérés médiocres lors de toutes les expertises faites ainsi que des conditions constructives (mauvais confinement du béton par exemple) [2]

Dans les Règles Parasismiques Algériennes (RPA 99 Version 2003) et pour tenir compte de certains aspects qui ont tendance à accentuer les effets des séismes, un facteur de pénalité Appeler le facteur de qualité noté (Q) donné par la formule ($Q=1+ \sum p_q$ ou P_q est la pénalité à retenir selon que le critère Q « est satisfait ou non ») est introduit dans l'équation de calcul de la force sismique à la base (V). [2]

L'objectif de cette étude est d'évaluer le rôle de ce facteur dans le calcul de la force sismique et de démontrer son influence sur la prévention sismique tant au niveau de la conception qu'au niveau de l'exécution à partir d'études et de rapports de commissions d'enquête qui ont été chargées d'évaluer les dégâts et d'identifier les causes réelles des conséquences catastrophiques des séismes qui ont frappé l'Algérie, dont le plus récent est le séisme de Boumerdès.

CHAPITRE I
NOTIONS GENERALES SUR LES
SEISMES

Introduction

Les séismes, également appelés tremblements de terre sont l'un des phénomènes naturels les plus dévastateurs et imprévisibles auxquels l'humanité doit faire face. Leur impact peut être catastrophique, allant de la perte de vies humaines à la destruction de villes entières. Les séismes sont également un domaine de recherche crucial pour les scientifiques et les ingénieurs qui cherchent à comprendre les causes et les effets de ces événements, ainsi qu'à développer des méthodes pour mieux prédire, surveiller et prévenir les dommages causés par les tremblements de terre. [3]

Les séismes ont été enregistrés depuis l'Antiquité. Les anciennes civilisations ont souvent attribué ces événements à des forces divines ou surnaturelles. Cependant, la compréhension scientifique des séismes n'a commencé que relativement tard.

Au 18^{em} siècle, le naturaliste et physicien anglais John Michell a été l'un des premiers à étudier les séismes en utilisant des instruments scientifiques. Au 19^{em} siècle, les scientifiques ont commencé à utiliser des sismographes pour enregistrer les ondes sismiques générées par les tremblements de terre. [4]

Le premier grand séisme à être enregistré avec un sismographe moderne a été le séisme de 1906 à San Francisco, qui a causé de graves dommages dans la ville californienne. Depuis lors, de nombreux séismes importants ont été enregistrés, y compris le séisme de 1960 au Chili, qui a été le plus fort jamais enregistré avec une magnitude de 9,5, ainsi que le séisme de 2011 au Japon, qui a provoqué un tsunami dévastateur, dernièrement la Turquie et la Syrie ont été frappées par deux séismes, le 6 février 2023. Après des tremblements de terre d'une très forte magnitude, cette catastrophe naturelle a fait des dizaines de milliers de morts, et touché environ 13,5 millions de personnes [5], en Algérie, plusieurs séismes importants se sont produits au cours de l'histoire : Alger (1716), Oran (1790), Blida (1825), Ténès (1890).

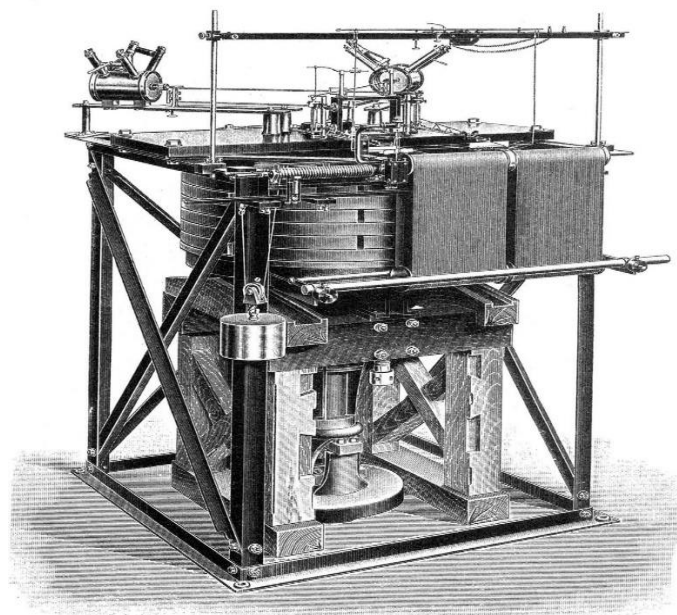


Fig1 : sismographe moderne [3]

Voici une liste des principaux séismes qui ont frappé l'Algérie établi par le Centre de recherche en astronomie, astrophysique et géophysique algérien (CRAAG) :[6]

Tableau 1-1

Localité	Date	Io	Magnitude	Victimes	Observations
Alger	03.01.1365	Forte	Forte	Plusieurs	Destructeur: Alger complètement détruite. 100 répliques pendant la nuit. une partie d'Alger fut inondée
Gouraya	15.01.1891	X	7.5	0038	Destructeur : dégâts importants: Gouraya et Villebourg ont été complètement détruites
El Kalaâ	29.11.1887	IX-X (VIII)	6.5-7.5	0020	Destructeur : El Kalaâ et Dehba : une mosquée ainsi que plusieurs maisons ont été détruites.
Sour. el Ghouzléne (Aumale)	24.06.1910	X (VIII)	6.4/ 6.6	0030	Dégâts importants à El Euch, Tablat et Masqueray. Répliques ressenties jusqu'en janvier 1911 fortes (20/08, M=4.8 et 07/01/1911, M=5.5).
A. el Hassan (Cavaignac)	25.08.1922	IX-X	5.1	2	Destructeur : Cavaignac complètement détruite. Mouvement vertical observé (1m). Ressenti à Flatters Hanoteau, Ténès (VIII) et à Orléansville, Cherchell (VII).
El At -El Ab (Carnot)	07.09.1934	IX (VII)	5.0	aucune	Dégâts à Carnot, St. Cyprien et El-Attaf. 92 répliques entre 07-30/90
Béjaia	12.02.1960	VIII-IX	5.6	264	1000 maisons détruites .112 blessés.
Chlef (Orléansville-ElAsnam)	09.09.1954	X-XI	6.7	1243	Destructeur: 20.000 habitations détruites. Plusieurs répliques FM: 254,30,266.
M'sila	21.02.1960	VIII	5.6	47	Dégâts à Melouza. 88 blessés.
M'sila	01.01.1965	VIII	5.5	5	1300 maisons détruites.
Mansourah	24.11.1973	VII	5.1	4	Dégâts à Mansourah, Medjana, El-Mehir et Theniet Enasr. Répliques (24-25-26/11).
Chlef	10.10.1980	IX	7.3	2633	Destructeur: 8369 blessés, 348 portés disparus, 6.778.948 sinistrés(, 70% des habitations détruites. Une forte réplique a été enregistrée une heure après le choc Principal (M=6.5)
Constantine	27.10.1985	VIII	5.9	0010	Peu de dégâts à El-Aria et Béni-Yakoub, plus de300blessésPlusieurs répliques pendant plus d'un mois. FM 217,84,19 ,5.2 1024

El Affroun	31.10.1988	VII	5.4	Aucune	Nombreux dégâts.500 familles sinistrées et 5 blessés
Dj. Chenoua	29.10.1989	VIII	6.0	0022	Nombreux dégâts à Sidi-Moussa (près de la ville de Tipaza). Plusieurs répliques durant 3 mois.
Mascara	18.08.1994	VII	5.6		Ce séisme survenu la nuit, a été largement ressenti, l'intensité VII a été atteinte à Hacine et Shadlia,
Alger	04.09.1996	VII	5,7		Ce séisme qui a été ressenti jusqu'à Dellys à l'Est, Le rayon macrosismique moyen est de140 km .
Temouchent	22.12.1999	VII	5,8	Plusieurs	Ce séisme a atteint une intensité maximale de VII a occasionné dans la région Pléistoséiste qui regroupent Ain-Témouchent, Ain-Tolba, Ain-Kihal et Sidi-Ben-Adda, des dégâts matériels importants et la perte de plusieurs vies humaines, la surface macrosismique dépasse 260 km de rayon.
Béni-Quartilane	10.11.2000	VII	5,4	2	Ce séisme a occasionné dans la région pleistoseiste qui regroupent Béni-Quartilane, Fréha et El-Main, des dégâts matériels et la perte de 02 vies humaines.
ZEMMOURI	21/05/2003	X	6,8	2278	Destructeur :Ce séisme a occasionné dans la région épacentrale qui regroupe principalement : BOUMERDES, ZEMMOURI, CORSO, TIDJELABINE, REGHAÏA, THENIA, BORDJ MENAÏL, SIDI DAOUD et DELLYS des dégâts très importants. Des immeubles et des maisons récemment construits ont été complètement détruits ou endommagés. On déplore aussi plusieurs milliers de blessés et 2278 morts. La localité de ZEMMOURI ville reste celle qui a subi le plus grand nombre des dégâts. Ce séisme survenu en début de soirée (18h 44 Gmt) a été largement ressenti, à l'Est jusqu'à GUELMA, à l'Ouest jusqu'à Mostaganem, au Sud jusqu'à BISKRA et au Nord jusqu'aux larges des côtes espagnoles et françaises.

Origine des séismes

Pour bien comprendre les tremblements de terre et leur impact, notamment sur les bâtiments, il faut plonger dans les profondeurs de la terre pour connaître leur origine et leurs caractéristiques, jusqu'à la façon dont ils affectent les constructions et les bâtiments, et ainsi tirer les leçons des tremblements de terre passés pour prendre les précautions nécessaires à l'avenir au niveau de la conception comme à la réalisation.

Un séisme ou un tremblement de terre peut avoir trois origines :

- **Séisme tectonique** (*rupture d'une faille ou d'un segment de faille*) :

Lorsqu'un matériau rigide est soumis à des contraintes de cisaillement, il va d'abord se déformer de manière élastique, puis, lorsqu'il aura atteint sa limite d'élasticité, il va se rompre, en dégageant de façon instantanée toute l'énergie qu'il a accumulé durant la déformation élastique. C'est ce qui se passe lorsque les plaques tectoniques bougent l'une par rapport à l'autre, la lithosphère accumule l'énergie et en certains endroits, la limite d'élasticité est atteinte, il se produit une ou des ruptures qui se traduisent par des failles. Ces mouvements brusques et violents de la croûte terrestre dégagent le long de ces failles l'énergie sous forme d'ondes qui se propagent à travers la terre causent des séismes (tremblements de terre). Si les contraintes se poursuivent dans cette même région, l'énergie va à nouveau s'accumuler et la rupture consécutive se fera dans les plans de faille déjà existants. À cause des forces de friction entre les deux parois d'une faille, les déplacements le long de cette faille ne se font pas de manière continue et uniforme, mais par coups successifs, dégageant à chaque fois un séisme. Dans une région donnée, des séismes se produiront à plusieurs reprises le long d'une même faille, puisque cette dernière constitue un plan de faiblesse dans la lithosphère. [4]

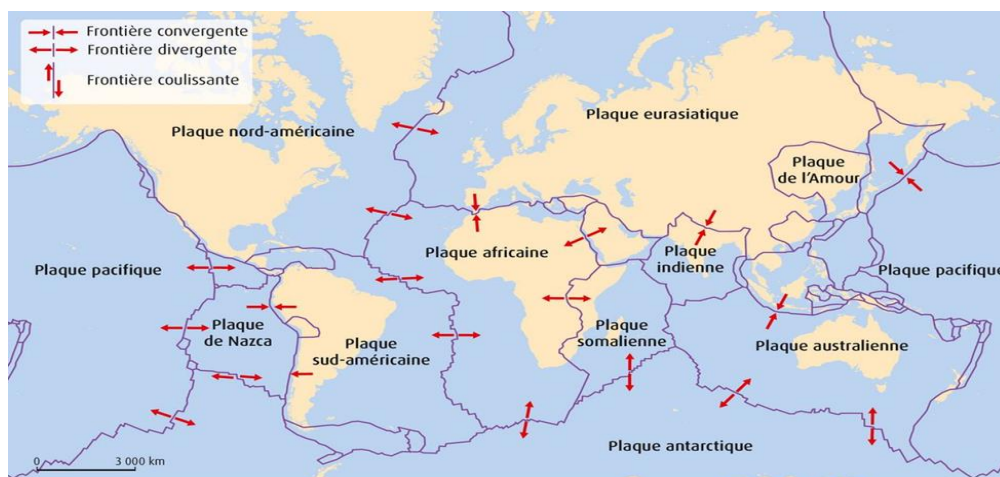


Fig.2 Les plaques tectoniques du globe terrestre [5]

- Séismes d'origine volcanique

Les séismes d'origine volcanique sont causés par des mouvements de magma et des éruptions volcaniques plutôt que par des mouvements de plaques tectoniques. L'activité volcanique peut provoquer des séismes en créant des fractures dans le sol ou en faisant fondre le magma sous le volcan. Les séismes d'origine volcanique peuvent être associés à des éruptions volcaniques ou à des éruptions imminentes et peuvent causer des dommages aux structures à proximité du volcan. [7]

Il existe également des séismes hybrides qui sont causés par une combinaison de mouvements tectoniques et volcaniques. Ces séismes peuvent être particulièrement dangereux car ils peuvent être associés à des éruptions volcaniques et à des glissements de terrain, qui peuvent aggraver les dommages causés aux constructions et aux infrastructures.

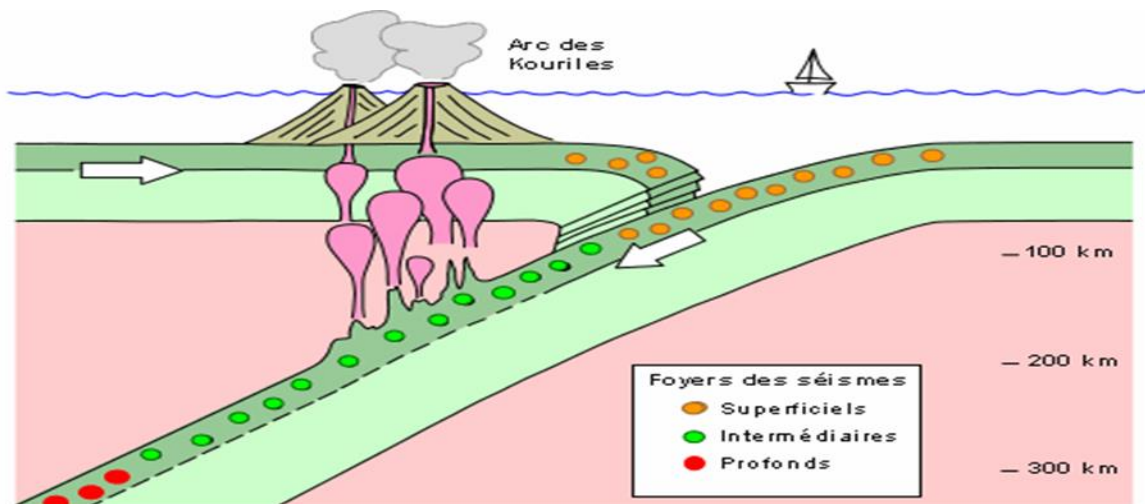


Fig.3 mouvement des plaques [4]

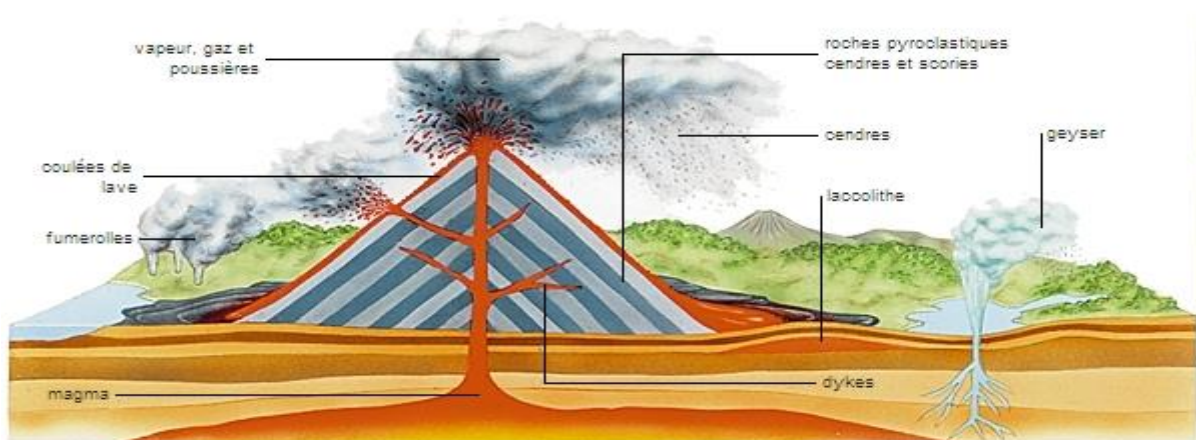


Fig.4 schéma d'un volcan [7]

- Les séismes d'origine artificielle :

Sont des tremblements de terre causés par l'activité humaine, tels que l'extraction de pétrole et de gaz, la construction de barrages, l'exploitation minière, les essais nucléaires et les injections de fluides dans le sol ou accidentellement le mauvais stockage des produits chimiques (La gigantesque explosion le 4 août 2020 au port de Beyrouth a fait plus de 200 morts et 6500 blessés) [8]. Ces activités peuvent perturber les couches de roches souterraines, ce qui peut entraîner des mouvements et des fractures dans le sol et causer des séismes.

Les séismes d'origine artificielle ont généralement une faible magnitude et ne sont pas aussi dangereux que les séismes tectoniques ou volcaniques. Cependant, ils peuvent causer des dommages aux structures à proximité et peuvent être associés à d'autres problèmes environnementaux, tels que la contamination de l'eau souterraine. Pour minimiser les risques de séismes d'origine artificielle, il est important de suivre des pratiques d'extraction et de construction responsables et de surveiller de près les activités susceptibles de perturber les couches de roches souterraines. [28]



Fig.5 : L'Explosion du port de Beyrouth au Liban [8]

1-2 Caractéristiques des séismes

Un séisme correspond à un mouvement de glissement le long d'une faille. Le glissement résulte d'une libération d'énergie qui s'accumule en fonction des contraintes générées par le mouvement des plaques tectoniques. La libération d'énergie, parfois considérable, se fait sous forme de vibrations (ondes sismiques) qui peuvent parcourir de grandes distances ses caractéristiques sont les suivantes :

- **LA MAGNITUDE** : (*mesure de la quantité d'énergie libérée lors d'un séisme, généralement mesurée sur l'échelle de Richter ou l'échelle de magnitude de moment*).

La magnitude d'un séisme est une mesure de la taille de l'événement sismique, et elle est basée sur la quantité d'énergie libérée par le séisme. Elle est mesurée sur une échelle logarithmique appelée l'échelle de Richter. L'échelle de Richter va de 0 à plus de 9, et chaque niveau représente une augmentation de dix fois de l'amplitude des ondes sismiques enregistrées par les sismographes. Par exemple, un séisme de magnitude 5 est dix fois plus fort qu'un séisme de magnitude 4, et cent fois plus fort qu'un séisme de magnitude 3. [3]

Les séismes de magnitude inférieure à 2,5 sont généralement imperceptibles, tandis que les séismes de magnitude supérieure à 7 sont considérés comme des séismes majeurs et peuvent causer des dégâts importants. Le séisme le plus puissant jamais enregistré sur l'échelle de Richter est le séisme de magnitude 9,5 qui a frappé le Chili en 1960.

Introduite par Richter en 1935, elle représente une quantité logarithmique calculée soit à partir de l'amplitude du signal enregistré par des sismographes, soit à partir de sa durée. La magnitude n'est pas une échelle mais une fonction continue qui peut être négative et qui en principe n'a pas de limites. En réalité, sa valeur minimale est limitée par la sensibilité des sismographes, tandis que sa valeur maximale dépend de la longueur de la faille susceptible de se fracturer d'un seul coup [9].

- **LE FOYER (ou hypocentre)** : (*mesure de la profondeur à laquelle le séisme se produit sous la surface de la Terre. Les séismes peu profonds ont tendance à être plus destructeurs que les séismes plus profonds*).

Le foyer d'un séisme est l'endroit où se produit le glissement le long de la faille et d'où se propagent les ondes sismiques il fait référence à la distance verticale entre l'hypocentre et la surface de la Terre, c'est-à-dire le point de rupture de la faille où le séisme commence,

Les séismes peuvent se produire à différentes profondeurs, allant de quelques kilomètres à plusieurs centaines de kilomètres. Les séismes peu profonds (moins de 70 kilomètres) ont généralement des effets plus dévastateurs que les séismes profonds car ils sont plus proches de la surface de la Terre et ont donc un impact plus important sur les structures bâties et les populations.

Les séismes profonds, quant à eux, ont tendance à être moins destructeurs car une grande partie de l'énergie sismique est dissipée en traversant des couches plus profondes de la croûte

terrestre avant d'atteindre la surface. Cependant, les séismes profonds peuvent également causer des dommages importants aux infrastructures souterraines telles que les pipelines et les fondations de bâtiments.

La profondeur du séisme peut également affecter la propagation des ondes sismiques à travers la Terre. Les ondes sismiques peuvent être réfléchies ou réfractées lorsqu'elles passent à travers des couches différentes de la croûte terrestre, ce qui peut modifier leur intensité et leur direction de propagation. [10]

- **L'ÉPICENTRE** : (*il correspond à la projection de l'hypocentre à la surface du globe, et en général, il est associé au mouvement sismique le plus élevé*)

L'épicentre d'un séisme est le point sur la surface terrestre directement situé au-dessus du foyer ou de l'hypocentre, qui est le point d'origine du tremblement de terre sous la surface terrestre. En d'autres termes, l'épicentre est le point à la surface de la Terre qui est le plus proche du lieu où le tremblement de terre a commencé. L'épicentre est généralement le point à partir duquel les ondes sismiques se propagent dans toutes les directions à travers la croûte terrestre, causant des vibrations et des mouvements du sol qui peuvent être ressentis sur de longues distances. Son emplacement précis est déterminé à l'aide de données sismologiques collectées à partir de stations sismiques situées autour du monde. Les données de ces stations sont utilisées pour trianguler l'emplacement de l'épicentre en mesurant les temps d'arrivée des ondes sismiques à différentes distances. [12]

La détermination précise de l'emplacement de l'épicentre est importante pour comprendre la propagation des ondes sismiques et pour permettre une évaluation précise des dommages potentiels causés par le séisme.

- **L'INTENSITÉ** (*mesures les effets et dommages du séisme en un lieu donné*)

L'intensité d'un séisme est une mesure de l'amplitude des ondes sismiques qui sont produites lors d'un tremblement de terre et qui sont ressenties à la surface de la Terre. L'intensité est une évaluation subjective des effets d'un séisme sur les personnes, les bâtiments et les infrastructures. L'échelle d'intensité la plus couramment utilisée est l'échelle de Mercalli, qui va de I à XII et qui est basée sur les effets ressentis par les personnes et les dommages causés aux bâtiments et aux infrastructures. Les niveaux inférieurs de l'échelle (I à III) représentent des secousses légères qui ne sont pas ressenties par la plupart des gens, tandis que les niveaux supérieurs (XI à XII) représentent des secousses violentes qui peuvent causer des dommages

catastrophiques aux bâtiments et aux infrastructures. L'intensité d'un séisme peut varier considérablement selon la distance de l'épicentre, la profondeur du foyer, la nature du sol et d'autres facteurs géologiques locaux. Par conséquent, deux séismes de magnitude égale peuvent avoir des intensités très différentes en fonction de leur emplacement. Il convient de noter que l'intensité est différente de la magnitude d'un séisme, qui est une mesure de l'énergie libérée par le tremblement de terre et qui est mesurée à l'aide d'instruments sismiques

La magnitude est une mesure objective de la taille d'un séisme, tandis que l'intensité est une mesure subjective de ses effets sur les personnes et les infrastructures par exemple un séisme de forte magnitude en plein désert aura une intensité nulle. Par contre, un séisme de magnitude même modérée se produisant dans une région vulnérable (densément peuplée avec un bâti non parasismique) engendrera des dégâts importants et aura donc une intensité forte. [9]

- **REPLIQUES** : *(Les séismes peuvent être suivis de répliques, qui sont des tremblements de terre de moindre magnitude qui se produisent après le séisme initial et peuvent durer des semaines, voire des mois). [13]*

Les répliques sont des secousses sismiques qui se produisent après le séisme principal. Elles sont provoquées par la libération de tensions résiduelles dans les roches autour de la zone de rupture de la faille. et elles peuvent être aussi fortes que le séisme principal ou beaucoup plus faibles. Elles peuvent se produire immédiatement après le séisme principal ou plusieurs jours, semaines ou même mois plus tard.

Les répliques peuvent être dangereuses car elles peuvent causer des dommages supplémentaires aux structures déjà fragilisées par le séisme principal. En outre, les répliques peuvent également causer des glissements de terrain, des éboulements et d'autres types de mouvements de terrain qui peuvent compliquer les efforts de secours et rendre les zones touchées par le séisme encore plus dangereuses.

Il est important de prendre des mesures de précaution pour se protéger contre les répliques après un séisme, telles que la vérification des structures endommagées, l'évacuation des bâtiments fragilisés, le stockage des fournitures d'urgence, la mise en place de plans d'urgence et la sensibilisation du public aux mesures de sécurité

Ces caractéristiques peuvent varier considérablement en fonction du type de séisme et de la zone géographique où il se produit.



Fig.6 Les caractéristiques d'un séisme [4]

- Leçons tirées des grands séismes

La Terre a connu de nombreux séismes tout au long de son histoire, mais certains d'entre eux se sont démarqués par leur magnitude, leur impact sur l'environnement et les populations, ou leur importance scientifique. Voici quelques-uns des plus grands séismes de l'histoire de la Terre

_ Séisme de Valdivia (Chili) en 1960 : avec une magnitude de 9,5, il est le séisme le plus puissant jamais enregistré.



Fig.7 les dégâts du Séisme de Valdivia (Chili) en 1960 [13] [14]

_Séisme de Sumatra (Indonésie) en 2004 : avec une magnitude de 9,1, il a déclenché un tsunami qui a causé la mort d'environ 230 000 personnes dans la région.

Banda Aceh, nord de Sumatra, avant et après le tsunami
(les 23 juin et 28 décembre 2004)



Fig.8 : Séisme et tsunami de Sumatra (Indonésie) en 2004[15]

_Séisme de Tohoku (Japon) en 2011 : avec une magnitude de 9,0, il a provoqué un tsunami qui a dévasté la côte est du Japon et a causé la mort de plus de 15 000 personnes.



Fig.9 : Séisme de Tohoku (Japon) en 2011 [16]

_Séisme de Lisbonne (Portugal) en 1755 : avec une magnitude estimée entre 8,5 et 9,0, il a causé la mort de milliers de personnes et a eu un impact majeur sur la culture et la politique de l'époque.



Fig.10 Séisme de Lisbonne (Portugal) en 1755 [17]

_Séisme de Shaanxi (Chine) en 1556 : avec une magnitude estimée entre 8,0 et 8,3, il est considéré comme le séisme le plus meurtrier de l'histoire, causant la mort d'environ 830 000 personnes.



Fig.11 : Séisme de Shaanxi (Chine) en 1556 [18]

_Séisme de San Francisco (États-Unis) en 1906 : avec une magnitude de 7,8, il a dévasté la ville de San Francisco et a causé la mort de plus de 3 000 personnes.



Fig12 : Séisme de San Francisco (États-Unis) en 1906 [19]

Séisme de Kobe (Japon) en 1995 : avec une magnitude de 6,9, il a causé la mort de plus de 6 000 personnes et des dommages importants dans la région de Kobe.



Fig13 : Séisme de Kobe (Japon) en 1995 [20]

Les séismes catastrophiques de l'Algérie :

- Séisme du 10 octobre 1980 à Chlef (El Asnam) 2 633 morts 7.3 de magnitude



- Séisme du 21 mai 2003 à Boumerdes (Zemouri) 2278morts, 6,8 de magnitude



L'Algérie a subi deux catastrophes séismes se lui de Chlef en 1980 et de Boumerdes en 2003

Les grands séismes ont souvent des conséquences dramatiques et peuvent causer des pertes humaines et matérielles importantes. Cependant, ces événements ont également permis de tirer des leçons importantes pour améliorer la préparation, la réponse et la reconstruction après les séismes futurs. Voici quelques-unes des leçons les plus importantes tirées des grands séismes :

- Importance de la construction résistante aux séismes : Les bâtiments et les infrastructures construits pour résister aux séismes ont généralement subi moins de dommages lors des séismes ultérieurs.
- Préparation aux catastrophes et planification d'urgence : Les plans d'urgence efficaces, la préparation aux catastrophes et la sensibilisation du public ont été démontrés pour être efficaces dans la réduction des pertes humaines et matérielles.
- Rôle de la recherche scientifique : La recherche scientifique sur les séismes et les processus géologiques associés a permis d'améliorer la compréhension des séismes, d'élaborer des cartes de risque sismique et de développer des techniques d'atténuation des risques sismiques.
- Coordination internationale : Les séismes ont montré l'importance de la coopération internationale dans les efforts de secours et de reconstruction après une catastrophe, ainsi que dans la collecte et le partage de données sur les séismes.
- Importance des normes de construction : Les normes de construction ont été améliorées pour inclure des exigences plus strictes en matière de résistance aux séismes, et leur application a été renforcée pour garantir la qualité de la construction.
- Fondation des réglementations parasismiques : Les leçons tirées des séismes passés ont été importantes dans l'élaboration de ces réglementations, car elles ont montré les vulnérabilités des bâtiments et des infrastructures existants et ont permis de mieux comprendre comment les séismes affectent les différentes structures. En appliquant ces connaissances pour améliorer la conception et la construction des bâtiments et des infrastructures, les réglementations parasismiques visent à réduire les risques de dommages causés par les séismes et à sauver des vies.

CHAPITRE II
PREVENTION SISMIQUE

II-1-Introduction

Ce n'est pas le séisme qui tue, mais les constructions mal bâties qui s'effondrent sur leurs occupants. Or, il est impossible de prévoir la date, le lieu et la magnitude d'un séisme à venir et donc d'évacuer les bâtiments avant l'arrivée des ondes destructrices. Le moyen de prévention le plus efficace contre le risque sismique est donc la construction parasismique. C'est pourquoi la démarche de prévention du risque sismique repose principalement sur l'amélioration de la qualité du bâti surtout au niveau de la conception comme à la réalisation, notamment par une bonne application de la réglementation parasismique. [21]

II-2-La réglementation parasismique dans le monde

Les codes parasismiques ont été développés dans le Monde entier en réponse aux tremblements de terre dévastateurs qui ont causé d'importants dégâts et pertes de vies humaines. Voici un bref historique des codes parasismiques dans quelques régions du Monde :

II-2-1 Le code parasismiques Japonais :

Le Japon a connu de nombreux tremblements de terre tout au long de son histoire et il est l'un des pays les plus exposés aux risques sismiques (le Japon est un pays à forte sismicité). Le premier code parasismique japonais a été élaboré durant les années 20, Les immeubles conçus conformément à ce code ont bien résisté au séisme qui a frappé la région du Kanto de magnitude 8,2 en 1923. Publié vers 1920 ce code a été régulièrement révisé depuis lors. Le code actuel, publié en 2000, est l'un des plus stricts au monde et il est régulièrement mis à jour en fonction des dernières recherches sur la sécurité sismique. [22]

II-2-2 Le code parasismiques des États-Unis :

Les États-Unis d'Amérique ont connu de nombreux tremblements de terre dévastateurs, notamment le grand séisme de San Francisco en 1906 et le tremblement de terre de Northridge en 1994. Le premier code parasismique américain a été publié en 1927 sous le nom de Uniform Building Code (UBC) et il a été régulièrement révisé depuis lors. En 2000 ce code est devenu l'International Building Code (IBC) actuellement gérés par l'Institut de la construction et des sciences de la construction (ICC) il est largement utilisés dans tout le pays. [23]

II-2-3 Le code parasismiques Chinois :

La Chine a connu de nombreux tremblements de terre dévastateurs, notamment le séisme de Tangshan en 1976 et se lui de Wenchuan en 2008. Le premier code parasismique chinois a été publié en 1974 et a été régulièrement révisé depuis lors. Le code actuel est géré par le ministère chinois du Logement et du Développement urbain-rural.

II-2-4 Le code parasismiques Européen :

Les codes parasismiques européens ont été développés à partir des années 1970 en réponse aux tremblements de terre qui ont frappé l'Italie. Le premier code européen a été publié en 1974 et a été régulièrement révisé depuis lors. Les codes actuels sont gérés par l'Organisation européenne pour la recherche sismique (ERFO) et sont utilisés dans toute l'Europe. [23]

II-2-4- La réglementation parasismique en Algérie :

Comme l'Algérie a été sous l'occupation coloniale française la première réglementation sismique est rédigé sous forme de recommandation « Antisismiques AS 55 » après le séisme de Chlef (Orléans ville) en 1954 et en 1969, ces règles ont été transformées en Document Technique Unifié (DTU) PS 69« parasismique 69 » (norme P 06-003) devenu obligatoire en 1975 et en collaboration avec l'université de Stanford en Californie le CTC (Contrôle Technique Construction) a commencer a travailler sur un règlement national algérien

Après le catastrophique séisme de l'Asnam (Chlef) en octobre 1980 l'Algérie est en fin doté d'un règlement parasismique RPA81 officiellement approuvé en 1983 Ces deux règlements se basent sur la méthode statique équivalente pour le calcul de la force sismique [29]. En Octobre 1985 un séisme de magnitude 5.9 à Constantine et d'autres séismes plus ou moins forts entraînent l'obligation de la modification de ces règles, une première révision en 1988 concernant le zonage, l'annulation de la restriction pour l'utilisation des portiques auto stables en zone III et l'introduction de la méthode d'analyse modale spectrale comme annexe[30] ,Le séisme de Ain T'émouchent en1999 (magnitude 5.9) a fait preuve que le RPA 88 est insuffisante vue l'importance des dégâts occasionnés lors de ce séisme puisque le principe de non effondrement des constructions n'a pu être respecté c'est ce que fait appel a une nouvelle version RPA99 plus complète qui est une continuité des documents précédents avec une actualisation qui tient compte des leçons tirées des récents séisme , comme dans de nombreux pays dans cette version des RPA, on trouve la méthode dynamique modale spectrale et la méthode statique équivalente au même niveau. [31]

En 2003 une quatrième révision a eu lieu après le dévastateur séisme de Boumerdès (6.8 de magnitude, 2278 morts, 10 261 blessés, 119 000 personnes sinistrés) approuvé sous le nom RPA99 - Version 2003. Dans cette version il y a eu, principalement, la révision de quelques points essentielles comme :

- La révision de la carte de zonage sismique.
- La restriction en hauteur du système structurel en portiques avec murs de remplissage en maçonnerie.
- Recommandation de l'utilisation des voiles de contreventement dans les structures de bâtiments en béton armé. [1]

En général, les codes parasismiques sont continuellement révisés et mis à jour en fonction des dernières recherches et des nouvelles technologies. Cela permet de garantir que les bâtiments et les infrastructures sont construits pour résister aux tremblements de terre et de minimiser les pertes en vies humaines et en biens matériels [24]

II-3-LA PREVENTION SISMIQUE

II-3-1- Au niveau de la conception : Le respect des principes de conception des structures construites en zones sismiques a pour résultat de minimiser le supplément de prix nécessaire pour passer de la structure normale à la structure parasismique ils peuvent se résumer en :

- **II-3-1-1- Forme en plan :** Lorsque la forme en plan des bâtiments est dissymétrique (forme en L.T.U) cela entraîne des efforts de torsion dont les conséquences sont :
- L'effondrement de la partie commune des deux corps, et l'effondrement d'une aile

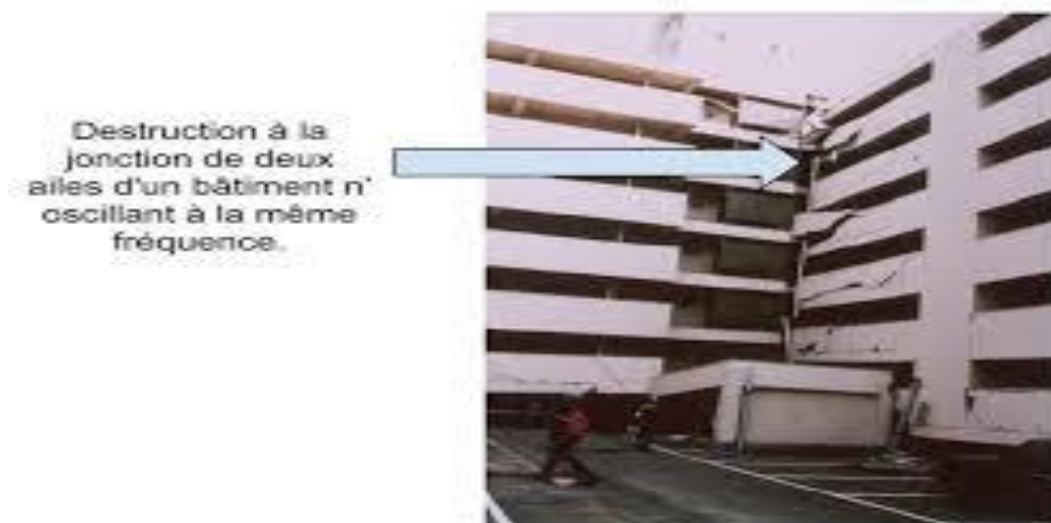


Fig.14 : Irrégularité en plan

- **II-3-1-2-Irrégularité en élévation** : Les variations brusques des rigidités en élévation présentent des risques (coup de fouet) ainsi que les grandes porte-à-faux (Balcons) provoquant des conséquences aggravantes pour la stabilité d'une construction.



Fig.15 : Irrégularité en élévation

-II-3-1-3 Système de contreventement :

Le respect des règles parasismiques et les dispositions constructives assure un bon comportement de constructions en béton armé :

Portique en béton armé : Dans ce type de structure les poteaux sont les éléments les plus vulnérables, leur dégradation se produise aux extrémités en fonction de l'effort suivant le processus suivant :

- Fissures horizontales dues à l'allongement des armatures.
- Fissures des armatures longitudinales (insuffisance des armatures transversales). Dans le cas des poteaux courts la dégradation est due à l'importance de l'effort tranchant et l'insuffisance des armatures transversales (même cas est observé aux nœuds).

- **II-3-1-4Voiles** : Le contreventement par les voiles apparaisse comme bien adapté à la construction parasismique parce qu'ils limitent les déformations relatives et protègent l'intégrité des éléments non structuraux.

- **II-3-1-5 Joints de dilatation** : Sous l'action des secousses, tous les joints doivent permettre aux blocs adjacents le libre déplacement (les structures ne vibrent pas à la même fréquence)
- **II-3-1-6 Matériaux de construction** : Il y a de manière générale, dans notre pays un réel besoin de mise en place de procédures de normalisation et l'homologation des matériaux ainsi que le contrôle des points de leur production. (La qualité physique et mécanique des fers à béton importés a été incriminée dans les bâtisses détruites de Boumerdes).

Le choix du matériau de construction dépend de plusieurs facteurs : résistance – coût – destination de l'ouvrage. La qualité de ce dernier est estimée selon quelques critères déterminés à partir des contrôles effectués dans les laboratoires [25]

II-3-2-Au niveau de la réalisation

Un contrôle efficace de la bonne exécution des ouvrages est en effet essentiel pour assurer une prévention sismique efficace.

Lors de la construction d'un bâtiment ou d'une infrastructure, il est important de veiller à ce que les normes parasismiques appropriées soient suivies et appliquées correctement. Cela nécessite souvent un contrôle régulier et rigoureux de la part des autorités compétentes et des ingénieurs spécialisés. Les contrôles peuvent inclure des inspections sur le site de construction pour vérifier que les matériaux et les techniques de construction utilisées sont conformes aux normes, ainsi que des tests sur les éléments structurels pour s'assurer qu'ils sont sismiquement résistants. Les inspections peuvent également se poursuivre pendant toute la durée de vie de la structure pour garantir que des dommages ou des défauts n'apparaissent pas avec le temps.

Le contrôle efficace de la bonne exécution des ouvrages peut également inclure la formation des travailleurs et des entrepreneurs sur les normes parasismiques et les bonnes pratiques de construction. Cela peut aider à éviter les erreurs de construction coûteuses et potentiellement dangereuses qui pourraient compromettre la sécurité parasismique de la structure. [26]

On peut citer quelque point comme :

- **II-3-2-1-Choix d'un site approprié** : Il est important de choisir un site qui est géologiquement stable et qui ne présente pas de risques géologiques majeurs. Les études géologiques doivent être effectuées pour évaluer la capacité du site à résister aux tremblements de terre.

- **II-3-2-2-Réalisation de la fondation** : La fondation doit être conçue pour résister aux charges sismiques et pour maintenir la stabilité de l'édifice pendant un tremblement de terre. La fondation doit être renforcée par des barres d'armature pour augmenter sa résistance.
- **II-3-2-3-Structure** : La structure de l'édifice doit être conçue pour résister aux forces sismiques. Il est important de prévoir des murs porteurs et des éléments de renforcement structurel tels que des systèmes de contreventements.
- **II-3-2-4-Matériaux** : Les matériaux de construction doivent être choisis en fonction de leur résistance aux tremblements de terre. Les matériaux composites et les structures en acier sont souvent utilisés pour leur résistance élevée.
- **II-3-2-5-Contrôle de qualité** : Les normes de qualité doivent être rigoureusement respectées pendant la construction de l'édifice pour assurer la solidité de la structure. Les inspections de qualité doivent être effectuées à chaque étape de la construction pour s'assurer que les matériaux et les techniques de construction répondent aux normes requises.
- **II-3-2-6-Renforcement structurel** : Des techniques de renforcement structurel telles que l'ajout de barres d'armature supplémentaires, l'utilisation de contreventements et l'installation de joints de dilatation doivent être effectuées pendant la construction pour augmenter la résistance de l'édifice aux tremblements de terre.
- **II-3-2-7-Mise en place de dispositifs de sécurité** : Des dispositifs de sécurité tels que les capteurs sismiques, les interrupteurs d'urgence et les alarmes doivent être installés pour alerter les occupants en cas de tremblement de terre et pour faciliter l'évacuation.
- **II-3-2-8-Contrôle des vibrations** : Les vibrations produites par les travaux de construction peuvent endommager les bâtiments voisins et affaiblir les structures en cours de construction. Des mesures doivent être prises pour réduire les vibrations et les secousses pendant la construction.

La prévention sismique au niveau de la réalisation nécessite une attention particulière pour assurer la solidité de la structure et garantir la sécurité des occupants. Des mesures préventives doivent être prises dès le début de la construction et tout au long du processus de construction pour s'assurer que l'édifice est résistant aux séismes.

CHAPITRE III

**FACTEUR DE QUALITE DANS LA
REGLEMENTATION SISMIQUE**

III-1-Introduction

La construction parasismique est essentielle pour minimiser les dommages causés par les séismes et protéger la vie des individus. En adoptant des techniques de conception et de construction appropriées, il est possible de construire des structures capables de résister aux forces sismiques et de garantir la sécurité des populations dans les zones à risque sismique.

Alors on peut dire que la construction parasismique regroupe l'étude du comportement des bâtiments et structures sujets à un chargement dynamique du type sismique et la réalisation de bâtiments et infrastructures résistants aux séismes. [24]

On ne peut pas dire qu'une bâtisse est vraiment parasismique sauf si elle est appuyée sur trois points fondamentaux :

- Bonne conception architecturale vis-à-vis des séismes.
- Application des règles parasismiques.
- Exécution de qualité. [24]

Et dans ce sens Le RPA99 version 2003 dans le chapitre IV (règles de calcul) exige un calcul des forces sismiques qui peut être mené suivant trois méthodes :

- par la méthode statique équivalente
- par la méthode d'analyse modale spectrale
- par la méthode d'analyse dynamique par accélérogrammes

III-2-DEFINITION DU FACTEUR DE QUALITE (Q)

Le facteur de qualité de la structure noté (Q) est un facteur de pénalité introduit dans la formule de calcul de la force sismique, il est fonction de la redondance et la géométrie des éléments qui la constituent, de la régularité en plan et en élévation et de la qualité du contrôle de la structure en termes des matériaux de construction ou/ et la bonne exécution des travaux. [2]

La valeur de Q est déterminée par la formule : $Q = 1 + \sum Pq$ d'où Pq est la pénalité à retenir selon que le critère de qualité q " est satisfait ou non". Sa valeur est donnée au Tableau

Critère q »	Pq	
	Observé	N/observé
1. Conditions minimales sur les files de contreventement	0	0,05
2. Redondance en plan	0	0,05
3. Régularité en plan	0	0,05
4. Régularité en élévation	0	0,05
5. Contrôle de la qualité des matériaux	0	0,05
6. Contrôle de la qualité de l'exécution	0	0,10

Dans le calcul de la force sismique a la base (V) par les deux méthodes (statique équivalente ou dynamique modale spectrale), Le facteur de qualité apparait comme suit :

La méthode statique équivalente

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

Avec :

A : coefficient d'accélération de zone, donné par le tableau 4.1 suivant la zone sismique et le groupe d'usage du bâtiment

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

R : coefficient de comportement global de la structure sa valeur unique est donnée par le tableau 4.3 en fonction du système de contreventement tel que défini en 3.4

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

Q : facteur de qualité

W : poids total de la structure,

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

$$W = \sum w_i \quad \text{avec} \quad W_i = W_{Gi} + \beta W_{Qi} \quad (4-5)$$

- W_{Gi} : poids dû aux charges permanentes et à celles des équipements fixes éventuels, solidaires de la structure
- W_{Qi} : charges d'exploitation
- β : coefficient de pondération, fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation et donné par le tableau 4.5.

La méthode dynamique modale spectrale

$$\text{Spectre de réponse de calcul : } \frac{S_a}{g} = \begin{cases} 1.5A \left(1 + \frac{T}{T_1} \left(2.5\eta \frac{Q}{R} - 1 \right) \right) & 0 \leq T \leq T_1 \\ 2.5\eta(1.25A) \left(\frac{Q}{R} \right) & T_1 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta(1.25A) \left(\frac{Q}{R} \right) \left(\frac{T_2}{T} \right)^{\frac{2}{3}} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\eta(1.25A) \left(\frac{T_2}{3} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{3}{T} \right)^{\frac{5}{3}} \left(\frac{Q}{R} \right) & T > 3.0s \end{cases}$$

Avec :

A : coefficient d'accélération de zone

η : Facteur de correction d'amortissement

R : coefficient de comportement.

Q : facteur de qualité.

III-3-Les critères de qualité à vérifier sont :

III-3-1 - Conditions minimales sur les files de contreventement

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

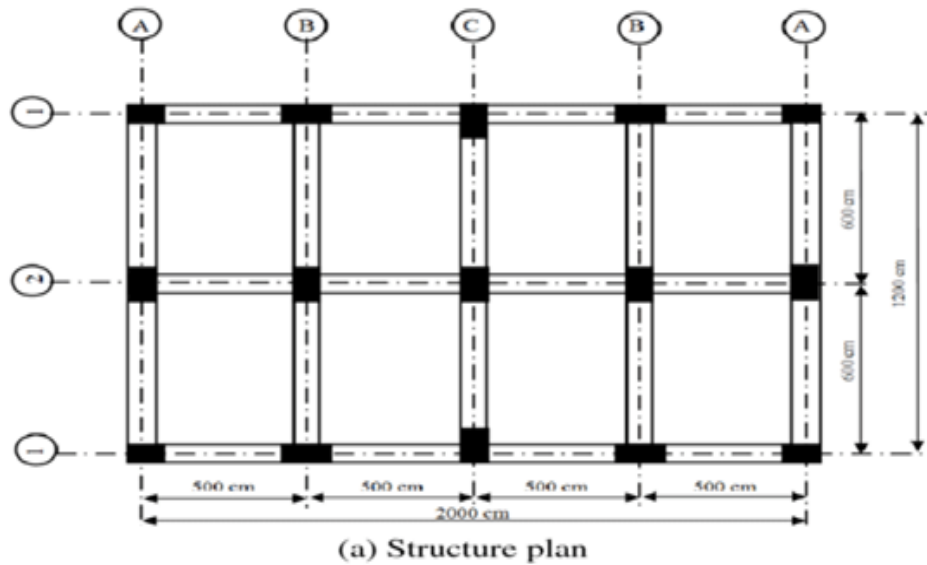


Fig.16 : Conditions minimales sur les files de contreventement

Dans (Fig.1) ce critère est respecté dans le sens (X) on observe qu'il y a 4 travées (supérieur à 3) et le rapport des portées est égal à $5/5=1$ inférieur à 1,5 mais dans le sens (Y) ce critère n'est pas respecté alors il faut pénaliser la structure dans ce sens avec une valeur de 0,05

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



Fig.17 : Système de voiles

III-3-2 - Redondance en plan

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

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

III-3-3 - Régularité en plan :

A. Le bâtiment doit présenter une configuration sensiblement symétrique vis à vis de deux directions orthogonales aussi bien pour la distribution des rigidités que pour celle des masses.

Cela peut présenter certains avantages en termes de stabilité, de comportement structural et de répartition des charges. Voici quelques points importants à considérer :

- Stabilité structurale : Une configuration symétrique peut contribuer à renforcer la stabilité globale du bâtiment. En répartissant de manière équilibrée les charges et les forces, elle permet de minimiser les effets indésirables tels que les déformations excessives, les contraintes concentrées et beaucoup plus la torsion.
- Résistance aux charges latérales : Les bâtiments sont souvent exposés à des charges latérales, telles que les vents ou les séismes. Une distribution symétrique des rigidités et des masses peut aider à résister à ces charges de manière plus uniforme, réduisant ainsi les contraintes locales et les déformations inégales.
- Comportement dynamique : Un bâtiment symétrique présente généralement un comportement dynamique plus prévisible et contrôlable. Les modes de vibration propres du bâtiment peuvent être mieux équilibrés, ce qui peut être important pour éviter les résonances indésirables et les vibrations excessives.
- Économie de conception : Une configuration symétrique peut faciliter la conception et la construction du bâtiment. Les éléments structuraux et les systèmes mécaniques peuvent être répétés de manière plus uniforme, ce qui peut réduire les coûts et simplifier la réalisation du projet.

B. A chaque niveau et pour chaque direction de calcul, la distance entre le centre de gravité des masses et le centre des rigidités ne dépasse pas 15% de la dimension du bâtiment mesurée perpendiculairement à la direction de l'action sismique considérée.

En termes plus simples, lors de la conception sismique d'un bâtiment, il est important de répartir les masses du bâtiment de manière équilibrée par rapport à son centre de rigidité. Le centre de gravité des masses représente le point moyen autour duquel les masses du bâtiment sont réparties, tandis que le centre de rigidité est le point qui résiste aux forces sismiques. La clause mentionne que la distance entre ces deux centres ne doit pas dépasser 15% de la dimension du bâtiment dans la direction considérée. Cela garantit une répartition adéquate des masses du

bâtiment par rapport à sa résistance structurelle, ce qui est important pour assurer une performance sismique satisfaisante. En respectant cette limitation, on s'assure que les forces sismiques sont correctement transférées et réparties dans la structure, réduisant ainsi les risques de défaillance structurelle lors d'un tremblement de terre

C. La forme du bâtiment doit être compacte avec un rapport longueur/largeur du plancher inférieur ou égal 4 (cf Fig 3.2)

Un rapport longueur/largeur du plancher inférieur ou égal à 4 indique une forme relativement compacte pour le bâtiment. Les bâtiments compacts sont généralement considérés comme plus favorables du point de vue de la résistance aux forces sismiques. Cela est dû au fait qu'ils ont une meilleure capacité à répartir et à transférer les forces sismiques à travers leur structure, ce qui réduit les risques de défaillance structurelle pendant un tremblement de terre.

D. La somme des dimensions des parties rentrantes ou saillantes du bâtiment dans une direction donnée ne doit pas excéder 25% de la dimension totale du bâtiment dans cette direction. (cf Fig 3.2)

Lorsqu'il est mentionné "parties rentrantes ou saillantes", cela fait référence à des éléments de la structure du bâtiment qui s'étendent à l'intérieur ou à l'extérieur de la forme générale du bâtiment. Par exemple, cela peut inclure des balcons, des poutres saillantes, des extensions latérales ou tout autre élément qui modifie la forme extérieure du bâtiment.

La "dimension totale du bâtiment dans cette direction" fait référence à la mesure de la distance totale du bâtiment dans la direction spécifiée. Par exemple, si la dimension totale du bâtiment dans une direction est de 100 mètres, alors la somme des dimensions des parties rentrantes ou saillantes dans cette même direction ne doit pas dépasser 25 mètres (25% de 100 mètres). Pour éviter une distribution excessive de la masse ou des charges concentrées sur des parties spécifiques du bâtiment. Une répartition équilibrée des charges et des masses est essentielle pour assurer une résistance structurelle adéquate et minimiser les contraintes locales pouvant entraîner des points de faiblesse dans le bâtiment lors d'un séisme.

E. (Les planchers doivent présenter une rigidité suffisante vis à vis de celle des contreventements verticaux pour être considérés comme indéformables dans leur plan.

Dans ce cadre la surface totale des ouvertures de plancher doit rester inférieure à 15% de celle de ce dernier).

Cela signifie que les planchers d'un bâtiment doivent être suffisamment rigides par rapport aux contreventements verticaux (les éléments de la structure qui résistent aux forces latérales, comme les murs de refend ou les poutres contreventées). Les planchers doivent être considérés comme indéformables dans leur plan, c'est-à-dire qu'ils ne doivent pas se déformer excessivement lorsqu'ils sont soumis à des charges ou à des mouvements sismiques.

Dans le cadre de cette exigence, la surface totale des ouvertures (comme les fenêtres, les trémies d'escalier ou les vides pour les ascenseurs) présentes dans un plancher ne doit pas dépasser 15% de la surface totale de ce dernier.

En d'autres termes, si vous prenez la surface totale d'un plancher, vous ne devez pas dépasser 15% de cette surface avec des ouvertures. Cela signifie que la majeure partie de la surface du plancher doit être continue et solide, sans ouvertures significatives. Cette condition est imposée pour garantir que les planchers conservent leur intégrité structurale et leur capacité à résister aux forces horizontales, notamment celles générées par les séismes. Les ouvertures dans les planchers peuvent affaiblir leur résistance et leur rigidité, ce qui peut avoir un impact sur la stabilité globale du bâtiment en cas de mouvements sismiques.

En limitant la surface totale des ouvertures à moins de 15% de la surface du plancher, on s'assure que la majorité de la surface reste solide et capable de contribuer efficacement à la résistance sismique globale du bâtiment.

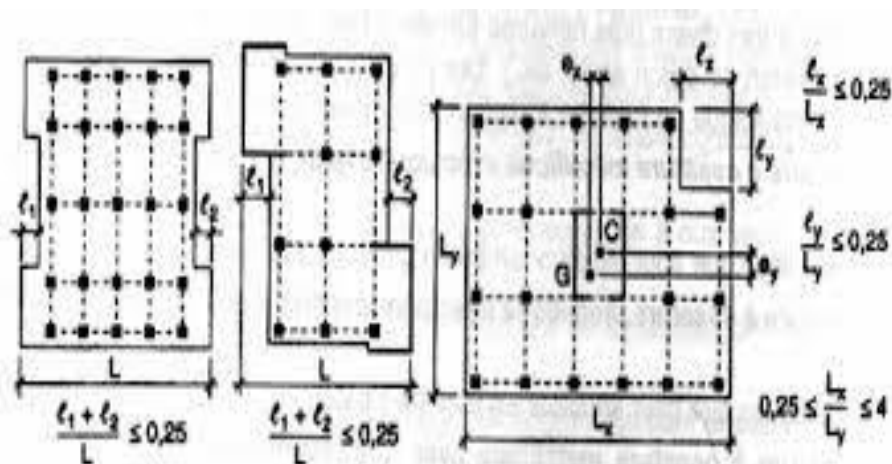


Fig.18 : Limites des décrochements en plan

III-3-4 - Régularité en élévation

A. Le système de contreventement ne doit pas comporter d'élément porteur vertical discontinu, dont la charge ne se transmette pas directement à la fondation.

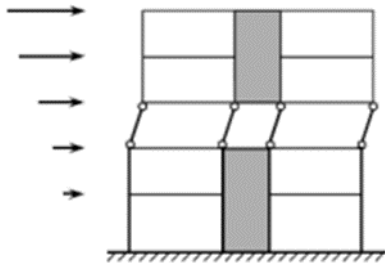


Fig.19 :

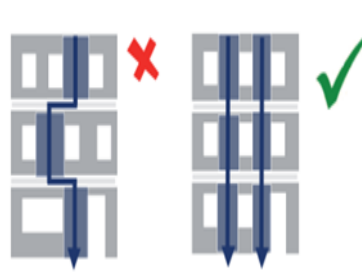


Fig.20

Discontinuité des éléments porteurs

La régularité en élévation est un critère de conception sismique qui vise à assurer une répartition adéquate des forces sismiques à travers la structure d'un bâtiment. L'un des principes de cette régularité en élévation est que le système de contreventement, qui est responsable de la résistance aux forces latérales, ne doit pas comporter d'élément porteur vertical discontinu.

Un élément porteur vertical discontinu est un élément de la structure (comme une colonne ou un mur porteur) qui n'est pas connecté de manière directe et continue à la fondation du bâtiment. En d'autres termes, sa charge n'est pas transmise directement à la fondation de manière efficace. Cette condition vise à éviter les discontinuités structurelles qui pourraient créer des points faibles dans le système de contreventement du bâtiment. Si un élément porteur vertical est discontinu, cela signifie qu'il y a une interruption dans la transmission des charges verticales entre les éléments supérieurs et inférieurs de la structure. Cela peut entraîner une concentration excessive des forces latérales sur les éléments adjacents et peut compromettre la stabilité globale du bâtiment lors d'un séisme. Pour assurer une résistance sismique adéquate, il est important que les charges générées par les forces latérales soient transmises de manière directe et efficace à travers tous les éléments verticaux jusqu'à la fondation. Cela permet une répartition équilibrée des charges et une résistance uniforme dans toute la structure du bâtiment.

En s'assurant que le système de contreventement ne comporte aucun élément porteur vertical discontinu, on garantit une meilleure continuité structurale et une résistance plus fiable aux forces sismiques, réduisant ainsi les risques de défaillance structurale en cas de séisme.

B. Aussi bien la raideur. Que la masse des différents niveaux restent constants ou diminuent progressivement et sans chargement brusque de la base au sommet du bâtiment

Cela signifie que la raideur (rigidité) et la masse des différents niveaux d'un bâtiment doivent rester constantes ou diminuer de manière progressive, sans connaître de changements brusques lorsqu'on se déplace de la base vers le sommet du bâtiment.

La raideur d'un bâtiment fait référence à sa capacité à résister aux déformations et aux mouvements causés par les forces sismiques. Une raideur constante ou une diminution progressive de la raideur du bas vers le haut du bâtiment permet de mieux répartir les forces sismiques à travers la structure et de minimiser les contraintes locales qui pourraient provoquer des déformations excessives ou des dommages.

De même, la masse des différents niveaux du bâtiment doit également être répartie de manière régulière ou diminuer progressivement de la base au sommet. Une distribution uniforme ou une diminution progressive de la masse aide à assurer une réponse sismique plus équilibrée dans tout le bâtiment. Cela permet de minimiser les concentrations de masse qui pourraient créer des points faibles et des contraintes excessives sur certaines parties de la structure.

En maintenant une raideur constante ou une diminution progressive de la base au sommet, ainsi qu'une masse uniforme ou décroissante, on favorise une réponse sismique plus prévisible et contrôlée du bâtiment. Cela contribue à améliorer la performance sismique globale du bâtiment en réduisant les déformations excessives et les contraintes locales, ce qui réduit les risques de défaillance structurale lors d'un tremblement de terre.

C. Dans le cas de décrochements en élévation, la variation des dimensions en plan du bâtiment entre deux niveaux successifs ne dépasse pas 20% dans les deux directions de calcul et ne s'effectue que dans le sens d'une diminution avec la hauteur. La plus grande dimension latérale du bâtiment n'excède pas 1,5 fois sa plus petite dimension.

Cela signifie que si un bâtiment présente des décrochements en élévation (c'est-à-dire des variations de dimensions entre les niveaux successifs), la variation des dimensions en plan du bâtiment entre deux niveaux adjacents ne doit pas dépasser 20% dans les deux directions de calcul, et cette variation ne doit se produire que dans le sens d'une diminution avec la hauteur.

En d'autres termes, lorsque l'on compare les dimensions en plan (longueur et largeur) du bâtiment entre deux niveaux adjacents, la différence entre ces dimensions ne doit pas dépasser 20%. Cette limite s'applique dans les deux directions de calcul, généralement perpendiculaires les unes aux autres. De plus, ces variations de dimensions doivent toujours se faire dans le sens d'une diminution avec la hauteur, c'est-à-dire que les dimensions doivent se réduire au fur et à mesure que l'on monte dans le bâtiment.

La clause suivante mentionne également que la plus grande dimension latérale du bâtiment ne doit pas dépasser 1,5 fois sa plus petite dimension. Cela signifie que si vous comparez la plus grande dimension latérale (longueur ou largeur) du bâtiment avec sa plus petite dimension, la plus grande dimension ne doit pas dépasser 1,5 fois la plus petite dimension.

Ces critères de conception visent à assurer une régularité et une stabilité structurelle adéquate du bâtiment lorsqu'il présente des décrochements en élévation. En limitant les variations de dimensions entre les niveaux adjacents et en maintenant une relation proportionnelle entre les dimensions latérales, on réduit les contraintes locales et les risques de concentration de contraintes, ce qui contribue à une meilleure résistance sismique du bâtiment.

Toutefois, au dernier niveau, les éléments d'ouvrage, tels que buanderies, salle de machines d'ascenseurs etc. pourront ne pas respecter les règles b3 et b4 et être calculés conformément aux prescriptions relatives aux éléments secondaires

D'une manière générale, se reporter aux schémas illustratifs ci-après (fig. 3.3).

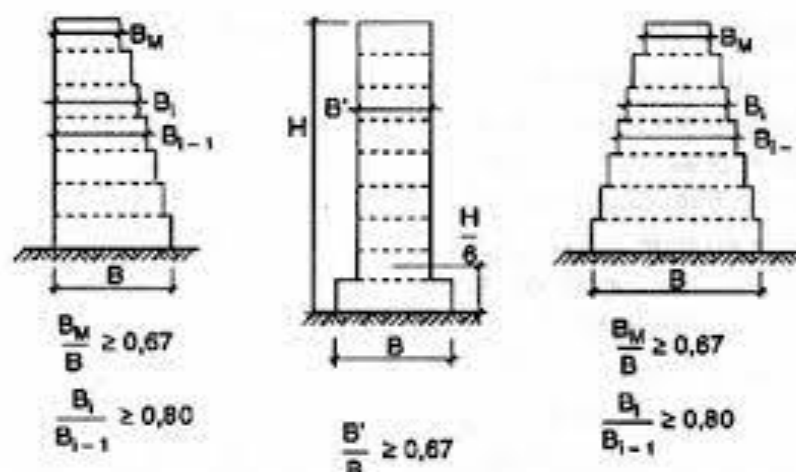


Fig.21 : Limites des décrochements en élévation

La structure est classée régulière en élévation.

- Un bâtiment est classé régulier en plan si tous les critères de régularité en plan (a1 à a4) sont respectés. Par contre, il est classé irrégulier en plan si l'un de ces critères n'est pas satisfait
- Un bâtiment est classé régulier en élévation si tous les critères de régularité en élévation (b1 à b4) sont respectés.

Par contre, il est classé irrégulier en élévation si l'un de ces critères n'est pas satisfait.

- Un bâtiment est classé régulier s'il est à la fois régulier en plan et en élévation.

III-3-5- Contrôle de la qualité des matériaux

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

Le contrôle de la qualité des matériaux dans la construction est essentiel pour garantir que les matériaux utilisés répondent aux normes et aux spécifications requises. Dans le contexte mentionné, il est indiqué que des essais systématiques doivent être effectués sur les matériaux par l'entreprise chargée de la construction.

L'entreprise responsable de la construction doit mettre en place des procédures de contrôle de la qualité qui incluent des essais systématiques sur les matériaux utilisés. Ces essais visent à vérifier la conformité des matériaux par rapport aux normes et aux spécifications techniques.

Les essais systématiques impliquent généralement des tests de laboratoire réalisés sur des échantillons représentatifs des matériaux utilisés. Ces tests peuvent inclure des essais de résistance, de durabilité, de composition chimique, de propriétés mécaniques, etc., en fonction des caractéristiques spécifiques des matériaux. Par exemple, dans le cas du béton, des essais de résistance à la compression peuvent être effectués pour vérifier si le béton atteint les niveaux de résistance requis. Pour les matériaux d'acier, des tests de traction et de flexion peuvent être réalisés pour s'assurer qu'ils répondent aux normes de résistance structurelle.

L'objectif de ces essais systématiques est d'assurer la qualité des matériaux utilisés dans la construction et de s'assurer qu'ils sont conformes aux normes et aux spécifications applicables. Cela contribue à garantir la sécurité et la durabilité du bâtiment, ainsi qu'à assurer sa résistance aux forces sismiques et à d'autres contraintes environnementales. On peut dire que le contrôle de la qualité des matériaux par le biais d'essais systématiques est une pratique importante pour garantir la performance et la fiabilité des matériaux utilisés dans la construction. Cela permet de

minimiser les risques de défaillance et de s'assurer que le bâtiment est construit conformément aux exigences de qualité et de sécurité

III-3- 6- Contrôle de la qualité de l'exécution

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

Lorsqu'il est prévu contractuellement une mission de suivi des travaux sur chantier, cela signifie qu'une entité externe est chargée de surveiller et contrôler la qualité de l'exécution des travaux de construction conformément aux spécifications contractuelles et aux normes applicables. Cette mission de suivi a pour objectif de garantir que les travaux sont réalisés selon les exigences techniques et les normes de qualité prévues.

Voici quelques aspects clés de la mission de suivi des travaux sur chantier :

- Inspection visuelle : L'équipe chargée du suivi des travaux effectue des inspections régulières sur le chantier pour vérifier la conformité des travaux par rapport aux plans, aux spécifications et aux normes. Ils vérifient que les méthodes de construction appropriées sont utilisées, que les matériaux sont correctement mis en œuvre et que les bonnes pratiques de construction sont respectées.
- Vérification des plans et des documents contractuels : L'équipe de suivi examine les plans, les devis et les documents contractuels pour s'assurer que les travaux sont réalisés conformément aux exigences spécifiées. Ils vérifient la conformité des matériaux utilisés, des méthodes de construction et des détails techniques avec les documents contractuels.
- Contrôle des procédures de construction : L'équipe de suivi vérifie que les procédures de construction sont suivies correctement. Ils s'assurent que les étapes de construction sont effectuées dans l'ordre approprié, que les contrôles de qualité sont réalisés aux étapes clés, que les bonnes pratiques de sécurité sont respectées, etc.
- Vérification des essais et des contrôles de qualité : L'équipe de suivi surveille la réalisation des essais sur les matériaux, les éléments structuraux ou les installations, selon les spécifications techniques. Ils vérifient que les essais sont effectués par des laboratoires accrédités, que les protocoles d'essais sont correctement suivis et que les résultats sont conformes aux exigences.

Cette mission de suivi des travaux sur chantier doit inclure aussi une supervision des essais effectués sur les matériaux c'est une partie importante du contrôle de la qualité des travaux sur chantier. Elle permet de vérifier que les matériaux utilisés dans la construction répondent aux exigences techniques et de garantir la fiabilité et la performance du bâtiment final Cela signifie

que l'organisme responsable du suivi des travaux doit surveiller et contrôler les essais réalisés sur les matériaux utilisés dans la construction du bâtiment. La supervision des essais sur les matériaux implique les étapes suivantes :

- Planification des essais : La mission de suivi des travaux collabore avec l'entreprise de construction pour identifier les essais nécessaires en fonction des matériaux spécifiques utilisés dans le projet. Ils déterminent les normes et les spécifications applicables aux essais.
- Sélection des laboratoires d'essais : Le responsable du suivi des travaux peut recommander des laboratoires d'essais accrédités qui sont compétents pour réaliser les essais requis sur les matériaux. Ils s'assurent que les laboratoires choisis sont fiables et capables de fournir des résultats précis.
- Suivi de la réalisation des essais : Pendant la réalisation des essais, la mission de suivi des travaux peut effectuer une supervision directe pour garantir que les procédures d'essai sont respectées, que les échantillons sont prélevés correctement et que les paramètres d'essai sont appropriés. Ils veillent à ce que les essais soient effectués conformément aux normes et aux spécifications requises.
- Vérification des résultats des essais : Une fois les essais terminés, la mission de suivi des travaux examine les résultats obtenus. Ils vérifient que les résultats sont conformes aux critères de performance et aux exigences spécifiés. Ils s'assurent que les résultats des essais sont documentés de manière appropriée.
- Rapports et recommandations : La mission de suivi des travaux produit des rapports qui comprennent une évaluation des résultats des essais supervisés. Si des non-conformités sont identifiées, ils formulent des recommandations pour remédier aux problèmes éventuels et s'assurer que les matériaux utilisés et les travaux dans la construction sont conformes aux normes et règlements.

En résumé, la mission de suivi des travaux sur chantier est responsable de superviser les essais effectués sur les matériaux. Cela implique la planification, la vérification de la conformité, la supervision directe, l'analyse des résultats et la fourniture de recommandations. L'objectif est de garantir que les matériaux utilisés dans la construction répondent aux normes et exigences requises, contribuant ainsi à la qualité de l'exécution des travaux.

III-4-Importance du facteur de qualité :

L'importance de ce facteur est mise en évidence pour le fait qu'il englobe et regroupe les conditions requises pour la prévention sismique au niveau de la conception comme suit :

- **III-4-1-Forme en plan** : Lorsque la forme en plan des bâtiments est dissymétrique (forme en L.T.U) cela entraîne des efforts de torsion.
- **III-4-2-Irrégularité en élévation** : Les variations brusques des rigidités en altitude présentent Des risques (coup de fouet) ainsi que les grandes porte-à-faux (Balcons) provoquent des conséquences aggravantes pour la stabilité d'une construction.
- **III-4-3-Système de contreventement** : Le contreventement par les voiles apparaisse comme bien adapté à la construction parasismique parce qu'ils limitent les déformations relatives et protègent l'intégrité des éléments non structuraux.
- **III-4-4-Le respect des règles parasismiques et les dispositions Constructives** : ces règles assurent un bon comportement de constructions.
- **III-4-5-Joints de dilatation** : Sous l'action des secousses, tous les joints doivent permettent aux blocs adjacents le libre déplacement (les structures ne vibrent pas à la même fréquence).
- **III-4-6-Matériaux de construction** : Le choix du matériau de construction dépend de plusieurs facteurs : résistance – coût – destination de l'ouvrage. La qualité de ce dernier est estimée selon quelques critères déterminés à partir des contrôles effectués dans les laboratoires.

Les conséquences désastreuses de la plupart des séismes majeurs sont dues au non-respect de ces conditions surtout le choix des matériaux de construction et les dispositions constructives [28]

III-5-Comparaison entre le RPA 99V2003 et les codes internationaux

III-5- Le calcul de la force sismique selon les codes internationaux :

Facteur de qualité dans les règlements international :

III-5-1-La force sismique selon l'Eurocode 8

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

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

$$\text{Avec : } T_1 = \begin{cases} 4. TC \\ 2.0S \end{cases}$$

D'où les facteurs de la force latérale selon l'Eurocode 8 sont définis comme suit :

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

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

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

λ : est le coefficient de correction, dont la valeur est égale à :

$$\lambda = \begin{cases} \lambda = 0,85 & \text{si } T_1 \leq 2T_c \text{ si le bâtiment a plus de deux étages} \\ \lambda = 1,0 & \text{dans les autres cas} \end{cases}$$

Avec :

T_c : est défini précédemment (tableaux 3et4)

$$T_1 = C_t \cdot H^{3/4} \text{ (pour } H=40\text{m)}$$

La valeur de C_t doit être égale :

$$C_t = \begin{cases} 0,085 & \text{dans le cas des portiques spatiaux en acier} \\ 0,075 & \text{dans le cas des portiques spatiaux en béton} \\ 0,050 & \text{pour toutes les autres structures} \end{cases}$$

Où :

$$C_T = 0,075 / A_C$$

Et

$$A_C = \sum [A_i \cdot (0.2 + (l_w/H))^2]$$

Avec :

A_C : est l'aire effective totale des sections des murs de contreventement au premier niveau du bâtiment

A_i : l'aire effective de la section transversale du mur de contreventement dans la direction considérée i au premier niveau du bâtiment

H : est la hauteur de bâtiment jusqu'à 40 m

L_{wi} : est la longueur du mur de contreventement i au premier niveau dans la direction parallèle aux forces appliquées, en m, sous la condition que l_{wi}/H ne dépasse pas 0,9.

Vue l'équation de calcul de la force sismique dans leurocod8, le facteur de qualité (Q) n'est pas inclus comme il est le cas dans le RPA.

III-5-2-La force sismique selon l'UBC 97. USA (les états unis d'Amérique)

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

$$V = \frac{C_v I}{RT} W$$

Avec :

I : Facteur d'importance sismique.

W : poids total de la structure.

R : Coefficient de comportement de la structure.

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

C_v : Coefficient sismique dépendant de la catégorie de site et de la zone sismique

Cet effort sismique ne doit pas être supérieur à :

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

Et ne doit pas être inférieur à :

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

Avec : C_a : coefficient sismique dépendant des conditions de site et la zone sismique

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

$$V = \frac{0,8ZN_v I}{R} W$$

Avec :

Z : Facteur de zone sismique.

N_v : Facteur de source proche utilisé dans la détermination du C_v dans Zone sismique 4 liée à la fois à la proximité du bâtiment ou structure à des failles connues avec des grandeurs et les taux de glissement indiqués dans les tableaux 16.T

III-5-3-La force sismique selon NBCC (CNBC) CANADA :

$$V = \frac{S(T_a)M_v I_E}{R_d R_o} W \quad \text{Sauf que } V \text{ ne doit pas être inférieur à : } \frac{S(2.0)M_v I_E}{R_d R_o} W$$

Où :

$S(T_a)$: est l'accélération de la réponse spectrale de conception à la période fondamentale de vibration,

M_v : est un facteur pour tenir compte des effets de mode plus élevés sur le cisaillement de base

Le CNBC de 2005 a introduit deux forces distinctes facteurs de modification, le facteur lié à la ductilité R_d et le facteur lié à la sur résistance R_o (Mitchell et al 2003), tel que défini à l'article 4.1.8.9. La modification de la force liée à la ductilité facteur, R_d , reflète la capacité d'une structure à dissiper l'énergie par comportement tandis que le facteur de modification de force lié à la sur-résistance, R_o , explique-la partie fiable de la force de réserve dans une structure conçue selon le 2005 CNB et les normes CSA correspondantes. Le tableau 4 donne quelques valeurs typiques pour R_d et R_o pour différents systèmes de résistance aux forces sismiques (SFRS).

Le facteur d'importance du tremblement de terre, E_i , est pris égal à 1,0 pour les structures normales, 1,3 pour Structures « d'importance élevée » (p. ex., écoles et centres communautaires) et 1,5 pour les structures « post-catastrophe » (p. ex., hôpitaux et installations d'intervention d'urgence).

W : poids total de la structure.

III-5-4-La force sismique selon le RPS2000 (MAROC)

$$F = \frac{vSDI}{K} W$$

Avec :

v = le coefficient de vitesse de zones donnée dans le tableau 5.1

S : le coefficient du site donné par le tableau 5.2

D : le facteur d'amplification dynamique donnée par le spectre d'amplification dynamique ou le tableau 5.3.

I : le coefficient de priorité donné dans le tableau 3.1

K : le facteur de comportement donné dans le tableau 3.3

W : la charge prise en poids de la structure

III-5-5-La force sismique selon le code égyptien :

$$F_b = S_d(T_1) \cdot \lambda \frac{W}{g}$$

Avec : F_b : l'effort tranchant à la base $S_d(T_1)$: ordonnée du spectre de calcul pour la période T_1 λ : est le coefficient de correction W/g : poids total de la structure au-dessus du niveau de la fondation.**III-5-6-La force sismique selon le code sismique turc :**

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0,10A_0IW$$

Avec : V_t : la force sismique total a la base W : poids total de la structure T_1 : la première période de vibration naturelle du bâtiment $A(T)$: Coefficient d'accélération spectrale R_a : Coefficient de réduction de la charge sismique I : Facteur d'importance du bâtiment A_0 : Coefficient effectif d'accélération du sol**III-5-7-La force sismique selon le code sismique Japonais :**

$$Q = W \times C_i$$

Avec : Q : la force sismique, W : poids sismique (c'est-à-dire le poids du bâtiment) et

C_i : coefficient de force de cisaillement de l'étage. De plus, le coefficient de cisaillement d'étage C_i est calculé par la formule suivante :

$$C_i = Z \times R_t \times A_i \times C_o$$

Z : valeur déterminée par le ministère du Territoire, des Infrastructures, des Transports et du Tourisme sur la base des enregistrements de tremblements de terre passés. Considérez-le comme une valeur qui quantifie la probabilité qu'un tremblement de terre se produise.

R_t : coefficient caractéristique de vibration,

A_i : la distribution du coefficient de force de cisaillement de la couche sismique dans la direction de la hauteur

C_o : coefficient de force de cisaillement standard.

III-5 : Comparaison entre le RPA 99V2003 et les codes internationaux :

Le Règlement Parasismique Algérien (RPA) introduit le facteur de qualité explicitement dans la formule de calcul de l'effort tranchant à la base, alors que la plupart des codes internationaux ne l'introduit pas, à l'exception du code canadien qui l'introduit implicitement sous deux distinctes coefficients R_d qui est lié à la ductilité et le coefficient lié à la sur résistance R_o . Il est clair que le facteur qualité est lié à l'aspect éthique plus qu'à l'aspect technique, notamment en termes de respect de la sélection des matériaux utilisés dans la construction, ainsi qu'à l'honnêteté dans la bonne exécution en respectant les normes stipulées dans les codes du bâtiment. Donc il faut exiger un contrôle strict avec sanctions sévères par le biais du code pénal afin de dissuader les contrevenants.

CHAPITRE IV
DISCUSSION DES CRITERES ET
PENALITES LIES AU FACTEUR
DE QUALITE

IV-Introduction

La valeur du facteur de qualité est obtenue par l'addition de six (06) pénalité (soit satisfaites ou non), on peut classer ces pénalités suivant leurs difficultés de réalisation sur terrain comme suit :

- 1- Des critères contrôlables préalablement : comme les conditions minimales sur les files de contreventement, Redondance en plan, Régularité en plan, Régularité en élévation
- 2- Des critères non ou difficile a contrôlés : comme le contrôle de la qualité des matériaux et le contrôle de la qualité de l'exécution

IV-Critères et pénalités lies au facteur de qualité

IV-1-Critères contrôlables préalablement :

- Conditions minimales sur les files de contreventement :

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

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

Dans le choix des systèmes de contreventement des structures en béton armé on peut remarquer que le RPA se base beaucoup plus sur les contreventements auto stables que ça soit un système portiques, un système de voiles ou un système mix et exige des conditions à respecter comme le nombre de travées qui ne doit pas être inférieur a (03) dans chaque niveau et le rapport de ces travées qui ne doit pas dépasser 1,5, plus l'exigence d'un nombre de trumeaux ayant un rapport « hauteur d'étage sur largeur » à respecter , dans le facteur de qualité ce critère est pénalisé de 0.05 si il n'est pas satisfait, vue la défaillance de ces systèmes de contreventements surtout pour les structures en portique auto stable sans ou ave maçonnerie

inséré lors du séisme de Boumerdes il est impérativement temps de reconsidérer l'adaptation de nouveaux systèmes qui se basent sur des calculs numériques plus récents tandis que les valeurs exigées dans cette pénalité sont des valeurs empiriques imposées d'une manière forfaitaire non justifié, on peut aussi introduire la maçonnerie chaînée qui est un système de construction parasismique où les murs de maçonnerie sont construits en premier, et les colonnes et poutres en béton sont ensuite coulées pour enfermer (confiner) le mur. Il a généralement bien fonctionné lors des tremblements de terre passés dans le monde entier, lorsqu'il a été construit conformément aux exigences.

Redondance en plan :

(Chaque étage devra avoir, en plan, au moins quatre (04) files de portiques et/ou de voiles dans la direction des forces latérales appliquées. Ces files de contreventement devront être disposées symétriquement autant que possible avec un rapport entre valeurs maximale et minimale d'espacement ne dépassant pas 1,5).

La redondance en plan des systèmes de contreventements fait référence à la présence de multiples chemins de charge pour résister aux forces latérales telles que les séismes ou les vents.

Elle est un élément clé de la conception parasismique et de la stabilité globale des structures. Lorsqu'un système de contreventement est redondant en plan, cela signifie que si un élément ou une partie du système subit une défaillance ou une rupture, il existe d'autres éléments ou chemins de charge qui peuvent prendre le relais pour résister aux forces latérales. Cela contribue à maintenir l'intégrité structurale et à prévenir l'effondrement global de la structure, elle offre plusieurs avantages :

- Sécurité accrue : En présence de redondance en plan, une défaillance locale n'entraînera pas nécessairement une défaillance globale. Les autres éléments ou chemins de charge peuvent continuer à résister aux forces latérales et maintenir la stabilité de la structure.
- Ductilité améliorée : Les systèmes de contreventement redondants en plan ont tendance à présenter une meilleure ductilité, ce qui leur permet d'absorber davantage d'énergie sismique sans subir de déformations excessives. Cela contribue à améliorer la résistance globale de la structure aux séismes.
- Fiabilité accrue : La présence de redondance en plan augmente la fiabilité de la structure en répartissant les charges latérales sur plusieurs éléments ou chemins de charge. Cela réduit les contraintes individuelles sur chaque élément, ce qui peut prolonger la durée de vie de la structure.

Il est important de noter que la conception de la redondance en plan dépend du type de système de contreventement utilisé, comme les portiques, les murs de contreventement, les noyaux de béton armé, etc. En général, la redondance en plan est considérée comme une caractéristique très importante dans la conception parasismique, car elle améliore la sécurité et la résilience des structures face aux séismes major.

Régularité en plan et en élévation :

(La structure est classée régulière en plan et en élévation)

Bien que la régularité en plan et en élévation soit généralement considérée comme un critère important dans la construction parasismique, il existe certains aspects négatifs à prendre en compte. Voici quelques points à considérer :

- Contraintes architecturales : La recherche de la régularité en plan comme en élévation peut limiter la liberté architecturale et restreindre les possibilités de conception créative. Certains architectes peuvent trouver cela contraignant et cela peut limiter l'esthétique ou les fonctionnalités du bâtiment.
- Coûts supplémentaires : L'atteinte de la régularité peut entraîner des coûts supplémentaires. Par exemple, la nécessité de créer des poutres ou des murs de renfort supplémentaires pour maintenir la régularité peut augmenter les coûts de construction. De plus, l'utilisation de formes régulières peut nécessiter plus de matériaux, ce qui peut également augmenter les dépenses.
- Surdimensionnement structurel : La régularité peut conduire à un surdimensionnement structurel dans certaines parties du bâtiment. Par exemple, des éléments structuraux supplémentaires peuvent être nécessaires dans les coins ou les extrémités pour maintenir la régularité, même si ces zones pourraient ne pas nécessiter une résistance sismique aussi élevée.
- Inadaptation à certains sites : La régularité en plan peut ne pas être adaptée à certains sites, en particulier ceux avec des contraintes géologiques ou topographiques spécifiques. Des formes régulières peuvent ne pas être optimales pour résister à des types de sols particuliers ou à des contraintes topographiques, et d'autres configurations de plan peuvent être nécessaires.

Il est important de noter que bien que ces aspects négatifs puissent exister, la régularité (en plan ou en élévation) reste un critère important dans la construction parasismique en raison de ses avantages en termes de distribution des charges sismiques et de comportement structurel prévisible.

- **Proposition** : Le non-respect de ces critères peut être réglé au niveau du bureau d'études par l'exigence d'une forme qui respecte le choix des contreventements, la redondance et la régularité, toute construction ou plan ne respectant pas ces critères ne doit pas être approuvé. Donc le contrôle préalable de ces critères peut éliminer les quatre premières pénalités liées au facteur de qualité.

IV-2-2 Critères incontrôlable ou difficile à contrôler :

A- Contrôle de la qualité des matériaux

Le contrôle de la qualité des matériaux sur chantier peut présenter certaines difficultés en raison de divers facteurs. Voici quelques défis courants auxquels on peut être confronté lors du contrôle de la qualité des matériaux sur chantier :

- Diversité des matériaux : Les projets de construction utilisent souvent une grande variété de matériaux, chacun ayant ses propres spécifications et exigences de qualité. Il peut être complexe de s'assurer que tous les matériaux utilisés répondent aux normes appropriées, nécessitant une connaissance approfondie des différentes caractéristiques et tests spécifiques à chaque matériau.
- Volume élevé de matériaux : Les chantiers de construction impliquent souvent des volumes importants de matériaux, ce qui peut rendre difficile le suivi et le contrôle de chaque livraison et utilisation de matériau. La quantité de matériaux peut compliquer la tâche de vérification de la qualité de chaque lot et de chaque élément utilisé.
- Conformité aux spécifications : Le contrôle de la qualité des matériaux nécessite de s'assurer que les matériaux utilisés respectent les spécifications techniques et les normes requises. Cela peut être difficile à garantir en raison de la possibilité d'erreurs humaines, de substituts de matériaux non autorisés ou de variations dans les caractéristiques des matériaux fournis par différents fournisseurs.
- Tests et essais appropriés : Le contrôle de la qualité des matériaux implique souvent la réalisation de tests et d'essais pour vérifier leur conformité aux normes. Cependant, effectuer ces tests et essais nécessite souvent des équipements spécialisés, des compétences techniques et des ressources appropriées. La disponibilité de ces ressources peut poser des défis pratiques sur le chantier.
- Collaboration avec les fournisseurs : Le contrôle de la qualité des matériaux nécessite une collaboration étroite avec les fournisseurs de matériaux. Il est essentiel de s'assurer que les matériaux fournis répondent aux spécifications et aux exigences de qualité. Cela peut impliquer

une coordination et une communication efficaces avec les fournisseurs pour obtenir les informations nécessaires et résoudre les problèmes éventuels.

- Suivi continu : Le contrôle de la qualité des matériaux doit être un processus continu tout au long du projet de construction. Cela nécessite une surveillance régulière et une documentation adéquate pour chaque étape de la fourniture, de la réception, de l'utilisation et de l'installation des matériaux. Maintenir un suivi rigoureux peut être un défi logistique et administratif.

Pour surmonter ces difficultés, il est essentiel de mettre en place des processus de contrôle de la qualité clairs et bien définis, de former le personnel concerné aux procédures de contrôle, de disposer des ressources nécessaires pour effectuer les tests et les essais, et d'établir une communication ouverte avec les fournisseurs et les parties prenantes impliquées dans le projet de construction.

Contrôle de la qualité de l'exécution :

Le contrôle de la qualité de l'exécution sur un chantier de construction peut présenter plusieurs difficultés. Voici quelques-unes des principales :

- Variabilité des compétences et de l'expérience : Les équipes de construction sur le chantier peuvent être composées d'individus avec des niveaux de compétences et d'expérience variables. Cela peut entraîner des différences dans la qualité de l'exécution des tâches. Certains travailleurs peuvent ne pas avoir une connaissance approfondie des exigences de qualité ou peuvent manquer de compétences spécifiques pour effectuer correctement certaines tâches.
- Respect des normes et des spécifications : Le contrôle de la qualité de l'exécution implique de s'assurer que les travaux sont réalisés conformément aux normes, aux spécifications techniques et aux plans du projet. Cela peut être difficile à garantir en raison de la complexité des normes, de l'interprétation subjective des spécifications et de la possibilité d'erreurs humaines.
- Suivi continu : Le contrôle de la qualité de l'exécution doit être un processus continu tout au long du chantier. Cela nécessite une surveillance constante pour détecter les problèmes et les non-conformités dès qu'ils surviennent. Cependant, le suivi continu peut être difficile en raison de la taille du chantier, de la multiplicité des tâches en cours et du nombre de travailleurs impliqués.
- Coordination et communication : Le contrôle de la qualité de l'exécution implique souvent la coordination entre différents corps de métier et la communication efficace entre les parties prenantes. La coordination peut être complexe, en particulier lorsque plusieurs équipes travaillent simultanément sur différents aspects du projet. Une communication claire et

cohérente est essentielle pour garantir que les exigences de qualité sont comprises et respectées par tous.

- Contraintes de temps et de coûts : Les projets de construction sont souvent soumis à des contraintes de temps et de coûts. Cela peut entraîner des pressions pour accélérer les travaux et prendre des raccourcis, ce qui peut compromettre la qualité de l'exécution. Le maintien d'un contrôle de qualité rigoureux peut être un défi lorsqu'il faut concilier les objectifs de productivité et de respect des délais avec les exigences de qualité.

Pour relever ces défis, il est important de mettre en place des processus de contrôle de la qualité clairs et bien définis, de former et de sensibiliser le personnel à l'importance de la qualité de l'exécution, de fournir une supervision adéquate sur le chantier, d'établir des protocoles de communication efficaces et d'encourager une culture de la qualité et de l'excellence dans l'ensemble de l'équipe de construction.

- **Proposition1** : Le non-respect de ces deux critères conduit à d'énormes pertes, que ce soit en termes de pertes humaines ou de pertes matérielles dans le cas où ces bâtiments seraient exposés à des séismes majeurs il faut donc exiger un contrôle strict avec sanctions sévères liée au code pénal, comme la suspension définitive de l'activité de construction si non l'augmentation des pénalités de 0,05 et 0,10 à 0,10 et 0,20 est demandé.
- **Proposition2** : La ductilité ne peut être dissociée de ces deux conditions, Pour garantir un comportement ductile des structures, il est indispensable de contrôler la qualité des matériaux utilisés et l'exécution des travaux [2] on peut donc introduire une pénalité liée à la ductilité, d'ailleurs le code canadien tient compte de ce facteur dans la définition de la force sismique sous forme de coefficient R_d .

IV-3-APPLICATION NUMERIQUE :

Certaines constructions sont pénalisées à cause de leurs formes (irrégularité en plan ou en élévation ou les deux à la fois) d'autres sont pénalisés à cause de leur contrôle de la qualité des matériaux ou la qualité de la mise en œuvre (l'exécution) ou les pénalités sont dues aux conditions minimales sur les files de contreventement ou la redondance en plan ou la structure est parfois pénalisées pour le non-respect de tous les critères liés au facteur de qualité.

En collaboration avec le bureau d'études BOUNAB Abas, l'introduction de différentes valeurs de (Q) sur une modélisation existante d'un bâtiment à usage d'habitation (R+5)

implanté en zone de haute sismicité (Zone III) avec de nombreux cas de pénalités appliquées sur la construction nous a permis de valoriser leurs influences sur les résultats de calculs.

On a choisi quatre (04) cas de pénalités :

- 1^{er} cas $Q = 1 + 0.00 + 0.00 + 0.00 + 0.00 + 0.00 + 0.00 = 1$
- 2^{em} cas $Q = 1 + 0.00 + 0.00 + 0.00 + 0.00 + 0.00 + 0.10 = 1,10$
- 3^{em} cas $Q = 1 + 0.00 + 0.00 + 0.05 + 0.00 + 0.05 + 0.10 = 1,20$
- 4^{em} cas $Q = 1 + 0.05 + 0.05 + 0.05 + 0.05 + 0.05 + 0.10 = 1,35$

A chaque cas on va interpréter les résultats obtenus par le logiciel ETAPS

IV-3-1-Présentation de l'ouvrage :

Hauteur

	Label	Height	Elevation
7	STORY1-5	3,23	21,08
6	STORY1-4	3,23	17,85
5	STORY1-3	3,23	14,62
4	STORY1-2	3,23	11,39
3	STORY1-1	3,23	8,16
2	STORY1	4,93	4,93
1	BASE		0,

Fig.22 : démentions du bâtiment

- Poutres principales 30x50 cm²
- Poutres de chaînage 30x40 cm²
- Poteaux 40x40 cm²
- Voile e = 20 cm

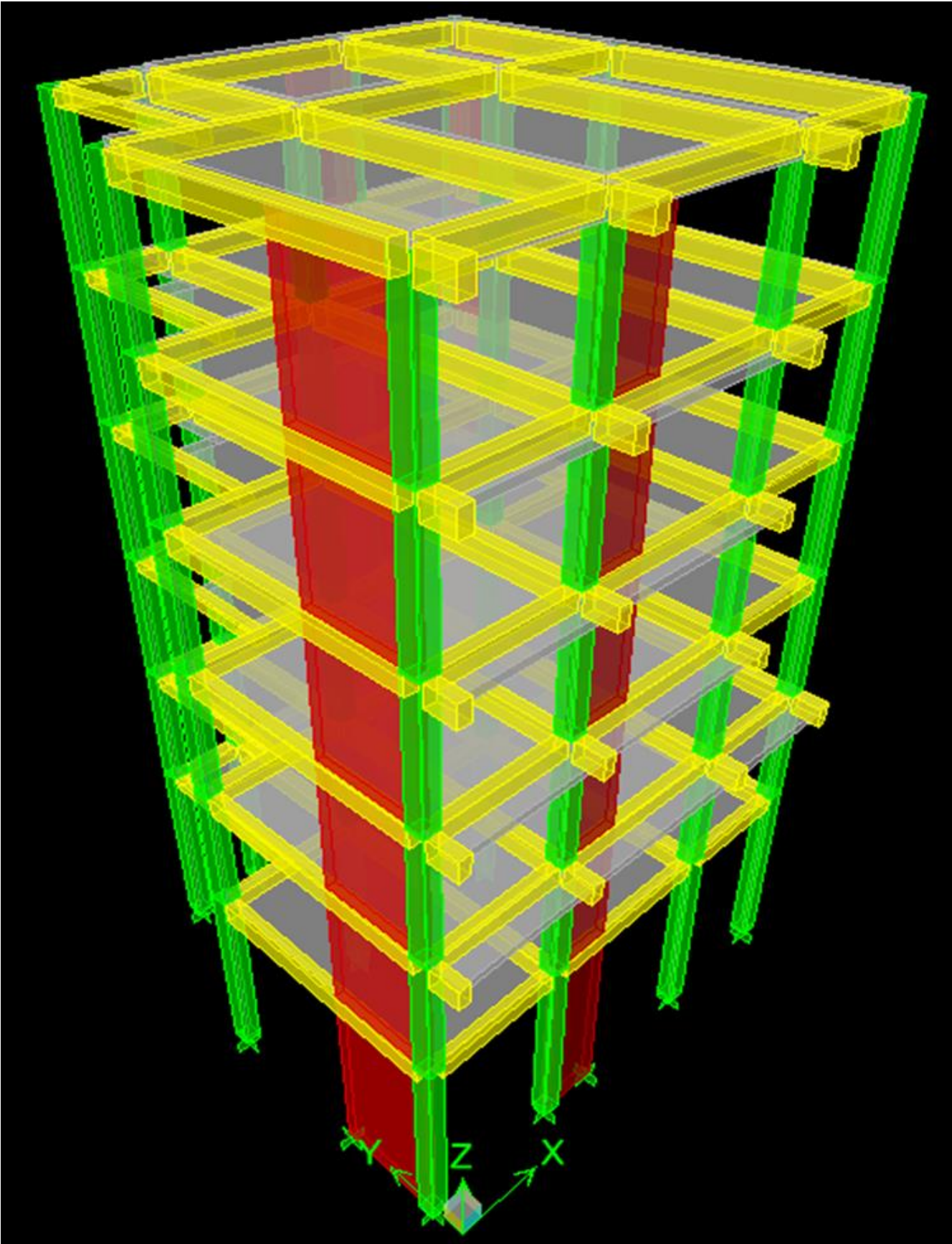


Fig.23 : Vue en 3D de la structure

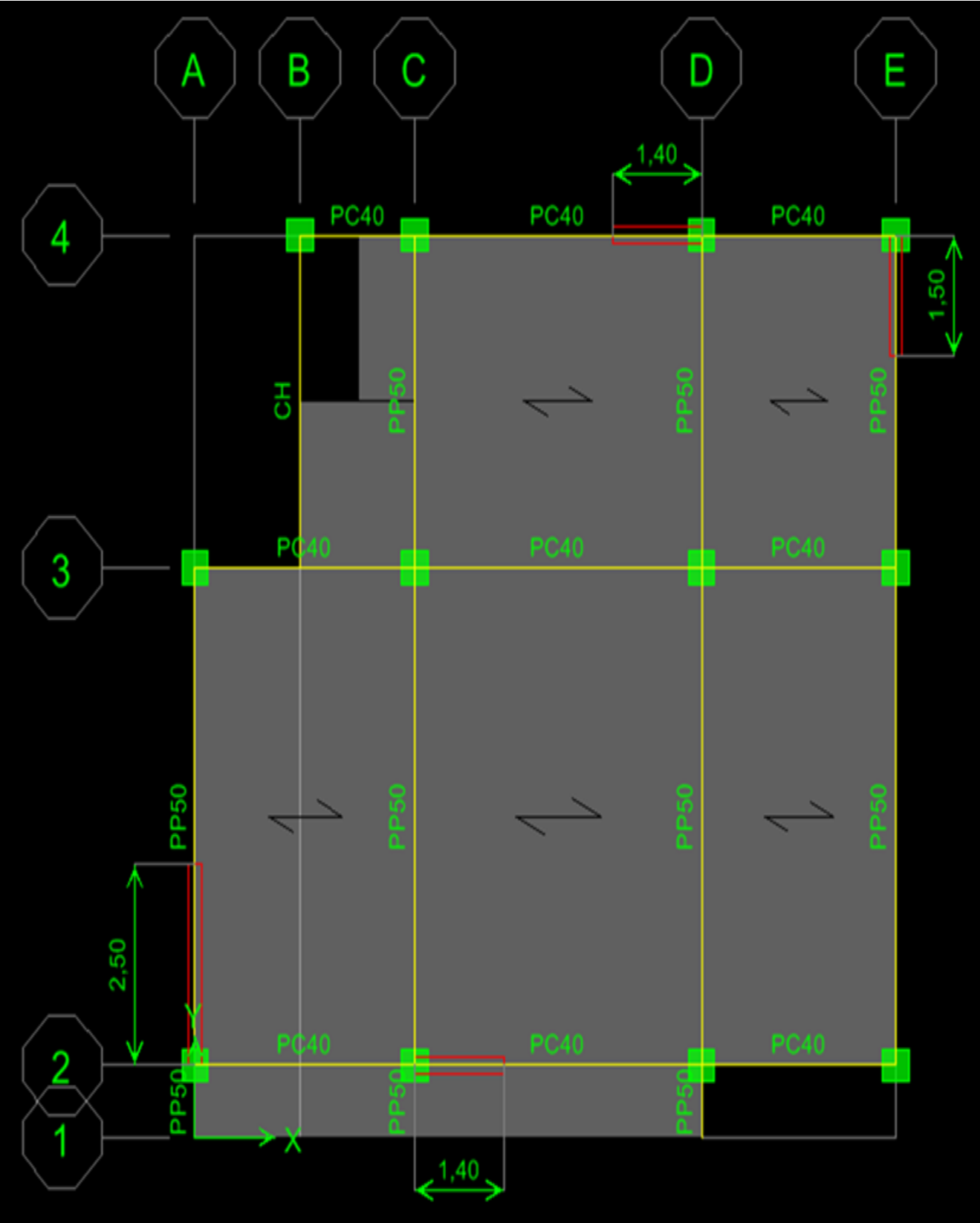


Fig.24 : Vue en plan de la structure

IV-3-2- résultats obtenu :

1er cas : $Q= 1+0.00+0.00+0.00+0.00+0.00+0.00=1$

Le spectre du cas N°1

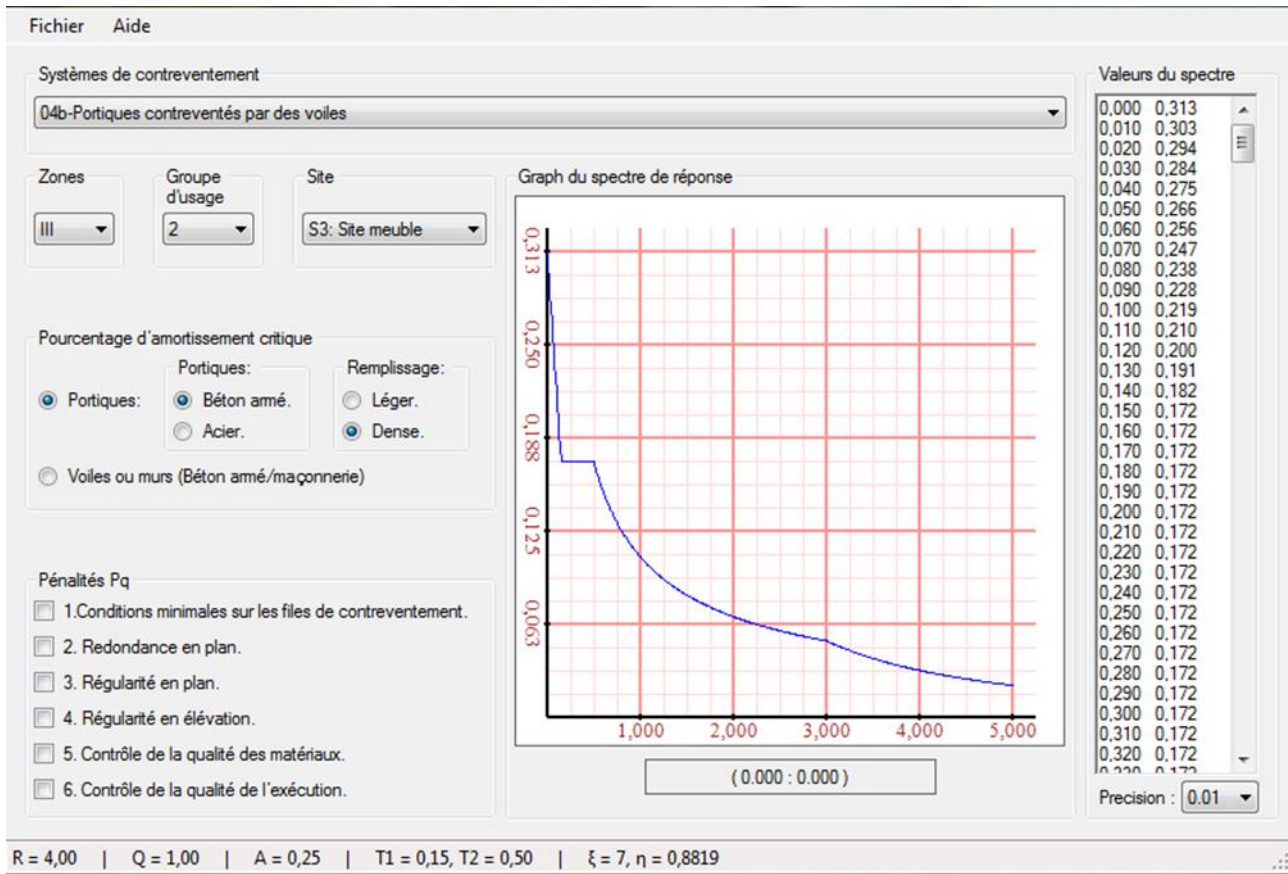


Fig.25 : spectre du cas N°1 (Q=1)

POUTRES

- Cas poutre principale :

Le moment : $M_A = -157 \text{ KN.m}$

- Cas poutre principale d'un portique qui contient un voile

Le moment : $M_A = -320 \text{ KN.m}$

VOILES

Le moment : $M = 261.8 \text{ KN.m}$

L'effort normal : $N = 1553 \text{ KN}$

POTEAUX

$N = 1198 \text{ KN}$

2em cas $Q = 1 + 0.00 + 0.00 + 0.00 + 0.00 + 0.00 + 0.10 = 1,10$

Le spectre du cas N° 2

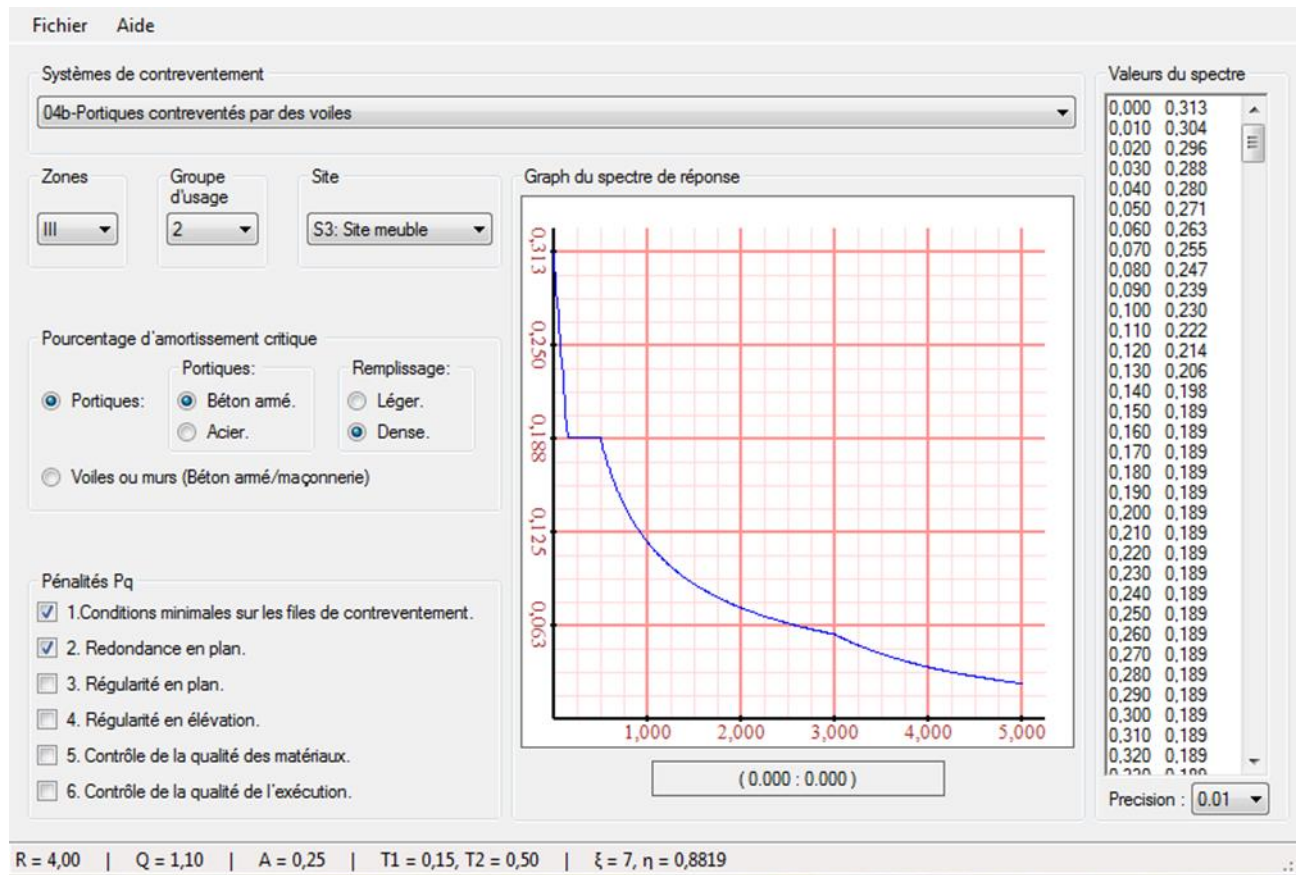


Fig.26 : spectre du cas N°1 ($Q=1,10$)

POUTRES

- Cas poutre principale :

Le moment : $M_A = -164 \text{ KN.m}$

- Cas poutre principale d'un portique qui contient un voile

Le moment : $M_A = -394 \text{ KN.m}$

VOILES

Le moment : $M = 2877 \text{ KN.m}$

L'effort normal : $N = 1609 \text{ KN}$

POTEAUX

$N = 1255 \text{ KN}$

3em cas $Q = 1 + 0.00 + 0.00 + 0.05 + 0.00 + 0.05 + 0.10 = 1.20$

Le spectre du cas N° 3

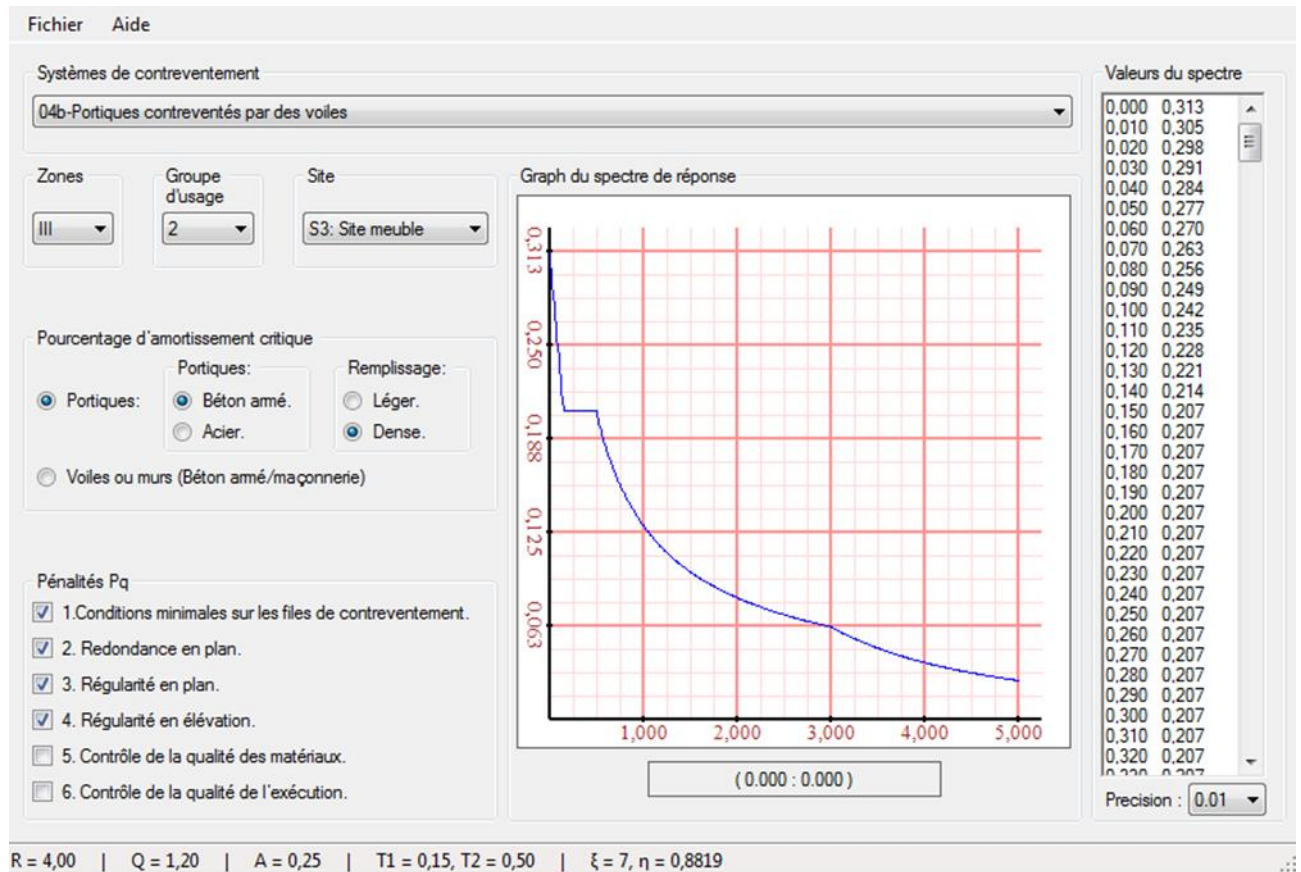


Fig.27 : spectre du cas N°1 ($Q=1,20$)

POUTRES

- Cas poutre principale sans voile

Le moment : $MA = -172 \text{ KN.m}$

- Cas poutre principale d'un portique qui contient un voile

Le moment : $MA = -379 \text{ KN.m}$

VOILES

Le moment : $M = 3138 \text{ KN.m}$

L'effort normal : $N = 1665 \text{ KN}$

POTEAUX

$N = 1314 \text{ KN}$

$$4\text{em cas } Q = 1 + 0.05 + 0.05 + 0.05 + 0.05 + 0.05 + 0.10 = 1.35$$

Le spectre du cas N° 4

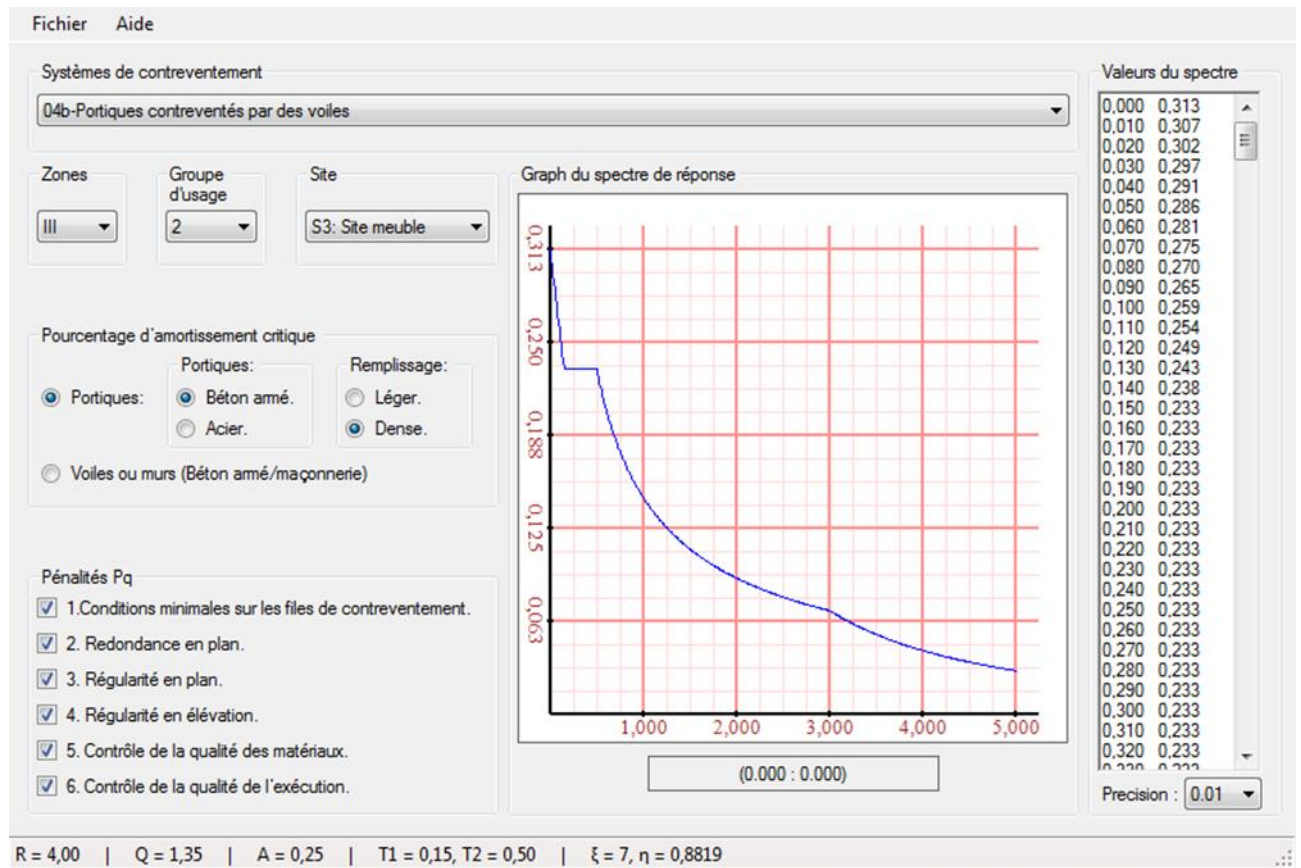


Fig.28 : spectre du cas N°1 ($Q=1,35$)

POUTRES

- Cas poutre principale sans voile

Le moment : $MA = -188 \text{ KN.m}$

- Cas poutre principale avec voile

Le moment : $MA = -424.5 \text{ KN.m}$

VOILES

Le moment : $M = 3533 \text{ KN.m}$

L'effort normal : $N = 1756 \text{ KN}$

POTEAUX

N = 1480 KN

Diagramme des moments fléchissant au niveau des poutres

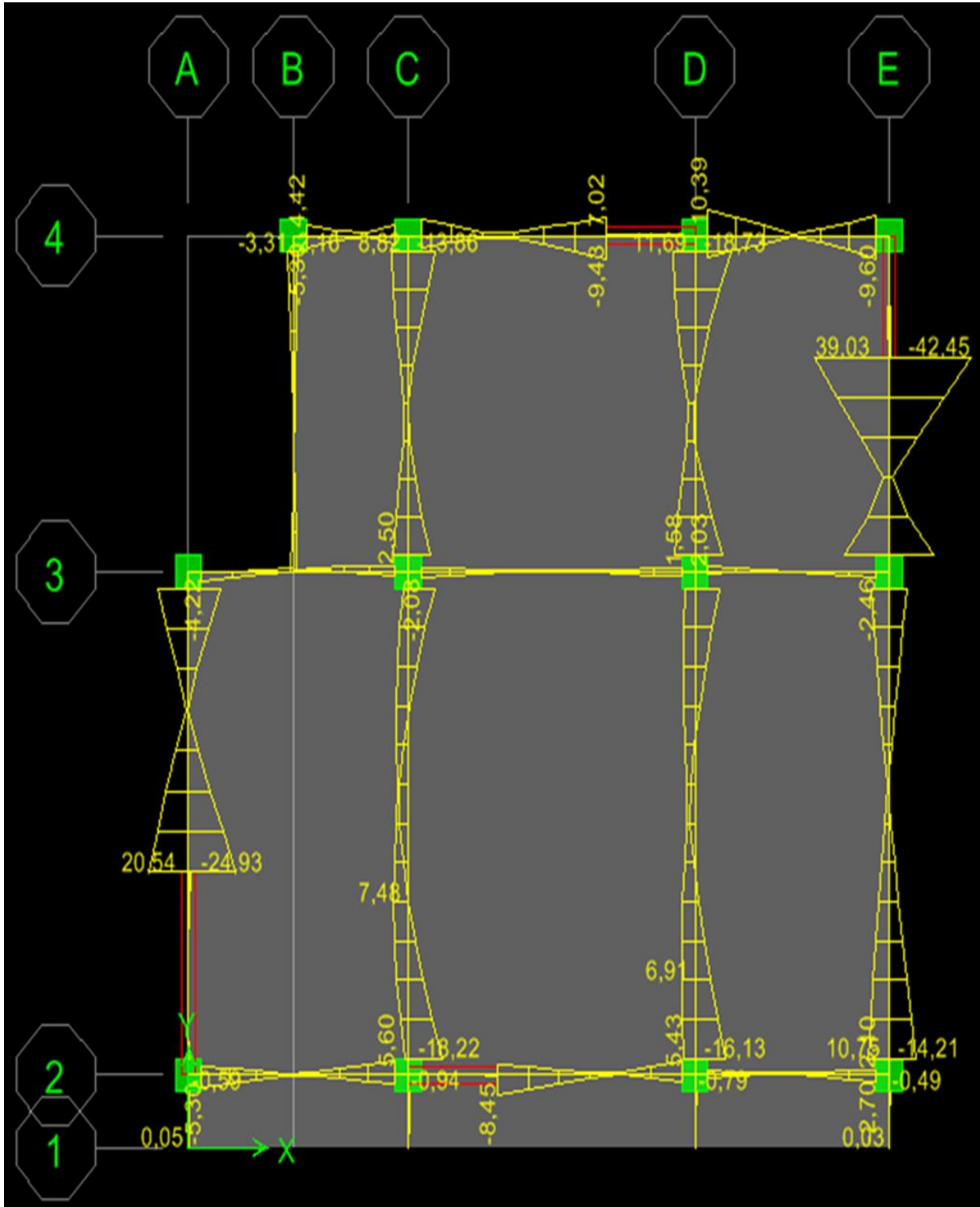


Fig.29 : diagramme des moments

IV-3-3-l'effort normal réduit pour le dimensionnement des poteaux :

$$v = \frac{N}{(axb)f_{c28}} \leq 0.3$$

Pour un poteau de 40X40	Cas n1	Cas n2	Cas n3	Cas n4
Effort normal réduit V	0.29 C.V	0.31 C.NV	0.32 C.NV	0.37 C.NV
DIMENSION DU POTEAU	40X40	40X45	40X45	45X45

IV-3-4-ferraillage des poutres principales :

	Cas n1	Cas n2	Cas n3	Cas n4
P.P 30X50 SAN VOILE	AS calculer :7.17cm ² As adopter :8.01cm ²	AS calculer7.52cm ² AS adopter8.01	AS calculer7.92cm ² AS adopter8.01cm ²	AS calculer8.73cm ² AS adopter9.23cm ²
P.P 30X50 AVEC VOILE	AS calculer16.1cm ² AS adopter16.67cm ²	AS calculer17.94cm ² AS adopter18.09cm ²	AS calculer19.94cm ² AS adopter21.48cm ²	AS calculer23.29cm ² AS adopter24.87cm ²
FERRAILLAGE ADOPTER	3T16 3T16 3T14	3T16 3T16 3T16	3T20 3T16 3T16	3T20 3T20 3T16

IV-3-5-ferraillage des voiles

VOILE	Cas n1	Cas n2	Cas n3	Cas n4
e =0.20m l=2.30m h=4.08m	AS calculé :43cm ² As adopté :44.18cm ²	AS calculer46.26cm ² AS adopter48.26	AS calculer49.55cm ² AS adopter56.30cm ²	AS calculer54.56cm ² AS adopter56.30cm ²

IV-3-6-Interprétation des résultats :

On observe que la pénalisation totale d'une structure(Q=1,35) augmente le ferraillage Par rapport à une structure normale (Q=1) de 27% au niveau des voiles et de 45% au niveau des poutres principales ce qui est trop élevé du point de vue économique

IV-3-7-RECOMMANDATIONS

Quand on impose un style de construction spécifique qui doit être respecté par les constructeurs, des pénalités comme les conditions minimales sur les files de contreventement, régularité en plan et en élévation peuvent être annulées car elles sont contrôlables préalablement contrairement aux pénalités liées aux qualité des matériaux ou ceux de la bonne exécution qui peuvent également être levées car elles sont souvent difficiles à contrôler.

IV-3-8- CONCLUSION

Le législateur algérien vise, à travers l'introduction du coefficient de qualité dans le calcul de la force sismique, à améliorer les performances des bâtiments antisismiques d'une part, et d'autre part, à créer une marge de sécurité pour éviter d'éventuelles erreurs lors de la processus de conception ou de construction, mais ces soucis peuvent conduire à un excès de ferrailage, ce qui entraîne des pertes économiques considérables au regard des programmes envisagés, qui avoisinent le million de logements.

V -CONCLUSION GENERAL

Quelques soient les règlements et les textes, ils n'atteindront pleinement leur objectif de réduction de dégâts en cas de séismes que si le contrôle de la conception des ouvrages, de la qualité et de la mise en œuvre des matériaux, par toutes les parties concernées par l'acte de bâtir, s'exécute dans le plus grand respect des spécifications techniques.

En effet, les normes parasismiques sont édictées pour garantir que les bâtiments sont construits avec des matériaux et des méthodes de construction qui répondent aux exigences minimales en matière de résistance aux séismes. La conception et la construction des bâtiments sont également des facteurs clés qui peuvent influencer la résistance d'un bâtiment aux séismes.

Les professionnels du bâtiment doivent donc veiller à respecter les normes parasismiques et à adopter des pratiques de construction appropriées pour renforcer la résistance des structures.

Enfin, l'étude des mécanismes de réponse des structures aux séismes peut permettre de mieux comprendre les forces en jeu et de développer des stratégies de construction qui améliorent la résistance des bâtiments aux séismes. Cette compréhension peut également aider à développer des solutions pour renforcer la sécurité des structures existantes dans les zones sismiques.

REFERANCES

- [1] Règles Parasismiques Algériennes (RPA99/version 2003), Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique, Algérie. ([Https://www.confinedmasonry.org](https://www.confinedmasonry.org))
- [2] Bachir Kebaili (Université de Annaba –Badji Mokhtar) Etude critique des règles parasismiques Algériennes RPA 99 version 2003 June 2009, Conférence : Premier Symposium Méditerranéen de Géoengineering SMGE'09, Alger 20 et 21 juin 2009 (<https://www.researchgate.net>)
- [3] Wikipédia l'encyclopédie <https://fr.wikipedia.org>
- [4] Pierino Lestuzzi , Marc Badoux Livre génie parasismique Conception et dimensionnement des bâtiments
- Chapitre 1 (1.3.1 - Les séisme) publié sur<http://www2.ggl.ulaval.ca/> site officiel de l'université LAVAL Faculté des sciences et de génie Québec, CANADA
- [5] <https://www.france24.com/>
- [6] Centre De Recherche En Astronomie Astrophysique Et Géophysique (CRAAG), Bouzareah Alger Algérie, Disponible sur (<http://www.craag.dz>), (consulté le 01/05/2023)
- [7] <https://www.larousse.fr/encyclopedie/images>
- [8] Agence France-Presse à Genève 3 août 2022
- [9] <http://www.afps-seisme.org>
- [10] Centre Pyrénéen des Risques Majeurs, Maison de la Connaissance du Risque Sismique 59 avenue Francis Lagardère 65 100 LOURDES (<https://www.c-prim.org/>)
- [13] Pascal Bernard, de l'Institut de physique du globe de Paris, joint par Europe1.fr
- [14] <https://www.alamy.com/>
- [15] Image Quickbird,digital globe le 28 décembre 2004
- [16] <https://www.afp.com>
- [17] Morphart Creation/ Shutterstock.com
- [18] <https://nimareja.fr/23-janvier-1556> Séisme de Shaanxi (Chine) en 1556
- [19] <https://www.lefigaro.fr>

[20] <https://www.sudouest.fr>

[21] Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires français
<https://www.ecologie.gouv.fr/tremblements-terre-et-seismes-en-france>

[22] <https://fnh.ma/article/actualite-economique/code-parasismique>

[23] Mémoire de KHODJA Smail et TORKI Dinar université Mohamed Boudiaf - m'sila (comparaison du code RPA avec des codes étrangers (focalisée sur certains points importants))

[24] Mémoire Master Académique de ARIBI Messaoud Université Mohamed Boudiaf - m'sila (contribution a l'amélioration des règles parasismiques Algériennes)

[25] L. ZEGHICHI, Université de M'sila, A. MERZOUGUI, Ingénieur en génie civil. & B. MEZGHICHE, Maître de conférences -Université de Biskra, LECTURE DANS LE REGLEMENT PARASISMIQUE ALGERIEN, Courrier du Savoir – N°06, Juin 2005, pp.67-69 (<http://www.webreview.dz>)

[26] <https://e-cours.univ-paris1.FRANCE>

[27] <https://www.expertisol.fr/post/blog-bient>

[28] BOULAOUAD A.Rachid, Cours génie parasismique , Université de M'sila (Document interne).

[29] Règles Parasismiques Algériennes (RPA81 version 1983), Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique, Algérie.

[30] Règles Parasismiques Algériennes (RPA 88), Centre National de Recherche Appliquée en Génie

Parasismique, Algérie.

[31] Règles Parasismiques Algériennes (RPA99), Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique, Algérie

[32] Confined Masonry training@confinedmasonrytraining7417

LISTES DES FIGURES

Fig1 : Sismographe moderne

Fig.2 : Les plaques tectoniques du globe terrestre

Fig.3 : Mouvement des plaques [3]

Fig.4 : Schéma d'un volcan

Fig.5 : L'Explosions du port de Beyrouth au Liban

Fig.6 : Les caractéristiques d'un séisme

Fig.7 les dégâts du Séisme de Valdivia (Chili) en 1960

Fig.8 : Séisme et tsunami de Sumatra (Indonésie) en 2004

Fig.9 : Séisme de Tohoku (Japon) en 2011

Fig.10 : Séisme de Lisbonne (Portugal) en 1755

Fig.11 : Séisme de Shaanxi (Chine) en 1556

Fig12 :Séisme de San Francisco (États-Unis) en 1906

Fig13 :Séisme de Kobe (Japon) en 1995

Fig.14 :irrégularité en plan

Fig.15 : Irrégularité en élévation

Fig.16 : Conditions minimales sur les files de contreventement

Fig.17 : Système de voiles

Fig.18 : Limites des décrochements en plan

Fig.19 et 20 :Discontinuité des éléments porteurs

Fig.21 : Limites des décrochements en élévation

Fig.22 : démentions du bâtiment

Fig.23 :Vue en 3D de la structure

Fig.24 :Vue en plan de la structure

Fig.25 : spectre du cas N°1 (Q=1)

Fig.26 : spectre du cas N°1 (Q=1,10)

Fig.27 : spectre du cas N°1 (Q=1,20)

Fig.28 : spectre du cas N°1 (Q=1,35)

Fig.29 : diagramme des moments