

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة محمد بوضياف المسيلة
Université Mohamed Budiaf - M'sila

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT : GENIE CIVIL
N° :



FILIERE : GENIE CIVIL
OPTION : STRUCTURES

**Mémoire présenté pour l'obtention
du Diplôme de Master Académique**

Par: **Khalfallah Assam**

**Comparaison de la nouvelle version du
code RPA (2024) avec la version
antérieure (2003)**

Intitulé:

Soutenu devant le jury composé de:

Mr Hamitouche AmarUniversité MdBoudiaf M'sila Président
Mr Bouguerra KheireddineUniversité MdBoudiaf M'sila Examinateur
Mr Boulaouad AbderrachidUniversité Md Boudiaf M'sila Rapporteur

Année universitaire : 2024/2025

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِيْمِ
اللّٰهُمَّ اكْبِرْ
اللّٰهُمَّ اكْبِرْ
اللّٰهُمَّ اكْبِرْ

١٤٣٨

Remerciements

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

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

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

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

Je souhaite également remercier mes collègues de promotion pour leur soutien moral et leur collaboration.

Un merci spécial à ma famille pour leur encouragement indéfectible.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Votre soutien a été une source de motivation continue.

Dédicace

À tous ceux qui ont veillé pour moi... à ceux qui ont sacrifié leurs biens les plus précieux pour que je puisse atteindre ce jour...

À mes parents adorés, qui m'ont apporté un soutien et des encouragements inestimables tout au long de mon parcours scolaire. À ma mère, qui a été comme une bougie éclairant mon chemin. À mon père, qui m'a appris la patience et la persévérance.

À mon frère, mon soutien, à mes sœurs et à mes proches qui m'ont soutenu dans les moments difficiles comme dans les moments heureux. À mon petit prince, à tous ceux qui ont cru en moi et m'ont encouragé lorsque je doutais de mes capacités.

Enfin, à moi-même, qui a surmonté les difficultés et relevé les défis pour atteindre cet accomplissement. Cette remise de diplôme marque le début d'un nouveau chemin rempli de réalisations et de rêves.

Un grand merci à chacun, nommément.

Je vous souhaite une réussite et un bonheur continus à chaque pas que vous franchirez. Que Dieu continue de vous bénir et de vous donner la force de réaliser vos rêves et vos ambitions. Je demande à Dieu de bénir votre temps et votre travail, et de vous accorder santé et bien-être en permanence. Puissiez-vous toujours bénéficier de la protection et de la complaisance de Dieu, et qu'il vous accorde le meilleur.

Assam khalfallah

Table des matières

Remerciements	(4)
Dédicace	(5)
Résumé:	(10)
Abstract:	(10)
Introduction générale	(13)
Objectifs du mémoire	(13)
Méthodologie	(14)
Structure du document	(14)
 Chapitre 1: Contexte et historique des règles parasismiques en Algérie		
1.1 La sismicité en Algérie	(17)
1.2 Origine des RPA et évolutions successives	(18)
1.3 Objectifs fondamentaux des RPA	
1.4 Leçons tirées des grands séismes	(19)
1.5 Bilan	(19)

Chapitre 2: Présentation technique du RPA 99 (version 2003)

2.1 Contexte d'élaboration

..... (21)

2.2 Objectifs généraux

..... (21)

2.3 Structure du document

..... (21)

2.4 Zonage sismique

..... (22)

2.5 coefficient d'accélération de zone (A)

..... (24)

2.6 Classification des sites (S)

..... (24)

2.7 Classification des bâtiments

..... (25)

2.8 Méthodes de calcul

..... (27)

2.9 Spectre de reponse

..... (28)

2.10 Facteur de comportement R

..... (28)

2.11 Facteur de la qualite Q

..... (30)

2.12 Formule de base

..... (30)

2.13 Dispositions constructives minimales

..... (31)

Conclusion

.....(31)

Chapitre 3: Analyse détaillée du RPA 2024

3.1 Contexte de la révision

.....(33)

3.2 Objectifs spécifiques du RPA 2024

.....(33)

3.3 Structure du document

.....(34)

3.4 Nouveau zonage sismique

.....(34)

3.5 Classification des sites

.....(37)

3.6 Classification des bâtiments

.....(37)

3.7 Spectre de réponse élastique horizontal

.....(40)

3.8 Coefficient de comportement R

.....(43)

3.9 Méthodes de calcul

.....(45).

3.10 Effets verticaux

.....(46)

3.11 Isolation sismique

.....(47)

3.12 Éléments non structuraux

.....(47)

3.13 Coefficients et formules actualisées

.....	(47)
3.14 Dispositions constructives renforcées	
.....	(48)
Conclusion	
.....	(49)
Chapitre 4: Analyse comparative des RPA 99 et RPA 2024	
4.1 Introduction	
.....	(51)
4.2 Axes de comparaison	
.....	(51)
4.3 Comparaison globale	
.....	(52)
4.4 Analyse détaillée	
.....	(52)
4.4.1 Zonage sismique	
.....	(53)
4.4.2 Méthodes de calcul	
.....	(53)
4.4.3 Isolation sismique	
.....	(53)
4.4.4 Éléments non structuraux	
.....	(54)
4.4.5 Philosophie de conception par performance	
.....	(54)
4.4.6 Exigences constructives et vérifications	
.....	(55)
Synthèse critique	
.....	(55)

Conclusion

..... (56)

Chapitre 5: Étude de cas – Application à un immeuble

R+4

5.1 Présentation du projet

..... (58)

5.2 Hypothèses de calcul

..... (59)

5.3 Calcul selon RPA 99

..... (59)

5.3.1 Calcul selon RPA 2024

..... (60)

5.4 spectres de réponse

..... (61)

5.5 Comparaison des résultats

..... (62)

5.6 Analyse critique

..... (63)

Conclusion

..... (63)

Chapitre 6 : Conclusion générale et recommandations

6.1 Synthèse des apports

..... (65)

6.2 Recommandations pratiques

..... (65)

6.3 Perspectives

..... (65)

Mot de la fin

.....(66)

Bibliographie

..... (66)

ملخص:

يعمل هذا البحث على المقارنة بين القوانين الجزائرية القديمة (RPA 2003) والحديثة (RPA 2024) بهدفتقييم أوجه التشابه والاختلاف بين هذه القوانين من حيث التصميم والحساب والسلامة ضد الزلازل. وقد بينت المقارنة النوعية والكمية أن الصيغة الحديثة لهذه القوانين هي أفضل رغم أنها لا تزال تحتاج إلى مراجعة من أجل تكميلها الناقص.

Résumé:

Cette recherche vise à comparer les anciens codes sismiques algériens (RPA 2003) et le nouveau (RPA 2024) afin d'évaluer les similitudes et les différences entre ces codes en termes de conception, de calcul et de sécurité sismique. La comparaison qualitative et quantitative a révélé que la nouvelle version de ces codes est meilleure, même si elle doit encore être révisée pour corriger ses lacunes.

Abstract:

This research aims to compare the old version (RPA 2003) and the latest one (RPA 2024) of the seismic Algerian code. The goal is to evaluate the similarities and differences between these laws in terms of design, calculation, safety, and the integrity of structures against earthquakes. The qualitative and quantitative comparison shows that the latest version is more efficient, although it still needs to be revised to fill in any gaps.

LISTE DES TABLEAUX:

Tableau (1) : zonagesismiqueselon RPA 2003

Tableau (2) : coefficient d'accelerationselon RPA 2003

Tableau (3) : classification des sites selon RPA 2003

Tableau (4) : coefficient de comportementselon RPA 2003

Tableau (5) : facteur de la qualite selon RPA 2003

Tableau (6) : zonage sismique et coefficient d'accélération selon RPA 2024

Tableau (7) : classification des sites selon RPA 2024

Tableau (8) : Valeurs des coefficients d'importance selon RPA 2024

Tableau (9) : Valeurs des paramètres décrivant les spectres de réponse élastique de type 1

Tableau (10) : Valeurs des paramètres décrivant les spectres de réponse élastique de type 2

Tableau (11) : valeurs de coefficient de comportement selon RPA 2024

Tableau (12) : Approche par performance

Tableau (13) : comparaison globale selon RPA 2003 et RPA 2024

Tableau (14) : comparaison des méthodes des calcul

Tableau (15) : comparaison de hypothèses des calcul

Tableau (16) : répartition vertical de la force

Tableau (17) : comparaison des résultats

LISTE DES FIGURES:

Fig (1) : Carte de zonage sismique

Fig (2) : La règle de spectre de réponse RPA 2003

Fig (3) : Nouveau zonage sismique

Fig (4) : Spectre de réponse élastique horizontal

Fig (5) : Spectres de réponse élastique de type 1 et de type 2

Fig (6) : La règle de spectre de réponse RPA 2024

Fig (7) : Spectres de calcul RPA (2003/2024)

Introduction

L'Algérie, positionnée à l'extrême nord de la plaque africaine, occupe l'une des régions les plus actives sismiquement du bassin méditerranéen. La collision continue entre la plaque africaine et la plaque eurasienne se manifeste par une série de failles majeures qui traversent les wilayas septentrionales, provoquant régulièrement des tremblements de terre plus ou moins dévastateurs. Parmi ceux-ci, les séismes d'El Asnam en 1980 et de Boumerdès en 2003 restent gravés dans les mémoires, tant par l'ampleur des dégâts que par le nombre de victimes. Plus récemment, les secousses de Mila (2020) et de Béjaïa (2022) ont rappelé l'urgence de renforcer notre dispositif de prévention.[5]

C'est dans ce contexte que le Règlement Parasismique Algérien (RPA) a vu le jour en 1981. Conçu pour encadrer la conception et l'exécution des ouvrages, il a fait l'objet de plusieurs révisions majeures : 1988, 1999, et enfin 2024. Chaque version a tiré profit des enseignements laissés par les catastrophes passées et des avancées scientifiques internationales : du simple repérage des zones à risque (RPA 88) à l'approche par performance structurale et à l'isolation sismique (RPA 2024).

Objectifs du mémoire

Ce mémoire se propose de :

1. Décrire en détail les deux versions clés du RPA, à savoir le RPA 99 (version 2003) et le RPA 2024.
2. Comparer leurs méthodes de calcul, leurs exigences techniques et leurs ambitions en termes de sécurité.
3. Appliquer ces deux règlements à un même cas d'étude — un immeuble résidentiel R+4 — pour mettre en lumière les différences de dimensionnement et de performance.
4. Analyser l'impact de ces évolutions normatives sur la pratique quotidienne des ingénieurs en génie civil en Algérie.

Méthodologie

Le travail s'articule selon trois axes :

- Un état de l'art sur la sismicité algérienne et l'historique des RPA.
- Une étude comparative théorique des deux versions du règlement.
- Une application pratique sur un projet concret (immeuble R+4), incluant calculs, modélisation et interprétation des résultats.

Structure du document

Le mémoire se déploie en six parties :

1. Contexte et historique des règles parasismiques en Algérie.
2. Présentation technique du RPA 99 (version 2003).

3. Analyse détaillée du RPA 2024.
4. Analyse comparative des deux règlements.
5. Étude de cas : application à un immeuble R+4.
6. Conclusion générale et recommandations.

Chapitre 1 : Contexte et historique des règles parasismiques en Algérie

1.1 La sismicité en Algérie

La façade Nord de l'Algérie est jalonnée de failles actives témoignant de la convergence des plaques Afro-Eurasiennes. Les études récentes (Institut National de Géophysique, 2023) montrent que la région connaît en moyenne chaque décennie plusieurs séismes de magnitude supérieure à 6, dont les centres se situent à moins de 50 km des grandes agglomérations (Alger, Oran, Constantine). Le séisme d'El Asnam du 10 octobre 1980, d'une magnitude de 7,3, a rasé plus de 90 % des constructions anciennes et causé plus de 2 600 morts.

Lors du tremblement de terre de Boumerdes du 21/05/2003 de magnitude 6.8, il a été constaté qu'une grande partie des ouvrages auraient puré si certains principes élémentaires du génie parasismique avaient été respectés. Plus discrets mais tout aussi instructifs, les tremblements de terre de Beni Ilmane en 2010 (magnitude 5.2), Mila en 2020 (magnitude 4.5) et Béjaïa en 2022 (magnitude 5.5) ont démontré que même les séismes d'intensité modérée peuvent avoir des effets sérieux sur les constructions modernes mal conçues.

L'annexe H des RPA 2024 donne une liste assez détaillée des séismes notables (dommageables ou fortement ressentis) en

Algérie depuis 1365.

1.2 Origine des RPA et évolutions successives

- RPA 81 : première mouture publiée en 1981, largement inspirée des normes françaises PS69 et d'une approche empirique. Elle proposait une classification sommaire en zones sismiques (0 à III) mais sans méthode de calcul standardisée.
- RPA 88 : enrichie par les retours d'expérience des séismes de la décennie, elle introduit pour la première fois une carte de zonage précise, un coefficient de comportement et une classification par catégories d'importance (habitation, hôpital, ouvrage stratégique).
- RPA 99 : promulgué en 2003, après le séisme de Boumerdès (6,8 de magnitude, plus de 2 200 morts), il structure le calcul sismique autour d'une méthode modale spectrale et d'un tableau de coefficients sismiques (A, S, I, R).[1]
- RPA 2024 : fruit de vingt années de recul, il affine le zonage à sept niveaux de risque, intègre les accélérogrammes réels, impose l'analyse par performance et consacre un chapitre complet à l'isolation sismique et à la protection des éléments non structuraux.[2] **1.3 Objectifs fondamentaux des RPA** Les RPA visent avant tout à :
 - Préserver la vie humaine en réduisant le risque d'effondrement.

- Assurer une fonctionnalité minimale des infrastructures critiques (hôpitaux, casernes, stations de pompage).
- Uniformiser les pratiques de conception et de vérification.
- Servir de référence juridique lors de l’instruction des permis de construire et des expertises post-sismiques.

1.4 Leçons tirées des grands séismes

Chaque séisme majeur a poussé à la refonte de la norme :

- El Asnam 1980 → naissance du RPA.
- Boumerdès 2003 → passage du RPA 88 au RPA 99.
- Secousses post-2010 → nécessité d’améliorer la formation, la qualité des matériaux et les contrôles en chantier.

1.5 Bilan

L’évolution des RPA illustre une progression constante : d’un simple repérage des zones à risque à une approche globale de la performance des ouvrages. Le RPA 2024 s’inscrit pleinement dans la lignée des Eurocodes, avec un niveau d’exigence en phase avec les meilleures pratiques internationales.

Chapitre 2 : Présentation technique du RPA 99 (version 2003)

2.1 Contexte d'élaboration

À la suite du seismetragique de boumerdes (mai 2003) , les autorités algériennes ont souhaité renforcer et systématiser la démarche parasismique.

Publié officiellement en 2003, le RPA 99 constitue la première norme structurée autour de méthodes de calcul modernes, s'appuyant sur les pratiques de l'époque

(UBC américain, PS92 français) tout en les adaptant aux spécificités géotechniques et sismiques de notre pays.

2.2 Objectifs généraux

Le RPA 99 poursuit plusieurs finalités :

- **Sécurité** : établir un socle minimal garantissant la résistance des bâtiments face à un séisme de référence.
- **Clarté** : proposer un document technique accessible à tous les ingénieurs et bureaux d'études.
- **Uniformité** : harmoniser les pratiques de conception et de vérification à l'échelle nationale.
- **Évolution** : servir de base à de futures mises à jour en intégrant les retours d'expérience.

2.3 Structure du document

Le règlement s'organise en dix chapitres principaux :

- 1. Généralités et définitions**
- 2. Zonage sismique**
- 3. Classification des bâtiments par importance**
- 4. Actions sismiques**
- 5. Méthodes de calcul**
- 6. Comportement des structures**
- 7. Structures en béton armé**
- 8. Structures métalliques**
- 9. Structures en maçonnerie**
- 10. Dispositions constructives**

2.4 Zonage sismique

Le territoire algérien est découpé en quatre zones (0 à III) selon le niveau de risque :

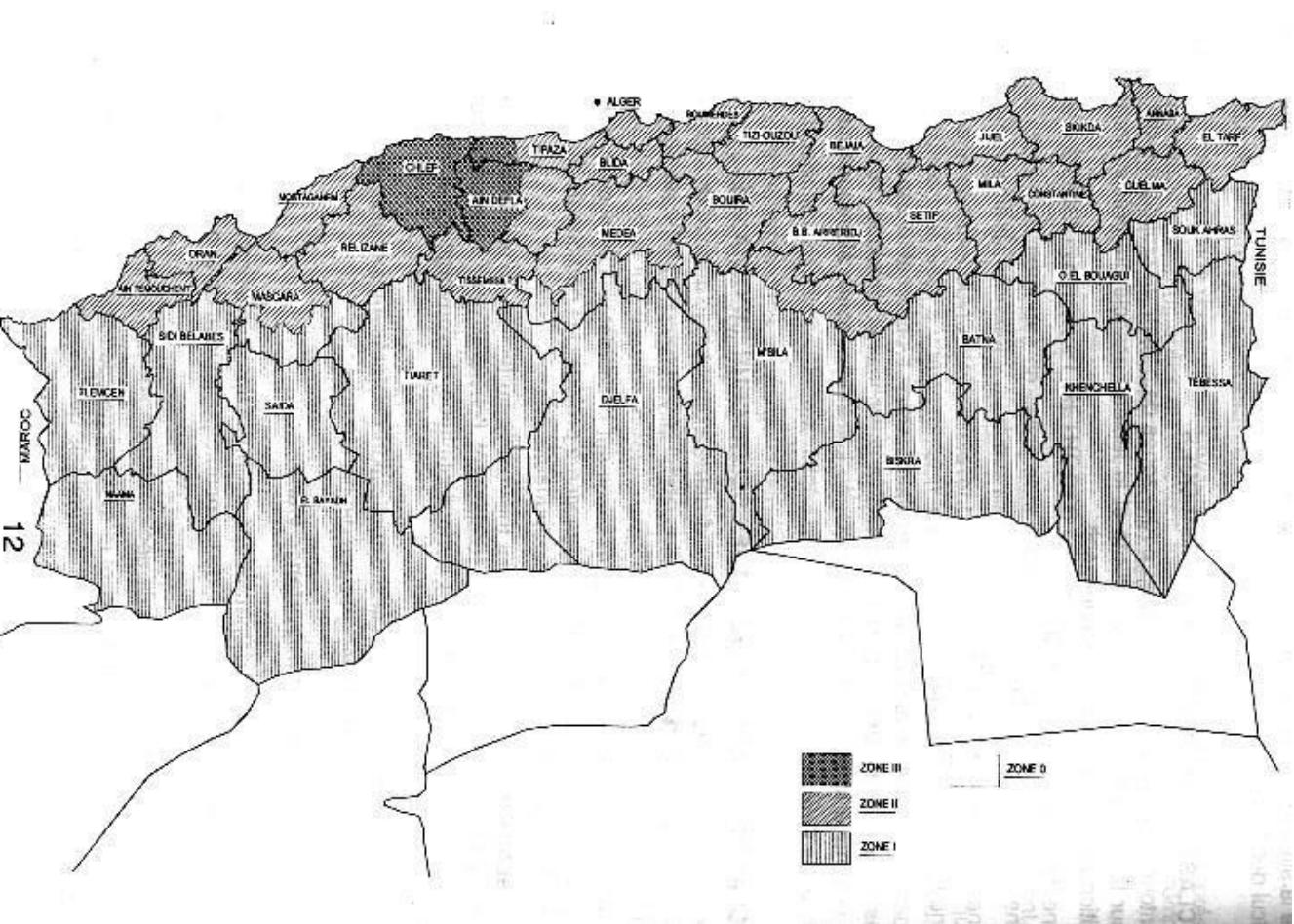


Fig (1) : Carte de zonagesismique

Zone	Description

0	Non sismique
I	Faible sismicité
II	Moyenne sismicité
III	Forte sismicité

Tableau (1) : Description des zones sismiques

2.5 coefficient d'accélération de zone (A)

Groupe	Zone		
	I	II	III
1A	0,12	0,25	0,35
1B	0,10	0,20	0,30
2	0,08	0,15	0,25
3	0,05	0,10	0,15

Tableau (2) : coefficient d'accélération

2.6 Classification des sites (S)

Catégorie	Description	q _c (MPA) (c)	N (d)	p _l (MPA) (e)	E _p (MPA) (e)	q _u (MPA) (f)	V _s (m/s) (g)
S ₁	Rocheux (a)	-	-	>5	>100-	>10	≥800

S₂	Ferme	>15	>50	>2	>20	>0.4	≥400 - < 800
S₃	Meuble	1.5 ~ 15	10 ~ 50	1 ~ 2	5 ~ 20	01 ~ 0.4	≥200 - < 400
S₄	Très Meuble ou Présence de 3m au moins d'argile molle (b)	<1.5	<10	<1	<5	<0.1	≥100 <200

Tableau (3) : Classification des sites

2.7 Classification des bâtiments

Une catégorie d'importance est attribuée selon la destination de l'ouvrage .
[1] :

Groupe 1A : Ouvrages d'importance vitale

- Ouvrages vitaux qui doivent demeurer opérationnels après un séisme majeur pour les besoins de la survie de la région, de la sécurité publique et de la défense nationale, soit:
 - Bâtiments abritant les centres de décisions stratégiques
 - Bâtiments abritant le personnel et le matériel de secours et (ou) de défense nationale ayant un caractère opérationnel tels que casernes de pompiers, de police ou militaires, parcs d'engins et de véhicules d'intervention d'urgence et de secours
 - Bâtiments des établissements publics de santé tels que les hôpitaux et centres dotés de services des urgences, de chirurgie et d'obstétrique.
 - Bâtiments des établissements publics de communications tels que les centres de télécommunications, de diffusion et

de réception de l'information (radio et télévision), des relais hertziens, des tours de contrôle des aéroports et contrôle de la circulation aérienne.

- Bâtiments de production et de stockage d'eau potable d'importance vitale
- Ouvrages publics à caractère culturel, ou historique d'importance nationale
- Bâtiments des centres de production ou de distribution d'énergie, d'importance nationale
- Bâtiments administratifs ou autre devant rester fonctionnels en cas de séisme

Groupe 1B : Ouvrages de grande importance

- *Ouvrages abritant fréquemment de grands rassemblements de personnes*
 - Bâtiments recevant du public et pouvant accueillir simultanément plus de 300 personnes tels que grande mosquée, bâtiments à usage de bureaux, bâtiments industriels et commerciaux, scolaires, universitaires, constructions sportives et culturelles, pénitenciers, grands hôtels.
 - Bâtiments d'habitation collective ou à usage de bureaux dont la hauteur dépasse 48 m.
- *Ouvrages publics d'intérêt national ou ayant une importance socio-culturelle et économique certaine.*
 - Bâtiments de bibliothèque ou d'archives d'importance régionale, musée, etc.
 - Bâtiments des établissements sanitaires autres que ceux du groupe 1A
 - Bâtiments de centres de production ou de distribution d'énergie autres que ceux du groupe 1A
 - Châteaux d'eau et réservoirs de grande à moyenne importance

Groupe 2 : Ouvrages courants ou d'importance moyenne

- Ouvrages non classés dans les autres groupes 1A, 1B ou 3 tels que :
 - Bâtiments d'habitation collective ou à usage de bureaux dont la hauteur ne dépasse pas 48 m.
 - Autres bâtiments pouvant accueillir au plus 300 personnes simultanément tels que, bâtiments à usage de bureaux, bâtiments industriels,...
 - Parkings de stationnement publics,...

Groupe 3 : Ouvrages de faible importance

- Bâtiments industriels ou agricoles abritant des biens de faibles valeurs.
- Bâtiments à risque limité pour les personnes
- Constructions provisoires

2.8 Méthodes de calcul

Le RPA 99 propose trois approches :

- **Méthode statique équivalente :**

Idéale pour les structures régulières, elle transforme l'action sismique en

forces horizontales réparties selon la masse des étages.

- **Méthode modale spectrale :**

Recommandée pour les bâtiments complexes ou irréguliers, elle

nécessite l'estimation des fréquences propres et l'utilisation d'un

spectre de réponse spécifié en annexe.

- **Méthode D'analyse Dynamique Par Accélérogrammes**

Par cette méthode, il est recherché pour chaque mode de vibration, le maximum des effets engendrés dans la structure par les forces sismiques représentées par un spectre de réponse de calcul. Ces effets sont combinés pour obtenir la réponse de la structure. [1]

2.9 Spectre de réponse

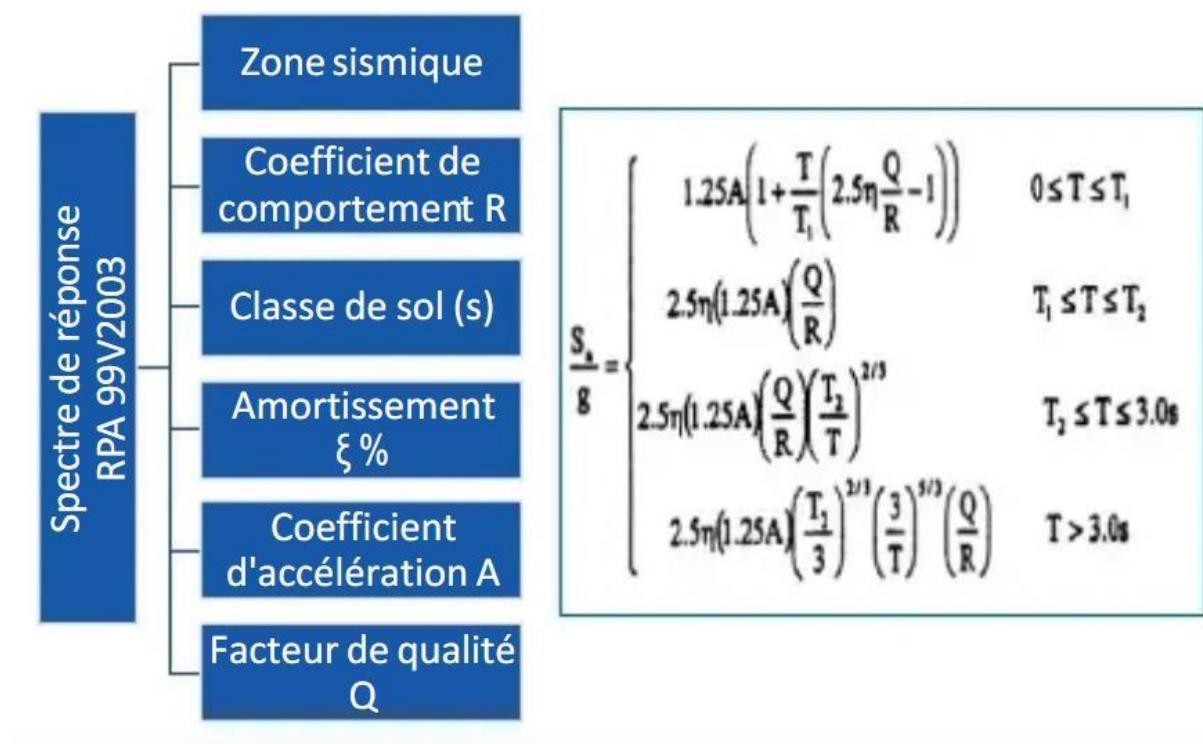


Fig (2) : La règle de spectre de réponse RPA 2003

Cat	Description du système de contreventement (voir chapitre III § 3.4)	Valeur de R
-----	---	-------------

2.10 Coefficient de comportement R

Sa valeur unique est donnée par le tableau en fonction du système

de contreventement tel que défini en

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

<u>A</u>	<u>Béton armé</u>	
1a	Portiques autostables sans remplissages en maçonnerie rigide	5
1b	Portiques autostables avec remplissages en maçonnerie rigide	3,5
2	Voiles porteurs	3,5
3	Noyau	3,5
4a	Mixte portiques/voiles avec interaction	5
4b	Portiques contreventés par des voiles	4
5	Console verticale à masses réparties	2
6	Pendule inverse	2
<u>B</u>	<u>Acier</u>	
7	Portiques autostables ductiles	6
8	Portiques autostables ordinaires	4
9a	Ossature contreventée par palées triangulées en X	4
9b	Ossature contreventée par palées triangulées en V	3
10a	Mixte portiques/palées triangulées en X	5
10b	Mixte portiques/palées triangulées en V Portiques en console verticale	4
11		2
<u>C</u>	<u>Maçonnerie</u>	
12	Maçonnerie porteuse chaînée	2,5
<u>D</u>	<u>Autres systèmes</u>	
13	Ossature métallique contreventée par diaphragme	2
14	Ossature métallique contreventée par noyau en béton armé	3
15	Ossature métallique contreventée par voiles en béton armé	3,5
16	Ossature métallique avec contreventement mixte comportant un noyau en béton armé et palées ou portiques métalliques en façades Systèmes comportant des transparencies (étages souples)	4
17		2

Tableau (4) : Coefficient de comportement

2.11 Facteur de la qualité Q

pour minimiser les efforts sismiques sur les structures
constituées exclusivement de voiles porteurs ou de structures
combinant portiques et voiles

Situation	Valeur de Q
Bâtiment régulier en plan et en élévation	1.0
Bâtiment présentant une irrégularité modérée	1.2
Bâtiment très irrégulier ou de qualité faible	1.4

Tableau (5) : Facteur de la qualité

2.12 Formule de base (statique)

La formule statique équivalente V est donnée par :

$$V = A D Q W / R. [1]$$

A : coefficient d'accélération de zone

D : facteur d'amplification dynamique moyen

$$D = 2.5\eta \text{ si } T \leq T_2. [1]$$

Q : facteur de qualité de la structure

R : coefficient de comportement global de la structure

W : poids sismique total

La méthode statique est autorisée seulement pour les structures régulières en plan et en élévation

2.13 Dispositions constructives minimales

Le dernier chapitre détaille :

- Les armatures minimales pour poteaux, poutres et voiles.
- Les longueurs de recouvrement et d'ancrage des barres.
- Les exigences pour les nœuds de jonction.
- Les espacements de cadres et les contreventements.

Conclusion :

Le RPA 99 a constitué un tournant grâce à l'introduction de calculs modaux et d'un zonage plus précis. Néanmoins, il reste limité par l'absence d'analyses dynamiques poussées, de prise en compte des effets verticaux, et d'exigences sur les éléments non structuraux.

Chapitre 3 : Analyse

détaillée du RPA 2024

3.1 Contexte de la révision

Après vingt ans de recul sur l’application du RPA 99 et forts des retours d’expérience issus des séismes de Boumerdès (2003), Mila (2020) et Béjaïa (2021–2022), les experts algériens ont entrepris une refonte complète du règlement. L’objectif était double : intégrer les avancées scientifiques internationales [3] [4] et répondre aux défis locaux (zonage affiné, accélérogrammes, isolation sismique)[2].

3.2 Objectifs spécifiques du RPA 2024

- **Performance structurale** : introduction d’une approche par performance garantissant un comportement post-sismique contrôlé.
- **Fenêtres dynamiques** : utilisation d’accélérogrammes réels ou artificiels pour une modélisation plus précise.
- **Isolation sismique** : chapitre dédié aux techniques de découplage bâtiment-sol.
- **Éléments non structuraux** : prescriptions détaillées pour la fixation et la protection des équipements et cloisons.
- **Zonage amélioré** : passage de 4 à 7 zones, avec des valeurs d’accélération allant de 0,05 g à 0,30 g.

3.3 Structure du document

Le RPA 2024 se compose de :

1. Généralités et définitions
2. Zonage sismique (7 zones)
3. Actions sismiques statiques et dynamiques
4. Méthodes de calcul (statique équivalente, modale, dynamique temporelle, pushover)
5. Isolation sismique
6. Prise en compte des effets verticaux
7. Comportement des éléments non structuraux
8. Dispositions constructives renforcées
9. Performance des structures (niveaux F, EC, PC)
10. Annexes techniques (accélérogrammes, protocoles de test)

3.4 Nouveau zonage sismique

Dans la nouvelle classification, l'Algérie compte désormais sept zones sismiques.[2]

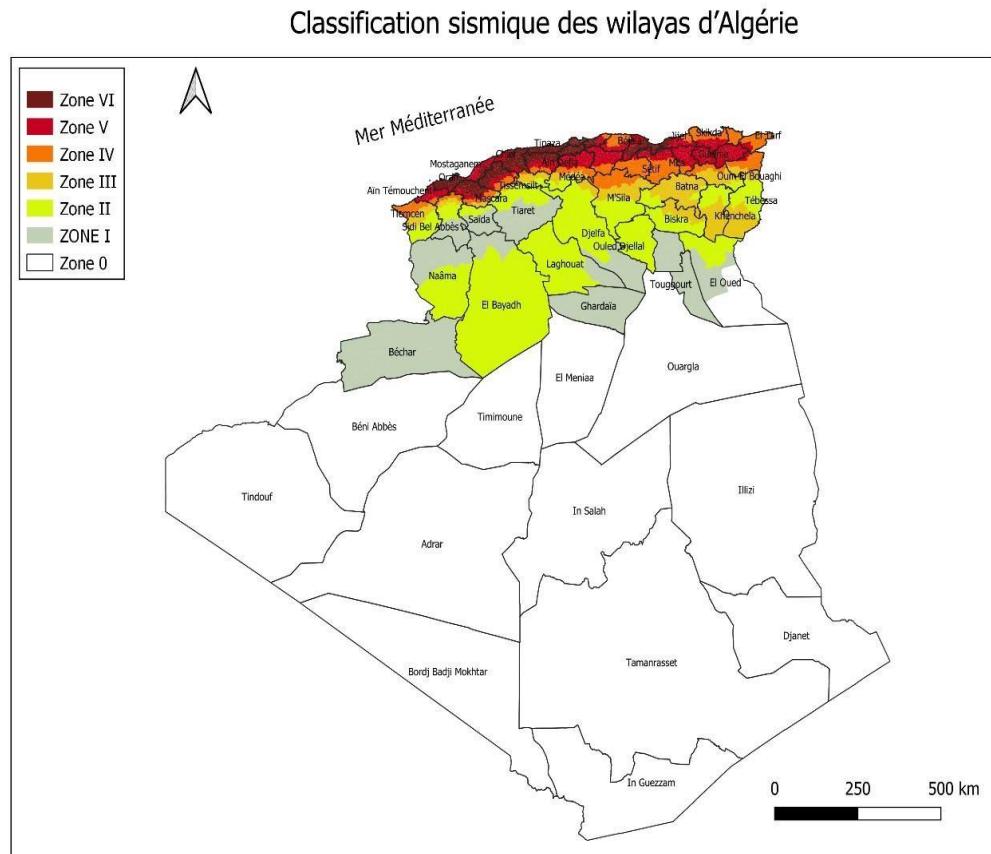
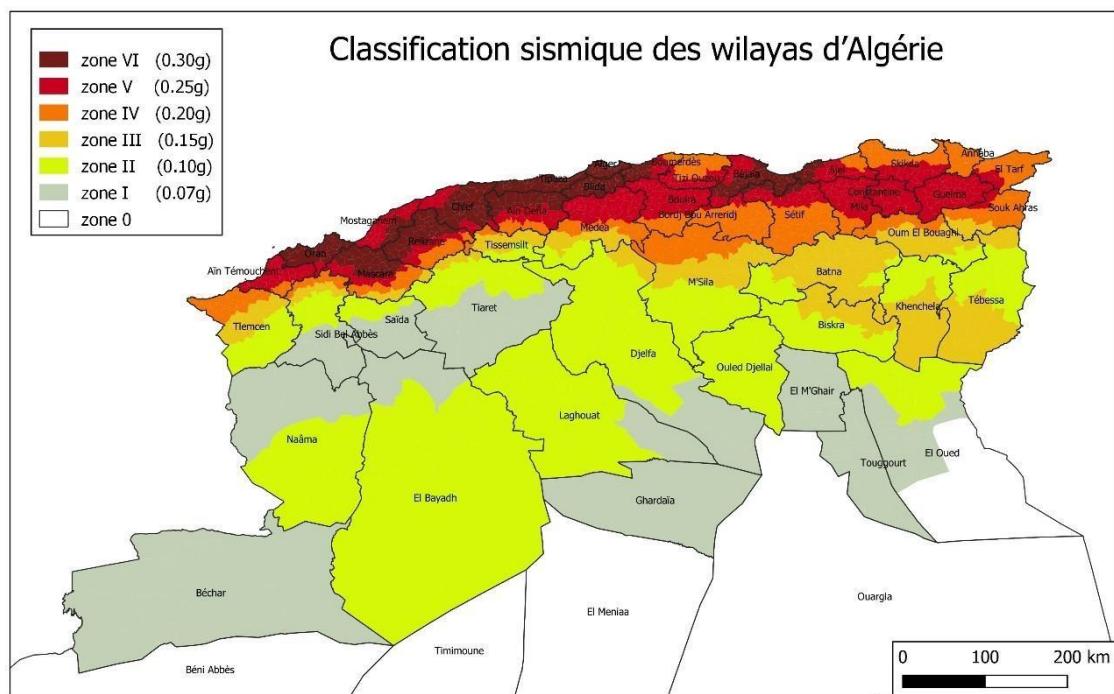


Fig (3) : Nouveau zonage sismique

Zone	Niveau de risque	Accélération (A)
0	Non sismique	0,00
I	faible	0,07
II	Faible à moyenne	0,10
III	Moyenne	0,15
IV	Moyenne à forte	0,20
V	Forte	0,25
VI	Très forte	0,30

Tableau (6) : Description des zones sismiques

3.5 Classification des sites

		<i>N30 Cu30 Rc30 Pl30 Ep30</i>					
□	Catégorie	<i>qc30</i>	(coups)	(MPa) (Mpa)		VS30	
	Description	(MPa)	(kPa)	(MPa)	(m/s)		
		(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
<i>S₁</i>	Rocheux (a)	/	/	/	>10	>5	>100 >800
<i>S₂</i>	Ferme	>15	>50	>100	0.4-10	2-5 100	20-100 360-800
<i>S₃</i>	Meuble	1.5-15	15-50	50-100	0.1-0.4	1-2 5-20	180-360
<i>S₄</i>	Très Meuble ou Présence de 3 m, au moins, d'argile molle (b)	<1.5	<15	<50	<0.1	<1	<5 <180
<i>S_s</i>	site nécessitant investigations approfondies et études spécifiques (cf. § 3.3.3)	/	/	/	/	/	/

Tableau (7) : Classification des sites

3.6 Classification des bâtiments

Une catégorie d'importance est attribuée selon la destination de l'ouvrage .[2] :

Groupe 1A : Ouvrages d'importance vitale

- Ouvrages vitaux qui doivent demeurer opérationnels après un séisme majeur pour les besoins de la survie de la région, de la sécurité publique et de la défense nationale, soit:
 - Bâtiments abritant les centres de décisions stratégiques
 - Bâtiments abritant le personnel et le matériel de secours et (ou) de défense nationale ayant un caractère opérationnel tels que casernes de pompiers, de police ou militaires, parcs d'engins et de véhicules d'intervention d'urgence et de secours
 - Bâtiments des établissements publics de santé tels que les hôpitaux et centres dotés de services des urgences, de chirurgie et d'obstétrique.
- Bâtiments des établissements publics de communications tels que les centres de télécommunications, de diffusion et de réception de l'information (radio et télévision), des relais hertziens, des tours de contrôle des aéroports et contrôle de la circulation aérienne.
- Bâtiments de production et de stockage d'eau potable d'importance vitale
- Ouvrages publics à caractère culturel, ou historique d'importance nationale
- Bâtiments des centres de production ou de distribution d'énergie, d'importance nationale
- Bâtiments administratifs ou autre devant rester fonctionnels en cas de séisme

Groupe 1B : Ouvrages de grande importance

- *Ouvrages abritant fréquemment de grands rassemblements de personnes*
 - Bâtiments recevant du public et pouvant accueillir simultanément plus de 300 personnes tels que grande mosquée, bâtiments à usage de bureaux, bâtiments industriels et commerciaux, scolaires, universitaires, constructions sportives et culturelles, pénitenciers, grands hôtels.

- Bâtiments d'habitation collective ou à usage de bureaux dont la hauteur dépasse 48 m.

- *Ouvrages publics d'intérêt national ou ayant une importance socio-culturelle et économique certaine.*
 - Bâtiments de bibliothèque ou d'archives d'importance régionale, musée, etc.
 - Bâtiments des établissements sanitaires autres que ceux du groupe 1A
 - Bâtiments de centres de production ou de distribution d'énergie autres que ceux du groupe 1A
 - Châteaux d'eau et réservoirs de grande à moyenne importance

Groupe 2 : Ouvrages courants ou d'importance moyenne

- Ouvrages non classés dans les autres groupes 1A, 1B ou 3 tels que :
 - Bâtiments d'habitation collective ou à usage de bureaux dont la hauteur ne dépasse pas 48 m.
 - Autres bâtiments pouvant accueillir au plus 300 personnes simultanément tels que, bâtiments à usage de bureaux, bâtiments industriels,...
 - Parkings de stationnement publics,...

Groupe 3 : Ouvrages de faible importance

- Bâtiments industriels ou agricoles abritant des biens de faibles valeurs.
- Bâtiments à risque limité pour les personnes
- Constructions provisoires

Groupe	Coefficient (I)
1A	1,4
2B	1,2
2	1
3	0,8

Tableau (8) : Coefficient (I)

3.7 Spectre de réponse élastique horizontal

Le spectre de réponse élastique normalisé par rapport à la valeur de l'accélération de la pesanteur (g), $\frac{\delta_a}{g}ae(T)$, pour les composantes horizontales de l'action sismique.

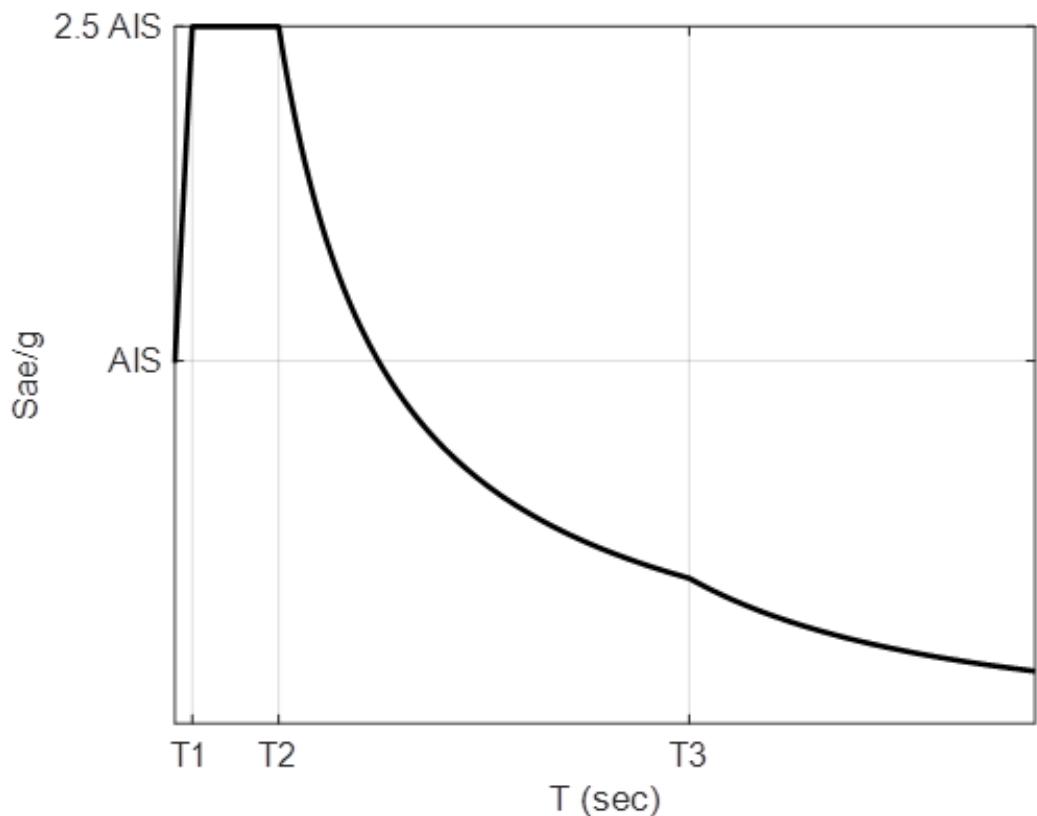


Fig (4) : Spectre de réponse élastique horizontal

Le spectre, selon la zone sismique, est de:

- Type 1 : appliqué aux zones sismiques IV, V et VI [2]
- Type 2 : appliqué aux zones sismiques I, II et III.[2]
- Pour les quatre classes de sol S_1 , S_2 , S_3 , et S_4 , les valeurs recommandées des paramètres S , T_1 , T_2 et T_3 sont données dans :

Spectre type 1 (Zones IV, V et VI)	S	T_1 (s)	T_2 (s)	T_3 (s)
site: S_1	1.00	0.10	0.40	2.0
site: S_2	1.20	0.10	0.50	2.0
site: S_3	1.30	0.15	0.60	2.0
site: S_4	1.35	0.15	0.70	2.0

Tableau (9) : Type 1

Spectre type 2 (Zones I, II et III)	S	T_1 (s)	T_2 (s)	T_3 (s)
site: S_1	1.00	0.05	0.25	1.20
site: S_2	1.30	0.05	0.30	1.20
site: S_3	1.55	0.10	0.40	1.20
site: S_4	1.80	0.10	0.50	1.20

Tableau (10) : Type 2

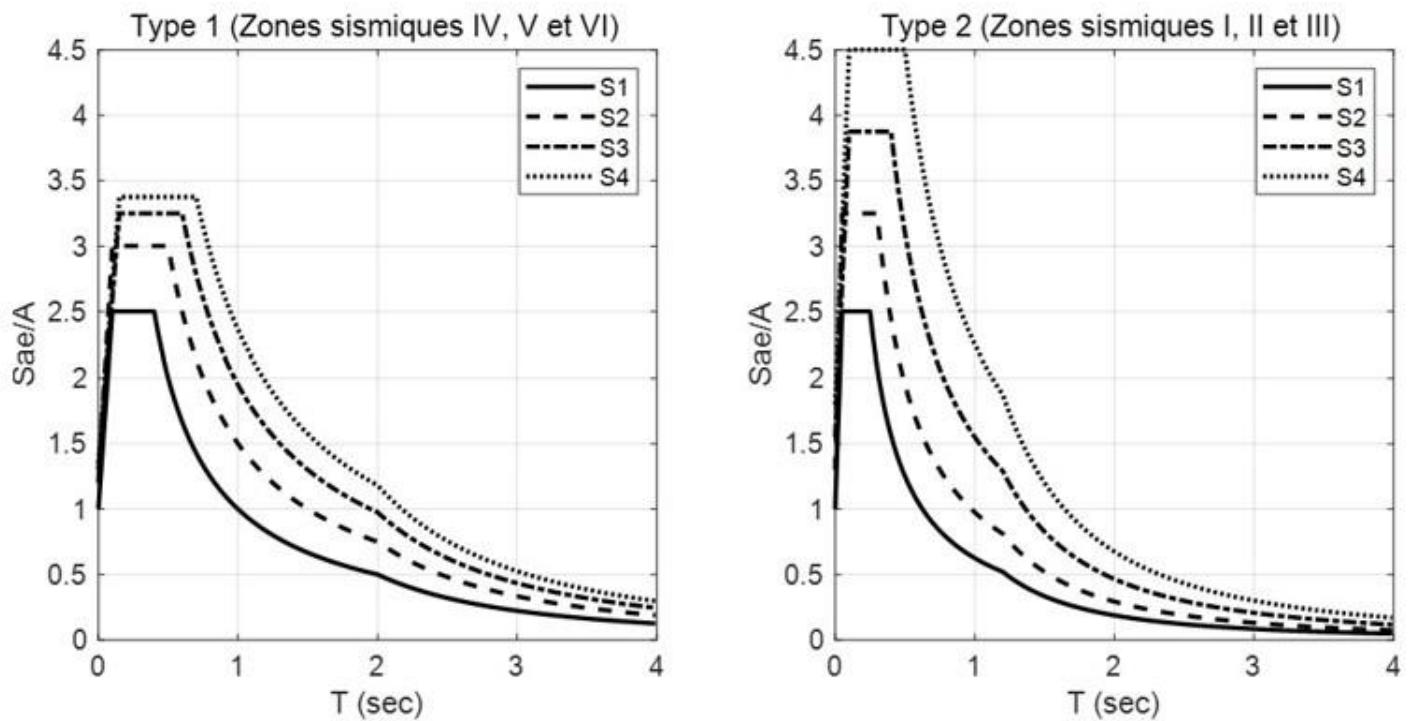


Fig (5) :Spectres de reponseelastique de type 1 et de type 2

3.8 Coefficient de comportement R

Cat	Description du système de contreventement	Valeur de R
	A) Structures en béton armé	
1	Système à ossature	5.5 (a)
2	Système à contreventement mixte, équivalent à une ossature	5.5 (a)
3	Système à ossature ou mixte équivalent à ossature avec remplissage en maçonnerie rigide	3.5 (a)
4	Système à contreventement mixte, équivalent à des voiles	4.5 (b)
5	Système de contreventement constitué par des voiles	4.5 (b)
6	Système à ossature à noyau ou à effet noyau	3 (b)
7	Système fonctionnant en console verticale à masses réparties prédominantes	3 (b)
8	Système en pendule inversé	2 (c)
9	Système de voiles de grandes dimensions en béton peu armé	1.5 (c)
	B) Structures en acier	
10	Ossatures en portiques sans remplissage ou avec remplissage isolé	6.5 (a)
11	Ossature en portiques avec remplissages maçonnerie rigide	3 (a)
12a	Ossature avec palées de contreventement à barres centrées en X	4 (b)
12b	Ossature avec palées de contreventement à barres centrées en V	2.5 (b)
13a	Ossature en portiques avec palées de contreventement à barres centrées en X	4.5 (b)
13b	Ossature en portiques avec palées de contreventement à barres centrées en V	3.5 (b)

14	Système en pendule inversé	2 (b)
	C) Structures associant les profilés formés à froid (PAF)	
15	Système de contreventement en panneaux en PAF	2 (b)
16	Système de contreventement en PAF, en diagonales tendues	1.5 (c)
	D) Structures en maçonnerie	
17	Structures en maçonnerie porteuse chaînée	2.5 (b)
	E) Structures en bois	
18	Consoles ; poutres à joints cantilevers	1.5 (c)
19	Poutres, Arcs à deux ou trois articulations, Treillis assemblés par connecteurs à dents	1.5 (c)
20	Voiles en ossature et diaphragmes collés assemblés entre eux par clous et boulons, Treillis avec assemblage broché et boulonné, Ossatures avec remplissage non porteur	2 (b)
21	Portique hyperstatique avec assemblages boulonnés et brochés, Treillis avec assemblages cloués	2.5 (b)
	F) Autres structures	
22	Structure à ossature métallique avec contreventement par diaphragme	2 (b)
23	Structure à ossature métallique avec contreventement par noyau ou à effet noyau en béton armé	2.5 (b)
24	Structure à ossature métallique avec contreventement par voiles en béton armé	3.5 (b)
25	Structure à ossature métallique avec contreventement mixte composé d'un noyau en béton armé et de palées métalliques en périphérie	2.5 (b)
26	Structure à ossature métallique avec contreventement mixte composé d'un noyau en béton armé et de portiques métalliques en périphérie	3.5 (b)

Tableau (11) : Coefficient de comportement

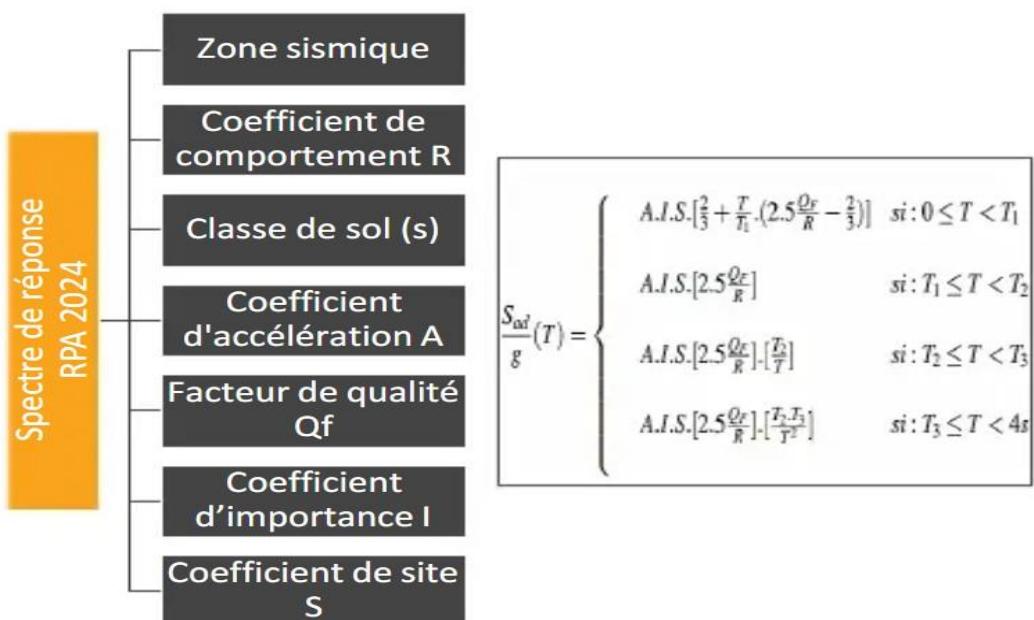
3.9 Méthodes de calcul

- **Statique équivalente** (mises à jour des coefficients). [2]
- **Modale spectrale améliorée** (effets de torsion pris en compte). [2]
- **Dynamique temporelle** utilisant des accélérogrammes pour simuler l'accélération au niveau des fondations.
- **Analyse pushover** (conception par performance) reposant sur la détermination de la courbe capacité-déplacement.

3.9.1 Formule de base (statique)

$$V = \lambda \cdot S_a \cdot d(T_0) \cdot W / g. [2]$$

- $S_a \cdot d(T_0) / g$: est l'ordonnée du *spectre de calcul* pour la période fondamentale du bâtiment donnée par les équations



suivantes :

Fig (6) : La regle de spectre de reponse RPA 2024

- **A** : acceleration sismique
 - **I** : coefficient d importance
 - **S** : coefficient de site
 - **R** : coefficient de comportement
 - **λ** : coefficient correctif
- $\lambda=0.85$: si $T_0 \leq (2.T_2)$ et si le bâtiment a plus de 2 niveaux
- $\lambda = 1$, autrement .[2] [7]
- **W** : poids sismique total

3.10 Effets verticaux

Contrairement au RPA 99, les accélérations verticales sont désormais prises en compte pour :

- Les structures élancées (hauteur/largeur > 3).
- Les ouvrages à charges concentrées (ponts, réservoirs).
- Les cas où la nature du sol crée des effets de résonance.

3.11 Isolation sismique

Un chapitre complet décrit :

- Les principes de base (découplage, déformation admissible).
- Les types d'isolateurs (élastomères, pendulaires).
- Les critères de sélection et de vérification.
- Les modalités de dimensionnement et d'essai.

3.12 Éléments non structuraux

Le règlement impose des règles précises pour :

- Ancrages et scellements des équipements lourds.
- Blocages des cloisons et plafonds suspendus.
- Prévention des chutes d'objets et protections spécifiques.

3.13 Coefficients et formules actualisées

- **Coefficient de comportement q** ajusté par système structural
- **Coefficient de site S** revisité selon les nouvelles catégories de sols.
- **Accélération spectrale Sa** fonction du spectre de design propre à chaque zone.

3.14 Dispositions constructives renforcées

Des prescriptions plus strictes pour :

- La redondance des chemins de charge.
- Les armatures des zones critiques et nœuds.
- Les liaisons poteaux–poutres, avec contraintes minimales sur les dimensions.

3.15 Approche par performance

Niveau de performance	Exigence principale
Fonctionnel (F)	Maintien de la capacité de service
Endommagement contrôlé (EC)	Dommages légers, réparables
Prévention de l'effondrement (PC)	Pas d'effondrement en cas de séisme extrême

Tableau (12) : Approche par performance

Conclusion

Le RPA 2024 marque un véritable tournant : il combine exigences accrues, méthodes de pointe et intégration complète des éléments non structuraux,

pour offrir une réglementation robuste et conforme aux
règlements internationaux.

Chapitre 4 : Analyse comparative des RPA 99 et RPA 2024

4.1 Introduction

Après avoir exposé en détail les deux règlements, cette partie propose une comparaison systématique afin de dégager les améliorations clés, les nouveaux défis et l'impact concret sur la conception parasismique.

4.2 Axes de comparaison

Pour structurer l'étude, nous retenons sept grands thèmes :

- 1. Zonage sismique**
- 2. Méthodes de calcul**
- 3. Prise en compte des effets verticaux**
- 4. Isolation sismique**
- 5. Éléments non structuraux**
- 6. Philosophie de conception (performance)**
- 7. Exigences constructives et vérifications**

4.3 Comparaison globale

Élément	RPA 99 (2003)	RPA 2024
Zones sismiques	4	7
Accélération maximale A	0,20 g	0,30 g
Méthodes autorisées	Statique, modale	+ Dynamique, pushover
Effets verticaux	Non pris en compte	Obligatoire (cas définis)
Isolation sismique	Non mentionnée	Chapitre dédié
Non structuraux	Mention légère	Chapitre et prescriptions détaillées
Performance structurelle	Implicite	Trois niveaux formalisés

Tableau (13) :Comparaison globale

4.4 Analyse détaillée

4.4.1 Zonage sismique

- **RPA 99** : découpage en zones I à III, avec un saut brut de 0,07 à 0,20 g.
- **RPA 2024** : zonage progressif (0,05 g à 0,30 g) permet une gradation fine ; les transitions sont fondées sur des études probabilistes de l'aléa. [2]

4.4.2 Méthodes de calcul

Méthode	RPA 99	RPA 2024
Statique équivalente	Coefficients fixes	Amélioration de S, I, q
Modale spectrale	Fréquences propres simplifiées	Prise en compte torsion, multicouches de sol
Dynamique temporelle	Spectres réels et artificiels	Spectres réels et artificiels
Pushover	Absent	Analyse capacitire eu push-over donneeeuannexe

Tableau (14) : Comparaison entre les méthodes des calcul

Ces ajouts autorisent une modélisation beaucoup plus réaliste, essentielle pour les structures irrégulières.

4.4.3 Isolation sismique

La réglementation 2024 détaille les procédures de dimensionnement :

Le dimensionnement des bâtiments isolés à leur base doit être fondé, essentiellement et autant que faire se peut, sur les principes suivants :

- la simplicité de la structure
- La régularité en plan et en élévation
- la résistance et la rigidité dans les deux directions
- la résistance et la rigidité vis-à-vis de la torsion
- l'action des diaphragmes au niveau des planchers .[2]

4.4.4 Éléments non structuraux

Les prescriptions incluent :

- Dispositions de scellement (ancrages chimiques, boulons haute résistance).
- Contrôle des déplacements relatifs < 0,02 H pour éviter le basculement des cloisons.

- Exigence de maintenir la fonctionnalité des équipements critiques (générateurs, ascenseurs).

4.4.5 Philosophie de conception par performance

La rupture entre les deux règlements est manifeste :

- **RPA 99** : objectif principal — éviter l'effondrement.
- **RPA 2024** : trois niveaux de performance, du service à l'ultime, permettant de dimensionner en fonction de la criticité de l'ouvrage.

4.4.6 Exigences constructives et vérifications

Le RPA 2024 renforce la qualité des contrôles :

- Inspection obligatoire en phase exécution (journées de contrôle minimales).
- Tests non destructifs (évaluation de la masse volumique du béton, détecteurs de fissures).
- Certification des chaînes de production d'aciers et isolateurs.

Synthèse critique

Le RPA 2024 apporte une révolution méthodologique et technique, mais entraîne également :

- Augmentation des coûts de calcul et de contrôle (+ 20 % en moyenne).

- Formation accrue des ingénieurs (modules dynamiques et isolation).
- Besoin d'outils numériques avancés (logiciels basés sur le code OPENSees, Python pour analyses poussées).

Conclusion

Cette comparaison démontre que le passage au RPA 2024 représente un gain significatif de sécurité et de précision, au prix d'une complexité et d'une rigueur accrue dans la phase conception et exécution.

Chapitre 5 : Étude de cas –

Application à un immeuble

R+4

5.1 Présentation du projet

L'ouvrage étudié est un immeuble résidentiel de type R+4, situé en zone urbaine

d'Alger. Ses principales caractéristiques sont :

- **Dimensions en plan :** $18 \text{ m} \times 12 \text{ m}$
- **Hauteur par étage :** 3 m (hauteur totale = 15 m)
- **Nombre de travées :** 4×3
- **Structure porteuse :** voiles en béton armé, planchers dalles pleines
- **Charges permanentes estimées :** $G = 8 \text{ kN/m}^2$ (sols et structures)
- **Charges d'exploitation :** $Q = 2 \text{ kN/m}^2$
- **Type de sol :** S2 (moyennement rigide)
- **Catégorie d'importance :** I (immeuble d'habitation)

5.2 Hypothèses de calcul

Paramètre	RPA 99	RPA 2024
Zone sismique	III ($A = 0,25$)	V ($A = 0,3$)
Coefficient site S	1,2	1,2
Coefficient I	1,0	1,0
Coefficient R	$R = 5,0$	$R = 5,0$
Méthode adoptée	Statique équivalente	Statique équivalente

Tableau (15) : Hypothèses de calcul

5.3 methodestatique (RPA 2003)

- **Poids total W**

$$WGi = 8 \times 216 = 1728 \text{ KN}$$

$$WQi = 2 \times 216 = 432 \text{ KN}$$

$$\Psi = 0.2$$

$$Wi = 1814.4 \text{ KN}$$

$$\mathbf{W = 9072 \text{ KN}}$$

- **Force sismique de base V**

$$V = A D Q W / R$$

$$V = 0.25 \times 2.5 \times 1 \times 9072 / 5$$

$$\mathbf{V = 1134 KN}$$

- **Répartition verticale selon la formule standard :**

Niveau	Hauteur (m)	Proportion de W (%)	Force (kN)
4eme etage	15	25	283
3eme etage	12	20	227
2eme etage	9	20	227
1er etage	6	20	227
RDC	3	15	170
Total	-	100	1 134

Tableau (16) : Forces sismique d etages

5.3.1 methodes statique (RPA 2024)

$$S_{ad}(T_0)/g = A \times I \times S \times 2.5 / R$$

$$= 0.18$$

$$\lambda \cdot \text{Sad}(T_0) \times W / g = 0.85 \times 0.18 \times 9072$$

$$= 1388 \text{ KN}$$

5.4spectres de reponse

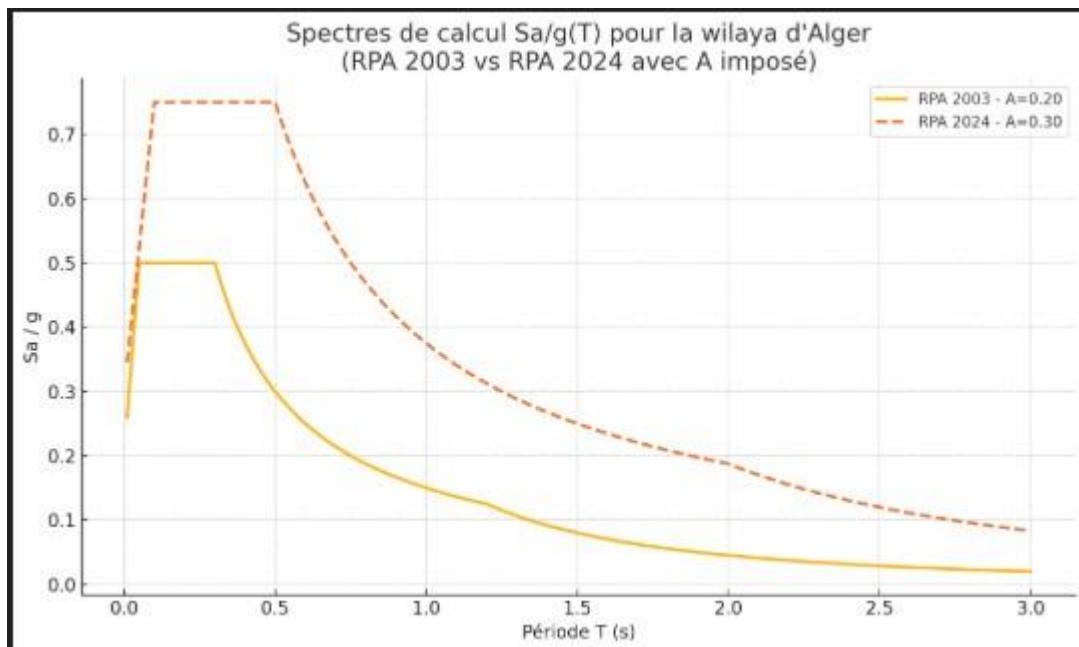


Fig (7) :Spectres de calcul RPA (2003/2024)

Voici le spectre de calcul réel $Sa/g(T)$ pour la wilaya d'Alger selon les deux variantes du RPA avec les valeurs imposées :

RPA 2003 : A= 0.20 , T1= 0.05 , T2= 0.30 , T3=

1.20 **RPA 2024** : A= 0.30 , T1 = 0.10 , T2 = 0.50 ,

T3 = 2.00 **Interprétation :**

- Le spectre **RPA 2024** est plus élevé dans toute la plage des périodes, ce qui reflète un niveau de sécurité plus élevé exigé.
- Le palier constant du spectre **RPA 2024** est plus large (0,10 à 0,50 s) et plus haut, atteignant $S_a/g=0,75$, contre seulement 0,50 pour le **RPA 2003**.
- La décroissance après T2 est plus progressive dans **le RPA 2024**, ce qui prend mieux en compte les structures flexibles.

5.5 Comparaison des résultats

Critère	RPA 99	RPA 2024
Force de base V (kN)	1 134	1 388
Méthode	Statique équivalente	Statique équivalente

Tableau (17) : Comparaison des résultats

5.6 Analyse critique

- Le RPA 2024 donne une valeur de force plus élevée (20 %) reflétant une hypothèse plus prudente et une zone plus active.
- L'approche modale spectrale et pushover permet d'évaluer non seulement la force, mais aussi la ductilité et la capacité résiduelle.
- La prise en compte des efforts verticaux et contrôles de déplacement assure une conception plus robuste, au prix d'efforts de calcul et de vérification supplémentaires.

Conclusion

L'application pratique sur un immeuble R+4 illustre clairement les écarts entre les deux règlements. Le RPA 2024, grâce à son approche par performance et aux méthodes dynamiques, offre une évaluation plus complète des sollicitations sismiques, au prix d'une complexité accrue dans la phase d'analyse.

Chapitre 6 : Conclusion

générale et recommandations

6.1 Synthèse des apports

Ce mémoire a permis de mettre en évidence :

- Les progrès technologiques et méthodologiques entre le RPA 99 et le RPA 2024.
- L'importance d'une approche par performance pour répondre aux exigences actuelles de sécurité.
- L'impact concret sur le dimensionnement et la sécurité des bâtiments, illustré par l'étude de cas.

6.2 Recommandations pratiques

- **Formation continue** : développer des modules sur la dynamique et la performance parasismique.
- **Intégration logicielle** : encourager l'usage de logiciels open-source et d'outils Python pour les analyses avancées.
- **Guide simplifié** : publier un manuel pratique résumant les points clés du RPA 2024 pour les praticiens.
- **Renforcement des contrôles** : instaurer un protocole national de vérification sur chantier.

6.3 Perspectives

- **Recherche** : étude probabiliste plus fine de l'aléa sismique national.

- **Innovation** : développement d'isolateurs locaux adaptés aux conditions climatiques et économiques.
- **Collaboration internationale** : alignement continu avec les Eurocodes et participation à des projets de recherche européens.

Mot de la fin

Le RPA 2024 incarne une nouvelle ère pour la réglementation parasismique en Algérie : plus précise, plus sûre et plus exigeante. Son adoption effective et sa diffusion auprès des acteurs du secteur représentent un enjeu crucial pour la sécurité des citoyens et la résilience des infrastructures.

Bibliographie

1. Règlement Parasismique Algérien – RPA 99 (2003).[1]
2. Règlement Parasismique Algérien – RPA 2024. [2]
3. Institut National de Géophysique (2023), Rapport sur la sismicité algérienne. [5]
4. CSCEC - Comparaison des reponsessismiques selon RPA 99V2003 – RPA 2024. [7]