

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

## REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان -

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



### MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : GENIE CIVIL

Spécialité : Structure

Par :

**BENBEKHTI Fatiha**

**BELARBI Merwa**

**Sujet**

**Etude comparative entre : RPA 99/2003 et RPA 2023 (PROJET DE DTR BC 2.48  
REGLES PARASISMIQUES ALGERIENNES RPA2023)**

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

M<sup>me</sup> N. BENKALFAT

M<sup>r</sup> M. MATALLAH

M<sup>r</sup> A. BENYACOUB

M<sup>me</sup> A. MEDJAHED

Présidente

Encadreur

Co-Encadreur

Examinatrice

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## *Remerciements*

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce projet de fin d'études.

Tout d'abord, nous remercions chaleureusement nos encadrants, Pr. Mohammed Matallah et Mr. Abdelhakim Benyakoub, pour leur soutien inestimable, leur disponibilité et leurs précieux conseils tout au long de ce travail. Leur expertise et leurs orientations ont été d'une grande aide pour mener à bien ce projet.

Nous souhaitons également remercier les membres du jury Dr Benkalfat Naoual et M<sup>me</sup> Medjahed Amina d'avoir accepté de lire ce manuscrit et de fournir les critiques nécessaires à sa perfection.

Nous tenons à remercier également l'ensemble des professeurs et intervenants du département de Génie Civil pour les connaissances et compétences qu'ils nous ont transmises durant ces années d'études. Leur enseignement de qualité a été un socle solide pour la réalisation de ce travail.

Un grand merci à nos camarades de promotion pour leur amitié, leur soutien moral et leur entraide. Vos encouragements et vos discussions enrichissantes ont été une source de motivation continue.

Nous exprimons notre reconnaissance à nos familles pour leurs soutiens inconditionnels, leur patience et leurs encouragements tout au long de ces années. Votre présence à nos côtés nous a été précieuse.

## *Dédicace*

*Je remercie Dieu le Tout-Puissant, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce travail.*

*Je tiens à dédier ce modeste travail à tous ceux qui m'ont encouragée et soutenue tout au long de ce parcours.*

*À mes chers parents, pour leur patience, leur soutien et leurs encouragements qui m'ont permis d'arriver au bout de ce niveau. Que Dieu me les garde et les protège.*

*À ma chère grand-mère, dont l'affection me couvre, la bienveillance me guide et la présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles. Je ne saurai jamais te remercier comme il se doit.*

*À mes très chères sœurs Zahira, Amira, Halima, Douha et mon frère Azzeddine*

*À mon fiancé, Feth-Ellah, pour sa patience et son soutien tout au long de cette période.*

*À mon binôme Merwa, qui m'a accompagnée dans la réalisation de ce travail.*

*À tous mes enseignants qui m'ont dirigée vers la porte de la réussite.*

*À tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

***Benbekhti.Fatiha***

## *Dédicace*

*Avec tous mes sentiments de respect, avec l'expérience de ma reconnaissance, je dédie ma remise de diplôme et ma joie.*

*A mon paradis, à la prunelle de mes yeux, à la source de ma joie et mon bonheur, ma lune et le fil d'espoir qui allumer mon chemin, ma moitié,*

*maman.*

*A celui qui m'a fait une femme, ma source de ma vie, d'amour et d'affection, à mon support qui était toujours à mes côtés pour me soutenir et m'encourager,*

*à mon prince papa.*

*Et ma grand-mère qui m'a toujours soutenu.*

*Mon frère Reda et ma sœur Nihal et ceux qui ont partagé avec moi tous*

*les moments d'émotions lors de la réalisation de ce travail.*

*A mon mari merci d'avoir été à mes côtés, de m'avoir soutenu dans les moments difficiles et de m'avoir aidé à persévérer jusqu'à ce que*

*ce rêve devienne réalité.*

*A mes encadreurs « Pr MOHAMMED MATAALLAH », « ABDELHAKIM BENYAKOUB » pour ses patiences, ses diligences et ses réactivités lors*

*de la préparation de ce mémoire.*

*Sans oublier mon binôme « Fatîha » pour son soutien moral, sa patience et sa*

*compréhension tous au long de ce projet.*

*A tout ce qui ont participé à ma réussite et a tous qui m'aiment.*

***Belarbi Merwa***

## Résumé

Ce projet concerne une analyse comparative entre le règlement parasismique algérien de 1999v2003 et les nouvelles versions du RPA2023 : la version d'Octobre2023 et la version de Mars 2024. Cette dernière est quasi définitive. L'étude s'intéresse aux bâtiments en béton armé. L'objectif de ce travail est de mettre en évidence le processus d'amélioration de la norme parasismique algérienne sur tous les aspects importants.

**Mots clés** : RPA99/2003 -RPA2023/Octobre2023- RPA2023/Mars2024, calcul parasismique.

## Abstract

This Study concerns a comparative analysis between the Algerian seismic regulations of 1999v2003 and the new versions of the RPA2023: the October 2023 version and the March 2024 version. This last version is almost final. The study focuses on reinforced concrete buildings. The objective of this work is to highlight the process of improving the Algerian seismic standard in all-important aspects.

**Keywords**: RPA99/2003 -RPA2023/October2023- RPA2023/March2024, Seismic computations

## الملخص

يتعلق هذا المشروع بتحليل مقارن بين التنظيم الزلزالي الجزائري لعام 1999 v2003 والإصدارات الجديدة من RPA2023: إصدار أكتوبر 2023 وإصدار مارس 2024 هذه النسخة الأخيرة شبه نهائية. تركز الدراسة على المباني الخرسانية المسلحة. الهدف من هذا العمل هو تسليط الضوء على عملية تحسين المعيار الزلزالي الجزائري في جميع الجوانب الهامة.

**الكلمات المفتاحية**: النظام الزلزالي ل عام 1999/ 2003 -النظام الزلزالي 2023نسخة أكتوبر-النظام الزلزالي 2023نسخة مارس 2024. الحساب الزلزالي.

# Table des matières

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale :	1
Partie 1 : GENERALITE	3
1. 1 Introduction :	4
1. 2 Séisme :	4
1. 2. 1 Naissance du séisme :	4
1. 2. 2 Notions de failles :	5
1. 2. 3 Classifications des séismes :	6
1. 2. 4 Effets du Sol et effets induits :	6
1. 2. 4. 1 Effet de site.....	6
1. 2. 5 Les séismes et la réponse des bâtiments :	8
1. 3 Le Génie parasismique :	9
1. 3. 1 Description du parasismique :	9
1. 3. 2 Comportement parasismique :	9
1. 3. 3 Principes de conception parasismiques :	10
1. 4 Notions de réglementation parasismique :	11
1. 4. 1 Les codes parasismiques :	11
1. 4. 2 Contenu des codes parasismiques :	11
1. 4. 3 L'évaluation et l'historique des règles parasismiques algériennes :	12
1. 4. 4 Domaine d'application des règles parasismiques Algérienne.	15
1. 4. 5 Le zonage sismique :	16
Partie 2 : COMPARAISON ENTRE LE RPA 99 /2003 et RPA 2023 / Octobre2023.....	18
2. 1 Chapitre 1 : Comparaison entre le contenu de RPA99v2003 et RPA2023v Octobre 2023.	19
2. 1. 1 Introduction :	19
2. 1. 2 Critères de classification :	19
2. 1. 2. 1 Classification des zones sismiques.....	19
2. 1. 2. 2 Classification des ouvrages selon leur importance.....	19
2. 1. 3 Règles de calcules :	24
2. 1. 3. 3 Méthode dynamique modale spectral :	30
2. 1. 4 Justification de la sécurité :	32
2. 1. 5 Prescription complémentaires et éléments non- structuraux :	33
2. 1. 6 Structures en béton armé :	35
2. 1. 7 Construction en bois :	41
2. 2 Chapitre 2 : Etude comparative d'un bâtiment à usage d'habitation sans changement du zonage.	42
2. 2. 1 Introduction :	42
2. 2. 2 Présentation du projet :	42

2. 2. 3	Pré-dimensionnement des éléments :	43
2. 2. 4	L'étude dynamique :	49
2. 2. 5	Etude des éléments structuraux :	70
2. 3	Chapitre 3 : Etude comparative d'un bâtiment à usage d'habitation avec changement du zonage.	73
2. 3. 1	Introduction :	73
2. 3. 2	Pré-dimensionnement :	74
2. 3. 3	L'étude dynamique :	76
2. 3. 4	Calcul des éléments :	88
2. 3. 5	Conclusion :	90
Partie 3 :	COMPARAISON ENTRE LE RPA99 V.2003 ET LE RPA2023 V. Mars 2024	91
3. 1	Chapitre 1 : Comparaison entre le contenu de RPA99v2003 et RPA2023v Mars 2024	92
3. 1. 1	Introduction :	92
3. 1. 2	Critères de classification :	92
3. 1. 3	Règles de calculs :	94
3. 1. 4	Combinaisons d'actions :	100
3. 2	Chapitre 2 : Etude comparative d'un bâtiment à usage d'habitation avec changement du zonage mais sans changement d'accélération :	102
3. 2. 1	L'étude dynamique :	102
3. 3	Chapitre 3 : Etude comparative d'un bâtiment à usage d'habitation avec changement du zonage et changement d'accélération.	113
3. 3. 1	L'étude dynamique :	113

Conclusions Générales & Perspectives

Références bibliographiques

# Liste des Figures :

FIGURE 1-1:SCHEMAS D'ILLUSTRATION DE L'INTERIEUR DU GLOBE TERRESTRE (A) ET DE LA COUPE DU GLOBE TERRESTRE DE LA CROUTE TERRESTRE EPAISSE JUSQU'AU NOYAU (B).[3].....	5	
FIGURE 1-2: DIFFERENTS TYPES DE FAILLES. [5].....	6	
FIGURE 1-3:SCHEMA D'EXEMPLE DE L'AMPLIFICATION DE L'ACTION SISMIQUE INDUITE PAR LA NATURE DU SOL AYANT EU LIEU AU MEXICO EN 1985.[3].....	7	
FIGURE 1-4:MECANISME DE TASSEMENT DU SOL (A) ET CAS D'EXEMPLE DE LA CONSEQUENCE DU TASSEMENT DU SOL SOUS UN BATIMENT (B).[3].....	7	
FIGURE 1-5:L'IMPACT DE LA LIQUEFACTION DE SOL SUR LES BATIMENTS.[3].....	8	
FIGURE 1-6:L'ENDOMMAGEMENT D'UN BATIMENT PARASISMIQUE PAR DES BATIMENTS NON PARASISMIQUE DANS UN CENTRE URBAIN[3].	8	
FIGURE 1-7: DIFFERENTS COMPORTEMENT STRUCTURELS.....	10	
FIGURE 1-8: ZONE DE LA LIMITE DE PLAQUE AFRIQUE-EUROPE EN MEDITERRANEE. [5].....	12	
FIGURE 1-9: AIRES D'OCCUPATION DE LA SISMICITE ALGERIENNE.[5].....	13	
FIGURE 1-10: CATRE DE ZONAGE DE L'ALGERIE (RPA 88 [8])	FIGURE 1-11 : CARTE DE ZONAGE DE L'ALGERIE (RPA81)[8].....	14
FIGURE 1-12: CARTE DE ZONAGE DE L'ALGERIE (RPA 99) [8]	FIGURE 1-13: CARTE DE ZONAGE DE L'ALGERIE (RPA 99V2003)[8].....	15
FIGURE 1-14 : ZONAGE SISMIQUE. [10].....	17	
FIGURE 2-1: L'EFFET P-Δ.....	33	
FIGURE 2-2 : ENVELOPPE DE CALCUL POUR LES MOMENTS FLECHISSANT.....	38	
FIGURE 2-3: -ZONE CRITIQUE A LA BASE DU VOILE.....	39	
FIGURE 2-4: ENVELOPPE DE CALCUL POUR LES EFFORTS TRANCHANTS DANS LES VOILES ELANCES DES SYSTEMES A CONTREVENTEMENT MIXTE.....	39	
FIGURE 2-5: PLANCHER ETAGE COURANT.....	43	
FIGURE 2-6: TERRASSE INACCESSIBLE.....	44	
FIGURE 2-7: COUPE DE VOILE EN ELEVATION. [11].....	47	
FIGURE 2-8: MODELE 3D DE LA STRUCTURE.....	50	
FIGURE 2-9: COMPARAISON ENTRE LA VALEUR DE L'ACTION SISMIQUE SENS X SELON LES DEUX VERSIONS DU RPA.....	60	
FIGURE 2-10: COMPARAISON ENTRE LA VALEUR DE L'ACTION SISMIQUE SENS Y SELON LES DEUX VERSIONS DU RPA.....	60	
FIGURE 2-11: COMPARAISON ENTRE LA VALEUR DE L'ACTION SISMIQUE SENS X SELON LES DEUX VERSIONS DU RPA (DYNAMIQUE).....	61	
FIGURE 2-12: COMPARAISON ENTRE LA VALEUR DE L'ACTION SISMIQUE SENS Y SELON LES DEUX VERSIONS DU RPA (DYNAMIQUE).....	61	
FIGURE 2-13: MODELE 3D DE LA STRUCTURE.....	76	
FIGURE 2-14: COMPARAISON ENTRE LES VALEURS DE L'ACTION SISMIQUE (METHODE STATIQUE EQUIVALENTE).....	83	
FIGURE 2-15: COMPARAISON ENTRE LES VALEURS DE L'ACTION SISMIQUE (METHODE MODALE SPECTRAL).....	83	
FIGURE 3-1: SPECTRE DE REPONSE ELASTIQUE HORIZONTALE RPA20232 V. MARS 2024.....	95	
FIGURE 3-2: COMPARAISON ENTRE LA VALEUR DE L'ACTION SISMIQUE SENS X SELON LES DEUX VERSIONS DU RPA (STATIQUE).....	107	
FIGURE 3-3: COMPARAISON ENTRE LA VALEUR DE L'ACTION SISMIQUE SENS Y SELON LES DEUX VERSIONS DU RPA (STATIQUE).....	107	
FIGURE 3-4: COMPARAISON ENTRE LA VALEUR DE L'ACTION SISMIQUE SENS X SELON LES DEUX VERSIONS DU RPA (DYNAMIQUE).....	108	
FIGURE 3-5: COMPARAISON ENTRE LA VALEUR DE L'ACTION SISMIQUE SENS Y SELON LES DEUX VERSIONS DU RPA (DYNAMIQUE).....	108	
FIGURE 3-6: COMPARAISON ENTRE LES VALEURS DE L'ACTION SISMIQUE (METHODE STATIQUE EQUIVALENTE).....	116	
FIGURE 3-7: COMPARAISON ENTRE LES VALEURS DE L'ACTION SISMIQUE (METHODE MODALE SPECTRAL).....	117	

# Liste des Tableaux :

TABLEAU 2-1 : CLASSIFICATION DES OUVRAGES SELON LEUR IMPORTANCE : LE GROUPE 1B .....	19
TABLEAU 2-2 : CLASSIFICATION DES SITES : CATEGORIE S1.....	20
TABLEAU 2-3 : CLASSIFICATION DES SITES : CATEGORIE S2 .....	20
TABLEAU 2-4: CLASSIFICATION DES SITES : CATEGORIE S3.....	21
TABLEAU 2-5: CLASSIFICATION DES SITES : CATEGORIE S4.....	21
TABLEAU 2-6 : PORTIQUE AUTO-STABLES SANS REMPLISSAGE EN MAÇONNERIE RIGIDE .....	22
TABLEAU 2-7 PORTIQUE AUTO-STABLES AVEC REMPLISSAGE EN MAÇONNERIE RIGIDE .....	22
TABLEAU 2-8 : SYSTEME DE CONTREVENTEMENT CONSTITUE PAR DES VOILES PORTEURS. ....	23
TABLEAU 2-9: SYSTEME DE CONTREVENTEMENT DE STRUCTURES EN PORTIQUES PAR DES VOILES. ....	23
TABLEAU 2-10 : COMPARAISON DE CALCUL DE LA FORCE SISMIQUE ENTRE RPA 99v2003 ET RPA 2023 v OCTOBRE 2023. ....	24
TABLEAU 2-11: COMPARAISON DES VALEURS DE COEFFICIENT D'ACCELERATION ENTRE LE RPA99v2003 ET RPA 2023 v OCTOBRE 2023. ....	25
TABLEAU 2-12: VALEURS DE COEFFICIENT D'IMPORTANCE DU RPA 2023v OCTOBRE 2023. ....	25
TABLEAU 2-13: VALEURS DE COEFFICIENT DE SITE DU RPA 2023 v OCTOBRE 2023. ....	25
TABLEAU 2-14: COEFFICIENT DE FORME SPECTRAL MOYENNE RPA99v2003 ET RPA2023v OCTOBRE 2023. ....	26
TABLEAU 2-15: COMPARAISON DE VALEURS DES PENALITES ENTRE RPA 2003 ET RPA2023 .....	27
TABLEAU 2-16: COMPARAISON DES VALEURS DE COEFFICIENT DE COMPORTEMENT ENTRE LE RPA99 v2003 ET RPA 2023 v OCTOBRE 2023. ....	29
TABLEAU 2-17: COMPARAISON DE LA COMPOSANTE VERTICALE SELON RPA99v2003 ET RPA2023 v OCTOBRE 2023. ....	29
TABLEAU 2-18: COMPARAISON DE L'EXPRESSION DE LA REPOSE TOTAL ENTRE RPA99v 2003 ET RPA2023 v OCTOBRE 2023. ....	30
TABLEAU 2-19: COMBINAISONS D' ACTIONS SELON LE RPA99v2003 ET LE RPA 2023 v OCTOBRE 2023. ....	32
TABLEAU 2-20: JUSTIFICATION DE LA LARGEUR DES JOINTS SISMIQUES.....	32
TABLEAU 2-21: JUSTIFICATION VIS-A-VIS DE L'EFFET P-Δ . ....	33
TABLEAU 2-22: COMPARAISON DES BORNES DE LA FORCE SISMIQUES EXERCEE SUR LES DIAPHRAGMES ENTRE RPA99 v2003 ET RPA 2023 v OCTOBRE 2023.....	34
TABLEAU 2-23: COMPARAISON DE LA FORCE HORIZONTALE ENTRE RPA99v 2003 ET RPA 2023 v OCTOBRE 2023. ....	34
TABLEAU 2-24: COMPARAISON DE FACTEUR DES FORCES HORIZONTALES Cp ENTRE LE RPA99 v2003 ET RPA 2023 v OCTOBRE 2023.....	35
TABLEAU 2-25: SPECIFICATIONS CONCERNANT LES MATERIAUX « BETON ». ....	35
TABLEAU 2-26: SPECIFICATIONS CONCERNANT LES MATERIAUX « ACIER ». ....	35
TABLEAU 2-27: LES ARMATURES LONGITUDINALES (LE CAS DES POTEAUX).....	36
TABLEAU 2-28: LE COFFRAGE CAS DES POUTRES. ....	36
TABLEAU 2-29: ARMATURES LONGITUDINALES CAS DES POUTRES. ....	36
TABLEAU 2-30: DIMENSIONNEMENT DU NCEUD VIS-A-VIS DES MOMENTS FLECHISSANT.....	37
TABLEAU 2-31: VALEUR DE LA LONGUEUR DU VOILE « L » SUIVENT LES DEUX REGLEMENTS PARASISMIQUES ALGERIENS.....	37
TABLEAU 2-32: CONTRAINTES LIMITES DE CISAILLEMENT DANS LES LINTEAUX ET TRUMEAUX.....	37
TABLEAU 2-33: ACIERS HORIZONTAUX POUR FERRAILLAGES DES VOILES ET DES TRUMEAUX.....	40
TABLEAU 2-34: REGLES COMMUNES POUR FERRAILLAGES DES VOILES ET DES TRUMEAUX. ....	41
TABLEAU 2-35: DESCENDE DES CHARGES PLANCHER ETAGE COURANT.....	44
TABLEAU 2-36: DESCENDE DES CHARGES TERRASSE INACCESSIBLE.....	44
TABLEAU 2-37: VERIFICATION DE LA POUTRE PRINCIPALE SELON RPA 99v2003 ET RPA 2023. ....	45
TABLEAU 2-38: VERIFICATION DE LA POUTRE SECONDAIRE SELON RPA 99v2003 ET RPA 2023. ....	45
TABLEAU 2-39: LES DIMENSIONS DES POUTRES. ....	46
TABLEAU 2-40: VERIFICATION DE LA FLECHE. ....	46
TABLEAU 2-41: PRE-DIMENSIONNEMENT DES VOILES. ....	47
TABLEAU 2-42: CALCUL DE SECTION REDUIT RPA99 v2003 ET RPA2023. ....	48
TABLEAU 2-43: LE PRE-DIMENSIONNEMENT DES POTEAUX SELON RPA99 v 2003. ....	48
TABLEAU 2-44: LE PRE-DIMENSIONNEMENT DES POTEAUX SELON RPA2023.....	48

TABLEAU 2-45: LES COMBINAISONS D' ACTIONS DU RPA99 ET RPA2023. ....	49
TABLEAU 2-46: LA PERIODE FONDAMENTALE DANS LE SENS XX ET YY. ....	51
TABLEAU 2-47: PARTICIPATION MASSIQUE DE LA STRUCTURE. ....	51
TABLEAU 2-48: VERIFICATION DE LA PERIODE FONDAMENTALE. ....	52
TABLEAU 2-49: L'EFFORT TRANCHANT A LA BASE SELON RPA99 v2003 POUR R=5. ....	52
TABLEAU 2-50: DISTRIBUTION DE L'EFFORT TRANCHENT POUR CHAQUE NIVEAU DE LA STRUCTURE POUR R=5. ....	53
TABLEAU 2-51: VALEURS DE $\epsilon\%$ RPA2023. ....	54
TABLEAU 2-52: L'EFFORT TRANCHANT A LA BASE SELON RPA 2023 v OCTOBRE 2023 POUR R=5. ....	54
TABLEAU 2-53: DISTRIBUTION DE L'EFFORT TRANCHENT POUR CHAQUE NIVEAU DE LA STRUCTURE POUR R=5. ....	55
TABLEAU 2-54: L'EFFORT TRANCHANT A LA BASE SELON RPA99 ET RPA2023 POUR R=5. ....	55
TABLEAU 2-55: JUSTIFICATION DE 25% DE L'EFFORT TRANCHANT POUR CHAQUE NIVEAU (R=5) ....	56
TABLEAU 2-56: DISTRIBUTION DE L'EFFORT TRANCHENT POUR CHAQUE NIVEAU DE LA STRUCTURE POUR R=4. ....	57
TABLEAU 2-57: DISTRIBUTION DE L'EFFORT TRANCHENT POUR CHAQUE NIVEAU DE LA STRUCTURE POUR R=4. ....	57
TABLEAU 2-58: L'EFFORT TRANCHANT A LA BASE SELON RPA99 ET RPA2023 POUR R=4. ....	57
TABLEAU 2-59: LES PARAMETRES SISMIQUES DU RPA99v2003. ....	58
TABLEAU 2-60: LES PARAMETRES SISMIQUES DU RPA2023. ....	58
TABLEAU 2-61: L'EFFORT TRANCHANT A LA BASE SELON RPA99 ET RPA2023 POUR R=4. ....	58
TABLEAU 2-62: LA VERIFICATION DE 80%. ....	59
TABLEAU 2-63: LA NOUVELLE DISTRIBUTION DE L'EFFORT TRANCHANT. ....	59
TABLEAU 2-64: L'EFFORT TRANCHANT A LA BASE SELON RPA99 ET RPA2023 POUR R=4. ....	59
TABLEAU 2-65: L'EFFET DE P- $\Delta$ SENS XX SELON RPA99v2003. ....	63
TABLEAU 2-66: L'EFFET DE P- $\Delta$ SENS YY SELON RPA99v2003. ....	64
TABLEAU 2-67: L'EFFET DE P- $\Delta$ SENS XX SELON RPA2023. ....	65
TABLEAU 2-68: L'EFFET DE P- $\Delta$ SENS YY SELON RPA2023. ....	66
TABLEAU 2-69 : DEPLACEMENTS LATERAUX INTER-ETAGES SENS XX RPA99v2003 ET RPA2023 V. OCTOBRE 2024. ....	67
TABLEAU 2-70 : DEPLACEMENTS LATERAUX INTER-ETAGES SENS XX RPA99v2003 ET RPA2023 V. OCTOBRE 2024. ....	68
TABLEAU 2-71: RESULTATS DE CALCULE DE FERRAILLAGE DES POUTRES (PRINCIPALES, SECONDAIRES) SELON RPA99v2003 ET RPA2023..	70
TABLEAU 2-72: L'ESPACEMENT DES ARMATURES TRANSVERSALES DES POUTRES PRINCIPALES SELON RPA99v2003 ET RPA2023 .....	70
TABLEAU 2-73: L'ESPACEMENT DES ARMATURES TRANSVERSALES DE LA POUTRE SECONDAIRE SELON RPA99v2003 ET RPA2023. ....	71
TABLEAU 2-74: FERRAILLAGE DES POTEAUX SELON RPA99v2003 ET RPA2023 .....	71
TABLEAU 2-75: VERIFICATION SPECIFIQUE SOUS SOLLICITATIONS TANGENTES SELON RPA99 TE RPA2023 v OCTOBRE 2023. ....	71
TABLEAU 2-76: ARMATURES TRANSVERSALES ET LONGUEUR DE RECOUVREMENT SELON RPA99 ET RPA2023. ....	72
TABLEAU 2-77: LA QUANTITE MINIMALE DES ARMATURES TRANSVERSALES DES POTEAUX RPA99 ET RPA2023. ....	72
TABLEAU 2-78 : LES SOLLICITATIONS DU VOILE DE SOU – SOL SELON RPA99v2003 ET RPA2023. ....	73
TABLEAU 2-79: DIMENSIONS DES POUTRES. ....	74
TABLEAU 2-80: TYPE DES POTEAUX. ....	74
TABLEAU 2-81: RECAPITULATION DE PRE-DIMENSIONNEMENT. ....	75
TABLEAU 2-82: VALEUR DE LA LONGUEUR DU VOILE « L » SUIVENT LES DEUX REGLEMENTS PARASISMIQUES ALGERIENS. ....	75
TABLEAU 2-83: LE CHOIX DE L'ÉPAISSEUR ET LA LONGUEUR DU VOILE SUIVENT LES DEUX REGLEMENTS PARASISMIQUES ALGERIENS. ....	75
TABLEAU 2-84: LA PERIODE FONDAMENTALE DANS LE SENS XX ET YY. ....	77
TABLEAU 2-85: PERIODES ET POURCENTAGES DE PARTICIPATION MASSIQUE. ....	77
TABLEAU 2-86: VERIFICATION DE LA PERIODE FONDAMENTALE. ....	78
TABLEAU 2-87: LA VALEUR DE COEFFICIENT D'ACCELERATION DE ZONE (A) SELON PA969v2003 ET RPA 2023. ....	78
TABLEAU 2-88: VALEURS DES PENALITES SENS XX ET YY (RPA99v2003 Vs. RPA 2023). ....	79
TABLEAU 2-89: LES FORMULES DE FACTEUR D'AMPLIFICATION DYNAMIQUE (D) SELON RPA99v2003 ET RPA2023. ....	79
TABLEAU 2-90: LES PERIODES T1, T2 ET T3 RPA99v2003 ET RPA2023v OCTOBRE 2023. ....	80
TABLEAU 2-91: LES VALEURS DE FACTEUR D'AMPLIFICATION DYNAMIQUE (D) SELON RPA99v2003 ET RPA2023. ....	80
TABLEAU 2-92 : LE POIDS DE LA STRUCTURE. ....	81
TABLEAU 2-93: L'EFFORT TRANCHANT A LA BASE (METHODE STATIQUE EQUIVALENTE) SELON RPA99v2003 ET RPA2023 POUR R=5. ....	81
TABLEAU 2-94: LES PARAMETRES SISMIQUES DU RPA99v2003. ....	81

TABLEAU 2-95: LES PARAMETRES SISMIQUES DU RPA2023V OCTOBRE2023. ....	81
TABLEAU 2-96: L'EFFORT TRANCHANT A LA BASE (METHODE MODALE SPECTRAL) SELON RPA99V2003 ET RPA2023 POUR R=5. ....	81
TABLEAU 2-97: RESULTATS DE VERIFICATION DE 80% SELON LE RPA99V2003 ET RPA2023V OCTOBRE 2023 POUR R=5. ....	82
TABLEAU 2-98: L'EFFORT TRANCHANT A LA BASE (METHODE STATIQUE EQUIVALENTE) SELON RPA99V2003 ET RPA2023 POUR R=4. ....	82
TABLEAU 2-99: L'EFFORT TRANCHANT A LA BASE (METHODE MODALE SPECTRAL) SELON RPA99V2003 ET RPA2023 POUR R=4. ....	82
TABLEAU 2-100 : DEPLACEMENTS LATERAUX INTER-ETAGES SENS XX RPA99V2003 ET RPA2023 V. OCTOBRE 2024. ....	85
TABLEAU 2-101: DEPLACEMENTS LATERAUX INTER-ETAGES SENS YY RPA99V .2003 ET RPA2023 V. OCTOBRE 2024. ....	85
TABLEAU 2-102: RESULTATS D'EFFET P-Δ SENS XX RPA99V2003 ET RPA2023 V. OCTOBRE 2024. ....	86
TABLEAU 2-103: RESULTATS D'EFFET P-Δ SENS YY RPA99V2003 ET RPA2023 V. OCTOBRE 2024. ....	86
TABLEAU 2-104: FERRAILLAGE LONGITUDINAL DES POUTRES RPA99V2003 ET RPA2023. ....	88
TABLEAU 2-105: L'ESPACEMENT DES ARMATURES TRANSVERSALES DES POUTRES SELON RPA99V2003 ET RPA2023. ....	88
TABLEAU 2-106 : FERRAILLAGE LONGITUDINAL DES POTEAUX RPA99V2003. ....	88
TABLEAU 2-107: FERRAILLAGE LONGITUDINAL DES POTEAUX RPA2023. ....	88
TABLEAU 2-108: LA LONGUEUR MINIMALE DE RECOUVREMENT DES POTEAUX SELON LE RPA99V.2003 ET RPA 2023 V.OCTOBRE2023. ....	89
TABLEAU 2-109: LONGUEUR DE LA ZONE NODALE RPA99V2003 ET RPA2023. ....	89
TABLEAU 2-110: FERRAILLAGE TRANSVERSAL DES POTEAUX RPA99V2003ET RPA2023. ....	89
TABLEAU 3-1 : VALEUR DE COEFFICIENT DE COMPORTEMENT R "RPA2023 V MARS 2024" ....	94
TABLEAU 3-2: INTERVALLE DES ACCELERATIONS AU ROCHER POUR Tr = 475 ANS ET DEFINITION DES ZONES DE SISMICITE. ....	95
TABLEAU 3-3: VALEURS DES PARAMETRES DECRIVANT LES SPECTRES DE REPONSE ELASTIQUE DE TYPE 1 (ZONES IV, V, VI). ....	96
TABLEAU 3-4: VALEURS DES PARAMETRES DECRIVANT LES SPECTRES DE REPONSE ELASTIQUE DE TYPE 1(ZONES I, II, III). ....	96
TABLEAU 3-5 : VALEURS DES PARAMETRES DECRIVANT LES SPECTRES DE REPONSE ELASTIQUE HORIZONTALES DE TYPE 1. ....	97
TABLEAU 3-6: VALEURS DES PARAMETRES DECRIVANT LES SPECTRES DE REPONSE ELASTIQUE VERTICAL DE TYPE 2. ....	97
TABLEAU 3-7: COMPARAISON DES CONDITIONS D'APPLICATION DE LA METHODE STATIQUE EQUIVALENTE ENTRE LE RPA99 ET RPA2023V (MARS2024). ....	98
TABLEAU 3-8: COMPARAISON DE LA HAUTEUR MAXIMALE DU BATIMENT POUR CHAQUE ZONE ENTRE RPA99V2003 ET RPA2023V MARS 2024. ....	98
TABLEAU 3-9: EVOLUTION DE LA FORMULE DE LA FORCE SISMIQUE ....	99
TABLEAU 3-10: COMPARAISON DE L'ESTIMATION DE LA PERIODE FONDAMENTALE DE LA STRUCTURE ENTRE RPA99V 2003 ET RPA2023V MARS 2024. ....	99
TABLEAU 3-11: CHOIX DE LA PERIODE SELON RPA2023v(MARS2024). ....	100
TABLEAU 3-12: COMBINAISONS D' ACTIONS SISMIQUES HORIZONTALES SELON RPA99V2003 ET RPA2023v (MARS2024). ....	100
TABLEAU 3-13: COMBINAISON D' ACTION SELON RPA2023v(MARS2024). ....	102
TABLEAU 3-14: VERIFICATION DE LA PERIODE FONDAMENTALE. ....	102
TABLEAU 3-15: LES DONNEES DU CALCUL DE V SENS XX. ....	103
TABLEAU 3-16: LES DONNEES DU CALCUL DE V SENS YY. ....	103
TABLEAU 3-17 : DISTRIBUTION DE LA FORCE SISMIQUE POUR CHAQUE NIVEAU DE LA STRUCTURE. ....	104
TABLEAU 3-18: DISTRIBUTION DE L'EFFORT TRANCHANT POUR CHAQUE NIVEAU DE LA STRUCTURE. ....	104
TABLEAU 3-19: COMPARAISON DE L'EFFORT TRANCHANT A LA BASE ENTRE LE RPA99V2003 ET RPA2023v(MARS2024). ....	105
TABLEAU 3-20: LES PARAMETRES SISMIQUES DU RPA2023v (MARS2024). ....	105
TABLEAU 3-21: COMPARAISON DE L'EFFORT TRANCHANT A LA BASE ENTRE LE RPA99V2003 ET RPA2023v(MARS2024). ....	105
TABLEAU 3-22: LA VERIFICATION DE 80%. ....	106
TABLEAU 3-23: LA NOUVELLE DISTRIBUTION DE L'EFFORT TRANCHANT DU RPA2023v(MARS2024). ....	106
TABLEAU 3-24: COMPARAISON DE L'EFFORT TRANCHANT A LA BASE ENTRE LE RPA99V2003 ET RPA2023v(MARS2024). ....	107
TABLEAU 3-25: L'EFFET DE P-Δ SENS XX SELON RPA2023v(MARS2024). ....	109
TABLEAU 3-26 : L'EFFET DE P-Δ SENS YY SELON RPA2023v(MARS2024). ....	110
TABLEAU 3-27: VERIFICATION DE LA DEFORMATION SENS XX RPA2023v(MARS2024). ....	111
TABLEAU 3-28: VERIFICATION DE LA DEFORMATION SENS YY RPA2023v(MARS2024). ....	111
TABLEAU 3-29: PERIODES ET POURCENTAGES DE PARTICIPATION MASSIQUE. ....	114
TABLEAU 3-30: VERIFICATION DE LA PERIODE FONDAMENTALE. ....	114
TABLEAU 3-31: LA FORMULE DE LA FORCE SISMIQUE A LA BASE RPA 99 V2003 ET RPA 2023V MARS 2024. ....	115

<b>TABLEAU 3-32: VALEURS DES COEFFICIENTS POUR LE CALCUL DE L'EFFORT TRANCHANT A LA BASE.</b> .....	115
<b>TABLEAU 3-33: L'EFFORT TRANCHANT A LA BASE (METHODE STATIQUE EQUIVALENTE) SELON RPA99V2003 ET RPA2023V MARS 2024.</b> .....	116
<b>TABLEAU 3-34: LES PARAMETRES SISMIQUES DU RPA2023V MARS2024.</b> .....	116
<b>TABLEAU 3-35: L'EFFORT TRANCHANT A LA BASE (METHODE MODALE SPECTRAL) SELON RPA99V2003 ET RPA2023 V MARS 2024.</b> ....	116
<b>TABLEAU 3-36: DEPLACEMENTS LATERAUX INTER-ETAGES SENS XX RPA99V.2003 ET RPA2023 V. MARS 2024.</b> .....	118
<b>TABLEAU 3-37: DEPLACEMENTS LATERAUX INTER-ETAGES SENS YY RPA99V.2003 ET RPA2023 V. MARS 2024.</b> .....	118
<b>TABLEAU 3-38: RESULTATS D'EFFET P-Δ SENS XX SELON RPA99V2003 ET RPA2023V.MARS2024.</b> .....	119
<b>TABLEAU 3-39: RESULTATS D'EFFET P-Δ SENS YY SELON RPA99V2003 ET RPA2023V.MARS2024.</b> .....	119

## Introduction générale :

Le séisme représente un enjeu majeur et un grand défi pour les scientifiques. C'est une catastrophe naturelle hors norme. Malgré les incertitudes inhérentes à ce phénomène naturel, les spécialistes du génie civil doivent concevoir des ouvrages et des structures (bâtiments, ponts, barrages etc.) capables de résister aux forces provoquées par ces tremblements de terre.

Pour répondre à ce besoin, des normes parasismiques ont été établis sous formes de code parasismique spécifique à chaque pays (ou région). Les normes parasismiques se basent sur les notions des états limites. En effet, les séismes génèrent des forces considérables capables de provoquer des dégradations irréversibles voir la ruine totale de la structure. Ainsi, les méthodes de calcul se basent sur les notions de bases de calcul à la rupture. A cela, s'ajoute les principes de l'aléa et de l'incertitude. La quantification de l'aléa spécifique à chaque région en tenant compte du caractère aléatoire du phénomène pose un défi scientifique majeur aux spécialistes.

Les approches sur lesquelles se basent les méthodes de calcul des normes parasismiques ont également évoluées graduellement, Graduellement, les anciennes approches basées sur la notion de *réduction de force* ont laissé la place à une approche *performantielle* plus réaliste considérant le séisme comme un mouvement de déplacements (ce qui correspond à la réalité) face auquel la structure devrait développer des performances structurelles adéquates.

Notre réglementation parasismique ne fait pas exception. Elle a toujours subi des révisions suite à des séismes majeurs ou pour prendre en compte les nouvelles évolutions dans le domaine de l'ingénierie des structures et de sismologie. Notre travail de fin d'étude s'inscrit dans une démarche de vulgarisation. Il vise à mettre en lumière les nouvelles modifications apportées à notre code RPA durant ces dernières années.

Afin d'atteindre cet objectif, une analyse comparative est menée. Elle consiste, dans un premier temps, en la conception et le dimensionnement de deux bâtiments de R+11 et R+4, selon les normes RPA99V. 2003, et le RPA 2023 V. Octobre 2023. Pendant que nous travaillions avec le RPA 2023 v Octobre 2023, elle subissait des modifications continuellement. Pour accompagner ce processus, nous avons refait le même travail de conception et de dimensionnement en menant une comparaison avec

une nouvelle version que nous avons appelée « RPA 2023 V. Mars 2024 ». Nous avons structuré notre projet de fin d'études en trois parties distinctes :

La première partie, nommée "Généralités".

La deuxième partie, intitulée "Analyse comparative entre le RPA99v2003 et le RPA2023v Octobre2023 ".

La troisième partie, sous le titre "Analyse comparative entre le RPA99v2003 et le RPA2023v Mars2024".

La deuxième et la troisième partie se composent de trois chapitres chacune : le premier chapitre porte sur la comparaison entre le contenu de RPA99v2003 et le RPA2023 (octobre 2023 et mars 2024), le deuxième chapitre concerne une étude comparative d'un bâtiment à usage d'habitation sans changement du zonage sismique. Le dernier chapitre traite une étude comparative d'un bâtiment à usage d'habitation avec modification du zonage.

# Partie 1 : **GENERALITE**

## **1. 1 Introduction :**

La réussite d'un projet de génie civil signifie l'obtention d'un résultat satisfaisant associée à une stabilité de la structure permettant de protéger les vies humaines. Les catastrophes naturelles, notamment les tremblements de terre et les vents violents, représentent des dangers énormes pour ce secteur.

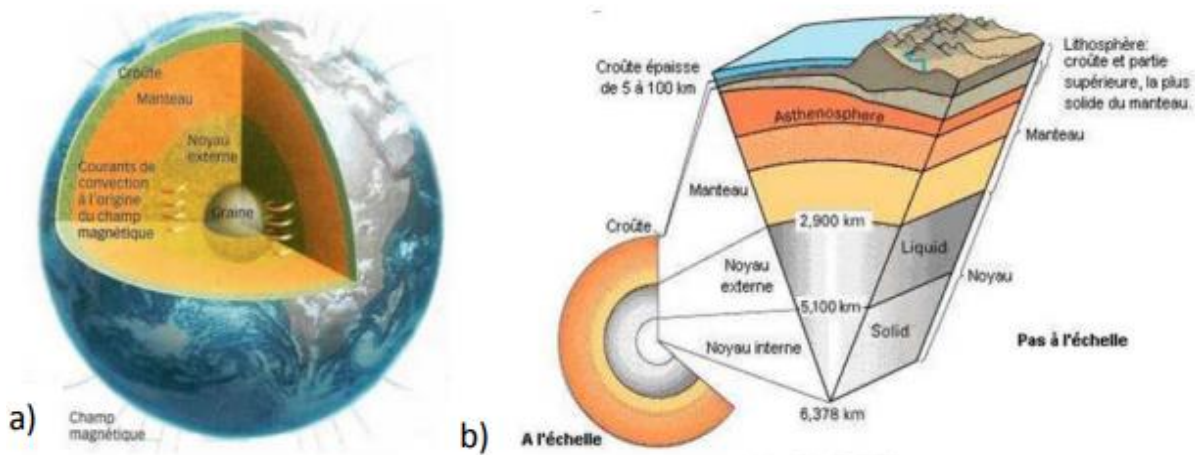
La stabilité d'une structure peut être assurée via par la résistance appropriée de ses composants structuraux tels que les poutres, les poteaux et les planchers face à différentes sollicitations (flexion, cisaillement ...). Cette résistance dépend des matériaux utilisés et des méthodes d'exécution également. Les normes parasismiques établissent la procédure pour évaluer (dans l'objectif de minimiser) l'impact des séismes sur les bâtiments. Elles décrivent également les critères de conception et les dispositions techniques à suivre pour assurer la résistance des bâtiments aux tremblements de terre.[1]

En Algérie, l'une des normes de construction à respecter est le Règlement Parasismique Algérien, mis en place après le séisme d'El Asnam dans la wilaya de Chlef en 1980 (une version antérieure à également existé). Cette réglementation a été officiellement adoptée par la Commission Technique Permanente le 4 décembre 1999. Le règlement parasismique en Algérie évolue constamment, une nouvelle version est actuellement en préparation.

## **1.2 Séisme :**

### **Naissance du séisme :**

Un séisme se produit lorsque l'écorce terrestre est secouée par une rupture de la surface, une éruption volcanique ou certaines actions humaines (la figure 1.1 illustre l'intérieur du globe terrestre). Suite à la libération brusque de l'énergie mécanique accumulée par les roches au fil du temps (Cette libération d'énergie se fait par rupture le long des failles), la terre tremble. La plupart des tremblements de terre surviennent le long des failles qui séparent les plaques tectoniques de l'écorce terrestre. Des tensions se développent lorsque ces plaques se déplacent lentement les unes par rapport aux autres. Après rupture des failles, des ondes se propagent, dont une partie se propage sous forme d'ondes sismiques à la surface de la Terre.[2]



**Figure 1-1: Schémas d'illustration de l'intérieur du globe terrestre (a) et de la coupe du globe terrestre de la croûte terrestre épaisse jusqu'au noyau (b).[3]**

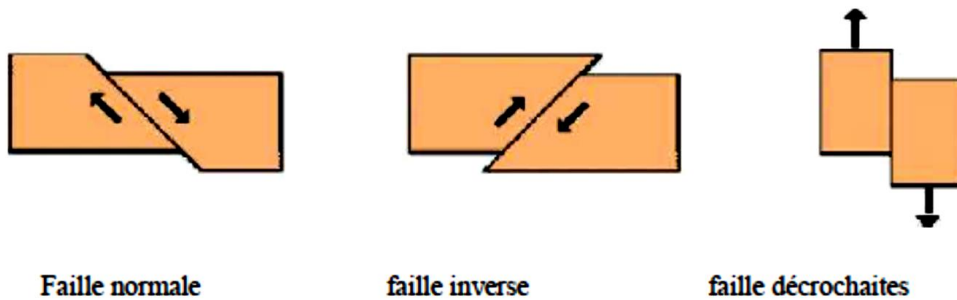
La formation d'une faille ou, plus fréquemment, le glissement le long d'une faille existante, est le mécanisme à l'origine d'un séisme.

### 1. 2. 2 Notions de failles :

Selon les géophysiciens, un nombre important de séismes se produit à proximité des failles actives connues. La classification la plus basique des failles en fonction de leur déplacement est la suivante [4] :

- Les failles normales : Lors d'un l'écartement d'un compartiment par rapport à un autre, des contraintes de traction se produisent.
- Les failles inverses, également appelées chevauchements. Elles se caractérisent par le chevauchement de deux compartiments sous l'effet de contraintes de compression, les rapprochant l'un de l'autre, comme observé lors du séisme d'El-Asnam en 1980.
- Les failles coulissantes. Elles entraînent le glissement horizontal de deux blocs en sens inverse de part et d'autre du plan de la faille. Ainsi, des contraintes de cisaillement se produisent.

La figure ci-dessous montre les différents types de failles :



*Figure 1-2: Différents types de failles. [5]*

### **Classifications des séismes :**

On peut classer les séismes d'après leurs hypocentres (foyer) qui est le lieu qui constitue l'origine de l'énergie libérée. Selon la profondeur du foyer, trois catégories sont généralement observées : [5]

Les séismes superficiels : Représentent la grande majorité. Leur profondeur varie de 0 à 15 kilomètres, ils représentent environ 70% de l'ensemble des séismes et couvrent 70% de l'énergie sismique totale libérée. Leurs fréquences d'apparition diminuent en fonction de la profondeur.[5]

Les séismes intermédiaires : La profondeur des foyers est située entre 15 et 70 km. 25% de la totalité des séismes sont considérés comme des séismes intermédiaires. ils génèrent moins d'intensité à la surface de la terre.[5]

Les séismes profonds : Ils représentent seulement 5%, leurs foyers est profond et se trouve entre 70 et 150 km. Ils se produisent essentiellement le long d'une plaque. Aussi on les distingue des autres types mentionnés précédemment du fait qu'ils produisent, et qu'ils sont parfois aussi intenses que les autres catégories.[5]

### **Effets du Sol et effets induits :**

#### **1. 2. 4. 1 Effet de site :**

Les caractéristiques du sol sont responsables de l'amplification ou l'atténuation de l'accélération sismique. Il s'agit principalement d'une amplification ou d'une atténuation de l'accélération sismique induite par la nature du sol.[3]

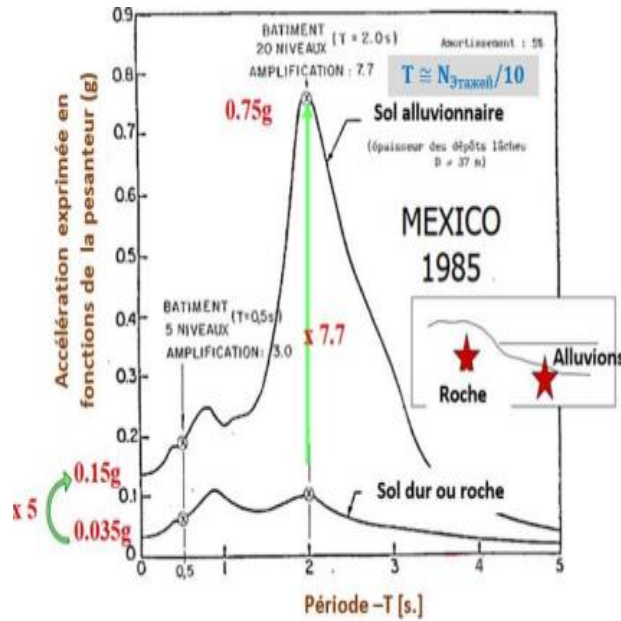


Figure 1-3: Schéma d'exemple de l'amplification de l'action sismique induite par la nature du sol ayant eu lieu au Mexico en 1985.[3]

#### 1. 2. 4. 2 Effet induit :

**Tassement des sols :** La compression des sols compressibles sous l'effet des ondes sismiques entraîne le tassement du sol.



Figure 1-4: Mécanisme de tassement du sol (a) et cas d'exemple de la conséquence du tassement du sol sous un bâtiment (b).[3]

**Liquéfaction de sole :** un sol saturé perd temporairement sa résistance et sa portance lorsqu'il est soumis à des charges cycliques, telles que les secousses sismiques.



*Figure 1-5: L'impact de la liquéfaction de sol sur les bâtiments. [3]*

#### 1. 2. 4. 3 Effet de l'activité humaine et enjeux urbains :

Il est essentiel de construire des bâtiments résistant au séisme dans les centres urbains pour éviter que les bâtiments non parasismiques ne soient à l'origine de la détérioration des bâtiments parasismiques. **Figure 1-6**



1. 2. 5

*Figure 1-6: L'endommagement d'un bâtiment parasismique par des bâtiments non parasismique dans un centre urbain [3].*

#### Les séismes et la réponse des bâtiments :

Lors d'un séisme, la réaction d'une structure aux mouvements du sol exercés à sa base constitue un défi dynamique complexe, car les forces d'inertie résultent des déplacements de la structure, qui sont étroitement liés aux forces d'inertie elles-mêmes [6]. La réponse sismique des structures est étudiée en tenant compte de leur comportement dynamique, c'est-à-dire de la manière dont elles réagissent aux forces sismiques en termes de déformations, de vibrations et de contraintes. Cette

réaction dépend des propriétés matérielles et géométriques, de la configuration de la structure et la nature du sol.

### 1.3 Le Génie parasismique :

#### Description du parasismique :

La parasismique ou l'ingénierie parasismique, est une spécialité de l'ingénierie civile qui vise à concevoir des structures/ouvrages résistant-e-s aux tremblements de terre. Cette résistance doit se faire en tolérant des dommages structurels mais en excluant les pertes en vies humaines. La parasismique implique des calculs avancées basés sur la dynamique des structures et des normes de conception spécifiques qui varient en fonction des régions sismiques.

#### Comportement parasismique :

Une structure est dite parasismique si elle répond à une norme parasismique. Les normes de calcul parasismique découlent de toutes les expériences accumulées dans le domaine du calcul et de la construction, ainsi que de l'analyse du comportement des structures lors de séismes. L'objectif principal de la conception parasismique est de concevoir une structure/ouvrage capable d'absorber l'énergie sismique injectée en se déformant mais sans s'effondrer. Cette conception peut être obtenue de manière efficace par diverses approches de conception.

- a. Une approche élastique où les structures sont caractérisées par des déformations principalement élastiques.
- b. Une approche élasto-plastique avec des mécanismes de plastification limitée. On parle d'une ductilité faible à moyenne.
- c. Une approche élasto-plastique avec des structures comportant de multiples zones dissipatives, permettant une dissipation efficace de l'énergie sismique. On parle d'une ductilité élevée. Dans un bâtiment, les zones dissipatives sont les rotules plastiques. Le rôle de l'ingénieur est de véhiculer le séisme vers ces zones dissipatives capables d'absorber l'énergie et d'accompagner la structure pendant le tremblement de terre.

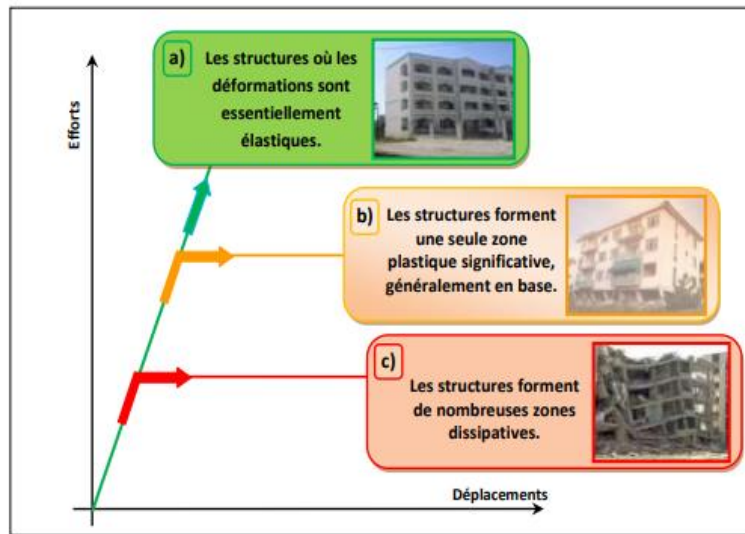


Figure 1-7: Différents comportements structurels.

### Principes de conception parasismiques :

#### 1. 3. 3

Une construction résistante aux séismes doit être conçue dès le début en tenant compte des actions sismiques, en choisissant judicieusement les éléments porteurs de la structure, les matériaux et le type de contreventement, etc. Les principes de conception parasismique reposent sur cinq piliers essentiels qui sont des éléments clés pour garantir la résistance aux séismes et qui sont interdépendants [2]

- ✚ Choix et sélection d'un site d'implantation approprié.
- ✚ Conception architecturale et structurale adaptée.
- ✚ Respect des normes parasismiques.
- ✚ Exécution de qualité.
- ✚ Maintenance régulière des bâtiments.

- a) Choix du site d'implantation : Il faut absolument éviter les terrains en relief, les zones en haut des ruptures de pente et les zones de transition entre sols rocheux et sols mous.[2]
- b) Conception architecturale : concevoir une architecture qui offre une bonne résistance sismique, en tenant compte de la forme, de la hauteur et de l'élanement du bâtiment.[2]. D'un point de vue technique, cette étape est primordiale.
- c) Respect des règles parasismiques : les normes parasismiques qui définissent les niveaux de protection requis selon le zonage sismique national et le type de bâtiment doivent absolument

être respectées. Elles incluent les modalités de calcul et de dimensionnement des structures, avec des règles simplifiées pour les maisons individuelles.[2]

- d) Qualité de l'exécution : Tout en respectant les points cités précédemment, si la qualité des matériaux, des éléments non structuraux (couplages et joints) et les normes de construction ne sont pas respectées, la structure ne pourra pas résister aux séismes comme prévue par les calculs dynamiques.
  - e) Maintenance des bâtiments : préserver la structure en assurant une maintenance régulière pour que, à long terme, la construction parasismique continue de fonctionner [2]
- Il est important de noter que le non-respect de ces cinq principes peut être à l'origine l'effondrement des bâtiments lors d'un séisme.

#### **1. 4 Notions de réglementation parasismique :**

##### **Les codes parasismiques :**

###### 1. 4. 1

Les règlements parasismiques sont des documents techniques établissant les normes de conception, de calcul et de réalisation pour les structures situées dans des zones sismiques. L'objectif principal est de garantir une protection adéquate des vies humaines et des bâtiments contre les effets des tremblements de terre grâce à une conception et des dimensions adaptées. D'un point de vue résistance et en fonction de l'intensité sismique, les règlements visent à ce que ces constructions soient capables de résister aux : [7]

- Séismes de faible intensité sans causer de dégâts significatifs.
- Séismes modérés entraînant des dommages mineurs dans les éléments structurels et des perturbations légères dans les éléments non structurels.

###### 1. 4. 2

- Séismes majeurs provoquant des dommages limités aux éléments structurels et non structurels sans entraîner d'effondrement ou de perte de stabilité de la structure.

##### **Contenu des codes parasismiques :**

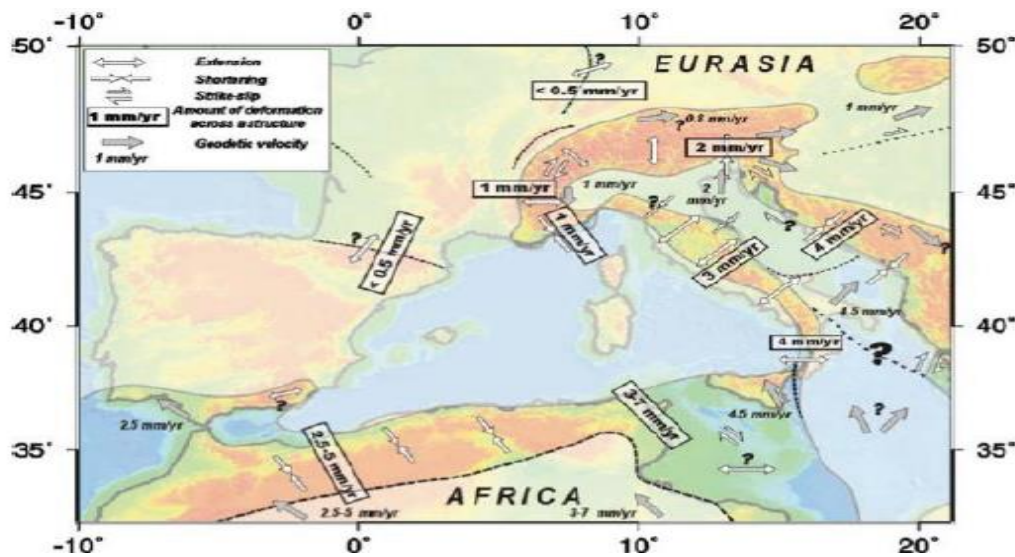
Chaque pays dispose de son règlement parasismique. Le contenu peut varier mais les orientations données sont toujours les mêmes, elles se résument généralement en :

- Des recommandations pour la conception globale (la conception architecturale, structurelle, etc)

- Des approches (méthodes) de calcul et des règles pour les calculs structuraux.
- Des recommandations et directives générales pour l'exécution concernant les différents matériaux utilisés ou les méthodes de construction.

### L'évaluation et l'historique des règles parasismiques algériennes :

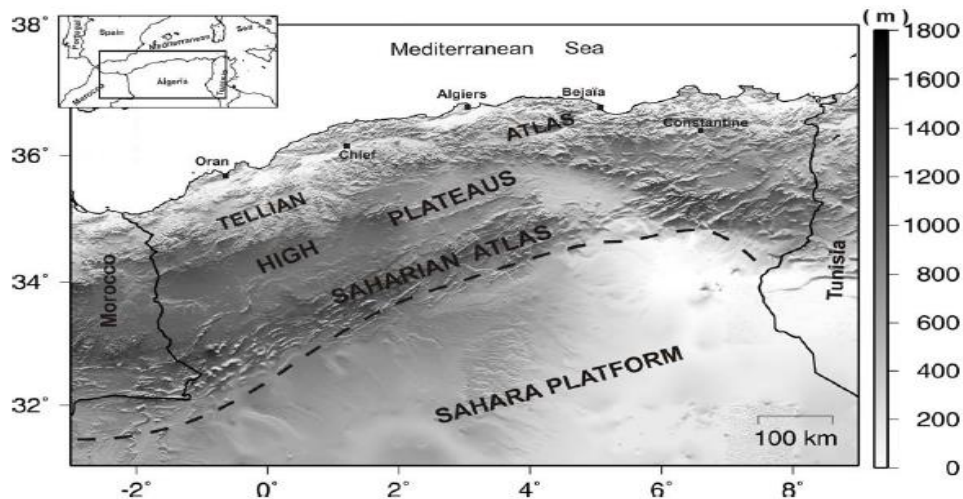
La plaque africaine, sur laquelle repose notre pays l'Algérie, est constamment en collision avec la plaque eurasiennne. Cette collision se produit à une vitesse d'approche de l'Afrique par rapport à la partie stable de l'Europe d'environ  $\sim 5$  mm par an **Figure 1-8**. Cette collision en permanence a généré le long de la frontière des plaques des chaînes de montagnes, des plis et des failles principalement orientés NE-SW, avec une direction de raccourcissement d'environ NNW-SSE dans l'Atlas Tellien.[5]



**Figure 1-8: Zone de la limite de plaque Afrique-Europe en méditerranée. [5]**

Les flèches blanches indiquent le régime des contraintes et les flèches grises la direction de mouvement par rapport à l'Europe.

Pour l'Algérie, la zone de forte sismicité est concentrée dans la partie nord du pays, qui est composée de quatre domaines morfo-structuraux distincts : l'Atlas Tellien, les hauts plateaux, l'Atlas Saharien et la partie nord de la plateforme saharienne **Figure 1-9**. La fréquence et l'intensité des séismes sont significatives dans l'Atlas Tellien, et cette activité sismique diminue à mesure que l'on se déplace vers le sud.[5]. Récemment, une activité sismique a été enregistrée dans les parties de la partie nord de la plateforme saharienne.



**Figure 1-9: Aires d'occupation de la sismicité algérienne.[5]**

(Domaines morpho-structuraux)

Historiquement, l'Algérie a subi des séismes plus au moins significatives. Les premières mesures parasismiques remontent à celles prises par le Dey Ali Chaouch d'Alger en 1717, à la suite du séisme d'Alger de 1716. Ces mesures concernaient les éléments suivants, en raison des dommages constatés : [8]

- Utilisation de structures flexibles de type arcade.
- Utilisation de planchers constitués de poutres en bois saillantes des murs sur lesquels elles reposent.
- Renforcement des baies.
- Renforcement des encorbellements avec des renforts en bois.
- Renforcement des structures en maçonnerie porteuse.

En 1954, la ville de CHLEF a subi un séisme considérable qui a incité les autorités de l'époque à émettre dès 1955 des recommandations techniques provisoires visant à réduire les effets des séismes sur la stabilité des constructions, ces recommandations sont désignées sous le nom AS55. [5] Le RPA78 est une Version préliminaire du code parasismique algérien, inspirée des règles sismiques américaines (UBC 73/76). Comme tous les anciens codes, les forces sismiques sont déterminées en utilisant la méthode statique équivalente.

Cependant, le séisme majeur d'El-Asnam de magnitude  $M_s=7,3$  survenu le 10 octobre 1980 a marqué le début d'une nouvelle ère pour le génie parasismique en Algérie. Le séisme a causé la mort de plus de 3000 personnes. En réponse à cet événement, la première version des règles parasismiques

algériennes, RPA 81, a été établie, suivie de sa mise à jour en 1983 sous le nom de RPA 81 - Version 1983. Comme la plus part des anciens codes, ces deux réglementations reposent sur la méthode statique équivalente pour le calcul de la force sismique. En 1988, Une première révision s’est intéressé au zonage, l’annulation de la restriction concernant l’utilisation des portiques auto-stables en zone III, et l’adoption de quelques dispositions constructives. La méthode d’analyse modale spectrale a été introduite dans le RPA 88 [9].

En 2000, les règles parasismiques algériennes ont été complété par le RPA 99, une évolution des documents précédents intégrant les enseignements des récents séismes en Algérie et ailleurs. Après le séisme de Boumerdès, le RPA 99 a été revu donnant naissance au RPA99 – Version 2003. La carte de zonage sismique a été modifiée, l’utilisation de voiles de contreventement dans les structures en béton armé a été fortement encouragée et recommandée. [10] Jusque à cette version, le zonage sismique était en phase avec le découpage administratif. Cette approche a été revue lors des révisions actuelles.

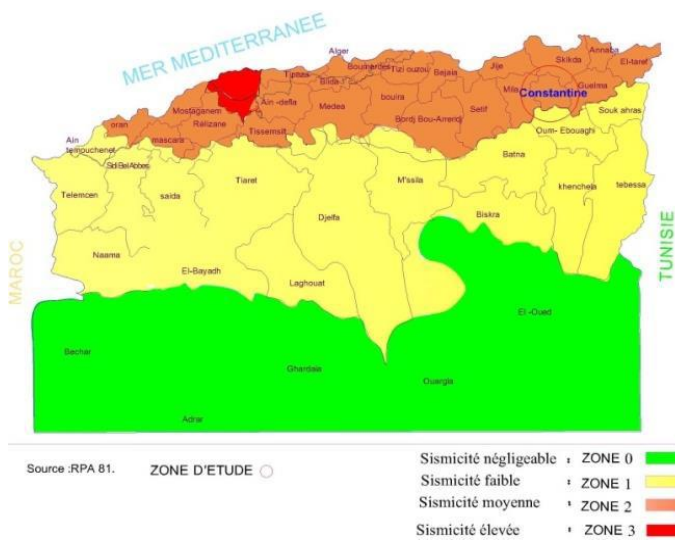


Figure 1-10: Carte de zonage de l’Algérie (RPA 88) [8]

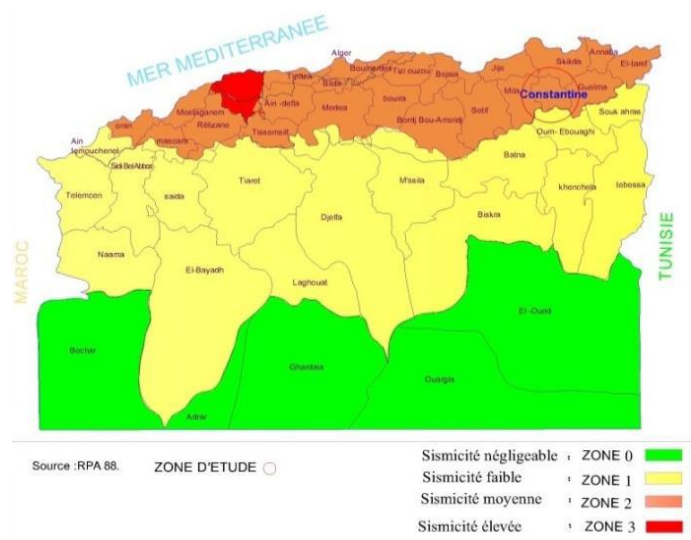
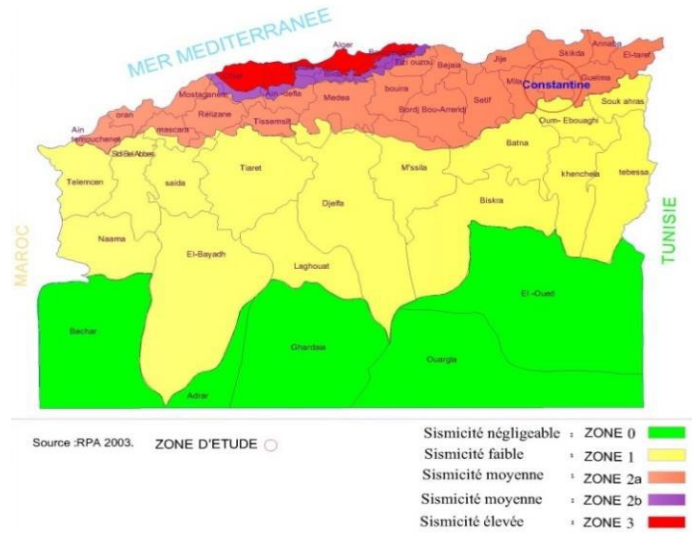
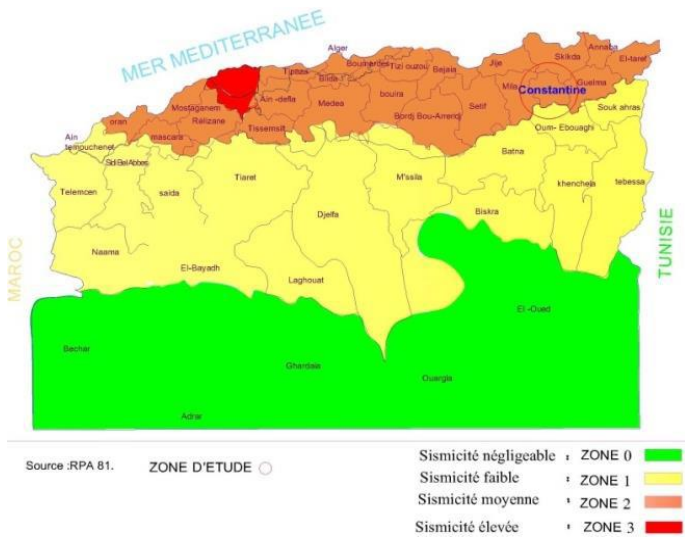


Figure 1-11 : Carte de zonage de l’Algérie (RPA81) [8]



**Figure 1-12: Carte de zonage de L'Algérie (RPA 99) [8] Figure 1-13: Carte de zonage de l'Algérie (RPA 99v2003)[8]**

### Domaine d'application des règles parasismiques Algérienne.

#### 1. 4. 4

Les directives s'appliquent à la plupart des constructions standards, mais elles ne sont pas directement adaptées aux types suivants de constructions :[11]

- Installations et structures où même des dommages mineurs pourraient avoir des conséquences extrêmement graves, telles que les centrales nucléaires, les installations de GNL, les sites de production et de stockage de produits inflammables, explosifs, toxiques ou polluants [11]. Ce type de structures est généralement dimensionné en élasticité pour éviter tout dommage compromettant leur service.
- Réseaux et structures enterrées. Pour ces types de constructions, des règles ou recommandations spécifiques doivent être consultées.
- Ouvrages d'art tels que les barrages, les structures maritimes, les ponts et les tunnels, etc. Pour certains, ils sont traités par d'autres codes. Pour d'autres (les barrages par exemple), aucun code réglementaire n'existe vu la complexité et la singularité de chaque ouvrage.

Il est clair que les dispositions du règlement ne s'appliquent pas dans les zones de sismicité « 0 » selon la classification des zones sismiques.

### **Le zonage sismique :**

La conception parasismique repose sur des principes universels. Deux paramètres fondamentaux sont essentiels pour la conception : l'action sismique et la réponse de la structure. L'évaluation de l'action sismique est l'étape primordiale. La prévention du risque sismique dans la plupart des codes parasismiques commence par l'établissement d'un zonage sismique, basé sur les résultats du calcul de l'aléa sismique. Cette dernière est définie comme la probabilité d'apparition d'un séisme en un site donnée pendant une période de référence donnée. La force sismique à prendre en compte dans le calcul des structures est déterminée pour chaque zone par le pic d'accélération (PGA) et le spectre de réponse, ou à partir des accélérogrammes [10].

Deux approches pour le calcul de l'aléa sismique peuvent être utilisées : l'approche probabiliste et l'approche déterministe. Comme son nom l'indique, l'approche déterministe consiste à déterminer une seule source sismique, généralement une faille caractérisée par sa magnitude maximale et sa distance par rapport au site, pour déterminer l'intensité sismique maximale au niveau du site de construction. La deuxième approche consiste à évaluer la probabilité de dépassement de chaque niveau d'intensité sismique pour un site donné, en prenant en compte toutes les sources sismiques de la région. Le processus de Poisson est souvent utilisé dans ce type d'approche. La probabilité de dépassement est calculée sur la base de ce modèle. Les résultats sont présentés sous forme de courbes d'aléa sismique, de cartes d'aléa et de spectres de réponse de type UHS (Uniform Hazard Spectrum) pour toutes les sources sismiques actives.[10] D'autre part, Dans les deux approches, on y tient compte du modèle sismotectonique qui caractérise la répartition des séismes selon différentes sources et failles actives et du modèle de propagation des ondes sismiques depuis l'hypocentre jusqu'au site d'étude. La première carte de zonage sismique appliqué en Algérie reposait principalement sur une étude probabiliste de l'aléa sismique réalisée par Mortgat et Shah, utilisant un catalogue couvrant la période 1790-1975. Bezzeghoud et al. ont ensuite publié une mise à jour de ces cartes à partir d'un catalogue de la sismicité algérienne compilé pour la période 1365-1992, définissant sept zones d'intensités X-XI, X, IX, VIII, VII, VI et  $\leq$ V. Depuis lors, d'autres études plus détaillées ont été menées pour différentes régions d'Algérie, telles que Chlef (WCC ), Alger (CGS - Geomatrix ), Oran (Bouhadad et al. ). Des études englobant l'ensemble du territoire ont également été réalisées, comme celles de Hamdache et al. , Aoudia et al. , et Pelaez et al.. La figure montre la distribution de la sismicité adaptée à partir du modèle proposé par Aoudia et al. [10]. En 2023, une nouvelle carte de zonage sismique a vu le jour.

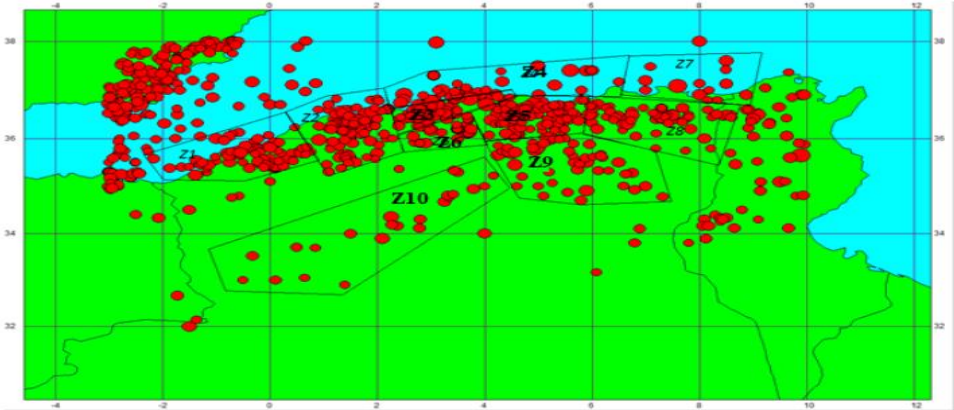


Figure 1-14 : Zonage sismique. [10]

**Partie 2 : COMPARAISON  
ENTRE LE RPA 99 /2003 et  
RPA 2023 / Octobre2023.**

**2. 1 Chapitre 1 : Comparaison entre le contenu de RPA99v2003 et RPA2023v Octobre 2023.****Introduction :**

Une étude comparative est envisagée dans cette partie. Elle concerne dans un premier temps les versions RPA 99 v 2003 et RPA 2023 v Octobre 2023. Les différentes révisions apportées dans la version d'Octobre 2023 sont énumérées en face de celle utilisées dans le RPA99. La comparaison concerne les différents chapitres (conception, méthodes de calcul ....). On se limite à quelques chapitres. Le détail est fourni dans l'annexe.

**Critères de classification :****2. 1. 2. 1 Classification des zones sismiques :**

<sup>2.1.2</sup> Dans la nouvelle version d'Octobre 2023, l'unité administrative est la « **commune** ». Ainsi, on peut trouver plusieurs (plus de deux) zones sismiques dans une wilaya. Un tableau est fourni donnant l'information de la zone sismique pour chaque commune.

-Concernant les zones de séismicité négligeable (Zone O) de la carte de macro zonage sismique, les séismes qui pourraient exceptionnellement s'y produire sont estimés avoir de faibles magnitudes ; les calculs de stabilité des constructions aux effets du vent sont jugés suffisants pour y couvrir les effets éventuels des sollicitations d'origine sismique.

**2. 1. 2. 2 Classification des ouvrages selon leur importance :**

**Le RPA 2023** a apporté les révisions suivantes :

-Pour les ouvrages (d'usage courant) d'importance moyenne la période de retour d'un séisme est de 475 ans.

-Pour les ouvrages de plus grande importance il faut introduire un coefficient d'importance supérieur à Un (1) appliqué à la sollicitation d'un ouvrage courant pour assurer la sécurité, qui implique une augmentation de la période de retour de séisme.

Groupe 1B : Ouvrages de grande importance :

RPA99 V2003 :	RPA 2023 v Octobre 2023 :
Les bâtiments scolaires plus de 300 personnes.	Les ouvrages scolaires sont classés groupe 1B quel que soit leur taille.

***Tableau 2-1 : Classification des ouvrages selon leur importance : Le groupe 1B***

## 2. 1. 2. 3 Classification des sites :

*Catégories et Critères de Classification :*

-Le nouveau règlement a fourni dans l'annexe II les essais géotechniques qui doivent être réalisées pour pouvoir classer le site dans l'un des quatre catégories. Ces catégories sont basées sur la moyenne des résultats du sol sur au moins 30m de profondeur (Sauf en cas de présence de rocher).

➤ Catégorie S1 (site rocheux) :

Dans le RPA 2023 les formations géologiques peuvent être constitué d'une couche superficielle moins résistante mais d'une épaisseur qui ne dépasse pas les 5m.

	qc (MPa) (c)	N (d)	pl(MPa) (e)	Ep (MPa) (e)	qu (Mpa) (f)	Cu (Kpa ) (f)	Vs (m/s) (g)
RPA99 v2003	–	–	> 5	>100-	>10	/	≥800
RPA 2023	/	/	≥5	≥100	/	/	≥ 760

Tableau 2-2 : Classification des sites : Catégorie S1

➤ Catégorie S2 (Site ferme) :

Pour l'argile sur-consolidée le RPA99 v2003 limitait l'épaisseur de 10m à 20m par contre dans le RPA 2023 on peut avoir plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur.

	qc (MPa) (c)	N (d)	pl(MPa) (e)	Ep (MPa) (e)	qu (Mpa) (f)	Cu (Kpa ) (f)	Vs (m/s) (g)
RPA99 v2003	>15	>50	>2	>20	>0,4	/	≥400- <800
RPA 2023	≥15	≥50	2-5	20 -100	/	≥100	360-760

Tableau 2-3 : Classification des sites : Catégorie S2

➤ Catégorie S3 (site meuble) :

	qc (MPa) (c)	N (d)	pl(MPa) (e)	Ep (MPa) (e)	qu (Mpa) (f)	Cu (Kpa ) (f)	Vs (m/s) (g)
RPA99 v2003	1,5-15	10- 50	1- 2	5 - 20	1- 0,4	/	≥200-<400
RPA 2023	1,5-15	10 -50	1- 2	5 - 20	/	50 - 100	180 -360

**Tableau 2-4: Classification des sites : Catégorie S3**

## ➤ Catégorie S4 (site très meuble ou présence de 3m au moins d'argile molle(b)) :

	qc (MPa) (c)	N (d)	pl(MPa) (e)	Ep (MPa) (e)	qu (Mpa) (f)	Cu (Kpa ) (f)	Vs (m/s) (g)
RPA99 v2003	<1,5	<10	<1	<5	<0,1	/	≥100 <200
RPA 2023	<1,5	<10	<1	<5	/	≤50	<180

**Tableau 2-5: Classification des sites : Catégorie S4**

2.1.2.3.2.

**Conditions de site nécessitant des investigations approfondies et études Spécifique (RPA 2023):**

Le RPA 2023 explique les conditions des études spécifiques pour la définition de l'action sismique, On observe un changement dans la condition de la présence de l'argile très plastique, passant d'une épaisseur de plus de 6 mètres (RPA99 V2003) à une épaisseur de plus de 7 mètres (RPA 2023), ainsi qu'un autre changement d'épaisseur dans le cas de la présence d'une couche d'argile molle à moyennement raide, passant de 30 mètres (RPA99 V2003) à 36 mètres (RPA 2023).

Commentaire ajouté dans le RPA 2023 : Etapes pour classer un site

1. Vérifier les quatre conditions nécessitant des investigations approfondies. Si le site répond à l'une de ces conditions, il y a lieu de faire une étude spécifique du site pour la définition de l'action sismique.
2. Vérifier l'existence d'épaisseur totale d'argile molle supérieure à 3m. Si ce critère est satisfait, classer le site en S4.
3. Classifier le site en utilisant les valeurs moyennes des résultats d'essais (pénétrömètre statique, SPT, pressiomètre, cisaillement non drainé et Vs) tels que définis dans le tableau 3.1

### 2. 1. 2. 4 Classification des systèmes de contreventement :

Dans le nouveau règlement, le coefficient de comportement R est ajusté par le coefficient de qualité Q. Ce dernier prend en considération le niveau de régularité et de redondance du système de contreventement lors du calcul de dimensionnement il est supposé que les règles de qualité et d'exécution propre à chaque matériau et système, ainsi que les dispositions constructives des chapitres 7 à 10, sont strictement respectées.

#### *Structures en béton armé :*

Le RPA 2023 démontre que les bâtiments en béton armé utilisent généralement des portiques « poteaux-poutres », des voiles ou une combinaison des deux pour le contreventement, avec des ratios variables. Les forces latérales sont réparties sur ces éléments en fonction de leurs rigidités relatives à chaque niveau grâce à des liaisons horizontales rigides.

#### Portique auto-Stables sans remplissage en maçonnerie rigide :

RPA 2023 v Octobre 2023
Les constructions concernées ne doivent pas excéder (4) niveaux ou 14 mètres en zone I, (3) niveaux ou 11 mètres en zone IIa et (2) niveaux ou 8 mètres en zones IIb et III.
l'utilisation de ce système est prohibée pour les groupes d'usage A et IB

**Tableau 2-6 : Portique auto-Stables sans remplissage en maçonnerie rigide**

#### Portique auto-stables avec remplissage en maçonnerie rigide :

RPA 2023 :
3 niveaux ou 11 m zone I ,2 niveaux ou 8m zone IIa ,1 niveau ou 5m zones IIb et III.
-L'utilisation de ce système est prohibée pour les groupes d'usage A et IB dans toutes les zones sismiques.

**Tableau 2-7 Portique auto-stables avec remplissage en maçonnerie rigide**

#### Système de contreventement constitué par des voiles porteurs :

RPA99 v2003	RPA 2023 v Octobre 2023
..... 20% au plus des sollicitations dues aux charges verticales sont repris par les voiles. .....	La hauteur est limitée à 48m Dans le cas où le système est constitué uniquement de voiles ou des voiles et portiques la totalité ou la plupart des charges verticales

	sont repris par les voiles. Ces voiles reprennent uniquement les sollicitations horizontales.
--	---

**Tableau 2-8 : Système de contreventement constitué par des voiles porteurs.**

Système de contreventement mixte assuré par des voiles et des portiques avec justification d'interaction portique-voiles (Système de contreventement mixte assuré par des voiles et portiques ductiles ):

« Les voiles de contreventement doivent reprendre jusqu'à 20% des charges verticales ».

*Commentaire* : Ce système de contreventement utilise une structure tridimensionnelle avec des portiques et des voiles ductiles qui coopèrent en cas de séisme. Ces deux composantes assurent une double protection :

1. Initialement, les voiles absorbent la charge sismique en se fissurant ou se déformant progressivement.
2. Ensuite, après un déplacement important des voiles, les portiques prennent le relais pour dissiper l'énergie restante et prévenir tout risque d'effondrement.

Système de contreventement de structures en portiques par des voiles :

RPA 2023 v Octobre 2023
-La totalité ou la plupart des charges verticales sont reprise par les voiles, ces voiles reprennent uniquement les sollicitations horizontales.
<b>-L'utilisation de ce système est interdit en zones IIb et III.</b>

**Tableau 2-9: Système de contreventement de structures en portiques par des voiles.**

Le type de construction associée à ce système de contreventement est, comme dans le cas précédant constituée d'une ossature tridimensionnelle composée de portiques et de voiles. Néanmoins, le contreventement est assuré uniquement par des voiles, les portiques étant des portiques ordinaires non associés à la résistance au séisme (non obligation des dispositions constructives du RPA). Le système est ainsi réduit à une seule ligne de défense (les voiles). C'est cette absence de redondance qui a entraîné la limitation de son utilisation aux zones de faible et moyenne sismicité (zones I et IIa).

**Règles de calculs :****2. 1. 3. 1 Choix de la méthode de calcul :*****Méthodes utilisables :***

Les trois méthodes de calculs sont évoquées. Mais la nouvelle version apporte plus de détails quant à la méthode dynamique temporelle.

2. 1. 3

**2. 1. 3. 2 Méthode statique équivalente :**

2.1.3.1.1.

***Condition d'application de la méthode statique équivalente :*****+ Selon RPA99 v2003 :**

La méthode statique équivalente est applicable si :

- <sup>2.1.3.2.1</sup> Respect des critères de régularité en plan et en élévation avec une hauteur maximale de **65 m** dans les zones **I** et **II**, et de **30 m** dans les zones **III**
- Pour la zone **III** group d'usage **1B** si  $h \leq 3$  niveau ou 10 m

**+ Selon RPA 2023 v Octobre 2023 :**

La méthode statique équivalente est applicable si :

- Le bâtiment ou le bloc examiné est conforme aux normes de régularité tant en terme de disposition horizontale que verticale, avec une hauteur maximal de **65 m** dans les zones **I** et **IIa**, et à **32 m** en zone **IIb** et **III**
- La zone **II** devisée en zone **IIa** et **IIb** , les conditions de hauteur de la zone **IIb** sont identiques a celles de la zone **III**
- <sup>2.1.3.2.2</sup> Pour la zone **III** group d'importance **1B** si  $h \leq 3$  niveau ou 11 m

***Calcul de la force sismique totale :***

La force sismique	RPA99v2003	RPA 2023 v Octobre 2023
V	$V = \frac{A D Q}{R} W$	$V = 0.8 \frac{A.I.S.D.Q}{R} W$ $R/Q \geq 1,5$

**Tableau 2-10 : Comparaison de calcul de la force sismique entre RPA 99v2003 et RPA 2023 v Octobre 2023.**

Le RPA 2023 v Octobre 2023 fournit des commentaires concernant le calcul de la force sismique total :

**Commentaire 1 :** L'évaluation de l'effort tranchant global à la base est basée sur le mode fondamental de vibration considéré comme prépondérant, ce qui est généralement le cas de structures peu élancées ( $T \leq 0.7s$ ). Par ailleurs, il est connu que le mode fondamental ne mobilise que 60% à 90% de la masse

totale de la structure, soit une moyenne d'environ 80%. C'est ce qui explique le coefficient réducteur de 0.8.

*Commentaire 2* : La valeur minimum  $R/Q=1.5$  est justifiée par le phénomène de sur résistance qui est constatée dans la plupart des constructions conçues et réalisées dans le respect des prescriptions réglementaires y afférentes, confortées par ailleurs par des dispositions constructives du présent document.

• **A : Coefficient d'accélération de zone :**

	Zone I	Zone II a	Zone II b	Zone III	
1A	0,15	0,25	0,25	0,4	Rpa99 v2003
	0,10	0,15	0,25	0,35	Rpa2023 v Octobre 2023
1B	0,12	0,20	0,25	0,30	
2	0,10	0,15	0,20	0,25	
3	0,07	0,10	0,14	0,18	

**Tableau 2-11: comparaison des valeurs de coefficient d'accélération entre le RPA99v2003 et RPA 2023 v Octobre 2023.**

- Il est noté que le RPA2023 fournit les valeurs du coefficient d'accélération selon le zonage.
- Le RPA99 classe le coefficient d'accélération suivant la zone sismique et le groupe d'usage.

**I : Coefficient d'importance :** en fonction de group d'importance

Group d'importance	1A	1B	2	3
I	1,40	1,20	1	0,8

**Tableau 2-12: Valeurs de coefficient d'importance du RPA 2023v Octobre 2023.**

• **S : Coefficient de site :** en fonction de la catégorie du site :

Site	S1	S2	S3	S4
S	1	1,10	1,20	1,30

**Tableau 2-13: Valeurs de coefficient de site du RPA 2023 v Octobre 2023.**

Le coefficient de site est ramené à 1,10 pour le site en zone II b et III ainsi pour le site S3 en zone III

Cette limitation de la valeur de S a 1.10 mentionnée ci-dessus est destinée à tenir compte de l'amortissement et de la dissipation d'énergie en présence de sols meubles à très meubles sous très forte sollicitations d'origine sismique.

- **D : Coefficient de forme spectral moyenne** : en fonction de la catégorie de site, du facteur de correction d'amortissement et de la période fondamentale de la structure .

	RPA99 v 2003	RPA2023 v Octobre 2023
D	$2.5\eta \quad 0 < T < T_2$	$2.5\eta \quad 0 < T < T_2$
	$2.5\eta \left(\frac{T_2}{T}\right)^{2/3} \quad T_2 < T < 3s$	$2.5\eta \left(\frac{T_2}{T}\right) \quad T_2 < T < T_3$
	$2.5\eta \left(\frac{T_2}{3}\right)^{2/3} \left(\frac{3}{T}\right)^{5/3} \quad T > 3s$	$2.5\eta \left(\frac{T_2 T_3}{T^2}\right) \quad T > T_3$

Tableau 2-14: Coefficient de forme spectral moyenne RPA99v2003 et RPA2023v Octobre 2023.

- **Q : Facteur de qualité**
- 

	$P_q$			
	RPA 2003		RPA 2023	
	$Q = 1 + \sum_{q=1}^5 P_q$		$Q = 1 + \sum_{q=1}^4 P_q$	
	Observé	N/observé	Observé	N/observé
1. Conditions minimales sur les files de contreventement	0	0,05	0	0,10
2. Redondance en plan	0	0,05	0	0,10
3. Régularité en plan	0	0,05	0	0,10
4. Régularité en élévation	0	0,05	0	0,10
5. Contrôle de la qualité des matériaux	0	0,05	/	/

6. Contrôle de la qualité de l'exécution	0	0,10	/	/
--	---	------	---	---

Tableau 2-15: Comparaison de valeurs des pénalités entre RPA 2003 et RPA2023.

- **R : Coefficient de comportement :**

Le coefficient de comportement est ajusté par le coefficient de qualité Q permettant de considérer le degré de régularité et de redondance du système

Cat	Description du système de contreventement	R	
		RPA 2003	RPA 2023
<b><u>A</u></b>	<b><u>Béton armé</u></b>		
1a	Portiques auto-stables sans remplissages en maçonnerie rigide	5	4,5
1b	Portiques auto-stables avec remplissages en maçonnerie rigide	3,5	3,5
2	Voiles porteurs	3,5	4
3	Noyau	3,5	3,5
4a	Mixte portiques/voiles avec interaction	5	5
4b	Portiques contreventés par des voiles	4	4
5	Console verticale à masses réparties	2	3
6	Pendule inverse	2	2,5
<b><u>B</u></b>	<b><u>Acier :</u></b>		
7	Portiques auto-stables ductiles	6	6
8	Portiques auto-stables ordinaires	4	4
9a	Ossature contreventée par palées triangulées en X	4	4
9b			
10a	Ossature contreventée par palées triangulées en V	3	3
10b			
11	Mixte portiques/palées triangulées en X	5	5
	Mixte portiques/palées triangulées en V	4	3,5
	Portiques en console verticale	2	2,5

<b><u>C</u></b>	<b><u>Maçonnerie</u></b>		
12	Maçonnerie porteuse chaînée	2,5	3
<b><u>D</u></b>	<b><u>PROFILE FORME A FROID (P.A.F) :</u></b>		
13	Système de contreventement en panneaux en P.A.F		2
14	Système de contreventement en panneaux en P.A.F en diagonales tendues		1,5
<b><u>E</u></b>	<b><u>Bois :</u></b>		
15	Consoles poutres à joints cantilevers		1,5
16	Poutres, ares à deux ou trois articulations, Treillis assemblés par connecteurs à dents		1,5
17	Murs en ossature et diaphragmes collés assemblés entre eux par clous et boulons: Treillis avec assemblage broché et boulonné. Ossatures		2,5
18	avec remplissage non porteur  Portique hyperstatique avec assemblages boulonnés et brochés, treillis avec assemblages cloués		2,5

<b>F</b>	<b>Autres systèmes</b>		
20	Ossature métallique contreventée par diaphragme	2	2,5
21	Ossature métallique contreventée par noyau en béton armé	3	3
22	Ossature métallique contreventée par voiles en béton armé	3,5	4
23	Ossature métallique avec contreventement mixte comportant un noyau en béton armé et palées ou portiques métalliques en façades	4	5
24	Systèmes comportant des transparences (étages souples)	2	

**Tableau 2-16: Comparaison des valeurs de coefficient de comportement entre le RPA99 v2003 et RPA 2023 v Octobre 2023.**

2.1.3.2.3.

**Distribution horizontale des forces sismiques :**

$$V_k = F_t + \sum_{i=k}^n F_i \quad (2.1.1)$$

- La même formule est utilisée pour calculer l'effort tranchant au niveau de l'étage k dans les normes <sup>2.1.3.2.4</sup>RPA 2003 et RPA 2023.

**Composantes verticales de l'action sismique :**

<b>F<sub>vu</sub></b>	porte-à-faux dépassant <b>1.50m</b>	
	<b>F<sub>vu</sub> = 0,5 AW<sub>p</sub></b>	RPA99v2003
	<b>F<sub>vu</sub> = 0,15 AISW<sub>p</sub></b>	RPA2023 v Octobre 2023

**Tableau 2-17: Comparaison de la composante verticale selon RPA99v2003 et RPA2023 v Octobre 2023.**

- Le RPA 2023 v Octobre 2023 a défini une nouvelle fonctionnalité concernant la composante verticale dans le calcul des poutres comportant des travées dépassant 15,00 m de long,

particulièrement en zones sismiques IIb et III. La charge verticale à appliquer est déterminée par la formule ci-dessous

$$F_{va} = 0.7AISW_p \tag{2.1.2}$$

**2.1.3.3 Méthode dynamique modale spectral :**

*Spectre de réponse élastique :*

✚ Selon RPA 2023 v Octobre 2023 :

Les expressions suivantes définissent le spectre de réponse élastique

2.1.3.3.1.

$$\frac{S_{ad}}{g} \left\{ \begin{array}{ll} AIS \left(1 + \frac{T}{T_1} (2.5\eta - 1)s\right) & 0 < T \leq T_1 \\ 2.5 \eta AIS & T_1 < T \leq T_2 \\ 2.5 \eta AIS \left(\frac{T_2}{T_1}\right) & T_2 < T \leq T_3 \\ 2.5 \eta AIS \left(\frac{T_2 T_3}{T_1}\right) & T_3 < T \leq 4s \end{array} \right. \tag{2.1.5}$$

2.1.3.3.2.

*Combinaisons des réponses modales :*

	RPA99v2003	RPA 2023 v Octobre 2023
E	$\sqrt{( E_1  +  E_2 )^2 + \sum_{i=3}^k E_i^2}$	$\sqrt{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k E_{1rj} E_{2rj}}$

**Tableau 2-18: Comparaison de l’expression de la réponse total entre RPA99v 2003 et RPA2023 v Octobre 2023.**

*Spectre de réponse de calcul*

Selon RPA99v2003 :

$$\frac{S_{ad}}{g} \left\{ \begin{array}{ll} 1.25A \left(1 + \frac{T}{T_1} \left(2.5\eta \frac{Q}{R} - 1\right)\right) & 0 < T \leq T_1 \\ 2.5 \eta (1.25A) \left(\frac{Q}{R}\right) & T_1 < T < T_2 \\ 2.5 \eta (1.25A) \left(\frac{Q}{R}\right) \left(\frac{T_2}{T}\right)^{2/3} & T_2 < T < 3s \\ 2.5 \eta (1.25A) \left(\frac{T_2}{T}\right)^{2/3} \left(\frac{3}{T}\right)^{5/3} \left(\frac{Q}{R}\right) & T > 3s \end{array} \right. \quad (2.1.3)$$

Selon RPA2023 v Octobre 2023 :

$$\frac{S_{ad}}{g} \left\{ \begin{array}{ll} AIS \left(\frac{2}{3} + \frac{T}{T_1} \left(\frac{2.5 \eta Q}{R} - \frac{2}{3}\right)\right) & 0 < T \leq T_1 \\ \frac{2.5 \eta AISQ}{R} & T_1 < T \leq T_2 \\ \frac{2.5 \eta AISQ}{R} \left(\frac{T_2}{T}\right) & T_2 < T \leq T_3 \\ \frac{2.5 \eta AISQ}{R} \left(\frac{T_2 T_3}{T^2}\right) & T_3 < T \leq 4s \\ 2.5 \eta AIS \left(\frac{T_2 T_3}{T_1}\right) & T_3 < T \leq 4s \end{array} \right. \quad (2.1.4)$$

**2. 1. 3. 4 Méthode dynamique temporelle :**

Le nouveau règlement 2023 apporte la modification suivante «

*Dans le choix des accélérogrammes pour l'analyse sismique, les accélérogrammes réels représentant les caractéristiques sismogènes locales, calés à l'accélération du site d'implantation (AIS), peuvent être utilisés. Les accélérogrammes artificiels, générés synthétiquement ou par simulation physique, doivent avoir un spectre de réponse moyen compatible avec le spectre réglementaire du site. Il est nécessaire d'utiliser au moins trois accélérogrammes dans la direction considérée, couvrant la fourchette des périodes 0.2T a -2T, avec aucune valeur du spectre de réponse élastique moyen inférieure de plus de 10% à la valeur réglementaire pour 5% d'amortissement. De plus, les valeurs enveloppes des grandeurs maximales calculées à partir de ces accélérogrammes doivent être prises en compte dans le dimensionnement de l'ouvrage.*

**Justification de la sécurité :****2. 1. 4. 1 Combinaisons d'actions :**

Le RPA 2023 considère une probabilité de 30% pour la charge sismique pour considérer les deux composantes horizontales.

2. 1. 4	RPA99v2003	RPA2023 v Octobre 2023	
	G+Q ±E	G+Q ±E	
	0,8G±E	0,8G±E	
	G+Q ±1,2E 0,8G±E	G+Q ±1,3E 0,8G±E	Pour Les poteaux dans les portiques autostables,

**Tableau 2-19: Combinaisons d'actions selon le RPA99v2003 et le RPA 2023 v Octobre 2023.**

**2. 1. 4. 2 Justification vis-à-vis de l'équilibre d'ensemble :**

Le RPA 2023 v Octobre 2023 apporte quelques commentaires :

*Un coefficient de sécurité d'au moins 1,75 est requis pour la stabilité contre le renversement. Le moment stabilisant est calculé en utilisant les charges verticales considérées pour déterminer la force sismique latérale, avec l'ajout des poids de la fondation et du sol au-dessus. Ce moment stabilisant doit être calculé au niveau inférieur de la fondation par rapport au bord extrême. Pour la stabilité contre le glissement, si une vérification est nécessaire, un coefficient de sécurité minimum de 1,3 doit être appliqué.*

**2. 1. 4. 3 Justification de la largeur des joints sismiques :**

RPA99v2003	RPA2023 v Octobre 2023
$d_{min}=15mm+(\delta_1+\delta_2)mm \geq 40mm$	$d_{min}=\sqrt{(\delta_1^2 + \delta_2^2)} \geq 40mm$

**Tableau 2-20: Justification de la largeur des joints sismiques.**

#### 2. 1. 4. 4 Justification vis-à-vis de l'effet P-Δ :

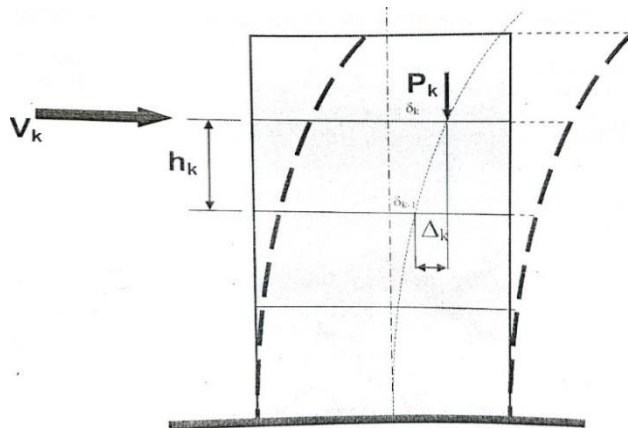


Figure 2-1: l'effet P-Δ

RPA99v2003	RPA2023 v Octobre 2023
$\Delta\kappa = \delta\kappa - \delta\kappa_{-1} \leq 0,01 h\kappa$ (ne doivent pas dépasser 1%)	$\Delta\kappa = \delta\kappa - \delta\kappa_{-1} \leq 0,015 h\kappa$ (ne doivent pas dépasser 1,5%)

Tableau 2-21: Justification vis-à-vis de l'effet P-Δ.

*Important* : On observe une augmentation des déplacements inter étages. De plus, contrairement au RPA 99 et comme mentionné précédemment, le déplacement non linéaire est calculé via un coefficient de comportement ajusté par Q. ( $\Delta\kappa = R/Q * \Delta_{\text{élastique}}$ )

#### Prescription complémentaires et éléments non- structuraux :

2.1.5.1.1.

#### 2. 1. 5. 1 Prescriptions complémentaires :

##### *Compatibilité des déplacements :*

L'utilisation de l'expression R/Q est généralisée. Ainsi, le RPA 2023 v Octobre 2023 spécifie que "tous les éléments d'ossature qui ne font pas partie du système de contreventement doivent être vérifiés pour supporter les charges verticales en même temps que les moments résultants dus à R/Q fois..."

*Diaphragme :*

	RPA99v2003	RPA2023 v Octobre 2023
Force sismique	$0,8 AW_{pk} < F_{pk} < 1,6 AW_{pk}$	$0,35 AISW_{pk} < F_{pk} < 0,7 AISW_{pk}$

**Tableau 2-22: Comparaison des bornes de la force sismiques exercée sur les diaphragmes entre RPA99 v2003 et RPA 2023 v Octobre 2023.**

**2. 1. 5. 2 Eléments non structuraux :**

Force horizontale	RPA99 v2003	RPA 2023 v Octobre 2023
$F_p$	$F_p = 4A C_p W_p$	$F_{pk} = AIS C_p (1 + 3h_k / H) W_p$

**Tableau 2-23: Comparaison de la force horizontale entre RPA99v 2003 et RPA 2023 v Octobre 2023.**

- Il est clair que les deux formules sont complètement différentes
- Le RPA2023 pris en considération le coefficient d'importance (I) et le coefficient de site (S)

Partie ou position dans le bâtiment	Direction de la force	Valeur de $C_p(1)$	
		RPA/2003	RPA/2023
Éléments en console : a) Parapets, b) Cheminées (console)	Normale aux surfaces planes N'importe quelle direction	0,8	0,8
Tous les autres murs, cloisons et éléments similaires	Normale aux surfaces planes	0,3	0,4
Décorations extérieures et intérieures, garnitures	N'importe quelle direction	0,8	0,8
Quand reliés à, faisant partie de, ou logés dans un bâtiment : a) Appentis, ancrages et supports pour citernes, y compris leur contenu, cheminées accolées aux	N'importe quelle direction	0,3	0,45

bâtiments b) Etagères de rangement c) Plafonds suspendus (2) d) Tout équipement ou machine (3)	N'importe quelle direction	0,3	0,45
Attaches pour éléments de structure en préfabriqué, autres que les murs, avec force appliquée au centre de gravité de l'assemblage	N'importe quelle direction	0,3	0,45
	N'importe quelle direction	0,3	0,45

**Tableau 2-24: Comparaison de facteur des forces horizontales  $C_p$  entre le RPA99 v2003 et RPA 2023 v Octobre 2023.**

**Structures en béton armé :**

2. 1. 6 **2. 1. 6. 1 Spécifications concernant les matériaux :**

***Béton :***

2.1.6.1.1.

RPA99 v2003	RPA 2023 v Octobre 2023
Pour les éléments principaux, le béton utilisé .....doit avoir une résistance caractéristique $f_{c28}$ comprise entre 20 MPa et 45 MPa. 2.1.6.1.2.	Pour les éléments principaux, le béton utilisé dans la conception des ouvrages situés en zone sismique doit avoir une résistance caractéristique $f_{c28}$ comprise entre 25 MPa et 60 MPa.

**Tableau 2-25: Spécifications concernant les matériaux « Béton ».**

***Acier :***

RPA99 v2003	RPA 2023 v Octobre 2023
Une limite d'élasticité spécifiée inférieure ou égale à 500 MPa. 2.1.6.2.1.	Une limite d'élasticité spécifiée supérieure ou égale à 400 MPa et inférieure ou égale à 500 MPa.

**Tableau 2-26: Spécifications concernant les matériaux « Acier ».**

**2. 1. 6. 2 Conception et vérifications :**

***Coefficients de sécurité partiels :***

✚ RPA 2023 v Octobre 2023 :

Pour les poteaux en béton armé  $Y_b=1.3$

**Ferrailage :**

*Les armatures longitudinales :*

	RPA99v2003	RPA2023 v Octobre 2023.
2.1.6.3.2. Pourcentage minimale	4% en zone courante	3% en zone courante
	6% en zone de recouvrement	6% en zone de recouvrement
La longueur minimale de recouvrement	40 $\emptyset$ en zones I et IIa 50 $\emptyset$ en zones IIb et III	50 $\emptyset$ en zones I et IIa 60 $\emptyset$ en zones IIb et III

**Tableau 2-27: Les armatures longitudinales (le cas des poteaux).**

**2. 1. 6. 3 Spécifications pour les poutres :**

**Coffrage :**

2.1.6.3.1.

RPA99v2003	RPA2023 v Octobre 2023
$b \geq 20$ cm	$b \geq 20$ cm en zones I et IIa  $b \geq 25$ cm en zones IIb et III

2.1.6.3.2.

**Tableau 2-28: Le Coffrage cas des poutres.**

**Ferrailage :**

	RPA99v2003	RPA2023 v Octobre 2023
Pourcentage minimale	4% en zone courante	4% en zone courante
	6% en zone de recouvrement	6% en zone de recouvrement
La longueur minimale de recouvrement	40 $\emptyset$ en zones I et IIa 50 $\emptyset$ en zones IIb et III	50 $\emptyset$ en zones I et IIa 60 $\emptyset$ en zones IIb et III

**Tableau 2-29: Armatures longitudinales cas des poutres.**

## 2. 1. 6. 4 Dimensionnement du nœud vis-à-vis des moments fléchissant

RPA99 v2003	RPA 2023 v Octobre 2023
Un coefficient majorateur de 1.25 $ M_n + M_s  \geq 1.25 ( M_{rw} + M_{re} )$ $ M'_n + M'_s  \geq 1.25 ( M'_{rw} + M'_{re} )$	Un coefficient majorateur de 1.30 $ M_{rn} + M_{rs}  \geq 1.30 ( M_{rw} + M_{re} )$ $ M'_{rn} + M'_{rs}  \geq 1.30 ( M'_{rw} + M'_{re} )$ La formule ne s'applique pas aux portiques contreventés par des voiles
Cette vérification est facultative pour les maisons individuelles et les deux derniers niveaux des bâtiments supérieurs à R+2.	Cette vérification est facultative pour les maisons individuelles de maximum R+1 et les deux derniers niveaux des bâtiments supérieurs à R+1.

Tableau 2-30: Dimensionnement du nœud vis-à-vis des moments fléchissant.

## 2. 1. 6. 5 Murs et Voiles de contreventement :

- La portée du voile :

RPA	RPA99v2003	RPA2023 v Octobre 2023
La portée du voile	$L \geq 4a$	$L \geq \max (h_e/3 ; 4a ; 1m)$

Tableau 2-31: Valeur de la longueur du voile « L » suivent les deux règlements parasismiques algériens.

RPA99 v2003	RPA 2023 v Octobre 2023
$\tau_b \leq \bar{\tau}_b = 0.2 f_{c28}$	Pour les trumeaux $\tau_b \leq 0.12 f_{c28}$
	Pour les linteaux $\tau_b \leq 0.2 f_{c28}$

Tableau 2-32: Contraintes limites de cisaillement dans les linteaux et trumeaux.

Commentaire. :

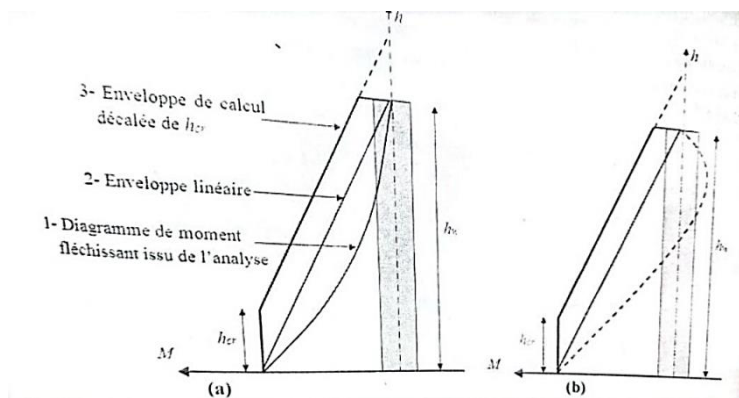
La limitation de la contrainte de cisaillement dans les trumeaux, avec de plus, un effort tranchant majoré, vise à éviter leur rupture fragile par cisaillement. La limite moins sévère pour les linteaux est justifiée par le rôle que jouent ces zones critiques pour la dissipation d'énergie en cas de séisme majeure et ce, moyennant les dispositions de ferrailage développées en 7.7.3.

**Ferraillages des trumeaux :**

Le nouveau règlement RPA2023 a renommé ce critère : Ferraillages des voiles et des trumeaux

Le RPA 2023 a retiré un paragraphe concernant la deuxième condition et la largeur des bondes verticales  $d$ , et il l'a remplacé par « Pour les murs élancés, le diagramme de moment fléchissant calculé en fonction de la hauteur est représenté par une enveloppe linéaire du diagramme de moment fléchissant obtenu par l'analyse structurelle, déplacée verticalement d'une distance équivalente à la hauteur de la zone critique du mur. »

$$h_{cr} = \max (l_w, h_w / 6)$$



**Figure 2-2 : Enveloppe de calcul pour les moments fléchissant.**

$$\text{Mais } h_{cr} \leq \begin{cases} 2.l_w \\ \begin{cases} h_e \text{ pour } n \leq 6 \text{ niveaux} \\ 2h_e \text{ pour } n > 7 \text{ niveaux} \end{cases} \end{cases}$$

*Commentaire :* L'enveloppe de calcul du diagramme de moment fléchissant est construite en deux étapes. La première étape consiste à avoir l'enveloppe linéaire qui joint le moment maximal à la base à celui au sommet. La deuxième étape consiste à décaler cette enveloppe linéaire verticalement par la hauteur critique. Le diagramme du moment fléchissant pour les systèmes à contreventement mixte peut éventuellement être négatif dans les étapes supérieures.

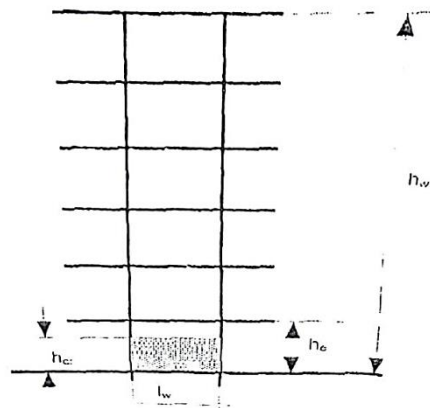
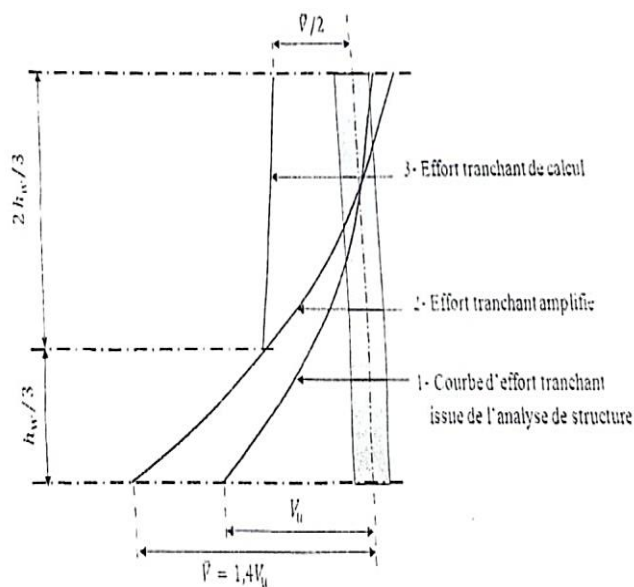


Figure 2-3: -Zone critique à la base du voile.

Pour les systèmes à contreventement mixte consonant des voiles élancés, l'enveloppe de calcul modifiée pour les efforts tranchants est donnée à la Figure.



2.1.6.5.2.

Figure 2-4: Enveloppe de calcul pour les efforts tranchants dans les voiles élancés des systèmes à contreventement mixte.

### Les exigences de ductilité pour la zone critique.

-Pour plus d'éclaircissement, le RPA 2023 v Octobre 2023 a ajouté ce nouveau critère.

En plus des vérifications requises par le C.B. A et dans le dessein de prévenir ou de réduire le risque de rupture fragile (en flexion composée) sous les sollicitations globales provoquées par le séisme, la contrainte normale de compression calculée des voiles est restreinte par la condition suivante :

$$V = \frac{Nd}{Bc.f c28} \leq 0.25 \quad (2.1.5)$$

**Aciers horizontaux :**

RPA99 v2003	RPA 2023 v Octobre 2023
<p>-Les barres horizontales doivent être équipées de crochets à 135° d'une longueur de 10Ø.</p> <p>-Si des talons de rigidité sont présents, les barres horizontales <b>doivent</b> être ancrées sans crochets, à condition que les dimensions des talons permettent un ancrage droit.</p>	<p>-Les barres horizontales doivent être équipées de crochets.</p> <p>-Si des talons de rigidité sont présents les barres horizontales <b>peuvent</b> être ancrées sans crochets, à condition que les dimensions des talons permettent un ancrage droit.</p> <p>-Le ferrailage horizontal requis pour résister à l'effort tranchant doit répondre à l'équation suivante :</p> $\frac{Ah}{S} \geq \frac{\bar{V}}{zfe}$ <p>Avec <math>\bar{V}</math> effort tranchant de calcul. <math>\bar{V} = 1.4V_u</math></p> <p>z distance entre les centres de gravité des armatures des deux extrémités confinées.</p>

**Tableau 2-33: Aciers horizontaux pour Ferrillages des voiles et des trumeaux.**

**Règles communes :**

RPA99 v2003	RPA 2023 v Octobre 2023.
<p>Le pourcentage minimum des armatures verticales et horizontales des trumeaux est défini de la manière suivante :</p> <p>Globalement dans la section du voile 0,15%</p> <p>En zone courante 0,10%</p>	<p>Le pourcentage minimum des armatures verticales et horizontales dans l'âme du voile est de 0.2%</p>

L'espacement des barres horizontales et verticales doit être inférieur à la plus petite des deux (2) valeurs suivantes :  $S \leq \min (1,5 a ; 30\text{cm})$	L'espacement des barres horizontales et verticales doit être inférieur à la plus petite des deux (2) valeurs suivantes :  $S \leq \min (1,5 b_w ; 25\text{cm})$
Les longueurs de recouvrement doivent être égales à :  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 40Ø pour les barres situées dans les zones où le renversement du signe des efforts est possible ;</li> <li>• 20Ø pour les barres situées dans les zones comprimées sous l'action de toutes les combinaisons possibles de charges.</li> </ul>	Les longueurs de recouvrement doivent être égales à :  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 60Ø pour les barres situées dans les zones II et III;</li> <li>• 50Ø pour les barres situées dans les zones I et Iia</li> </ul>
Le long des joints : Cette quantité (d'effort tranchant) doit être ajoutée à la section des armatures tendues requises pour équilibrer les forces de traction résultant des moments de renversement.	Le long des joints : Seule la différence entre la section calculée par la formule et celle des barres existantes est ajoutée. Les nouvelles armatures doivent avoir un diamètre minimum de 10 mm et une longueur d'ancrage minimale de 50 Φ.

2. 1. 7 *Tableau 2-34: Règles communes pour Ferrailages des voiles et des trumeaux.***Construction en bois :**

Le programme du RPA 2023 v Octobre 2023 a marqué un tournant significatif en intégrant la construction en bois parmi ses priorités, reconnaissant ainsi l'importance croissante de cette méthode de construction durable et écologique dans le paysage architectural contemporain.

## 2. 2 Chapitre 2 : Etude comparative d'un bâtiment à usage d'habitation sans changement du zonage.

### Introduction :

Dans ce chapitre, nous introduisons le bâtiment choisis pour mener une étude comparative entre les normes parasismiques algériennes RPA99 v2003 et RPA 2023 v Octobre 2023.

#### 2. 2. 1 Présentation du projet :

Le projet vise à accomplir une étude d'un bloc à usage d'habitation composé d'un **Sous-Sol + RDC+ 11 étages**. Cet ouvrage est implanté à Tlemcen, Il s'agit d'une zone à faible activité sismique, désignée comme "zone I" selon la réglementation parasismique algériennes 99 versions 2003 et selon la nouvelle réglementation parasismique algériennes 2023 v Octobre 2023.

Les différents plans de notre structure sont présentés dans l'**Annexe 1**.

#### **Caractéristique géométrique de l'ouvrage :**

- ✚ Longueur : 19.75m
- ✚ Largeur : 24.65m
- ✚ Hauteur d'étage courant : 3.06m
- ✚ Hauteur de RDC : 3.57m
- ✚ Hauteur de sous-sol : 2.83m
- ✚ Hauteur totale du bâtiment : 39.88 m

#### **Combinaison d'action :**

##### **a) Plancher :**

Soumises aux actions des charges permanentes et d'exploitations :

ELU :  $1,35G+1,5Q$

ELS :  $G + Q$

##### **b) Poutre :**

Dans le cas des actions sismiques :

$G + Q \pm E$      $1,35G+1,5Q$

$0,8 G \pm E$      $G+Q$

**c) Poteaux :***RPA99v2003 :* $G + Q \pm 1,2 E$  $0,8 G \pm E$ *RPA2023 :* $G + Q \pm 1,3 E$  $0,8 G \pm E$ **d) Voile :** $G + Q \pm E$  $0,8 G \pm E$ **Les hypothèses de calculs :**

Les hypothèses de calculs choisies pour notre étude sont :

- ❖ La résistance du béton à la compression à 28jours :  $f_{c28} = 25 \text{ MPA}$
- ❖ La résistance du béton à la traction :  $f_{t28} = 2,1 \text{ MPA}$
- ❖ Le module d'élasticité instantané du béton :  $E_{ij} = 32000 \text{ MPA}$
- ❖ Armature longitudinale de l'acier « HA :  $f_e.E.400$  » »
- ❖ Armature transversale de l'acier « RL :  $f_e.E.215$  » »
- ❖ Treillis soudés (dalle de compression) : «  $f_e.E.500$  » »

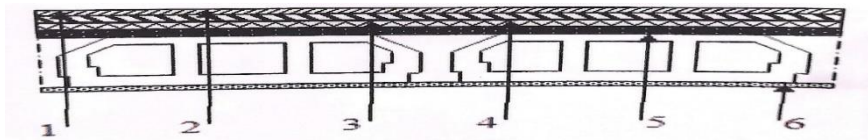
2. 2. 3

**Pré-dimensionnement des éléments :****2. 2. 3. 1 Pré-dimensionnement des éléments secondaires :**

En utilisant les règlements RPA99 v2003 et le RPA2023 et C.B.A 93, Nous avons fait un pré-dimensionnement. Par soucis de simplicité, les détails de calcul ne sont pas fournis.

**Evaluation des charges et surcharge :**

Plancher étage courant :

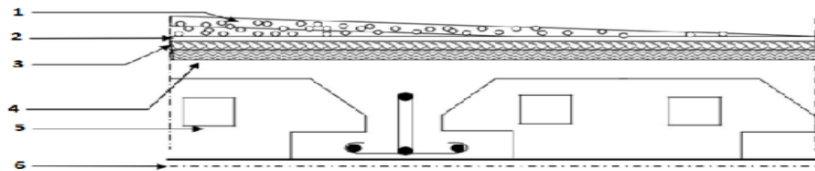


*Figure 2-5: Plancher étage courant.*

N°	Eléments	Épaisseurs (m)	Poids Volumique (KN/m <sup>3</sup> )	Charges (KN/m <sup>2</sup> )
1	Carrelage	0,02	22	0,44
2	Mortier de pose	0,02	20	0,4
3	Lit de sable	0,02	18	0,36
4	Plancher à corps creux	0,16+0,05	/	3,05
5	Enduit en plâtre	0,02	10	0,2
6	Cloison	0,1	10	1
				G=5,45
				Q=1,5

**Tableau 2-35: Descende des charges plancher étage courant.**

Plancher terrasse inaccessible :



**Figure 2-6: Terrasse inaccessible.**

N	Eléments	Épaisseurs(m)	Poids Volumique (KN/m <sup>3</sup> )	Charges (KN/m <sup>2</sup> )
1	Gravillon de protection	0,05	16	0,8
2	Étanchéité	0,02	6	0,12
3	Enduit en plâtre	0,02	10	0,2
4	Plancher à corps creux	0,16+0,05	/	3,05
5	Béton en forme de pente	0,10	22	2,22
6	Isolation thermique	0,04	4	0,16
				G=6,55
				Q=1

**Tableau 2-36: Descende des charges terrasse inaccessible.**

### 2. 2. 3. 2 Pré-dimensionnement des éléments principaux :

**Poutre principale :**

Selon C.B.A 93 :

$$\frac{l_{max}}{15} \leq h_p \leq \frac{l_{max}}{10}$$

$$43,3 \leq h_p \leq 65$$

$$\text{on prend } h_p = 55\text{cm}$$

$$\frac{650}{15} \leq b \leq \frac{650}{10}$$

$$0,3h \leq b \leq 0,7h$$

on prend **b= 30cm**

Vérification selon RPA 99v2003 zone I :		Vérification selon RPA 2023 zone I :	
h=55 cm ≥ 30 cm	<b>C.V</b>	h=55 cm ≥ 30 cm	<b>C.V</b>
b=30cm ≥ 20cm	<b>C.V</b>	b=30cm ≥ 20cm	<b>C.V</b>
h/b = 1,5 ≤ 4	<b>C.V</b>	h/b = 1,5 ≤ 4	<b>C.V</b>

**Tableau 2-37: Vérification de la poutre principale selon RPA 99v2003 et RPA 2023.**

**Poutre secondaire :**

Selon C.B.A 93 :

$$\frac{l_{max}}{15} \leq h_p \leq \frac{l_{max}}{10}$$

$$29 \leq h_p \leq 43,5$$

on prend **h<sub>p</sub> = 30cm**

$$\frac{650}{15} \leq b \leq \frac{650}{10}$$

$$9 \leq b \leq 21$$

on prend **b= 30cm**

Vérification selon RPA 99v2003 zone I :		Vérification selon RPA 2023 zone I :	
h=30cm ≥ 30 cm	<b>C.V</b>	h=30cm ≥ 30 cm	<b>C.V</b>
b=30cm ≥ 20cm	<b>C.V</b>	b=30cm ≥ 20cm	<b>C.V</b>
h/b = 1 ≤ 4	<b>C.V</b>	h/b = 1 ≤ 4	<b>C.V</b>

**Tableau 2-38: Vérification de la poutre secondaire selon RPA 99v2003 et RPA 2023.**

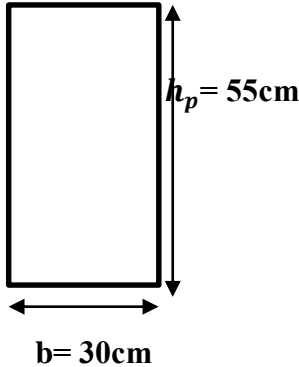
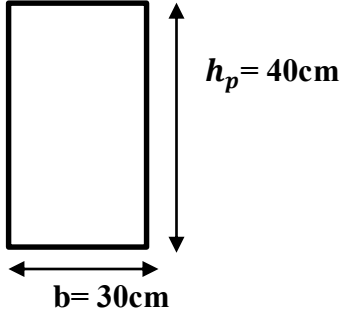
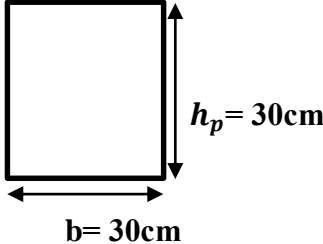
Poutres principales		Poutre secondaire
Type 1	Type 2	
 <p><math>b = 30\text{cm}</math> <math>h_p = 55\text{cm}</math></p>	 <p><math>b = 30\text{cm}</math> <math>h_p = 40\text{cm}</math></p>	 <p><math>b = 30\text{cm}</math> <math>h_p = 30\text{cm}</math></p>

Tableau 2-39: Les dimensions des poutres.

Vérification de la flèche :

	$f < \frac{L_{max}}{500}, f_{max} = \frac{5ql^4}{384EI}$	$f_{max} < f$
<u>Poutre principale (45x30)</u> <u>cm</u>	$\frac{5 \cdot 5320 \cdot 10^2 \cdot 650^4}{384 \cdot 320000 \cdot 415937,5} = 0,092 \text{ cm}$	$f = 1,3 \text{ cm CV}$
<u>Poutre secondaire (30x30)</u> <u>cm :</u>	$\frac{5 \cdot 3509,25 \cdot 10^2 \cdot 450^4}{384 \cdot 320000 \cdot 67500} = 0,086 \text{ cm}$	$f = 0,87 \text{ cm CV}$

Tableau 2-40: Vérification de la flèche.

Pré-dimensionnement des voiles :

Les voiles ou murs de contreventement sont généralement des éléments verticaux souvent en béton armé. Ils démontrent une forte résistance et une grande rigidité en réponse aux forces horizontales. Dans la direction perpendiculaire à leur surface, ils offrent une faible résistance aux forces horizontales et nécessitent un contreventement par d'autres murs ou des portiques. Sont considérés comme voiles les éléments satisfaisant à la condition  $I \geq 4a$ . Dans le cas contraire, ces éléments sont considérés comme des éléments linéaires (RPA99v2003).

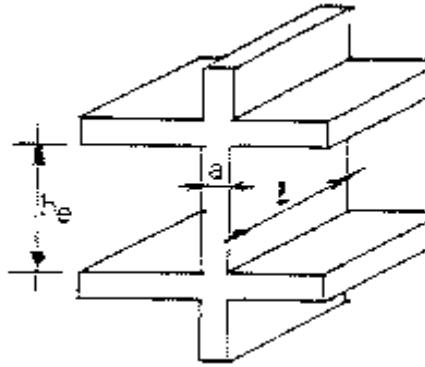


Figure 2-7: Coupe de voile en élévation. [11]

Niveau	$h_e$ (cm)	$a_{calculée}$ (cm)	$a_{min}$	$a_{choisi}$ (cm)
<b>Sous-sol</b>	288	14.4	15	20
<b>RDC</b>	332	16.6	15	20
<b>Les niveaux</b>	306	15.3	15	20

Tableau 2-41: Pré-dimensionnement des voiles.

**Pré-dimensionnement des poteaux:**

Le RPA nous impose pour la zone (I) ;

RPA99 v2003	RPA2023
- $f_{c28} = 25MPa$	- $\gamma_b = 1,3$
- $f_e = 500MPa$	- $f_{c28} = 25MPa$
- $\gamma_s = 1,15$	- $f_e = 500MPa$
- $\gamma_b = 1,5$	- $\gamma_s = 1,15$
- $f_{bc} = \frac{0,85 \times 25}{1,5} = 14,16667 MPa$	- $f_{bc} = \frac{0,85 \times 25}{1,3} = 16,3462 MPa$
- $\frac{A_s}{\beta_r} = 0,7\%$	- $\frac{A_s}{\beta_r} = 0,7\%$
- $\beta_r \geq \frac{1,2 \times 3,008}{\frac{14,16667}{0,9} + 0,85 \times \frac{0,7 \times 500}{100 \times 1,15}}$	- $\beta_r \geq \frac{1,2 \times 3,008}{\frac{16,3462}{0,9} + 0,85 \times \frac{0,7 \times 500}{100 \times 1,15}}$
	- $\beta_r \geq 0,1739m^2$

<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>\beta_r \geq 0,1969m^2</math></li> <li>- Avec <math>\beta_r = (a-0,02) \times (b-0,02)</math></li> <li>- <math>a \geq \sqrt{\beta_r} + 0,02</math></li> <li>- <math>a \geq 0,46m</math></li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>on prend a= b= 60cm</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Avec <math>\beta_r = (a-0,025) \times (b-0,025)</math></li> <li>- <math>a \geq \sqrt{\beta_r} + 0,02</math></li> <li>- <math>a \geq 0,43m</math></li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>on prend a= b= 60cm</b></p>
---	--

Tableau 2-42: Calcul de section réduit RPA99 v2003 et RPA2023.

Poteau	N étages	S (m <sup>2</sup> )	Nu(Kn)	Br (m <sup>2</sup> )	b <sub>1</sub> =h <sub>1</sub> (m)	b <sub>2</sub> =h <sub>2</sub> (m)	Br <sub>2</sub> (m <sup>2</sup> )	Lf (m)	λ≤50	Vérification
sous sol	1	23.1387	300.8031	1.1969	0.4637	0.6	0.3364	1.841	13.418	C.V
RDC	2	23.1387	277.6644	0.1817	0.4462	0.6	0.3364	2.324	13.418	C.V
1	3	23.1387	254.5257	0.1666	0.4281	0.55	0.2809	1.967	12.388	C.V
2	4	23.1387	231.387	0.1514	0.4091	0.55	0.2809	1.967	12.388	C.V
3	5	23.1387	208.2483	0.1363	0.3891	0.5	0.2304	1.967	13.627	C.V
4	6	23.1387	185.1096	0.1211	0.3679	0.5	0.2304	1.967	13.627	C.V
5	7	23.1387	161.9709	0.106	0.3455	0.45	0.1849	1.967	15.142	C.V
6	8	23.1387	138.8322	0.0908	0.3213	0.45	0.1849	1.967	15.142	C.V
7	9	23.1387	115.6935	0.0756	0.2945	0.4	0.1444	1.967	17.034	C.V
8	10	23.1387	92.5548	0.0605	0.2659	0.4	0.1444	1.967	17.034	C.V
9	11	23.1387	69.4161	0.0454	0.233	0.35	0.1089	1.967	19.468	C.V
10	12	23.1387	46.2774	0.0302	0.1937	0.35	0.1089	1.967	19.468	C.V
11	13	23.1387	23.1387	0.0151	0.1428	0.35	0.1089	1.799	17.805	C.V

Tableau 2-43: Le pré-dimensionnement des poteaux selon RPA99 v 2003.

poteau	N étages	S (m <sup>2</sup> )	Nu(Kn)	Br (m <sup>2</sup> )	b <sub>1</sub> =h <sub>1</sub> (m)	b <sub>2</sub> =h <sub>2</sub> (m)	Br <sub>2</sub> (m <sup>2</sup> )	Lf (m)	λ≤50	Vérification
sous-sol	1	23.1387	300.8031	0.1739	0.4370	0.6	0.3364	1.841	13.418	C.V
RDC	2	23.1387	277.6644	0.1605	0.4206	0.6	0.3364	2.324	13.418	C.V
1	3	23.1387	254.5257	0.1471	0.4035	0.55	0.2809	1.967	12.388	C.V
2	4	23.1387	231.387	0.1337	0.3857	0.55	0.2809	1.967	12.388	C.V
3	5	23.1387	208.2483	0.1204	0.3670	0.5	0.2304	1.967	13.627	C.V
4	6	23.1387	185.1096	0.107	0.3471	0.5	0.2304	1.967	13.627	C.V
5	7	23.1387	161.9709	0.0936	0.3259	0.45	0.1849	1.967	15.142	C.V
6	8	23.1387	138.8322	0.0802	0.3032	0.45	0.1849	1.967	15.142	C.V
7	9	23.1387	115.6935	0.0668	0.2785	0.4	0.1444	1.967	17.034	C.V
8	10	23.1387	92.5548	0.0534	0.2511	0.4	0.1444	1.967	17.034	C.V
9	11	23.1387	69.4161	0.0401	0.2202	0.35	0.1089	1.967	19.468	C.V
10	12	23.1387	46.2774	0.0267	0.1834	0.35	0.1089	1.967	19.468	C.V
11	13	23.1387	23.1387	0.0133	0.1353	0.35	0.1089	1.799	17.805	C.V

Tableau 2-44: Le pré-dimensionnement des poteaux selon RPA2023.

**L'étude dynamique :****2. 2. 4. 1 Introduction :**

L'objectif de l'étude dynamique de la structure est d'analyser la réponse d'un bâtiment ou d'une autre construction aux forces dynamiques telles que celles induites par un séisme.

**Combinaison d'actions :**

2. 2. 4

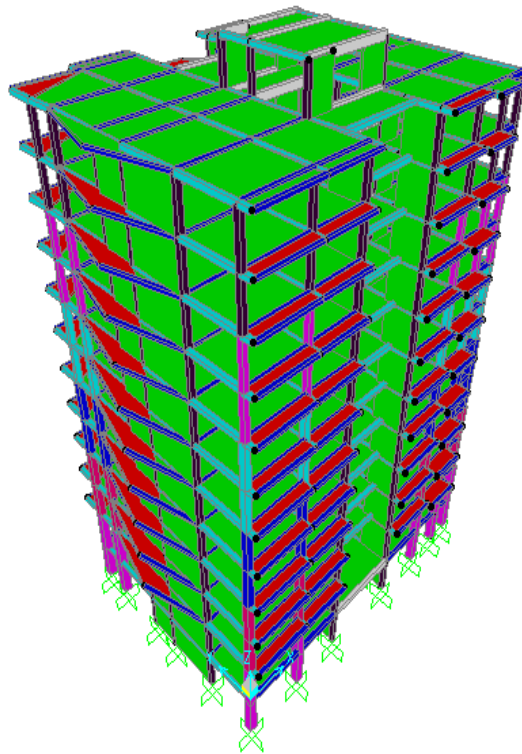
On exploite les combinaisons d'actions accidentelles

Combinaisons d'actions	RPA99v2003	RPA2023
Accidentel	$G + Q \pm E / 0,8 G \pm E$ Poteaux $G + Q \pm 1,2E / 0,8 G \pm E$	$G + Q \pm E / 0,8 G \pm E$ Poteaux $G + Q \pm 1,3E / 0,8 G \pm E$

*Tableau 2-45: Les combinaisons d'actions du RPA99 et RPA2023.*

**NB**

**Modélisation de la structure :** Pour la partie modélisation, nous avons utilisé le logiciel de calcul SAP2000



*Figure 2-8: Modèle 3D de la structure.*

#### **Méthodes de calculs :**

Selon le RPA99 V 2003 et le RPA 2023, l'analyse dynamique peut être menée suivant trois méthodes :

- La méthode statique équivalente.
- La méthode d'analyse modale spectrale.

#### **2. 2. 4. 2 Estimation de la période fondamentale de la structure selon RPA99v2003 et RPA2023 :**

Les formules utilisées pour calculer les périodes empiriques demeurent les mêmes pour les deux versions du règlement.

$$T = \min \left( C_T h_N^{3/4} \frac{0,09 h_N}{\sqrt{D}} \right) \quad \begin{matrix} (2. \\ 2.1) \end{matrix}$$

$h_N$  : La hauteur mesurée à partir de la base de la structure jusqu'à dernier niveau.

$C_T$  : Un coefficient en fonction de système de contreventement. (Dans notre structure le système de contreventement portique autostables en béton armé ou en acier avec remplissage en maçonnerie)

D : la dimension mesurée de la base de la structure en deux direction x,y.

	$h_N$	D	$C_T$	T	T <sub>choisi</sub>
• XX :	39.88m	24,65 m	0,05	min (0,79 ; 0,72)	0,72 sec
• YY :	39 ,88 m	19,75m	0,05	min (0,79 ; 0,8)	0,79 sec

Tableau 2-46: La période fondamentale dans le Sens XX et YY.

Vérification de l'analyse modale :

StepNum	Period	UX	UY	SumUX	SumUY
Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
Mode 1	1.082401	0%	64%	0%	64%
Mode 2	0.89516	57%	1%	57%	65%
Mode 3	0.841371	17%	2%	73%	67%
Mode 4	0.267299	13%	0%	86%	67%
Mode 5	0.248122	0%	18%	86%	85%
Mode 6	0.206574	0%	0%	87%	85%
Mode 7	0.16088	0%	0%	87%	85%
Mode 8	0.159377	0%	1%	87%	86%
Mode 9	0.154528	0%	0%	87%	86%
Mode 10	0.11978	8%	0%	94%	86%
Mode 11	0.095444	0%	9%	94%	95%
Mode 12	0.096087	0%	0%	94%	95%

Tableau 2-47: Participation massique de la structure.

La condition de la somme des masses modales effectives soit égale à 90% au moins de la masse totale de la structure est vérifier tel que :

Dans le sens XX : 10 modes (94% de la masse totale de la structure)

Dans le sens YY : 11 modes (95% de la masse totale de la structure)

Les modes propres ainsi que la participation massique sont similaire pour les deux versions du règlement (RPA 99v2003 et RPA 2023). Puisque les modes propres résultent de la résolution de l'équation  $Det (K-Wi^2M) =0$ , et étant donné que la masse et la rigidité sont les mêmes, les modes propres seront donc identiques.

Vérification de la période :  $T$  numérique  $<$  30%  $T$  empirique

T numérique= 1,08 sec	T empirique= 0,72 sec	$1,08-0,3*1,08=0,75$ CV
-----------------------	-----------------------	-------------------------

Tableau 2-48: Vérification de la période fondamentale.

### 2. 2. 4. 3 Méthode statique équivalente :

Calcul de l'effort sismique à la base  $V$  selon RPA99v2003 :

L'effort sismique  $V$  appliqué à la base de la structure donné par la formule suivante :

$$V = \frac{A D Q}{R} W \quad (2. 2.2)$$

-Notre structure est considérée comme Ouvrage d'importance moyenne (groupe d'usage 2) situé au niveau de la Wilaya de Tlemcen considéré zone (I). ( $A=0.1$ )

-Le système de contreventement est un système de contreventement mixte assuré par des voiles et des portiques ductiles la valeur de :  $R= 5$

-Le coefficient de qualité  $Q_x=Q_y=1.25$ .

-Le coefficient d'amplification dynamique :  $D_x = 1,7243$  et  $D_y =1.6205$ .

- Le poids totale de la structure  $W=67345.3929$  KN

Les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant

$R=5$	$XX$	$V_x= 2903,13$ KN
	$YY$	$V_y= 2728.39$ KN

Tableau 2-49: L'effort tranchant à la base selon RPA99 v2003 pour  $R=5$ .

**Distribution de la résultante des forces sismique pour chaque niveau selon RPA99 :**

La résultante des forces sismiques à la base  $V$  doit être distribuée sur la hauteur de la structure

Selon les formules suivantes :

$$V = Ft + \sum Fi \quad (2. 2.4)$$

La force concentrée  $F_t$  au sommet de la structure permet de tenir compte de l'influence des modes supérieurs de vibration. Elle doit être déterminée par la formule :  $F_t = 0,07 TV$  où  $T$  est la période fondamentale de la structure (en secondes). La valeur de  $F_t$  ne dépassera en aucun cas  $0,25 V$  et sera prise égale à 0 quand  $T$  est plus petit ou égale à 0,7 secondes. (RPA99).

La partie restante de  $V$  soit  $(V - F_t)$  doit être distribuée sur la hauteur de la structure suivant la formule :

$$F_i = \frac{(V - F_t) W_i h_i}{\sum_{j=1}^n W_j h_j} \quad (2. 2.5)$$

**Résultats des distributions des efforts tranchants de chaque niveau selon le RPA99 v2003 :**

Niveaux	Vx	Vy
S-Sol	2903.13	2728.36
RDC	2868.83	2696.29
1	2790.83	2623.37
2	2678.26	2518.12
3	2530.79	2380.26
4	2349.07	2210.36
5	2133.55	2008.87
6	1884.81	1776.32
7	1603.19	1513.03
8	1289.2	1219.48
9	943.07	895.88
10	565.24	542.64
11	187.79	189.77

*Tableau 2-50: Distribution de l'effort tranchant pour chaque niveau de la structure pour  $R=5$ .*

**Calcul de l'effort sismique à la base  $V$  selon RPA2023 :**

L'effort sismique  $V$  appliqué à la base de la structure donné par la formule suivante :

$$V = 0,8 \frac{A I S D Q}{R} W \quad (2. 2.7)$$

- **A : coefficient d'accélération de zone :**

Le zonage est identique  $A = 0,1$

- **I : coefficient d'importance :**

Donné par le tableau 4.2 du RPA2023 suivant le groupe d'importance, notre structure est classée comme un ouvrage d'importance moyenne (groupe 2) Donc  $I = 1$

- **S : Coefficient de sites**

Notre bâtiment est réalisé sur un sol meuble  $\Rightarrow$  Catégorie 3  $\Rightarrow$  Site 3, Donc  $S=1.20$

- **D : facteur d’amplification dynamique moyenne**

$$D \begin{cases} 2,5\eta & 0 < T < T_2 \\ 2,5 \eta \left( \frac{T_2}{T} \right) & T_2 < T < T_3 \\ 2,5\eta \left( \frac{T_2 T_3}{T^2} \right) & T > T_3 \end{cases} \quad (2. 2.8)$$

Remplissage	Portique (*)		Voiles (**)
	Béton armé	Acier	Béton armé/ maçonnerie
Léger	6	4	10
Dense	7	5	10

**Tableau 2-51: Valeurs de  $\xi\%$  RPA2023.**

On prend  $\xi=10\%$  car on a des voiles associés à des portiques

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2+10}} = 0,76$$

- **Q : facteur de qualité :**

Dans notre structure  $Q_x = Q_y = 1,3$

<b>R=5</b>	<b>XX</b>	<b>V<sub>x</sub> = 2661.433 KN</b>
	<b>YY</b>	<b>V<sub>y</sub> = 2425,597 KN</b>

**Tableau 2-52: L’effort tranchant à la base selon RPA 2023 v Octobre 2023 pour R=5.**

**Résultats des distributions des efforts tranchants de chaque niveau selon le RPA 2023 v Octobre 2023 :**

Niveaux	V <sub>x</sub> (KN)	V <sub>y</sub> (KN)
S-Sol	2661.43	2425.59
RDC	2625.19	2392.74
1	2579.58	2351.38
2	2496.67	2276.21
3	2376.57	2167.32
4	2031.36	2025.32
5	2027.36	1850.69
6	1799.37	1643.97
7	1536.38	1405.53
8	1238.94	1135.85
9	907.31	835.16
10	541.97	503.91
11	716.18	170.47

**Tableau 2-53: Distribution de l'effort tranchant pour chaque niveau de la structure pour R=5.**

Comparaison des Résultats RPA 99 – RPA2023

Méthode	L'effort tranchant à la base		
	V <sub>tx</sub> (kn)	V <sub>ty</sub> (kn)	
Statique équivalente	2903,13	2728,36	RPA99
	2661.433	2425,597	RPA2023

**Tableau 2-54: L'effort tranchant à la base selon RPA99 et RPA2023 pour R=5.**

✓ **Justification de coefficient de comportement R=5 pour le RPA99v2003 :**

❖ **Systeme de contreventement mixte assuré par des voiles et des portiques avec justification d'interaction portique -voile :**

$$\frac{N_{xx}}{Ng} = \frac{26640,791}{103339,964} = 0,26 > 20 \%$$

$$\frac{N_{yy}}{Ng} = \frac{28129,887}{103339,964} = 0,27 > 20 \%$$

Niveau	V <sub>x</sub>	V <sub>y</sub>	V <sub>x</sub> /V <sub>t</sub>	V <sub>y</sub> /V <sub>t</sub>
S sol	2379.13	2454.06	82%	90%
RDC	2303.44	2490.18	79%	91%
1	2029.58	2294.69	70%	84%
2	1591.89	2129.04	55%	78%
3	1787.70	2010.46	62%	74%
4	1539.29	1782.87	53%	65%
5	1496.13	1623.84	52%	60%
6	1220.292	1345.18	42%	49%
7	1124.89	629.82	39%	23%
8	812.57	818.21	28%	30%
9	635.52	575.38	22%	21%
10	228.66	575.38	8%	21%
11	173.56		6%	

**Tableau 2-55: Justification de 25% de l'effort tranchant pour chaque niveau (R=5)**

A travers les vérifications ce que nous avons fait le choix de R=5 n'est pas satisfaisant.

✓ **Justification de coefficient de comportement R=5 pour le RPA2023v Octobre 2023 :**

❖ **Système de contreventement mixte assuré par des voiles et des portiques avec justification d'interaction portique -voile :**

Le portique doit supporter au moins 25% de l'effort tranchant de chaque niveau. Les voiles et les portiques prennent ensemble les charges horizontales et les sollicitations résultant de leurs interactions à tous les niveaux.

Les efforts tranchants à la base au niveau des voiles :

$$V_{xx} = 2588,279 \text{KN} \quad V_{yy} = 2589,271 \text{KN}$$

Le rapport entre l'effort tranchant au niveau des voiles et l'effort tranchant total :

$$\frac{V_{xx}}{V_{Tx}} = \frac{2588,279}{2661,433} = 0,97 > 75 \%$$

$$\frac{V_{yy}}{V_{Ty}} = \frac{2589,271}{2425,597} = 1,07 > 75 \%$$

D'après les résultats précédents le choix de R=5 n'est pas satisfaisant

**Important : Tous les calculs ont été refaits avec un coefficient de comportement R=4. Ainsi toutes les vérifications sont satisfaites. C'est cette valeur qui sera utilisée par la suite.**

Niveaux	Vx	Vy
S-Sol	3628.91	3410.45
RDC	3586.04	3370.37
1	3488.53	3279.21
2	3347.82	3147.66
3	3163.49	2975.32
4	2936.34	2762.95
5	2666.93	2511.09
6	2356.01	2220.4
7	2003.98	1891.29
8	1611.5	1524.35
9	1178.83	1119.85
10	706.55	678.31
11	234.74	237.21

**Tableau 2-56: Distribution de l'effort tranchant pour chaque niveau de la structure pour R=4. (RPA99v2003)**

Niveaux	Vx	Vy
S-Sol	3326.79	3031.99
RDC	3281.49	2990.71
1	3224.48	2938.75
2	3120.84	2844.29
3	2970.72	2707.47
4	2538.20	2529.06
5	2534.20	2309.64
6	2249.21	2049.90
7	1920.48	1750.30
8	1548.68	1411.45
9	1134.14	1033.64
10	662.60	617.43
11	217.75	198.46

**Tableau 2-57: Distribution de l'effort tranchant pour chaque niveau de la structure pour R=4. (RPA2023)**

Méthode	L'effort tranchant à la base		
	$V_{tx}(kn)$	$V_{ty}(kn)$	
Statique équivalente	3628,91	3410,45	RPA99
	3326,79	3031,99	RPA2023

**Tableau 2-58: L'effort tranchant à la base selon RPA99 et RPA2023 pour R=4.**

#### 2. 2. 4. 4 Méthode dynamique modale spectral :

A travers 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 par la suite combinés pour obtenir la réponse de la structure.[11]

#### Calcul de l'effort sismique à la base :

Coefficient	A	R	Q	$\epsilon_s$	$\eta$	T1	T2
Valeur	0,1	4	1,25	7	0,8819	0,15	0,5

*Tableau 2-59: Les paramètres sismiques du RPA99v2003.*

Coefficient	A	R	Q	$\epsilon_s$	$\eta$	S	I	T1	T2	T3
Valeur	0,1	4	1.3	10	0,764	1,2	1	0,20	0,6	2

*Tableau 2-60: Les paramètres sismiques du RPA2023.*

Méthode	L'effort tranchant à la base		
	$V_{tx}(kn)$	$V_{ty}(kn)$	
Modale spectral	3001,322	2669,592	RPA99v2003
	2538,321	2127,046	RPA2023

*Tableau 2-61: L'effort tranchant à la base selon RPA99 et RPA2023 pour R=4.*

#### Remarque :

Après avoir examiné attentivement les données de tableaux, nous avons observé que les résultats du RPA2023 v Octobre 2023 affichent une réduction de 16% dans le sens X et de 21% dans le sens Y par rapport au RPA99. Cette diminution s'explique par le changement dans la configuration du spectre de réponse et l'accentuation des paramètres sismiques.

#### Résultante des forces sismiques de calcul :

La résultante des forces sismiques à la base de  $V_{dynamique}$  obtenues en combinant les valeurs modales ne doit pas être inférieure à 80% de la résultante des forces sismiques obtenues par la méthode statique équivalente. Il est évident que :  $V_d > 0.8 V_s$

Vérification	XX	YY	OBS	
$\frac{V_d}{V_s} > 80\%$	95%	94%	CV	RPA99
	76%	70%	CNV	RPA2023

**Tableau 2-62: La vérification de 80%.**

$V_s$  : l'effort tranchant à la base par la méthode statique équivalente

$V_d$  : l'effort tranchant à la base par la méthode modale spectrale

Pour le sens XX et YY :  $\frac{V_d}{V_s} < 80\%$  ,Il faudra augmenter tous les paramètres de la réponse (forces, déplacements, moments....) dans le rapport  $0.8 V_s / V_d$

Sens XX :  $\frac{0.8V_s}{V_d} = \frac{0.8 \cdot 3326.792}{2538.321} = 1.048$

Sens YY :  $\frac{0.8V_s}{V_d} = \frac{0.8 \cdot 3031.997}{2127.046} = 1.14$

Niveaux	V <sub>x</sub>	V <sub>y</sub>
S-Sol	3159.06	2879.24
RDC	3116.05	2840.04
1	3061.91	2790.69
2	2963.50	2701.00
3	2820.94	2571.07
4	2635.05	2401.65
5	2406.43	2193.28
6	2135.81	1946.63
7	1920.48	1662.12
8	1470.60	1340.34
9	1076.96	1033.65
10	643.31	586.33
11	206.78	188.47

**Tableau 2-63: La nouvelle distribution de l'effort tranchant.**

Comparaison des Résultats RPA 99 – RPA2023

Méthode	L'effort tranchant à la base		
	$V_{tx}(kn)$	$V_{ty}(kn)$	
Statique équivalente	3628 ,91	3410,45	RPA99
	3159.06	2879.24	RPA2023

**Tableau 2-64: L'effort tranchant à la base selon RPA99 et RPA2023 pour R=4.**

2. 2. 4. 5 Récapitulatif des Résultats :

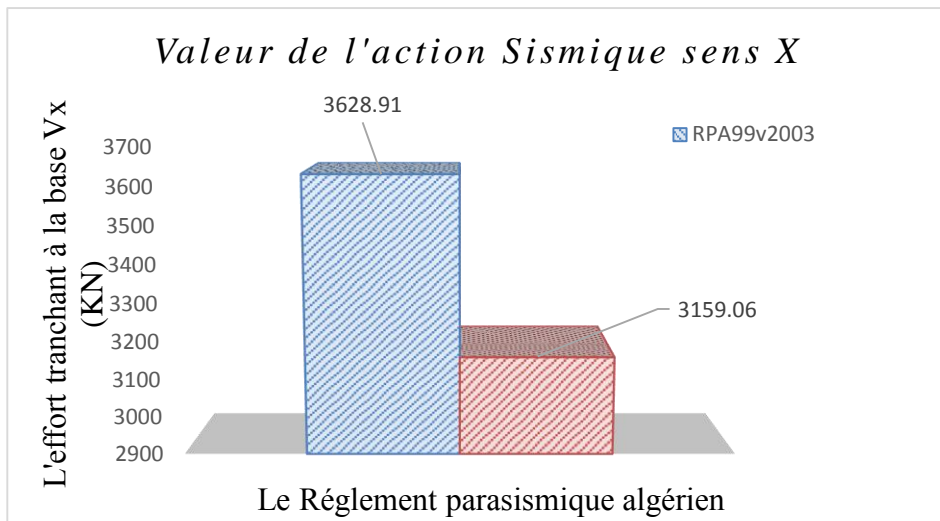


Figure 2-9: Comparaison entre la valeur de l'action sismique sens X selon les deux versions du RPA.

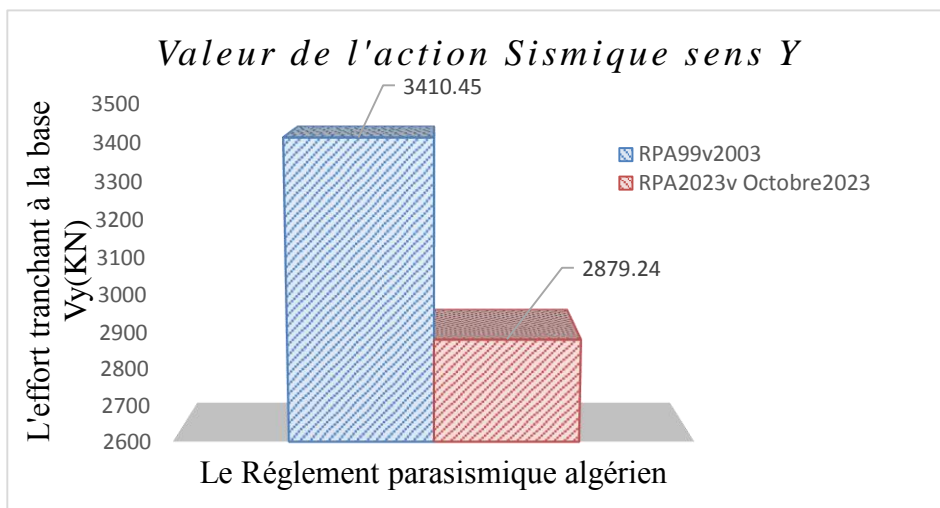
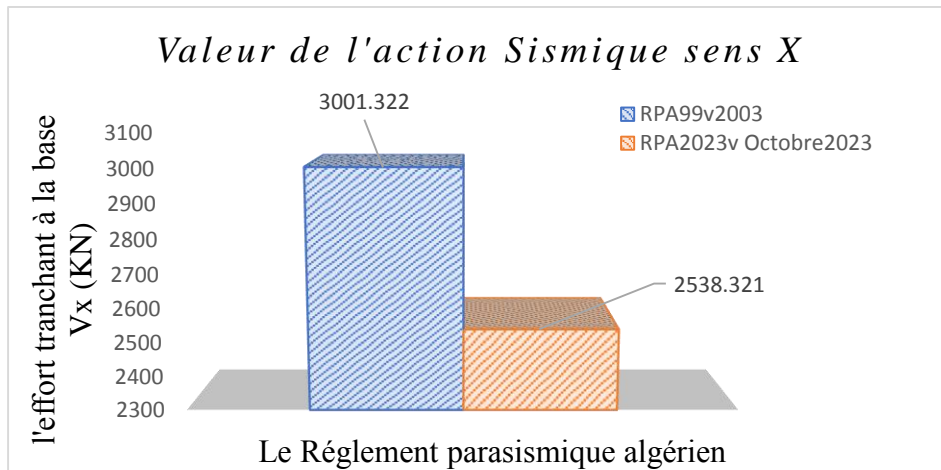
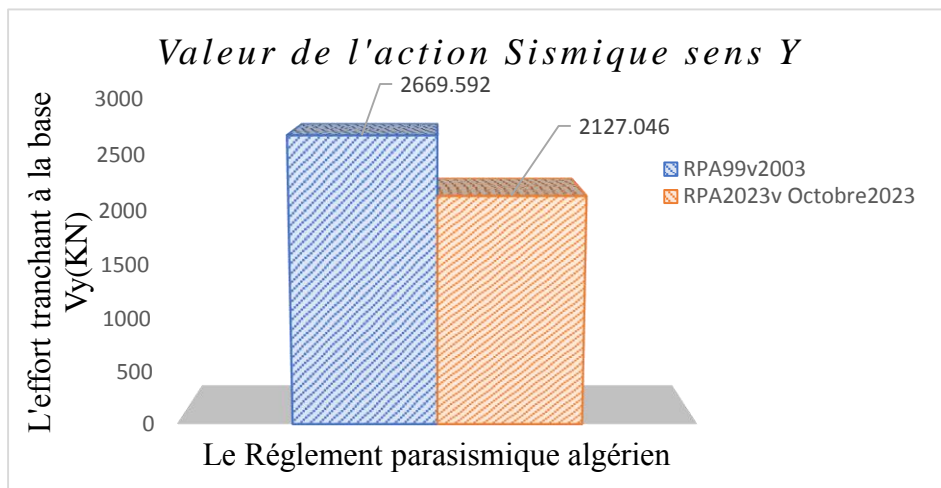


Figure 2-10: Comparaison entre la valeur de l'action sismique sens Y selon les deux versions du RPA.



**Figure 2-11: Comparaison entre la valeur de l'action sismique sens X selon les deux versions du RPA (dynamique).**



**Figure 2-12: Comparaison entre la valeur de l'action sismique sens Y selon les deux versions du RPA (dynamique).**

Il est observé que :

- Les efforts tranchants à la base calculé par la méthode statique équivalente, selon le RPA2023v Octobre 2023, sont inférieurs à ceux calculé selon le RPA99v2003, avec une réduction de **13 %** dans le sens X et de **15 %** dans le sens Y.
- Les efforts tranchants à la base calculé par la méthode modale spectral, selon le RPA2023v Octobre 2023, sont inférieurs à ceux calculé selon le RPA99v2003, avec une réduction de **15 %** dans le sens X et de **20 %** dans le sens Y.

Cette diminution s'explique par :

- La multiplication de l'expression de l'effort tranchant du RPA2023v (Octobre) par 0.8.
- Le changement dans la configuration du spectre de réponse.
- Le changement du pourcentage d'amortissement critique  $\Rightarrow$  Le changement de facteur de correction d'amortissement  $\eta$ .
- Le changement dans la valeur de pénalité à retenir selon les critères de qualité  $\Rightarrow$  Le changement du facteur de qualité  $Q$ .
- L'influence de Coefficient d'importance  $I$  et le Coefficient de Site  $S$  introduit par le RPA2023 v Octobre 2023.

## 2. 2. 4. 6 Justification de la sécurité

Justification vis-à-vis de l'effet P-Δ :

La condition est la même pour le RPA99 et RPA2023 :

$$\theta_{ky} = P_k \cdot \Delta k / V_k \cdot h_k \leq 0.10 \quad (2. 2.12)$$

Les résultats obtenus sont regroupés dans les tableaux suivants :

Etage	P <sub>n</sub>	P <sub>k</sub>	δ e <sub>k</sub> (m)	R	δ k (m)=d <sub>k</sub> *R	Δk (m) (relatif)	V <sub>kx</sub> (kn)	h <sub>e</sub> (m)	θ <sub>ky</sub> =P <sub>k</sub> * Δk/V <sub>k</sub> *h k	P-Δ
1	5799.25	67345.4	0.00053	4	0.0021	0.0021	3628.9	2.88	0.0136	P-DELTA NEGLIGE
2	5888.937	61546.1	0.002	4	0.0080	0.0059	3586	3.57	0.0282	P-DELTA NEGLIGE
3	5763.829	55657.2	0.00363	4	0.0145	0.0065	3488.5	3.06	0.0341	P-DELTA NEGLIGE
4	5712.636	49893.4	0.00543	4	0.0217	0.0072	3347.8	3.06	0.0350	P-DELTA NEGLIGE
5	5661.443	44180.7	0.00729	4	0.0291	0.0074	3163.5	3.06	0.0340	P-DELTA NEGLIGE
6	5615.126	38519.3	0.00913	4	0.0365	0.0074	2936.3	3.06	0.0316	P-DELTA NEGLIGE
7	5568.808	32904.2	0.01092	4	0.0437	0.0072	2666.9	3.06	0.0288	P-DELTA NEGLIGE
8	5527.366	27335.4	0.0126	4	0.0504	0.0067	2356	3.06	0.0255	P-DELTA NEGLIGE
9	5485.924	21808.0	0.01416	4	0.0566	0.0062	2004	3.06	0.0221	P-DELTA NEGLIGE
10	5449.358	16322.1	0.01556	4	0.0622	0.0056	1611.5	3.06	0.0185	P-DELTA NEGLIGE
11	5412.792	10872.7	0.01681	4	0.0672	0.0050	1178.8	3.06	0.0151	P-DELTA NEGLIGE
12	4960.702	5459.9	0.01792	4	0.0717	0.0044	706.55	3.06	0.0112	P-DELTA NEGLIGE
13	499.2218	0.0	0.01886	4	0.0754	0.0038	234.74	2.83	0.0000	P-DELTA NEGLIGE

Tableau 2-65: L'effet de P-Δ sens XX Selon RPA99v2003.

Etage	$P_n$	$P_k$	$\delta_{ek}$ (m)	R	$\delta_k$ (m)= $\delta_k \cdot R$	$\Delta k$ (m) (relatif)	$V_{ky}$ (kn)	$h_e$ (m)	$\theta_{ky} = P_k \cdot \Delta k / V_k \cdot h_k$	P- $\Delta$
1	579.925	67345.3	0.00052	4	0.0021	0.0021	341.05	2.88	0.0143	P-DELTA NEGLIGE
2	588.894	61546.1	0.00208	4	0.0083	0.0062	337.04	3.57	0.0319	P-DELTA NEGLIGE
3	576.383	55657.2	0.00402	4	0.0161	0.0078	327.92	3.06	0.0430	P-DELTA NEGLIGE
4	571.264	49897.3	0.00638	4	0.0255	0.0094	314.77	3.06	0.0489	P-DELTA NEGLIGE
5	566.144	44181.7	0.00906	4	0.0362	0.0107	297.53	3.06	0.0519	P-DELTA NEGLIGE
6	561.513	38519.3	0.01195	4	0.0478	0.0116	276.3	3.06	0.0527	P-DELTA NEGLIGE
7	556.881	32904.1	0.01498	4	0.0599	0.0121	251.11	3.06	0.0519	P-DELTA NEGLIGE
8	552.737	27335.3	0.01808	4	0.0723	0.0124	222.04	3.06	0.0499	P-DELTA NEGLIGE
9	548.592	21808.0	0.0212	4	0.0848	0.0125	189.13	3.06	0.0470	P-DELTA NEGLIGE
10	544.936	16322.1	0.02429	4	0.0972	0.0124	152.44	3.06	0.0433	P-DELTA NEGLIGE
11	541.279	10873.7	0.02734	4	0.1094	0.0122	111.99	3.06	0.0387	P-DELTA NEGLIGE
12	496.07	5459.	0.03034	4	0.1214	0.0120	67.831	3.06	0.0315	P-DELTA NEGLIGE
13	49.9222	0.0	0.03466	4	0.1386	0.0173	23.721	2.83	0.0000	P-DELTA NEGLIGE

Tableau 2-66: L'effet de P- $\Delta$  sens YY selon RPA99v2003.

étage	$P_n$	$P_k$	$\delta e_k$ (m)	R/Q	$\delta k$ (m)= $d_k$ *R/Q	$\Delta k$ (m) (relatif)	$V_{kx}$ (kn)	$h_e$ (m)	$\theta_{ky}$	P- $\Delta$
1	5799.25	67345.4	0.00046	3.07	0.0014	0.0014	3159.060	2.88	0.0104	P-DELTA NEGLIGE
2	5888.94	61546.1	0.00173	3.07	0.0053	0.0039	3116.050	3.57	0.0216	P-DELTA NEGLIGE
3	5763.83	55657.2	0.00316	3.07	0.0097	0.0044	3061.910	3.06	0.0260	P-DELTA NEGLIGE
4	5712.64	49893.4	0.00472	3.07	0.0145	0.0048	2963.500	3.06	0.0264	P-DELTA NEGLIGE
5	5661.44	44180.7	0.00634	3.07	0.0195	0.0050	2820.940	3.06	0.0255	P-DELTA NEGLIGE
6	5615.13	38519.3	0.00794	3.07	0.0244	0.0049	2635.050	3.06	0.0235	P-DELTA NEGLIGE
7	5568.81	32904.2	0.00949	3.07	0.0291	0.0048	2406.430	3.06	0.0212	P-DELTA NEGLIGE
8	5527.37	27335.4	0.01094	3.07	0.0336	0.0044	2135.810	3.06	0.0186	P-DELTA NEGLIGE
9	5485.92	21808.0	0.01226	3.07	0.0376	0.0041	1920.480	3.06	0.0150	P-DELTA NEGLIGE
10	5449.36	16322.1	0.01343	3.07	0.0412	0.0036	1470.600	3.06	0.0130	P-DELTA NEGLIGE
11	5412.79	10872.7	0.01445	3.07	0.0444	0.0031	1076.960	3.06	0.0103	P-DELTA NEGLIGE
12	4960.70	5459.9	0.01533	3.07	0.0471	0.0027	643.310	3.06	0.0075	P-DELTA NEGLIGE
13	499.22	0.0	0.01604	3.07	0.0492	0.0022	206.780	2.83	0.0000	P-DELTA NEGLIGE

*Tableau 2-67: L'effet de P- $\Delta$  sens XX Selon RPA2023.*

étage	$P_n$	$P_k$	$\delta_{ek}$ (m)	R/Q	$\delta_k$ (m)= $\delta_k * R/Q$	$\Delta k$ (m) (relatif)	$V_{ky}$	$h_e$ (m)	$\theta_{ky}$	P- $\Delta$
1	5799.25	62333.5	0.000441	3.07	0.0014	0.0014	2879.340	2.88	0.0102	P-DELTA NEGLIGE
2	5888.94	56534.2	0.001762	3.07	0.0054	0.0041	2840.040	3.57	0.0226	P-DELTA NEGLIGE
3	5763.83	50645.3	0.003405	3.07	0.0105	0.0050	2790.690	3.06	0.0299	P-DELTA NEGLIGE
4	5712.64	44881.4	0.005403	3.07	0.0166	0.0061	2701.000	3.06	0.0333	P-DELTA NEGLIGE
5	5661.44	39168.8	0.007667	3.07	0.0235	0.0070	2571.070	3.06	0.0346	P-DELTA NEGLIGE
6	5615.13	33507.4	0.010111	3.07	0.0310	0.0075	2401.650	3.06	0.0342	P-DELTA NEGLIGE
7	556.881	27892.2	0.012667	3.07	0.0389	0.0078	2193.280	3.06	0.0326	P-DELTA NEGLIGE
8	5527.37	27335.4	0.015273	3.07	0.0469	0.0080	1946.630	3.06	0.0367	P-DELTA NEGLIGE
9	5485.92	21808.0	0.017887	3.07	0.0549	0.0080	1662.120	3.06	0.0344	P-DELTA NEGLIGE
10	5449.36	16322.1	0.020468	3.07	0.0628	0.0079	1340.340	3.06	0.0315	P-DELTA NEGLIGE
11	5412.79	10872.7	0.023004	3.07	0.0706	0.0078	1033.650	3.06	0.0268	P-DELTA NEGLIGE
12	4960.7	5459.9	0.025477	3.07	0.0782	0.0076	586.330	3.06	0.0231	P-DELTA NEGLIGE
13	499.222	0.0	0.027026	3.07	0.0830	0.0048	188.470	2.83	0.0000	P-DELTA NEGLIGE

*Tableau 2-68: L'effet de P- $\Delta$  sens YY Selon RPA2023.*

**Remarque :**

La condition  $\theta < 0.10$  est vérifiée pour les deux règlements RPA99 et RPA2023. Ainsi, L'effet de P- $\Delta$  peut être négligé dans notre structure.

## Justification vis-à-vis des déplacements inter- étages :

- Selon RPA99v2003 :

$$\Delta k = \delta k - \delta k_{-1} \leq 0,01 h_k \quad (2. 2.12)$$

- Selon RPA2023v (Octobre2023).

$$\Delta k = \delta k - \delta k_{-1} \leq 0,015 h_k \quad (2. 2.13)$$

Etage	RPA99v.2003				RPA2023v.Octobre2023				Condition Vérifier
	$\delta e_k$ (m)	R	$\Delta k$ (m) (relatif)	1% he	$\delta e_k$ (m)	R/Q	$\Delta k$ (m) (relatif)	1,5% he	
1	0.000529	4	0.0021	0.0288	0.000459	3.07	0.0014	0.0432	
2	0.001995		0.0080	0.0357	0.001731		0.0039	0.0536	
3	0.003631		0.0145	0.0306	0.003155		0.0044	0.0459	
4	0.005426		0.0217	0.0306	0.004718		0.0048	0.0459	
5	0.007287		0.0291	0.0306	0.006339		0.0050	0.0459	
6	0.009131		0.0365	0.0306	0.007943		0.0049	0.0459	
7	0.010919		0.0437	0.0306	0.009491		0.0048	0.0459	
8	0.0126		0.0504	0.0306	0.010936		0.0044	0.0459	
9	0.014156		0.0566	0.0306	0.012257		0.0041	0.0459	
10	0.015556		0.0622	0.0306	0.013427		0.0036	0.0459	
11	0.016807		0.0672	0.0306	0.014448		0.0031	0.0459	
12	0.017916		0.0717	0.0306	0.015329		0.0027	0.0459	
13	0.018861		0.0754	0.0283	0.01604		0.0022	0.0425	

Tableau 2-69 : Déplacements latéraux inter-étages sens XX RPA99v2003 et RPA2023 V. Octobre 2024.

Étage	RPA99v.2003				RPA2023v.Octobre2023				Condition Vérifier
	$\delta_{ek}$ (m)	R	$\Delta k$ (m) (relatif)	1% he	$\delta_{ek}$ (m)	R/Q	$\Delta k$ (m) (relatif)	1,5% he	
1	0.000521	4	0.0021	0.0288	0.000441	3.07	0.0014	0.0432	
2	0.002082		0.0062	0.0357	0.001762		0.0041	0.0536	
3	0.004022		0.0078	0.0306	0.003405		0.0050	0.0459	
4	0.006381		0.0094	0.0306	0.005403		0.0061	0.0459	
5	0.009055		0.0107	0.0306	0.007667		0.0070	0.0459	
6	0.011945		0.0116	0.0306	0.01011		0.0075	0.0459	
7	0.014976		0.0121	0.0306	0.012667		0.0078	0.0459	
8	0.018075		0.0124	0.0306	0.015273		0.0080	0.0459	
9	0.021195		0.0125	0.0306	0.017887		0.0080	0.0459	
10	0.024291		0.0124	0.0306	0.020468		0.0079	0.0459	
11	0.027344		0.0122	0.0306	0.023004		0.0078	0.0459	
12	0.030339		0.0120	0.0306	0.025477		0.0076	0.0459	
13	0.034657		0.0754	0.0283	0.027026		0.0048	0.0425	

**Tableau 2-70 : Déplacements latéraux inter-étages sens XX RPA99v2003 et RPA2023 V. Octobre 2024.**

Nous observons une réduction du déplacement relative celles du RPA 2023 v Octobre 2023 par rapport du RPA99 dans les deux directions horizontales orthogonales (X , Y ).

La vérification du déplacement inter étage est satisfaite d'après les deux règlements RPA99 et RPA2023.

#### 2. 2. 4. 7 Conclusion :

Après avoir comparé en détail les dispositions relatives à l'étude sismique dans deux réglementations parasismiques algériennes, le RPA99 et le RPA2023, nous avons tiré les conclusions et remarques suivantes :

Le RPA99 et RPA2023 fournissent la même période numérique, parce qu'il n'y a aucun changement des masses et de dimensionnement des éléments structuraux (poteau, poutre, voile).

Le RPA99v2003 et le RPA2023 considèrent les mêmes actions sismiques horizontales EX et EY, ainsi que les mêmes combinaisons sismiques, à une exception près : la combinaison des poteaux auto-stables est remplacée dans le RPA2023 (30% au lieu de 20%)

Les spectres de réponse de calcul du RPA99 et du RPA2023 diffèrent car les paramètres sismiques de chacun ont été modifiés.

La force sismique calculée à partir de la méthode statique équivalente selon le RPA2023 est inférieure à celle calculée selon le RPA99.

L'effort tranchant à la base de la structure calculé par la méthode statique équivalente selon RPA2023 a une valeur moindre de **13%** dans le sens X et **15 %** dans le sens Y.

L'effort tranchant à la base de la structure calculé par la méthode modale spectral selon RPA2023 a une valeur moindre de **15%** dans le sens X et **20 %** dans le sens Y.

Des modifications ont été apportées à la justification inter-étages. La valeur de référence a été revue à la hausse permettant une vérification plus souple mais avec un déplacement non linéaire pénalisé par le coefficient de qualité.

**Etude des éléments structuraux :**

Dans cette phase, qui concerne le calcul des éléments structuraux tels que les poutres, les poteaux selon les deux codes parasismiques, nous avons noté des divergences dans les sollicitations trouvées (moment, effort normal, effort tranchant) qui ne sont pas identiques. Par conséquent, les calculs de ferrailage varient également. En dépit de cette disparité, nous avons opté un ferrailage identique en suivant le minimum requis par le RPA qui est resté le même.

**2. 2. 5. 1 Calcul des poutres :**

Combinaisons spécifiques de calcul :

G+Q+E.....Accidentelle

	Armatures longitudinales					Armatures transversales		
	Ami n	Appui		Travée		$\Phi$ t (mm)	St zone nodale	St zone courant
		A <sub>calculé</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>choisi</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>calculé</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>choisi</sub> (cm <sup>2</sup> )			
PP (30x55)	8.25	1.77	3T12+ 3T16	9.10	3T12+ 3T16	8	2T10	3T10
PP (30x40)	6	3.41	3T16	2.18	3T12	8	2T10	2T10
PS (30x30)	4.5	0.407	3T14	0.145	3T12	8	2T10	2T10

**Tableau 2-71: Résultats de calcul de ferrailage des poutres (principales, secondaires) selon RPA99V2003 et RPA2023**

Poutres principales	St calculé (cm) (zone nodale)	St choisie (cm) (zone nodale)	St calculé (cm) (zone courant)	St choisie (cm) (zone courant)
(30x55) cm	12	12	27.5	25
(30x40) cm	10	10	20	15

**Tableau 2-72: L'espacement des armatures transversales des poutres principales selon RPA99v2003 et RPA2023**

Poutre secondaire	St calculé (cm) (zone nodale)	St choisie (cm) (zone nodale)	St calculé (cm) (zone courant)	St choisi (cm) (zone courant)
(30x30) cm	7.5	7	15	10

**Tableau 2-73: L'espacement des armatures transversales de la poutre secondaire selon RPA99v2003 et RPA2023.**

### 2. 2. 5. 2 Calcule des poteaux :

#### Etude du ferrailage des poteaux selon RPA 99 et RPA2023 :

Combinaisons spécifiques de calcul :

1.35 G +1.5 Q ..... (ELU)

Section ( $cm^2$ )	$A_{min}$ ( $cm^2$ )	$A_{max}$ ( $cm^2$ ) Zone courante	Ferrailage longitudinal	
			Section ( $cm^2$ )	Choix
60x60	25.2	144	28.15	4T20+ 8T16
55x55	21.175	121	24.13	12T16
50x50	17.5	100	20.11	12T16
45x45	14.175	81	16.08	8T16
40x40	11.2	64	12.32	8T14

**Tableau 2-74: Ferrailage des poteaux selon RPA99v2003 et RPA2023**

Section ( $cm^2$ )	V (KN)	$\tau_{bu}$ (MPA)	$\lambda_g$	$\rho_d$	$\bar{\tau}_{bu}$	Observation
60x60	6.509	0.02	3.06	0.04	1	C.V
55x55	8.738	0.032	3.57	0.04	1	C.V
50x50	10.563	0.0469	3.93	0.04	1	C.V
45x45	11.962	0.0656	4.37	0.04	1	C.V
40x40	12.506	0.0868	4.91	0.04	1	C.V

**Tableau 2-75: Vérification spécifique sous sollicitations tangentes selon RPA99 te RPA2023 v Octobre 2023.**

Règlements	Armatures transversales		L <sub>r</sub> (cm)		$\Phi_{t \leq \min} \left( \frac{h}{35}; \frac{b}{10}; \Phi_l \right)$	
	t (cm) zone nodale	t' (cm) zone courante	40 $\Phi$	80 64	$\Phi_{t \leq}$ (mm)	Choix (mm)
<b>RPA99</b>	10	20			50 $\Phi$	100 80
<b>RPA2023</b>	10	20				

Tableau 2-76: Armatures transversales et Longueur de recouvrement selon RPA99 et RPA2023.

Poteaux	A <sub>t</sub> calculer (cm <sup>2</sup> )		A <sub>t</sub> (cm <sup>2</sup> )		A <sub>t</sub> choisi (cm <sup>2</sup> )	
	Zone nodale	Zone courante	Zone nodale	Zone courante	Zone nodale	Zone courante
	60x60	0.0813	0.1627	4.8	9.6	4T16
55x55	0.1192	0.2383	4.4	8.8	4T12	6T14
50x50	0.1584	0.3169	4	8	4T12	6T14
45x45	0.1994	0.3987	3.6	7.2	4T12	6T14
40x40	0.2345	0.4690	3.2	6.4	4T12	6T12

Tableau 2-77: La quantité minimale des armatures transversales des poteaux RPA99 et RPA2023.

**Remarque :**

Le ferrailage a été calculée avec A<sub>min</sub> pour les poutres principales, la poutre secondaire, les poteaux.

La longueur de recouvrement L<sub>c</sub> pour la zone I a été modifiée :

RPA99v2003 : L<sub>c</sub> = 40 $\Phi$

RPA2023 : : L<sub>c</sub> = 50 $\Phi$

Toutes les vérifications ont été réalisées (poutres, poteaux).

### 2. 2. 5. 3 Calcule du voile :

Le voile est sollicité par un effort normal  $N$ , un effort tranchant  $V$ , et un moment fléchissant maximal dans la section d'encastrement ce qui signifie que les voiles doivent être calculées en flexion composée et en cisaillement.

	$h_c(\text{cm})$	$a(\text{cm})$	$N (\text{Kn})$	$M (\text{Kn.m})$	$V (\text{Kn})$	
<b>Voile</b>	288	15	1099.506	825.37	219.273	<b>RPA99v2003</b>
			1135.747	720.81	189.9	<b>RPA 2023</b>

**Tableau 2-78 : Les sollicitations du voile de Sou – Sol selon RPA99v2003 et RPA2023.**

## 2. 3 Chapitre 3 : Etude comparative d'un bâtiment à usage d'habitation avec changement du zonage.

### 2. 3. 1

#### Introduction :

Le projet vise à accomplir une étude d'un bloc à usage d'habitation composé d'un **RDC+ 4 étages**. Cet ouvrage est implanté à « EL FHOUL »Tlemcen, Il s'agit d'une zone à faible activité sismique, désignée comme "zone I" selon la réglementation parasismique algériennes 99 versions 2003 et comme "zone IIa" selon la nouvelle réglementation parasismique algériennes 2023 version Octobre 2023.

Les différents plans de notre structure sont présentés dans l'**Annexe 1I**.

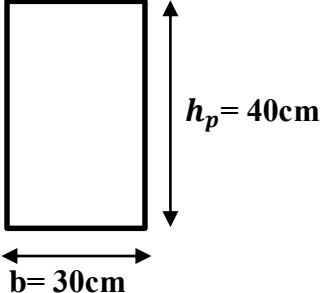
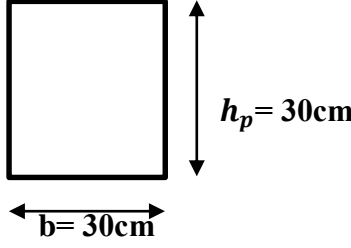
#### **Caractéristique géométrique de l'ouvrage :**

- ✚ Longueur : 7.9m
- ✚ Largeur : 17.74m
- ✚ Hauteur d'étage courant : 3.06m
- ✚ Hauteur de RDC : 3.06m
- ✚ Hauteur totale du bâtiment : 17 m

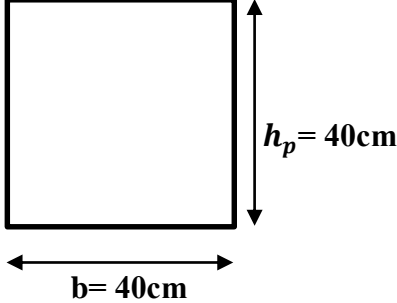
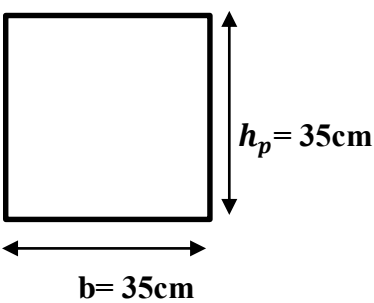
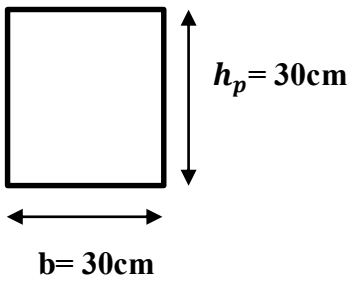
**Pré-dimensionnement :****2. 3. 2. 1 Introduction :**

Avant d'entamer tout calcul des éléments de la structure, il faut passer par leur pré-dimensionnement et cela en se basant sur des lois issues des règlements **CBA, BAEL91, RPA99 version 2003 et RPA2023**, Le pré-dimensionnement des éléments a pour but de déterminer l'ordre de grandeur des sections et des éléments de l'ouvrage. On fournira juste les résultats de calcul.

Les deux versions fournissent les résultats identiques suivants ;

Poutres principales	Poutres secondaires
 <p><math>b = 30\text{cm}</math> <math>h_p = 40\text{cm}</math></p>	 <p><math>b = 30\text{cm}</math> <math>h_p = 30\text{cm}</math></p>

*Tableau 2-79: Dimensions des poutres.*

Type des poteaux		
Type 1	Type 2	Type 3
 <p><math>b = 40\text{cm}</math> <math>h_p = 40\text{cm}</math></p>	 <p><math>b = 35\text{cm}</math> <math>h_p = 35\text{cm}</math></p>	 <p><math>b = 30\text{cm}</math> <math>h_p = 30\text{cm}</math></p>

*Tableau 2-80: Type des poteaux.*

Niveaux	Poteaux (cm <sup>2</sup> )	Poutres principales (cm <sup>2</sup> )	Poutres secondaires (cm <sup>2</sup> )
RDC	40×40	40×30	30×30
Etage 1	35×35	40×30	30×30
Etage 2	35×35	40×30	30×30
Etage 3	30×30	40×30	30×30
Etage 4	30×30	40×30	30×30

**Tableau 2-81: Récapitulation de pré-dimensionnement.**

- La portée du voile :

RPA	RPA99v2003	RPA2023
La portée du voile	$L \geq 4a$	$L \geq \max (he/3 ; 4a ; 1m)$

**Tableau 2-82: Valeur de la longueur du voile « L » suivent les deux règlements parasismiques algériens.**

- L'épaisseur minimale d'un voile est de **15** cm.
- L'épaisseur doit être déterminée en fonction de la hauteur libre d'étage (*he*) et des conditions de rigidité aux extrémités dans notre cas  $a \geq he/20$ .

	RPA99v2003	RPA2023v Octobre 2023
L'épaisseur (m)	$a=0,2$	$a=0,2$
La longueur(m)	$L_1=3,7$ $L_2=4,25$	$L_1=3,7$ $L_2=4,25$

**Tableau 2-83: Le choix de l'épaisseur et la longueur du voile suivent les deux règlements parasismiques algériens.**

### L'étude dynamique :

#### Classification de l'ouvrage selon les RPA99 / Version 2003 :

- Notre ouvrage est implanté dans la wilaya de Tlemcen « ELFHOUL » donc en Zone I.
  - Notre bâtiment est à usage d'habitation  $\leq 17m$  donc classé dans Tous groupes (zone I).
- 2.9.3 Selon le rapport géotechnique relatif à notre ouvrage, on est en présence d'un sol meuble catégorie S3.

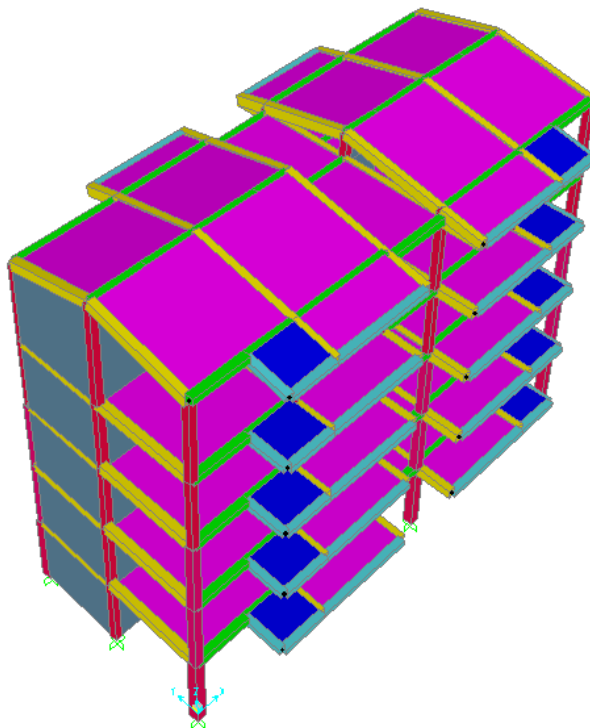
#### Classification de l'ouvrage selon les RPA99 2023 :

- Notre ouvrage est implanté dans la wilaya de Tlemcen « ELFHOUL » donc en Zone IIa.
- Notre bâtiment est à usage d'habitation  $\leq 17m$  donc classé dans le Groupe 1B (Zone IIa).
- Selon le rapport géotechnique relatif à notre ouvrage, on est en présence d'un sol meuble catégorie S3.

#### 2.3.3.1 Etude de l'influence du changement de zonage

Dans cette partie on évaluera principalement, l'effet de changement de zonage. La région d'ELFHOUL est passée d'une zone 1 à une zone IIa.

#### Modélisation de la structure :



*Figure 2-13: Modèle 3D de la structure.*

### 2. 3. 3. 2 Estimation de la période fondamentale de la structure selon RPA99v2003 et RPA2023 :

	$h_N$	D	$C_T$	T	T'
• XX :	39.88m	24,65 m	0,05	min (0,42 ; 0,344)	0,344 sec
• YY :	39 ,88 m	19,75m	0,05	min (0,42 ; 0,544)	0,42 sec

**Tableau 2-84: La période fondamentale dans le Sens XX et YY.**

L'analyse dynamique de la structure nous a permis d'obtenir les résultats suivants :

- La période fondamentale  $T_x$  (dyn)= 0.44 s.
- La période fondamentale  $T_y$  (dyn)= 0.30 s.

StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
Mode	1	0.441981	72%	0%	0%	72%	0%	0%
Mode	2	0.302521	0%	70%	0%	72%	70%	0%
Mode	3	0.222265	2%	0%	0%	74%	70%	0%
Mode	4	0.130074	0%	0%	4%	74%	70%	4%
Mode	5	0.129943	0%	0%	0%	74%	70%	4%
Mode	6	0.120128	0%	0%	2%	74%	71%	5%
Mode	7	0.120056	0%	0%	0%	74%	71%	5%
Mode	8	0.113689	0%	0%	2%	74%	71%	8%
Mode	9	0.113629	0%	0%	0%	74%	71%	8%
Mode	10	0.104711	18%	0%	0%	92%	71%	8%
Mode	11	0.073988	0%	24%	0%	92%	94%	8%
Mode	12	0.077092	0%	0%	54%	92%	94%	62%

**Tableau 2-85: Périodes et pourcentages de participation massique.**

- Le 1<sup>er</sup> et le 2<sup>ème</sup> mode sont des modes de translation.
- La condition de la somme des masses modales effectives soit égale à 90% au moins de la masse totale de la structure est vérifiée :

Dans le sens XX : 10 modes (92% de la masse totale de la structure).

Dans le sens YY : 11 modes (94% de la masse totale de la structure).

**Vérification de la période :**

$T_{\text{numérique}} < 30\% T_{\text{empirique}}$

T numérique= 0,44 sec	T empirique= 0,344 sec	$0.44 - 0,3 * 0,44 = 0,308$
-----------------------	------------------------	-----------------------------

**Tableau 2-86: Vérification de la période fondamentale.**

$T_{\text{num}} < 1,3 T_{\text{emp}}$

**Condition Vérifier.**

**2. 3. 3. 3 Méthode Statique équivalente :****a) Coefficient d'accélération de zone (A) :**

	Le groupe	La zone	A
RPA99 v/2003	Tous groupes	I	0.1
RPA 2023v Octobre2023	/	IIa	0.15

**Tableau 2-87: La Valeur de coefficient d'accélération de zone (A) selon PA969v2003 et RPA 2023.**

**b) Coefficient de comportement global de la structure (R) :**

Le coefficient (R) est donné par le tableau (4.3 RPA99v/2003),(4.5.RPA2023)en fonction du système de contreventement, Dans notre cas on a :

Un système mixte portiques/voiles avec interaction  $R=5$  (RPA99v2003 et RPA 2023).

c) Facteur de qualité Q :

Critère	RPA99 v2003		RPA 2023	
	Observé (oui ou non)	Pq	Observé (oui ou non)	Pq
Condition minimale sur les filles de contreventement	Oui	0	Oui	0
Redondance en plan	Oui	0	Oui	0
Régularité en plan	Non	0,05	Non	0,1
Régularité en élévation	Oui	0	Oui	0
Contrôle de la qualité d'exécution	Non	0,05	/	/
Contrôle de la qualité des matériaux	Non	0,1	/	/
$Q=1+ \sum_1^6 Pq$	$Qx=1+0,05+0,05+0,1=1,2$		$Qx=1+0,1=1,1$	

Tableau 2-88: Valeurs des pénalités Sens XX et YY (RPA99v2003 Vs. RPA 2023).

d) Coefficient d'importance : en fonction de group d'importance (I) : (Spécifique RPA2023)

Dans notre cas zone IIa groupe 2  $\Rightarrow I=1$

e) Coefficient de Site (S) : associée à la catégorie du site (Spécifique RPA2023)

Notre bâtiment est réalisé sur un sol meuble  $\Rightarrow$  Catégorie 3  $\Rightarrow$  Site 3, Donc  $S=1.20$

f) Facteur d'amplification dynamique de la structure (D) :

Est en fonction de la catégorie de site, du facteur de correction d'amortissement et de la période fondamentale de la structure.

RPA99 v2003		RPA 2023 v Octobre 2023	
$D \begin{cases} 2,5\eta & 0 < T < T_2 \\ 2,5\eta \left(\frac{T_2}{T}\right)^{\frac{2}{3}} & T_2 < T < 3s \\ 2,5\eta \left(\frac{T_2}{3}\right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{3}{T}\right)^{\frac{5}{3}} & T > 3s \end{cases}$		$D \begin{cases} 2,5\eta & 0 < T < T_2 \\ 2,5\eta \left(\frac{T_2}{T}\right) & T_2 < T < T_3 \\ 2,5\eta \left(\frac{T_2 T_3}{T^2}\right) & T > T_3 \end{cases}$	

Tableau 2-89: Les formules de Facteur d'amplification dynamique (D) selon RPA99v2003 et RPA2023.

**T1, T2 et T3** : période caractéristique, associée à la catégorie du site et donnée par le tableau (4.7.RPA99v2003, 4.9.RPA 2023). Notre bâtiment est réalisé sur un sol meuble de site 3 donc :

	RPA99 v2003	RPA 2023v Octobre2023
T1(s)	0.15	0.20
T2(s)	0.50	0.60
T3(s)	/	2

**Tableau 2-90: Les périodes T1, T2 et T3 RPA99v2003 et RPA2023v Octobre 2023.**

$\eta$  :Facteur de correction d'amortissement donne par la formule suivante :  $\eta = \sqrt{\frac{7}{2+\varepsilon}} \geq 0,7$

Où (%) : le pourcentage d'amortissement critique donne par le tableau (4.2.RPA99v/2003), (4.4.RPA2023).

$\xi = 7\%$  puisqu'on a le remplissage des portiques en béton armé (Construction auto stable).

**RPA99v2003.**

$\xi = 10\%$  puisqu'on a des voiles associés à des portiques (Contreventement par voiles). **RPA2023.**

Donc :

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{RPA99v2003} : \eta = \sqrt{\frac{7}{2+7}} = 0,882 \geq 0,7 \text{ OK} \\ \mathbf{RPA2023} : \eta = \sqrt{\frac{7}{2+10}} = 0.764 \geq 0,7 \text{ OK} \end{array} \right.$$

Alors le Facteur d'amplification dynamique de la structure (D) égale :

	RPA99v2003	RPA 2023
Dx	2,205	1,91
Dy	2,205	1,91

**Tableau 2-91: Les valeurs de Facteur d'amplification dynamique (D) selon RPA99v2003 et RPA2023.**

**g) Poids total de la structure :**

Les résultats des différentes poids correspond à chaque étage sont déterminés par le SAP2000 et ils sont résumés comme suit :

Niveau	Hauteur (m)	Poids $W_i$ (t)
RDC	3.06	247.116258
étage 1	3.06	242.421918
étage 2	3.06	241.154283
étage 3	3.06	252.822687
étage 4	3.06	209.41148

**Tableau 2-92 : Le poids de la structure.**

Le poids total de la structure :  $W = \sum W_i = 1192.926626$ tonne.

Le calcul de l'effort tranchant à la base fourni le résultat suivant :

Méthode	V (KN)	
	RPA99v2003	RPA2023
Statique équivalente	631.29677	721.82559

**Tableau 2-93: L'effort tranchant à la base (méthode statique équivalente) selon RPA99v2003 et RPA2023 pour  $R=5$ .**

**2. 3. 3. 4 Méthode dynamique modale spectrale :**

Calcul de l'effort sismique à la base :

Coefficient	A	R	Q	$\epsilon_s$	$\eta$	T1	T2
Valeur	0,1	5	1,2	7	0,882	0,15	0,5

**Tableau 2-94: Les paramètres sismiques du RPA99v2003.**

Coefficient	A	R	Q	$\epsilon_s$	$\eta$	S	I	T1	T2	T3
Valeur	0,15	5	1,1	10	0,764	1,2	1	0,20	0,60	2

**Tableau 2-95: Les paramètres sismiques du RPA2023v Octobre2023.**

Donc : L'effort tranchant à la base

Méthode	$V_x$ (KN)	$V_y$ (KN)	
Modale spectral	667.671	688.167	RPA99v2003
	728.717	742.999	RPA2023

**Tableau 2-96: L'effort tranchant à la base (méthode modale spectral) selon RPA99v2003 et RPA2023 pour  $R=5$ .**

<u>RPA 99 V. 2003</u>	SENS XX	667.671 KN >80% 631.297 KN	CV
	SENS YY	688.167 KN >80% 631.297 KN	CV
<u>RPA 2023 V. Octobre 2023</u>	SENS XX	728.717KN >80% 721.82559KN	CV
	SENS YY	742.999 KN >80% 721.82559 KN	CV

**Tableau 2-97: Résultats de vérification de 80% Selon le RPA99v2003 et RPA2023v Octobre 2023 pour R=5.**

**Vérification de coefficient de contreventement « R=5 » :**

*Comme pour le bâtiment précédent, on s'est heurté à la justification de 25%. Les calculs sont refaits pour R=4. Ainsi toutes les justifications sont satisfaites.*

Donc : L'effort tranchant à la base

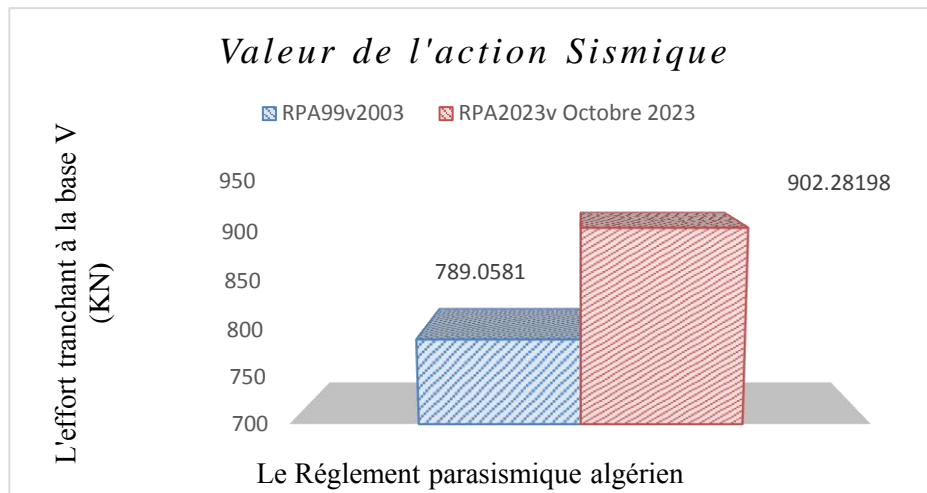
Méthode	V (KN)	
Statique équivalente	789.04581	RPA99v2003
	902.28198	RPA2023

**Tableau 2-98: L'effort tranchant à la base (méthode statique équivalente) selon RPA99v2003 et RPA2023 pour R=4.**

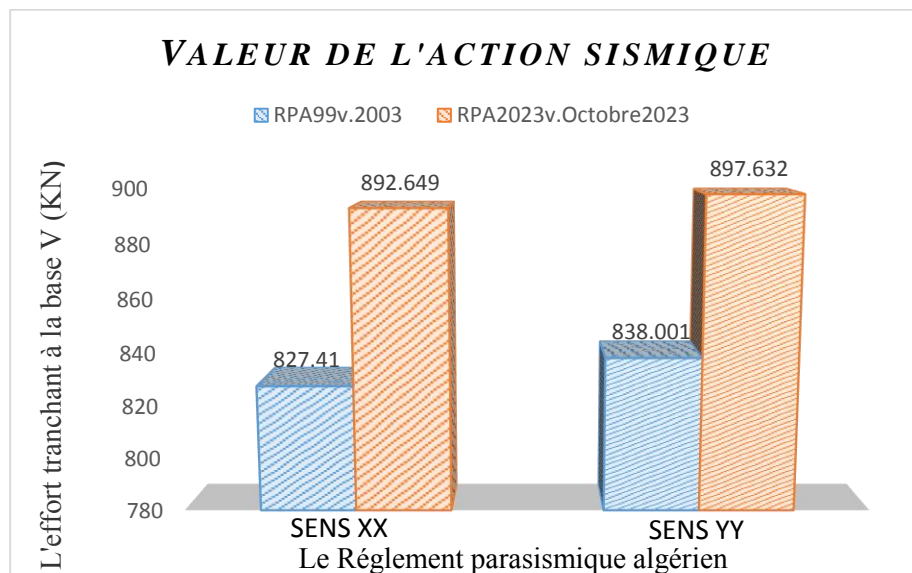
Méthode	V <sub>x</sub> (KN)	V <sub>y</sub> (KN)	
Modale spectral	827.41	838.001	RPA99v2003
	892.649	897.632	RPA2023

**Tableau 2-99: L'effort tranchant à la base (méthode modale spectral) selon RPA99v2003 et RPA2023 pour R=4.**

## 2. 3. 3. 5 Récapitulatif des résultats



*Figure 2-14: Comparaison entre les valeurs de l'action sismique (méthode statique équivalente).*



*Figure 2-15: Comparaison entre les valeurs de l'action sismique (méthode modale spectrale).*

- Les efforts tranchants et les forces sismiques atteints par les deux règlements sont représentés par les histogrammes.
- Les efforts tranchants à la base (**méthode statique équivalente**) selon RPA2023v Octobre 2023 sont supérieurs à ceux calculés par le RPA99v 2003 de **12.55%**
- Les efforts tranchants à la base (**méthode modale spectrale**) selon RPA2023v Octobre 2023 sont supérieurs à ceux calculés par le RPA99v 2003 de **7.30%** dans le sens **X** et de **6.64%** dans le sens **Y**.

Ceci s'explique par :

- Le changement de la zone sismique : de la zone I selon le RPA99 v2003 à la zone IIa selon le RPA2023 v Octobre 2023 ⇒ Le changement de coefficient d'accélération de zone (A) de 0,1 vers 0,15.
- Le changement dans la formule de l'effort tranchant à la base et le spectre de réponse de calcul.
- La différence entre les paramètres sismiques :
  - Le changement dans la valeur de pénalité à retenir selon les critères de qualité ⇒ Le changement du facteur de qualité Q.
  - Le changement du pourcentage d'amortissement critique ⇒ Le changement de facteur de correction d'amortissement  $\eta$ .
  - L'influence de Coefficient d'importance I et le Coefficient de Site S introduit par le RPA2023 v Octobre 2023.

### 2. 3. 3. 6 Justification de la sécurité :

#### Calcul des déplacements d'étage :

Justification vis à vis des déformations :

✚ Selon RPA99v2003 :

Les déplacements relatifs latéraux d'un étage par rapport aux étages adjacents, ne doivent pas dépasser (1,0%) de la hauteur d'étage.

Le déplacement horizontal à chaque niveau 'K' de la structure est calculé comme suit :

$$\delta_k = R \times \delta_{eK}$$

$\delta_{eK}$  : Déplacement dû aux forces sismiques.

R : Coefficient de comportement

Le déplacement relatif au niveau 'K' par rapport au niveau 'K-1' est égal à :

$$\Delta_k = \delta_k - \delta_{k-1}$$

✚ Selon RPA2023 v Mars 2024 :

Les déplacements relatifs latéraux d'un étage par rapport aux étages adjacents, ne doivent pas dépasser (1,5%) de la hauteur d'étage.

Le déplacement horizontal à chaque niveau 'K' de la structure est calculé comme suit :

$$\delta_k = \frac{R}{Q} \times \delta_{eK}$$

$\delta_{eK}$  : Déplacement dû aux forces sismiques.

**R** : Coefficient de comportement.

**Q** : Coefficient de qualité.

Le déplacement relatif au niveau 'K' par rapport au niveau 'K-1' est égal à :

$$\Delta_k = \delta_k - \delta_{k-1}$$

Sens XX :

Etage	RPA99v.2003				RPA2023v.Octobre2023				Condition Vérifier
	$\delta_{ek}$ (m)	R	$\Delta_k$ (m) (relatif)	1% he	$\delta_{ek}$ (m)	R/Q	$\Delta_k$ (m) (relatif)	1,5% he	
RDC	0.000621	4	0.0025	0.0306	0.00067	3.636	0.0024	0.0459	
1	0.00197		0.0054	0.0306	0.002127		0.0053	0.0459	
2	0.003527		0.0062	0.0306	0.003808		0.0061	0.0459	
3	0.004951		0.0057	0.0306	0.005345		0.0056	0.0459	
4	0.006116		0.0047	0.0426	0.006602		0.0046	0.0639	

**Tableau 2-100 : Déplacements latéraux inter-étages sens XX RPA99v2003 et RPA2023 V. Octobre 2024.**

Sens YY :

Etage	RPA99v.2003				RPA2023v.Octobre2023				Condition Vérifier
	$\delta_{ek}$ (m)	R	$\Delta_k$ (m) (relatif)	1% he	$\delta_{ek}$ (m)	R/Q	$\Delta_k$ (m) (relatif)	1,5% he	
RDC	0.000282	4	0.0011	0.0306	0.000304	3.636	0.0011	0.0459	
1	0.000831		0.0022	0.0306	0.000897		0.0022	0.0459	
2	0.001518		0.0027	0.0306	0.001639		0.0027	0.0459	
3	0.002245		0.0029	0.0306	0.002423		0.0029	0.0459	
4	0.00306		0.0033	0.0426	0.003304		0.0032	0.0639	

**Tableau 2-101: Déplacements latéraux inter-étages sens YY RPA99V.2003 et RPA2023 V. Octobre 2024.**

D'après ces tableaux on observe bien que les déplacements relatifs ne dépassent pas 1% de la hauteur d'étage (RPA99v2003) et 1,5% de la hauteur d'étage (RPA2023 v. Octobre2023).

**Remarque :**

- ✓ La vérification du déplacement inter étage est vérifiée d'après les deux règlements RPA99v2003 et RPA2023.
- ✓ Les déplacements relatifs des RPA99v 2003 et RPA 2023v Octobre2023 sont presque identiques dans les deux directions horizontales orthogonales (X, Y).

**Vérification de l'Effet P- $\Delta$  :**

**Sens XX :**

Etage	RPA99v.2003				RPA2023v.Octobre2023				P-DELTA NEGLIGE
	R	$\Delta k$ (m) (relatif)	Vkx (t)	$\theta_{ky}$	R/Q	$\Delta k$ (m) (relatif)	Vkx (t)	$\theta_{ky}$	
RDC	4	0.0025	78.90458	0.0123	3.636	0.0024	90.23	0.0105	
1		0.0054	73.48211	0.0227		0.0053	84.03	0.0195	
2		0.0062	62.8432	0.0228		0.0061	71.86	0.0196	
3		0.0057	46.96827	0.0183		0.0056	53.71	0.0157	
4		0.0047	24.77755	0.0092		0.0046	28.33	0.0079	

**Tableau 2-102: Résultats d'effet P- $\Delta$  sens XX RPA99v2003 et RPA2023 V. Octobre 2024.**

**Sens YY :**

Etage	RPA99v.2003				RPA2023v.Octobre2023				P-DELTA NEGLIGE
	R	$\Delta k$ (m) (relatif)	Vkx (t)	$\theta_{ky}$	R/Q	$\Delta k$ (m) (relatif)	Vkx (t)	$\theta_{ky}$	
RDC	4	0.0011	78.90458	0.0056	3.636	0.0011	90.23	0.0048	
1		0.0022	73.48211	0.0092		0.0022	84.03	0.0079	
2		0.0027	62.8432	0.0101		0.0027	71.86	0.0086	
3		0.0029	46.96827	0.0094		0.0029	53.71	0.0080	
4		0.0033	24.77755	0.0065		0.0032	28.33	0.0056	

**Tableau 2-103: Résultats d'effet P- $\Delta$  sens YY RPA99v2003 et RPA2023 V. Octobre 2024.**

**Remarque :**

-La condition  $\theta < 0.10$  est vérifiée pour les deux règlements  $\Rightarrow$  L'effet de P- $\Delta$  est négligé dans notre structure.

-L'effet P- $\Delta$  du RPA2023vOctobre2023 est moins important que celui du RPA99v2003.

**2. 3. 3. 7 Conclusion :**

D'après notre étude comparative du contenu de deux règlements parasismiques algériens (RPA99v2003) et (RPA2023v octobre 2023) concernant le chapitre de l'étude sismique nous sommes parvenus aux résultats et observations suivantes :

-Le RPA99v2003 et RPA2023 admet la même période numérique (analyse modale) parce que c'est aucun changement des masses et de dimensionnement des éléments structuraux (poteau, poutre, voile).

Le RPA99v2003 et le RPA2023 partagent les mêmes actions sismiques horizontales EX et EY, ainsi que les mêmes combinaisons sismiques, à l'exception de la substitution de la combinaison des poteaux auto-stables dans le RPA2023v Octobre 2023

De \*  $G + Q \pm 1.2 E$  vers \*  $G + Q \pm 1.3 E$

- Le RPA99v2003 et le RPA2023 présentent des spectres de réponse de calcul différents en raison des modifications des paramètres sismiques propres à chacun, notamment le passage de la zone sismique de la zone **I** à la zone **IIa**

-La force sismique calculée à partir de la méthode statique équivalente selon le RPA2023 v Octobre 2023 est supérieure à celle calculée selon le RPA99v2003.

-Selon les calculs effectués par **la méthode statique équivalente** du RPA 2023 d'octobre 2023, l'effort tranchant à la base de la structure se trouve être supérieur de plus de **12.55%**.

-Selon les calculs effectués selon **la méthode modale spectrale** du RPA 2023 d'octobre 2023, l'effort tranchant à la base de la structure est supérieur de plus de **7.30%** dans le sens **XX** et **6.64%** dans le sens **YY**.

-Il y a une variété dans les justifications de la sécurité et surtout le déplacement inter étage la condition de vérification a changé. S'il est vrai que toutes les justifications ont été vérifiées.

**Calcul des éléments :**

Combinaison spécifique de calcul :

1.35G +1.5 Q.....ELU

Type de poutre	Travée		Appui		Ast choix des armatures	
	Acalculé (cm) <sup>2</sup>	Amin (cm) <sup>2</sup>	Acalculé (cm) <sup>2</sup>	Amin (cm) <sup>2</sup>	Travée (cm) <sup>2</sup>	Appuis (cm) <sup>2</sup>
PP 01 (40×30)	2.126	6	5.1975	6	<b>3T12</b>	<b>3T14+3T12</b>
PP 02 (40×30)	1.18	6	7.445	6		
PS (30×30)	1.66	4.5	4.08	4.5	<b>3T12</b>	<b>3T14</b>

**Tableau 2-104: Ferrailage longitudinal des poutres RPA99v2003 et RPA2023.**

Type de poutre	St calculé (cm) (zone nodale)	St choisie (cm) (zone nodale)	St calculé (cm) (zone courant)	St choisi (cm) (zone courant)
PP (40×30) cm <sup>2</sup>	10	10	20	15
PS (30×30) cm <sup>2</sup>	7,5	10	15	10

**Tableau 2-105: L'espacement des armatures transversales des poutres selon RPA99v2003 et RPA2023.**

Poteaux	M(KN.m)	N(KN)	Acalculé (cm <sup>2</sup> )	Amin (cm <sup>2</sup> )	Ferrailage
40×40	21,1158	1345,647	A <sub>2</sub> =0 ; A <sub>1</sub> = -12,03	11,2	<b>4T16+4T14=14,20cm<sup>2</sup></b>
35×35	18,295	1051,391	A <sub>2</sub> = 12,075 ; A <sub>1</sub> =5,63	8,575	<b>4T14+4T12=10,68cm<sup>2</sup></b>
30×30	20,3998	60,145	A <sub>2</sub> =0 ; A <sub>1</sub> =1,0828	6,30	<b>8T12=9,03cm<sup>2</sup></b>

**Tableau 2-106 : Ferrailage longitudinal des poteaux RPA99v2003.**

Poteaux	M(KN.m)	N(KN)	Acalculé (cm <sup>2</sup> )	Amin (cm <sup>2</sup> )	Ferrailage
40×40	21,1158	1345,647	A <sub>2</sub> =0 ; A <sub>1</sub> = -12,76	12,8	<b>4T16+4T14=14,20cm<sup>2</sup></b>
35×35	18,295	1051,391	A <sub>2</sub> = 9,775 ; A <sub>1</sub> =6,01	9,8	<b>4T14+4T12=10,68cm<sup>2</sup></b>
30×30	20,3998	60,145	A <sub>2</sub> =0 ; A <sub>1</sub> =1,067	7,2	<b>8T12=9,03cm<sup>2</sup></b>

**Tableau 2-107: Ferrailage longitudinal des poteaux RPA2023.**

$\Phi$ (cm)	RPA99v2003	RPA2023 V.Octobre2023
		La longueur minimale de recouvrement est de $40 \Phi$ (zone I).
1,2	$L_r = 1,2*40 = 48$ cm	$L_r = 1,2*50 = 60$ cm
1,4	$L_r = 1,4*40 = 56$ cm	$L_r = 1,4*50 = 70$ cm
1.6	$L_r = 1.6*40 = 64$ cm	$L_r = 1.6*50 = 80$ cm

**Tableau 2-108: La longueur minimale de recouvrement des poteaux selon le RPA99v.2003 et RPA 2023 v.Octobre2023.**

Niveau	RDC	Etage courant	2ème étage	3ème étage	4ème étage
he (m)	3.06	3.06	3.06	3.06	4.26
$b_1 = h_1$ (cm)	40	35	35	30	30
$h'$ (cm)	60	60	60	60	60

**Tableau 2-109: Longueur de la zone nodale RPA99v2003 et RPA2023.**

Poteaux	$V_u$ (KN)	$\lambda_g$	$\rho_a$	t (cm)	t' (cm)	$A_{t.cal}$ (cm <sup>2</sup> )		$A_{t.min}$ (cm <sup>2</sup> )		Le choix
						Zone nodale	Zone courante	Zone nodale	Zone courante	
<b>40×40</b>	10,227	5	2,5	10	15	0,128	0,192	1,2	1,8	$\Phi_8$
<b>35×35</b>	11,833	5,72	2,5	10	15	0,169	0,254	1,05	1,575	$\Phi_8$
<b>30×30</b>	11,691	7,47	2,5	10	15	0,195	0,292	0,9	1,35	$\Phi_8$

**Tableau 2-110: Ferrailage transversal des poteaux RPA99v2003 et RPA2023.**

**Conclusion :**

Dans ce chapitre on a étudié le bâtiment choisi selon le RPA99v2003 et le RPA2023 v (Octobre2023) avec changement de zone sismique.

- **Zone I** selon le RPA99v2003.
- 2. 3. 5
- **Zone IIa** selon le RPA23 V Octoabre2023.

-Le premier départ c'est le pré-dimensionnement des éléments et évaluation des charges pour un but de déterminer les dimensions économiques du côté d'excès d'acier et béton.

-La totalité des recommandations du RPA99v2003 et RPA2023 v (Octobre) concernant le pré-dimensionnement des éléments sont les mêmes sauf quelque unes concernant les Selon RPA99v2003 :

-La deuxième phase a consisté à mener une étude sismique conformément aux deux codes parasismiques. Suite à cette étude, nous avons remarqué une différence dans les valeurs de l'effort tranchant à la base calculées par la méthode statique équivalente, avec une augmentation de l'effort selon le RPA2023 (version d'octobre 2023) de **12.55%** dans le sens X et Y. L'effort tranchant à la base de la structure calculé par la méthode modale spectral selon RPA2023 (version d'octobre 2023) à une valeur supérieure de plus de **7.30%** dans le sens X et de **6.64 %** Y.

-Dans la troisième phase, qui concerne le calcul des éléments tels que les poutres, les poteaux et les voiles selon les deux codes parasismiques, nous avons noté des divergences dans les sollicitations trouvées (moment, effort normal, effort tranchant) qui ne sont pas identiques. Par conséquent, les calculs de ferrailage varient également. En dépit de cette disparité, nous avons opté un ferrailage identique car c'est toujours le minimum qui l'emporte.

# **Partie 3 : COMPARAISON ENTRE LE RPA99 V.2003 ET LE RPA2023 V. Mars 2024**

**3. 1 Chapitre 1 : Comparaison entre le contenu de RPA99v2003 et RPA2023v Mars 2024.****Introduction :**

Pendant que nous travaillions avec le RPA2023 v Octobre 2023, une deuxième version était en cours de développement et de préparation, apportant des changements significatifs par rapport à la version précédente.

3. 1. 1

On s'est fixé comme objectif de refaire le travail de comparaison précédent avec la version arrêté au mois de Mars (RPA2023 Vs. Mars 2024). Dans cette partie nous allons mentionner uniquement les nouvelles modifications apportées à l' RPA2023 v Octobre 2023 et plus précisément celles qui impacteront significativement les sollicitations ou le dimensionnement en général de nos bâtiments.

**Critères de classification :**

3. 1. 2

**3. 1. 2. 1 Classification des zones sismiques :**

-La wilaya est partagée entre plusieurs zones sismiques différentes.

-Le territoire national est divisé en sept zones de sismicité croissante, soit :

- Zone 0 : sismicité négligeable.
- Zone I : sismicité faible.
- Zone II : sismicité faible à moyenne.
- Zone III : sismicité moyenne.
- Zone IV : sismicité moyenne à élevée.
- Zone V : sismicité élevée.
- Zone VI : sismicité très élevée.

**3. 1. 2. 2 Classification des systèmes de contreventement :**

Dans ce paragraphe, nous devons mentionner les nouveaux critères et les derniers changements proposés lors de la dernière révision de l'RPA (RPA2023 v Mars 2024) par rapport au RPA2023 v Octobre 2023. Les nouvelles valeurs des coefficients de comportement sont données par le tableau suivant. On note beaucoup de changements dans les descriptions des systèmes et de valeurs attribuées.

Cat	Description du système de contreventement	Valeur R
<b>A</b>	<b>BETON ARME</b>	
1	Système à ossature	4 <sup>(a)</sup>
2	Système à contreventement mixte, équivalent à une ossature	4 <sup>(a)</sup>
3	Système à ossature ou mixte équivalent à ossature avec remplissage en maçonnerie rigide	3 <sup>(a)</sup>
4	Système à contreventement mixte, équivalent à des voiles	3.5 <sup>(b)</sup>
5	Système de contreventement constitué par des voiles	3.5 <sup>(b)</sup>
6	Système à ossature à noyau ou effet noyau	2 <sup>(b)</sup>
7	Système fonctionnant en consol verticale à masses réparties prédominantes	2 <sup>(b)</sup>
8	Système en pendule inversé	1.5 <sup>(c)</sup>
9	Système de voiles de grandes dimensions en béton armé	1.5 <sup>(c)</sup>
<b>B</b>	<b>ACIER</b>	
10	Ossature en portique sans remplissage ou avec remplissage isolé	6.5 <sup>(a)</sup>
11	Ossature en portique avec remplissage maçonnerie rigide	3 <sup>(a)</sup>
12a	Ossature avec palées de contreventement à barres centrées en X	4 <sup>(a)</sup>
12a	Ossature avec palées de contreventement à barres centrées en V	2.5 <sup>(a)</sup>
13a	Ossature en portique avec palées de contreventement à barres centrées en X	4.5 <sup>(b)</sup>
13b	Ossature en portique avec palées de contreventement à barres centrées en V	3.5 <sup>(b)</sup>
14	Système en pendule inversé	2 <sup>(b)</sup>
<b>C</b>	<b>PROFILE FORME A FROID (P.A.F)</b>	
15	Système de contreventement en panneau en PAF	2 <sup>(b)</sup>
16	Système de contreventement en panneau en PAF en diagonales tendues	1.5 <sup>(c)</sup>
<b>D</b>	<b>MACONNERIE</b>	
17	Structure en maçonnerie porteuse chaînée	2.5 <sup>(b)</sup>

<b>E</b>	<b>BOIS</b>	
18	Consoles : poutres à joints cantilevers	1.5 <sup>(c)</sup>
19	Poutres, arcs à deux ou trois articulations, Treillis assemblés par connecteurs à dents	1.5 <sup>(c)</sup>
20	Voiles en ossature et diaphragmes collés assemblés entre eux par clous et boulons ; Treillis avec assemblage broché et boulonné, Ossature avec remplissage non porteur	2 <sup>(b)</sup>
21	Portique hyperstatique avec assemblage boulonnés et brochés, treillis avec assemblage cloués	2.5 <sup>(b)</sup>
<b>F</b>	<b>AUTRES STRUCUTRES</b>	
22	Structure à ossature métallique avec contreventement par diaphragme	2 <sup>(b)</sup>
23	Structure à ossature métallique avec contreventement par noyau/ effet noyau en béton armé	2.5 <sup>(b)</sup>
24	Structure à ossature métallique avec contreventement par voiles en béton armé	3.5 <sup>(b)</sup>
25	Structure à ossature métallique avec contreventement mixte composé d'un noyau en béton armé et de palées métallique en périphérie	2.5 <sup>(b)</sup>
26	Structure à ossature métallique avec contreventement mixte composé d'un noyau en béton armé et de portique métallique en périphérie	3.5 <sup>(b)</sup>

3. 1. 3 **Tableau 3-1 : Valeur de coefficient de comportement R "RPA2023 v Mars 2024"****Règles de calcules :****3. 1. 3. 1 Actions sismiques :**

Le territoire national est divisé en sept (07) zones sismiques. Chaque zone sismique est délimitée par les accélérations maximales, PGA, calculées au rocher (classe de sol S1) pour une période de retour de référence de non effondrement  $T_r=475$  ans. Chaque zone est associée à une accélération moyenne de référence au niveau d'un sol de classe S1, appelée accélération de référence de zone A. Les coefficients d'accélération sont donnés par le tableau suivant :

Zone de sismicité	Niveau de sismicité	PGA ( g )	A (g )
0	Très faible	$PGA \leq 0.04$	-
I	Faible	$0.04 \leq PGA \leq 0.08$	0.06
II	Faible à moyenne	$0.08 \leq PGA \leq 0.13$	0.10
III	Moyenne	$0.13 \leq PGA \leq 0.18$	0.15
IV	Moyenne à élevée	$0.18 \leq PGA \leq 0.23$	0.20
V	Elevée	$0.23 \leq PGA \leq 0.28$	0.25
VI	Elevée	$PGA \geq 0.28$	0.30

Tableau 3-2: Intervalle des accélérations au rocher pour  $T_r = 475$  ans et définition des zones de sismicité.

3. 1. 3. 2 Spectre de réponse élastique horizontale :

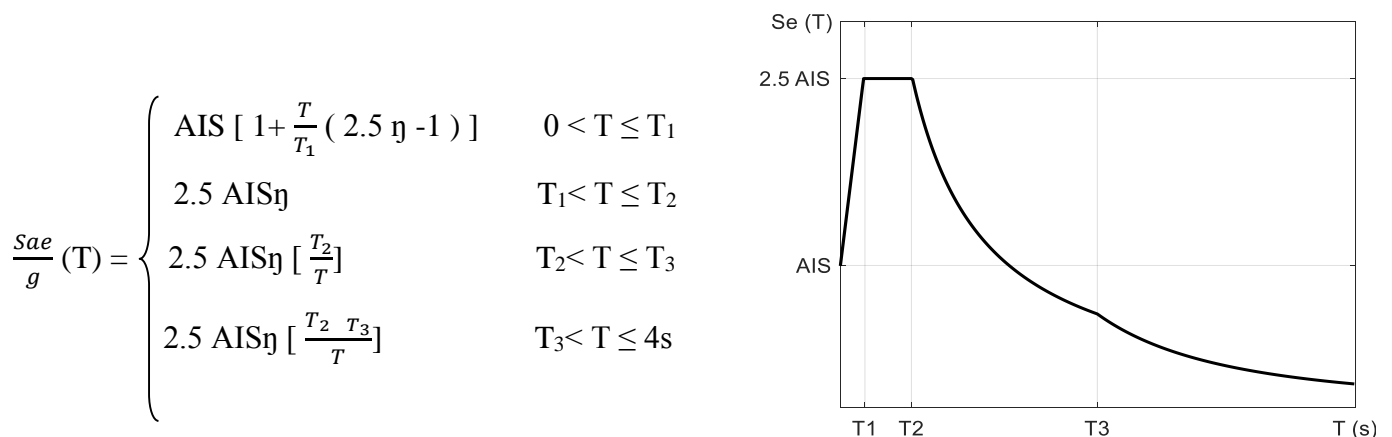


Figure 3-1: Spectre de réponse élastique horizontale RPA20232 V. Mars 2024.

Deux types de formes de spectres sont utilisés :

Type 1 : si les séismes qui contribuent le plus à l'aléa sismique défini pour le site dans le cadre de l'évaluation probabiliste de l'aléa ont une magnitude moment,  $M_w \leq 5.5$  , le type de spectre 1 est adoptée .

Type 2 : si les séismes qui contribuent le plus à l'aléa sismique défini pour le site dans le cadre de l'évaluation probabiliste de l'aléa ont une magnitude moment,  $M_w > 5.5$  , le type de spectre 2 est adoptée .

	S	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
S <sub>1</sub>	1.00	0.10	0.40	2.0
S <sub>2</sub>	1.20	0.10	0.50	2.0
S <sub>3</sub>	1.40	0.15	0.60	2.0
S <sub>4</sub>	1.35	0.15	0.70	2.0
S <sub>E</sub>	1.45	0.15	0.60	2.0

Tableau 3-3: Valeurs des paramètres décrivant les spectres de réponse élastique de type 1 (zones IV, V, VI).

	S	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
S <sub>1</sub>	1.00	0.05	0.25	1.2
S <sub>2</sub>	1.30	0.05	0.30	1.2
S <sub>3</sub>	1.55	0.10	0.40	1.2
S <sub>4</sub>	1.80	0.10	0.50	1.2
S <sub>E</sub>	1.60	0.10	0.45	1.2

Tableau 3-4: Valeurs des paramètres décrivant les spectres de réponse élastique de type 1 (zones I, II, III).

Déplacement de calcul de sol :

Le déplacement de calcul au niveau du sol d<sub>g</sub>, correspondant à l'accélération de calcul (AIS) au niveau de sol est donné par la formule :  $d_g = 0.025 A I S T_2 T_3$

**3. 1. 3. 3 Spectre de réponse élastique verticale :**

La composante verticale de l'action sismique doit être représentée par un spectre de réponse élastique, (T), donné par les expressions suivantes :

$$S_{ve}(T) = \begin{cases} A_v I \left[ 1 + \frac{T}{T_1} (2.5 \eta - 1) \right] & 0 < T \leq T_1 \\ 2.5 A_v & T_1 < T \leq T_2 \\ 2.5 A_v I \eta \left[ \frac{T_2}{T} \right] & T_2 < T \leq T_3 \\ 2.5 A_v I \eta \left[ \frac{T_2 T_3}{T} \right] & T_3 < T \leq 4s \end{cases} \quad (3. 1.1)$$

Comme pour les spectres qui définissent les composantes horizontales de l'action sismique (RPA2023 (mars2024))

	$A_V/A$	$T_1$	$T_2$	$T_3$
$S_1$	0.9	0.05	0.20	1.0
$S_2$	0.9	0.05	0.30	1.0
$S_3$	0.9	0.05	0.40	1.0
$S_4$	0.9	0.05	0.50	1.0
$S_E$	0.9	0.05	0.48	1.0

Tableau 3-5 : Valeurs des paramètres décrivant les spectres de réponse élastique horizontales de type 1.

	$A_V/A$	$T_1$	$T_2$	$T_3$
$S_1$	0.55	0.05	0.15	1.0
$S_2$	0.55	0.05	0.20	1.0
$S_3$	0.55	0.05	0.25	1.0
$S_4$	0.55	0.05	0.30	1.0
$S_E$	0.55	0.05	0.31	1.0

Tableau 3-6: Valeurs des paramètres décrivant les spectres de réponse élastique vertical de type 2.

3. 1. 3. 4 Spectre de réponse de calcul :

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

$$\frac{S_{ad}}{g} \left\{ \begin{array}{ll}
 \text{AIS} \left( \frac{2}{3} + \frac{T}{T_1} \left( \frac{2.5 \eta Q}{R} - \frac{2}{3} \right) \right) & 0 < T \leq T_1 \\
 \frac{2.5 \text{ AIS } Q}{R} & T_1 < T \leq T_2 \\
 \frac{2.5 \text{ AIS } Q}{R} \left( \frac{T_2}{T} \right) & T_2 < T \leq T_3 \\
 \frac{2.5 \text{ AIS } Q}{R} \left( \frac{T_2 T_3}{T^2} \right) & T_3 < T \leq 4s \\
 2.5 \text{ AIS} \left( \frac{T_2 T_3}{T_1} \right) & T_3 < T \leq 4s
 \end{array} \right. \quad (3.1.4)$$

Les valeurs du spectre de calcul ne doivent en aucun cas être inférieures à 0.2AIS. Pour la composante verticale de l'action sismique, le spectre de calcul est donné par les expressions (3.14), avec l'accélération de calcul du sol dans la direction verticale,  $A_v$ , à la place de A, S pris égal à 1,0 et les autres paramètres tels que définis dans le paragraphe précédent.

### 3. 1. 3. 5 Choix de la méthode de calcul :

- Condition application de la méthode statique équivalente :

Zone sismique	La hauteur maximale	
<b>I</b>	65 m	RPA99v 2003
		RPA2023(Mars2024)
<b>II</b>	65 m	RPA99V2003
		RPA2023(Mars2024)
<b>III</b>	30 m	RPA99V2003
	65 m	RPA2023(Mars2024)
<b>IV, V, VI</b>	32 m	RPA2023(Mars2024)

**Tableau 3-7: Comparaison des conditions d'application de la méthode statique équivalente entre le RPA99 et RPA2023v (Mars2024).**

D'après le tableau la hauteur maximale de la zone I et II selon les deux règlements est identique.

Par ailleurs, il est a noté que le RPA 2023 a introduit trois nouvelle zone IV, V, VI avec une hauteur maximale constante de 32 m.

	1 A	1B	2	3	
<b>I</b>	✓	✓	✓	✓	RPA99v2003
	✓	✓	✓	✓	RPA2023vMars2024
<b>II</b>	max (3 niv, 10 m)	max (10 niv, 17 m)	max (7 niv, 23 m)	✓	RPA99v2003
	✓	✓	✓	✓	RPA2023vMars2024
<b>III</b>	max (2 niv, 8 m)	max (3 niv, 10 m)	max (5 niv, 17 m)	max (5 niv, 17 m)	RPA99v2003
	max (3 niv, 11 m)	max (5 niv, 17 m)	max (7 niv, 23 m)	✓	RPA2023vMars2024
<b>IV</b>	max (3 niv, 11 m)	max (5 niv, 17 m)	max (7 niv, 23 m)	✓	RPA2023vMars2024
<b>V, VI</b>	max (2 niv, 8 m)	max (3 niv, 11 m)	max (5 niv, 17 m)	max (5 niv, 17 m)	RPA2023vMars2024

**Tableau 3-8: Comparaison de la hauteur maximale du bâtiment pour chaque zone entre RPA99v2003 et RPA2023v Mars 2024.**

### 3. 1. 3. 6 Méthode statique équivalente :

Calcul de la force sismique totale :

RPA99 v/2003	RPA 2023 V. Octobre	RPA 2023v Mars 2024
$V = \frac{A D Q}{R} W$	$V = 0.8 \frac{A I S D Q}{R} W$	$V = \lambda \cdot \frac{S_{ad}}{g} (T_0) W$

**Tableau 3-9: Evolution de la formule de la force sismique**

Pour la nouvelle formule :

$\frac{S_{ad}}{g} (T_0)$  : ordonnée du spectre de calcul pour la période  $T_0$ ,  $T_0$  : période fondamentale de vibration du bâtiment pour le mouvement de translation et est le coefficient de correction dont la valeur est égale à 0.85 si  $T_0 \leq 2 T_2$  et si le bâtiment a plus de 2 niveaux, sinon = 1.

*Estimation de la période fondamentale de la structure :*

Période fondamentale	RPA99v2023	RPA2023v Mars 2024
T	$C_t h_N^{3/4}$	$C_t h_N^{3/4}$
	$2\sqrt{\delta_N}$	$2\sqrt{\delta_N}$
	0.009 $h_N / \sqrt{D}$ (cette formule était réservée à des systèmes spécifiques)	

**Tableau 3-10: Comparaison de l'estimation de la période fondamentale de la structure entre RPA99v 2003 et RPA2023v Mars 2024.**

Dans le cadre de l'application de la méthode statique équivalente, les valeurs de T, calculées à partir des formules de Rayleigh ou de méthode numérique ne doivent pas dépasser celle appréciée à partir de la formule empirique de plus 30 %. La valeur à utiliser dans la méthode statique équivalente  $T_{max} = 1.3 T_e$ .

Cas	La période à utiliser pour calculer le facteur D
$T_{calculée} < 1,3T_{empirique}$	$T=T_{calculée}$
$T_{calculée} \geq 1,3T_{empirique}$	$T=1,3T_{empirique}$

Tableau 3-11: Choix de la période selon RPA2023v(Mars2024).

**Combinaisons d’actions :**

**Composantes horizontales de l’action sismique :**

3. 1. 4

La version de Mars 2024 du RPA 2023 suppose que les actions sismiques de dimensionnement des structures, sont aux moins combinées aux actions permanentes et aux actions variables par le biais des formules représenté dans le tableau suivant :

RPA2023v(Mars2024)	RPA99v2003
$\left\{ \begin{array}{l} G+ Q \pm E_1 \\ G + Q \pm E_2 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} G + Q \pm 1,2E \\ G + Q \pm E \\ 0,8 G \pm E \end{array} \right.$
$\left\{ \begin{array}{l} G + 0.3Q + E_1 \\ G + 0.3Q + E_2 \end{array} \right.$	
$\left\{ \begin{array}{l} E_1 = \pm E_x \pm 0.3 E_y \\ E_2 = \pm 0.3 E_x \pm E_y \end{array} \right.$	

Tableau 3-12: Combinaisons d’actions sismiques horizontales selon RPA99v2003 et RPA2023v (Mars2024).

**Composante verticale de l’action sismique :**

La prise en compte des effets de la composante verticale de l'action sismique, comme défini à l'article 3.3.2 (spectre de réponse élastique verticale), est requise lorsque la valeur du produit AV x I dépasse 0,25 g dans les situations suivantes :

- *Éléments structuraux horizontaux ou quasi-horizontaux d'une portée de 15 mètres ou plus.*

- *Éléments horizontaux ou quasi-horizontaux en console dépassant 2 mètres de longueur.*
- *Éléments de précontrainte horizontaux ou quasi-horizontaux.*
- *Poutres associées à des poteaux.*
- *Structures reposant sur des supports anti-sismiques.*

Dans le cas de la composante verticale, les combinaisons des actions suivantes doivent être utilisées :

$\left[ \begin{array}{l} G + Q \pm E_1 \\ G + Q \pm E_2 \\ G + Q \pm E_3 \end{array} \right.$ $\left[ \begin{array}{l} G + 0.3Q + E_1 \\ G + 0.3Q + E_2 \\ G + 0.3Q + E_3 \end{array} \right.$	<p>Avec</p> $\left[ \begin{array}{l} E_1 = \pm E_x \pm 0.3 E_y \pm 0.3 E_z \\ E_2 = \pm 0.3 E_x \pm E_y \pm 0.3 E_z \\ E_3 = \pm 0.3 E_x \pm 0.3 E_y \pm E_z \end{array} \right.$
---	---

**Les combinaisons d'action à prendre en compte pour le dimensionnement des fondations sont comme suit :**

$$\left[ \begin{array}{l} G + 0.3Q + E_x \\ G + 0.3Q + E_y \\ G + E \text{ (cas d'un soulèvement avéré).} \end{array} \right.$$

**3. 2 Chapitre2 : Etude comparative d’un bâtiment à usage d’habitation avec changement du zonage mais sans changement d’accélération :**

**L’étude dynamique :**

**3. 2. 1. 1 Introduction :**

Le bâtiment étudié dans la deuxième partie (chapitre 2) sera réétudié en utilisant la nouvelle version RPA2023V(Mars2024).

**Combinaison d’actions :**

$\left[ \begin{array}{l} G+ Q \pm E_1 \\ G + Q \pm E_2 \end{array} \right.$ $\left[ \begin{array}{l} G + 0.3Q + E_1 \\ G + 0.3Q + E_2 \end{array} \right.$	$\left[ \begin{array}{l} E_1 = \pm E_x \pm 0.3 E_y \\ E_2 = \pm 0.3 E_x \pm E_y \end{array} \right.$
---	--

*Tableau 3-13: Combinaison d’action selon RPA2023v(Mars2024).*

**3. 2. 1. 2 Estimation de la période fondamentale de la structure :**

🚧 selon RPA2023v (Mars2024) :

La formule empirique à utiliser est la suivante :

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

**Vérification de la période :**

$$T \text{ numérique} < 30\% T \text{ empirique}$$

T numérique= 1,08 sec	T empirique= 0,79 sec	1,08-0,3*1,08=0,75 CV
-----------------------	-----------------------	-----------------------

*Tableau 3-14: Vérification de la période fondamentale.*

## 3. 2. 1. 3 Méthode statique équivalente :

Calcul de l'effort sismique à la base  $V$  selon RPA99v2003 :

Coefficient	A	R	$Q_x$	$D_x$	W(Kn)
Valeur	0,1	4	1,25	1.7289	67345.392

Tableau 3-15: Les données du calcul de  $V$  sens  $XX$ .

Coefficient	A	R	$Q_y$	$D_y$	W(Kn)
Valeur	0,1	4	1.25	1.6252	67345.392

Tableau 3-16: Les données du calcul de  $V$  sens  $YY$ .

$$V_x = \begin{cases} 3628.91 \text{ KN} \\ V_y = \begin{cases} 3410.45 \text{ KN} \end{cases} \end{cases}$$

Calcul de l'effort sismique à la base  $V$  selon RPA2023 v Mars2024 :

$$V = \lambda \frac{S_{ad}}{g} (T_0) W \quad (3. 2.3)$$

$\frac{S_{ad}}{g} (T_0)$  : ordonnée du spectre de calcul pour la période  $T_0$

$T_0$  : période fondamentale de vibration du bâtiment pour le mouvement de translation

$\lambda$  : coefficient de correction dont la valeur est égale à 0.85 si  $T_0 \leq 2 T_2$  et si le bâtiment a plus de 2 niveaux, sinon  $\lambda = 1$ .

On considère un système à contreventement constitué par des voiles :

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda = 0.85 \\ \frac{S_{ad}}{g} (T_0) = 0.084 \\ W = 67345.39 \text{ KN} \end{array} \right.$$

$$V = 0.85 * 0.084 * 67345.39 = \mathbf{4804.46KN}.$$

**Distribution de la résultante des forces sismique pour chaque niveau selon RPA99v2003 et RPA2023 v Mars 2024 :**

🚧 Selon RPA2023v(Mars2024) :

Pour  $R= 3.5$  (système à contreventement constitué par des voiles) : Dans notre cas  $T > 0,7\text{sec}$

$$F_t = 0,07TV$$

$$F_t = 0.07 * 0.79 * 4804.46 \Rightarrow F_t = 265.65 \text{ Kn}$$

Niveaux	F(KN)	Niveaux	F(KN)
S-Sol	65.53	5	412.28
RDC	82.48	6	475.57
1	149.93	7	537.87
2	217.18	8	599.70
3	283.20	9	660.66
4	348.30	10	665.04
		11	72.47

**Tableau 3-17 : Distribution de la force sismique pour chaque niveau de la structure.**

**Distribution de l'effort tranchent de chaque niveau selon RPA2023 (Mars2024) :**

L'effort tranchent de chaque niveau donné par :

$$V_k = F_t + \sum F_i$$

Niveaux	V
S-Sol	4804.46
RDC	4739.38
1	4657.47
2	4508.57
3	4292.88
4	4011.63
5	3665.72
6	3256.27
7	1920.48
8	2249.80
9	1654.21
10	998.09
11	337.62

**Tableau 3-18: Distribution de l'effort tranchent pour chaque niveau de la structure.**

Comparaison des Résultats RPA 99v2003 – RPA v Mars2024

Méthode	L'effort tranchant à la base		
	$V_{tx}(kn)$	$V_{ty}(kn)$	
Statique équivalente	3628.91	3410.45	RPA99v2003
	4804.46	4804.46	RPA2023 (MARS2024)

**Tableau 3-19: Comparaison de l'effort tranchant à la base entre le RPA99v2003 et RPA2023v(Mars2024).**

D'après la norme RPA99v2003, le coefficient R est de 4 pour un système portiques contreventés par des voiles, tandis que selon le RPA2023v(Mars2024), ce même système a un coefficient R de 3.5. En comparant les contenus de deux versions du RPA, nous constatons des divergences significatives, notamment en ce qui concerne les vérifications associées.

L'effort tranchant à la base calculé selon le RPA2023v(Mars2024) est supérieur à ceux calculé par le RPA99v2003. Pourtant, le zonage est le même.

### 3. 2. 1. 4 Méthode dynamique modale spectral :

#### Calcul de l'effort sismique à la base :

🚦 Selon RPA2023v(Mars2024) :

R=3.5 : un système de contreventement mixte, équivalent à des voiles selon RPA2023v(Mars2024)

Coefficient	A	R	Q	$\epsilon_s$	S	I	T1	T2	T3
Valeur	0,1	3.5	1,3	10	1,2	1	0,2	0,6	2

**Tableau 3-20: Les paramètres sismiques du RPA2023v (Mars2024).**

Comparaison des Résultats RPA 99v2003 – RPA v Mars2024

Méthode	L'effort tranchant à la base		
	$V_{tx}(kn)$	$V_{ty}(kn)$	
Modale spectral	3001,322	2669,592	RPA99v2003
	3796.875	3163.842	RPA2023 v(Mars2024)

**Tableau 3-21: Comparaison de l'effort tranchant à la base entre le RPA99v2003 et RPA2023v(Mars2024).**

**Résultante des forces sismiques de calcul :**

La résultante des forces sismiques à la base de Vdynamique obtenues en combinant les valeurs modales ne doit pas être inférieure à 80% de la résultante des forces sismiques obtenues par la méthode statique équivalente.

Vérification	XX	YY	OBS	
$\frac{V_s}{V_d} > 80\%$	95%	94%	CV	RPA99v2003
	78%	65%	CNV	RPA2023v(Mars2024)

**Tableau 3-22: La vérification de 80%.**

Pour le sens XX et YY :  $\frac{V_s}{V_d} < 80\%$

Il faudra augmenter tous les paramètres de la réponse (forces, déplacements, moments....) dans le rapport  $0.8 V_s / V_d$

$$\text{Sens XX : } \frac{0.8V_s}{V_d} = \frac{0.8 \cdot 4804.46}{3796.875} = 1.012$$

$$\text{Sens YY : } \frac{0.8V_s}{V_d} = \frac{0.8 \cdot 4804.46}{3163.842} = 1.21$$

Niveaux	Vx
S-Sol	4272.91
RDC	4215.03
1	4142.18
2	4009.76
3	3817.93
4	3567.80
5	3260.17
6	2896.02
7	2475.97
8	2000.90
9	1471.22
10	887.69
11	300.30

**Tableau 3-23: La nouvelle distribution de l'effort tranchant du RPA2023v(Mars2024).**

Méthode	L'effort tranchant à la base		
	$V_{tx}(kn)$	$V_{ty}(kn)$	
Statique équivalente	3628.91	3410.45	RPA99v2003
	4272.91	4272.91	RPA2023 (MARS2024)

Tableau 3-24: Comparaison de l'effort tranchant à la base entre le RPA99v2003 et RPA2023v(Mars2024).

3. 2. 1. 5 Récapitulatif des Résultats :

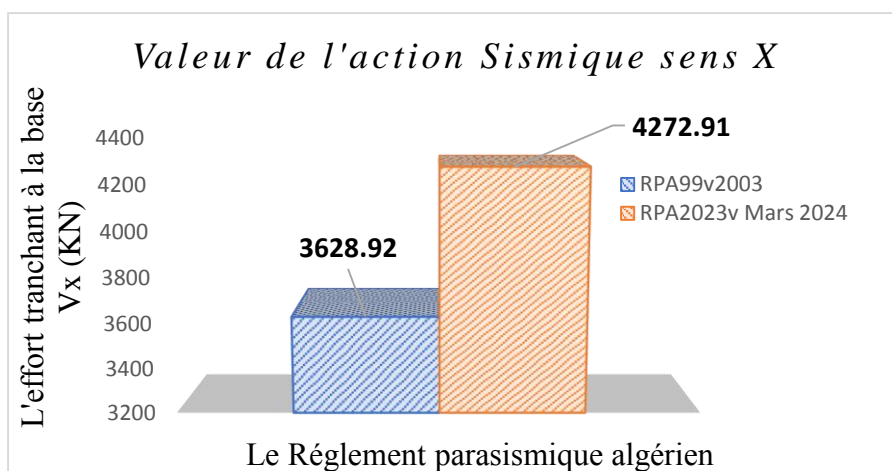


Figure 3-2: Comparaison entre la valeur de l'action sismique sens X selon les deux versions du RPA (statique).

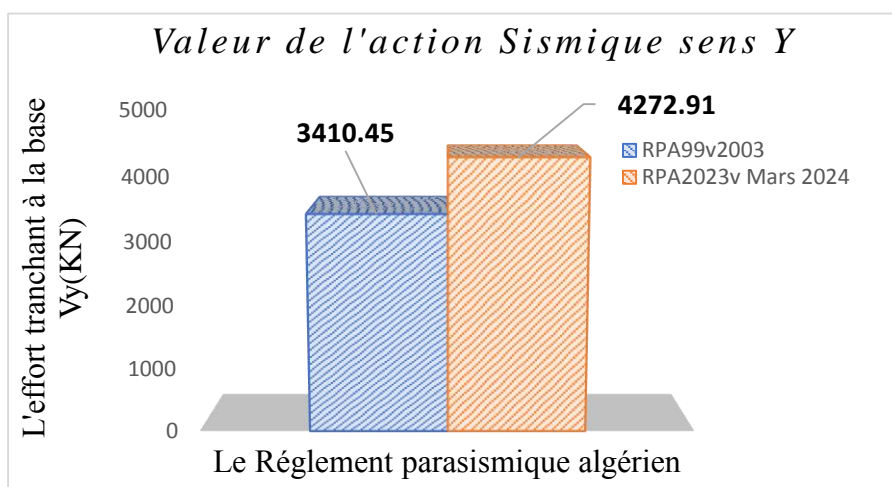


Figure 3-3: Comparaison entre la valeur de l'action sismique sens Y selon les deux versions du RPA (statique).

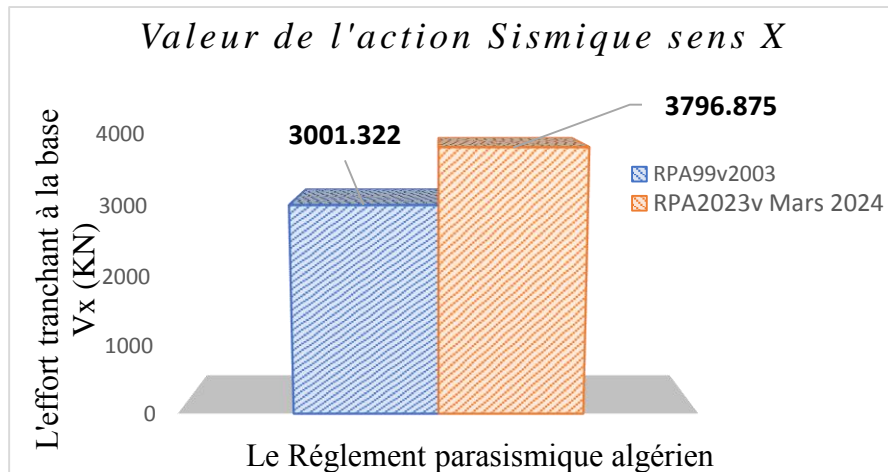


Figure 3-4: Comparaison entre la valeur de l'action sismique sens X selon les deux versions du RPA (dynamique).

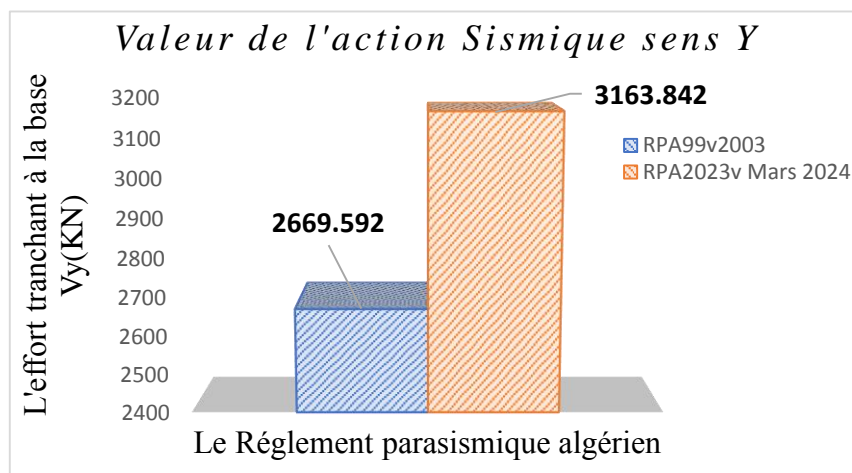


Figure 3-5: Comparaison entre la valeur de l'action sismique sens Y selon les deux versions du RPA (dynamique).

## 3. 2. 1. 6 Justification de la sécurité :

Justification vis-à-vis de l'effet P-Δ :

étage	$\delta_{ek}$ (m)	R/Q	$\Delta k$ (m) (relatif)	$\theta_{ky} = P_k * \Delta k / V_k * h_k$	P-Δ
1	0.00069	2.69	0.0018	0.0101	P-DELTA NEGLIGE
2	0.00259	2.69	0.0051	0.0210	P-DELTA NEGLIGE
3	0.00474	2.69	0.0058	0.0254	P-DELTA NEGLIGE
4	0.00712	2.69	0.0064	0.0260	P-DELTA NEGLIGE
5	0.0096	2.69	0.0067	0.0253	P-DELTA NEGLIGE
6	0.01209	2.69	0.0067	0.0236	P-DELTA NEGLIGE
7	0.0145	2.69	0.0065	0.0215	P-DELTA NEGLIGE
8	0.01679	2.69	0.0061	0.0189	P-DELTA NEGLIGE
9	0.0189	2.69	0.0057	0.0164	P-DELTA NEGLIGE
10	0.0208	2.69	0.0051	0.0136	P-DELTA NEGLIGE
11	0.02249	2.69	0.0045	0.0110	P-DELTA NEGLIGE
12	0.02398	2.69	0.0040	0.0081	P-DELTA NEGLIGE
13	0.02515	2.69	0.0031	0.0000	P-DELTA NEGLIGE

Tableau 3-25: L'effet de P-Δ sens XX Selon RPA2023v(Mars2024).

étage	$\delta_{ek}$ (m)	R/Q	$\Delta k$ (m) (relatif)	$\theta_{ky} = Pk * \Delta k / V_k * h_k$	P- $\Delta$
1	0.00065	2.69	0.0018	0.0096	P-DELTA NEGLIGE
2	0.00262	2.69	0.0053	0.0216	P-DELTA NEGLIGE
3	0.00505	2.69	0.0066	0.0288	P-DELTA NEGLIGE
4	0.00802	2.69	0.0080	0.0324	P-DELTA NEGLIGE
5	0.01138	2.69	0.0090	0.0342	P-DELTA NEGLIGE
6	0.01501	2.69	0.0098	0.0344	P-DELTA NEGLIGE
7	0.0188	2.69	0.0102	0.0337	P-DELTA NEGLIGE
8	0.02267	2.69	0.0104	0.0321	P-DELTA NEGLIGE
9	0.02655	2.69	0.0104	0.0300	P-DELTA NEGLIGE
10	0.03038	2.69	0.0103	0.0275	P-DELTA NEGLIGE
11	0.03414	2.69	0.0101	0.0244	P-DELTA NEGLIGE
12	0.03781	2.69	0.0099	0.0198	P-DELTA NEGLIGE
13	0.04011	2.69	0.0062	0.0000	P-DELTA NEGLIGE

*Tableau 3-26 : L'effet de P- $\Delta$  sens YY Selon RPA2023v(Mars2024).*

**Remarque :**

La condition  $\theta < 0.10$  est vérifiée pour les deux règlements RPA99v2003 et RPA2023v (Mars2024).

L'effet de P- $\Delta$  peut être négligé dans notre structure

**Justification vis-à-vis des déplacements inter- étages :**

- Selon RPA2023v(Mars2024)

$$\Delta\kappa = \delta\kappa - \delta\kappa_{-1} \leq 0,015 h\kappa \quad (3. 2.9)$$

étage	R/Q	$\Delta\kappa$ (m) (relatif)	1.5% he	OBS
1	2.69	0.0018	0.0432	VERIFIE
2	2.69	0.0051	0.0536	VERIFIE
3	2.69	0.0058	0.0459	VERIFIE
4	2.69	0.0064	0.0459	VERIFIE
5	2.69	0.0067	0.0459	VERIFIE
6	2.69	0.0067	0.0459	VERIFIE
7	2.69	0.0065	0.0459	VERIFIE
8	2.69	0.0061	0.0459	VERIFIE
9	2.69	0.0057	0.0459	VERIFIE
10	2.69	0.0051	0.0459	VERIFIE
11	2.69	0.0045	0.0459	VERIFIE
12	2.69	0.0040	0.0459	VERIFIE
13	2.69	0.0031	0.0425	VERIFIE

**Tableau 3-27: Vérification de la déformation sens XX RPA2023v(Mars2024).**

étage	R/Q	$\Delta\kappa$ (m) (relatif)	1.5% he	OBS
1	2.69	0.0018	0.0432	VERIFIE
2	2.69	0.0053	0.0536	VERIFIE
3	2.69	0.0066	0.0459	VERIFIE
4	2.69	0.0080	0.0459	VERIFIE
5	2.69	0.0090	0.0459	VERIFIE
6	2.69	0.0098	0.0459	VERIFIE
7	2.69	0.0102	0.0459	VERIFIE
8	2.69	0.0104	0.0459	VERIFIE
9	2.69	0.0104	0.0459	VERIFIE
10	2.69	0.0103	0.0459	VERIFIE
11	2.69	0.0101	0.0459	VERIFIE
12	2.69	0.0099	0.0459	VERIFIE
13	2.69	0.0062	0.0425	VERIFIE

**Tableau 3-28: Vérification de la déformation sens YY RPA2023v(Mars2024).**

**Remarque :** Les changements qui ont été devenir visible par le nouveau règlement c'est :

Toujours une diminution du déplacement relative celles du RPA 2023v(Mars2024) par rapport du RPA99v2003 dans les deux directions horizontales orthogonales (X , Y ).

La vérification du déplacement inter étage est vérifiée d'après les deux règlements RPA99v2003 et RPA2023v(Mars2024).

### **3. 2. 1. 7 Conclusion :**

D'après notre étude comparative du contenu de deux règlements parasismiques algériens (RPA99v2003) et (RPA2023v (Mars2024)) concernant le chapitre de l'étude sismique nous sommes parvenus aux résultats et observations suivantes :

Le zonage sismique de la région étudiée a été modifié du RPA99v2003 au RPA2023v (Mars2024)

Le RPA99v2003 et RPA2023v(Mars2024) admet la même période numérique (analyse modale) parce que c'est aucun changement des masses et de dimensionnement des éléments structuraux (poteau, poutre, voile).

Le RPA99v2003 et le RPA2023v (mars 2024) partagent les mêmes charges sismiques horizontales EX et EY. Cependant, en ce qui concerne leur combinaison, le RPA2023v (mars 2024) présente un changement significatif. Dans ce dernier, les charges sismiques EX et EY sont combinées de manière différente : elles sont combinées lorsque 30% de l'action sismique est prise dans la direction xx et 100% dans la direction yy, et vice versa.

En outre, le RPA2023v (Mars 2024) ne prend que 30% de la charge d'exploitation contrairement au RPA99v2003 qui prend la totalité de la charge.

Le RPA99v2003 et le RPA2023v(Mars2024) ne partagent pas le même spectre de réponse de calcul en raison des modifications apportées aux paramètres sismiques de chacun.

La force sismique calculée à partir de la méthode statique équivalente selon le RPA2023v(Mars2024) est supérieure à celui calculée selon le RPA99v2003.

Selon le RPA2023v (Mars 2024), l'effort tranchant à la base de la structure calculé par la méthode statique équivalente est supérieur de 23% par rapport au RPA99v2003.

Selon le RPA2023v (Mars 2024), l'effort tranchant à la base de la structure calculé par la méthode dynamique spectral est supérieur de 21% par rapport au RPA99v2003.

Il y a une variété dans les justifications de la sécurité et surtout le déplacement inter étage la condition de vérification a changé. S'il vrai que toutes les justifications ont été vérifiées.

### 3. 3 Chapitre 3 : Etude comparative d'un bâtiment à usage d'habitation avec changement du zonage et changement d'accélération.

#### L'étude dynamique :

##### 3. 3. 1. 1 Introduction :

Le bâtiment étudié dans la deuxième partie (chapitre 3) sera réétudié en utilisant la nouvelle version RPA2023V(Mars2024). Les différents plans de notre structure sont présentés dans l'**Annexe II**.

3. 3. 1

#### Méthodes de calculs :

Les deux méthodes de calcul utilisées dans notre étude sont la méthode statique équivalente et la méthode dynamique modale spectrale.

#### Classification de l'ouvrage selon les RPA99 2023 V. Mars 2024:

- Notre ouvrage est implanté dans la wilaya de Tlemcen « ELFHOUL » donc en Zone III.
- Notre bâtiment est à usage d'habitation  $\leq 17m$  donc classé dans le Groupe 1B (Zone III).
- Selon le rapport géotechnique relatif à notre ouvrage, on est en présence d'un sol meuble catégorie S3.

##### 3. 3. 1. 2 Estimation de la période fondamentale de la structure :

**T** : La valeur de la période fondamentale de la structure peut être estimée à partir de formule empirique suivante (article 4.2.4) RPA99v2003/RPA 2023v Mars 2024.

#### ✚ Selon le RPA2023 v Mars 2024 :

$$\text{➤ } T = C_T h_N^{3/4}$$

$h_N$  : hauteur totale du bâtiment mesurée à partir de la base jusqu'au dernier niveau,

$h_N = 17m$ .  $C_T$  : coefficient en fonction du système de contreventement et du type de remplissage est donné par le tableau (4.8.RPA2023), le contreventement de la structure étudiée est assuré par un

système mixte donc :  $C_T = 0.05$  Donc  $T = 0.05 \times (17)^{3/4} = 0.42 \text{ s}$ .

L'analyse dynamique de la structure nous a permis d'obtenir les résultats suivants :

- La période fondamentale  $T_x$  (dyn) = 0.44 s.
- La période fondamentale  $T_y$  (dyn) = 0.30 s.

StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
Mode	1	0.441981	72%	0%	0%	72%	0%	0%
Mode	2	0.302521	0%	70%	0%	72%	70%	0%
Mode	3	0.222265	2%	0%	0%	74%	70%	0%
Mode	4	0.130074	0%	0%	4%	74%	70%	4%
Mode	5	0.129943	0%	0%	0%	74%	70%	4%
Mode	6	0.120128	0%	0%	2%	74%	71%	5%
Mode	7	0.120056	0%	0%	0%	74%	71%	5%
Mode	8	0.113689	0%	0%	2%	74%	71%	8%
Mode	9	0.113629	0%	0%	0%	74%	71%	8%
Mode	10	0.104711	18%	0%	0%	92%	71%	8%
Mode	11	0.073988	0%	24%	0%	92%	94%	8%
Mode	12	0.077092	0%	0%	54%	92%	94%	62%

**Tableau 3-29: Périodes et pourcentages de participation massique.**

- Le 1<sup>er</sup> et le 2<sup>ème</sup> mode sont des modes de translation.
- La condition de la somme des masses modales effectives soit égale à 90% au moins de la masse totale de la structure est vérifiée tel que :

Dans le sens XX : 10 modes (92% de la masse totale de la structure).

Dans le sens YY : 11 modes (94% de la masse totale de la structure).

❖ **Vérification de la période fondamentale de la structure selon le RPA :**

✓ **Selon RPA 2023v.Mars2024 :**

La période de T calculées à partir des formules de Rayleigh ou méthodes numériques ne doivent pas dépasser celles estimées à partir de la formule empirique (4-6) de plus de 30%.

La formule à utiliser dans la méthode statique équivalente est alors de  $T_{max} = 1.3T$  avec ( $T = CT \cdot hN^{3/4}$ )

T numérique= 0.44sec	T empirique= 0,42sec	0.44 - 0,3*0.44 = 0,308 CV
----------------------	----------------------	----------------------------

**Tableau 3-30: Vérification de la période fondamentale.**

$T_{dyn} < 1,3 T_{sta}$

**Condition Vérifier.**

### 3. 3. 1. 3 Méthode Statique équivalente :

Vérification de l'effort tranchant à la base :

La force sismique	RPA99 v2003	RPA2023v Mars 2024
V	$V = \frac{A D Q}{R} W$	$V = \lambda \cdot \frac{S_{ad}}{g} (T_0) W$

Tableau 3-31: La formule de la force sismique à la base RPA 99 v2003 et RPA 2023v Mars 2024.

✚ Selon le RPA2023 v Mars 2024 :

**(I) : Coefficient d'importance.**

Dans notre cas zone III groupe 2  $\Rightarrow I=1$

**(S) : Coefficient de Site.**

Notre bâtiment est réalisé sur un sol meuble  $\Rightarrow$  Catégorie 3  $\Rightarrow$  Site 3, Donc  $S=1.20$ .

**(A) : Coefficient d'accélération de zone.**

Dans notre cas zone III  $\Rightarrow A=0,15$ .

Coefficient	A	R	$Q_x = Q_y$	I	S	W(KN)
Valeur	0,15	3,5	1,1	1	1.2	11929.26626

Tableau 3-32: Valeurs des coefficients pour le calcul de l'effort tranchant à la base.

**T1, T2 et T3** : période caractéristique, associée à la catégorie du site.

$\frac{S_{ad}}{g} (T_0)$  : Ordonnée du spectre de calcul pour la période  $T_0$ .

Dans notre cas  $\frac{S_{ad}}{g} (T_0) = \frac{2.5 A I S Q}{R} (T_1 < T \leq T_2)$

$\frac{S_{ad}}{g} (T_0) = 0.141$ .

**T<sub>0</sub>** : période fondamentale de vibration du bâtiment pour le mouvement de translation

$\lambda$  : coefficient de correction dont la valeur est égale à 0.85 si  $T_0 \leq 2 T_2$  et si le bâtiment a plus de 2 niveaux, sinon  $\lambda = 1$ .

Dans notre cas  $\lambda = 0.85$ .

$V = 0.85 * 0.141 * 11929.26626 = 1429.7226 \text{KN}$ .

Méthode	V (KN)	
Statique équivalente	789.04581	RPA99v2003
	1429,7226	RPA2023v Mars 2024

**Tableau 3-33: L'effort tranchant à la base (méthode statique équivalente) selon RPA99v2003 et RPA2023v Mars 2024.**

### 3. 3. 1. 4 Méthode dynamique modale spectrale :

Calcul de l'effort sismique à la base :

✚ Selon RPA2023v(Mars2024) :

R=3.5 : Un système de contreventement mixte, équivalent à des voiles selon RPA2023v(Mars2024)

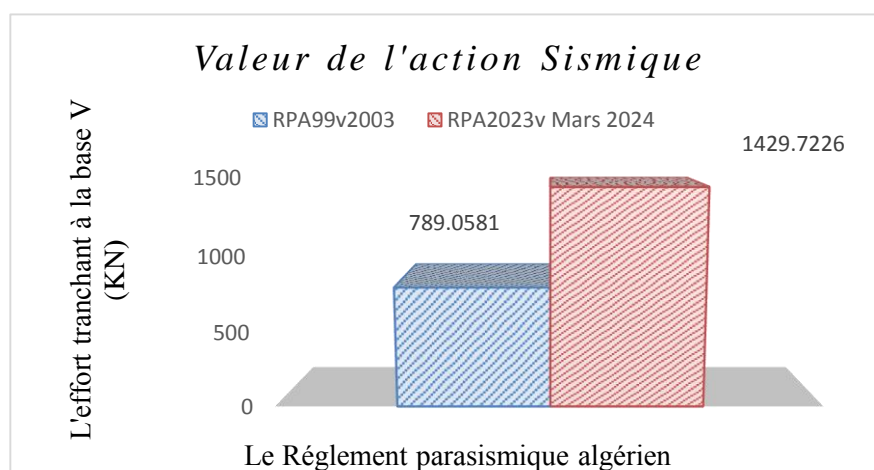
Coefficient	A	R	Q	$\epsilon_i$	$\eta$	S	I	T1	T2	T3
Valeur	0,15	3.5	1,1	10	0,764	1,2	1	0,20	0,60	2

**Tableau 3-34: Les paramètres sismiques du RPA2023v Mars2024.**

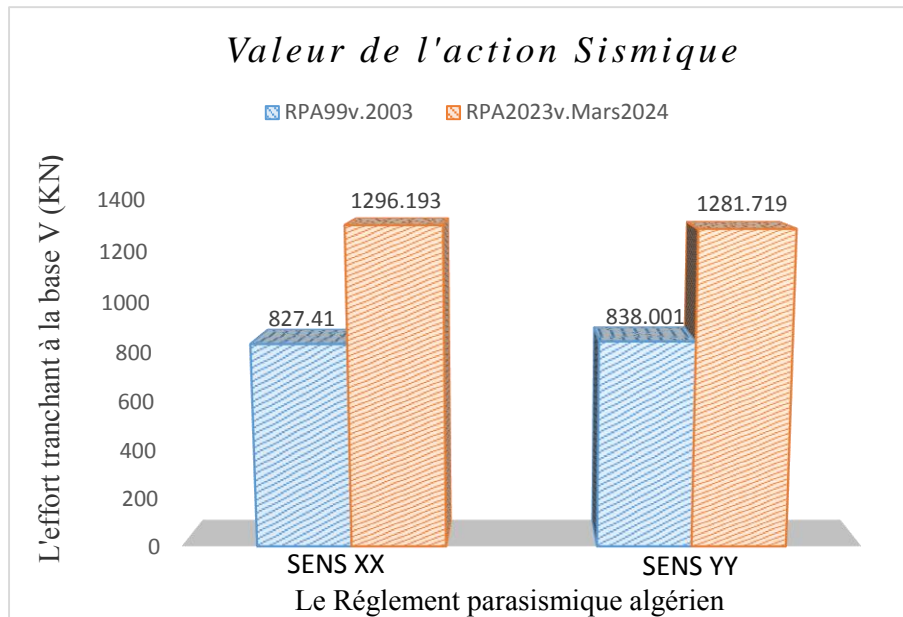
Méthode	Vx (KN)	Vy (KN)	
Modale spectral	827.41	838.001	RPA99v2003
	1296.193	1281.719	RPA2023v Mars 2024

**Tableau 3-35: L'effort tranchant à la base (méthode modale spectral) selon RPA99v2003 et RPA2023 v Mars 2024.**

### 3. 3. 1. 5 Récapitulatif des résultats :



**Figure 3-6: Comparaison entre les valeurs de l'action sismique (méthode statique équivalente).**



**Figure 3-7: Comparaison entre les valeurs de l'action sismique (méthode modale spectrale).**

- Les efforts tranchants et les forces sismiques atteints par les deux règlements sont représentés par les deux histogrammes.

- Les efforts tranchants à la base (**méthode statique équivalente**) selon RPA2023v Mars 2024 sont supérieurs à ceux calculés par le RPA99v 2003 de **44.80%**.

- Les efforts tranchants à la base (**méthode modale spectrale**) selon RPA2023v Mars 2024 sont supérieurs à ceux calculés par le RPA99v 2003 de **36%** dans le sens **X** et de **34.62%** dans le sens **Y**.

Ceci s'explique par :

- Le changement de la zone sismique : de la zone I selon le RPA99 v2003 à la zone III selon le RPA2023 v Mars 2024  $\Rightarrow$  Le changement de coefficient d'accélération de zone (A) de 0,1 vers 0,15.
- Le changement dans la formule de l'effort tranchant à la base et le spectre de réponse de calcul.
- La différence entre les paramètres sismiques :
  - Le changement dans la valeur de pénalité à retenir selon les critères de qualité  $\Rightarrow$  Le changement du facteur de qualité Q.
  - Le changement du pourcentage d'amortissement critique  $\Rightarrow$  Le changement de facteur de correction d'amortissement  $\eta$ .

## 3. 3. 1. 6 Justification de la sécurité :

Calcul des déplacements d'étage :

Sens XX :

Etage	RPA99v.2003				RPA2023v.Mars2024				Condition Vérifier
	$\delta_{ek}$ (m)	R	$\Delta k$ (m) (relatif)	1% he	$\delta_{ek}$ (m)	R/Q	$\Delta k$ (m) (relatif)	1,5% he	
RDC	0.000621	4	0.0025	0.0306	0.000991	3.636	0.0032	0.0459	
1	0.00197		0.0054	0.0306	0.003153		0.0069	0.0459	
2	0.003527		0.0062	0.0306	0.00565		0.0079	0.0459	
3	0.004951		0.0057	0.0306	0.007933		0.0073	0.0459	
4	0.006116		0.0047	0.0426	0.009798		0.0059	0.0639	

Tableau 3-36: Déplacements latéraux inter-étages sens XX RPA99V.2003 et RPA2023 V. Mars 2024.

Sens YY :

Etage	RPA99v.2003				RPA2023v.Mars2024				Condition Vérifiée
	$\delta_{ek}$ (m)	R	$\Delta k$ (m) (relatif)	1% he	$\delta_{ek}$ (m)	R/Q	$\Delta k$ (m) (relatif)	1,5% he	
RDC	0.000282	4	0.0011	0.0306	0.000447	3.636	0.0014	0.0459	
1	0.000831		0.0022	0.0306	0.001327		0.0028	0.0459	
2	0.001518		0.0027	0.0306	0.002431		0.0035	0.0459	
3	0.002245		0.0029	0.0306	0.003597		0.0037	0.0459	
4	0.00306		0.0033	0.0426	0.004903		0.0042	0.0639	

Tableau 3-37: Déplacements latéraux inter-étages sens YY RPA99V.2003 et RPA2023 V. Mars 2024.

**Remarque :**

- ✓ La vérification du déplacement inter étage est vérifiée d'après les deux règlements RPA99v2003 et RPA2023v Mars 2024.
- ✓ Une augmentation du déplacement relative du RPA 2023v Mars2024 par rapport du RPA99v 2003 dans les deux directions horizontales orthogonales (X, Y).

Vérification de l'Effet P- $\Delta$  :

Sens XX :

Etage	RPA99v.2003				RPA2023v.Mars2024				P-DELTA NEGLIGE
	R	$\Delta k$ (m) (relatif)	Vkx (t)	$\theta_{ky}$	R/Q	$\Delta k$ (m) (relatif)	Vkx (t)	$\theta_{ky}$	
RDC	4	0.0025	78.90458	0.0123	3.636	0.0032	142.97	0.0086	
1		0.0054	73.48211	0.0227		0.0069	133.15	0.0160	
2		0.0062	62.8432	0.0228		0.0079	113.87	0.0160	
3		0.0057	46.96827	0.0183		0.0073	85.10	0.0129	
4		0.0047	24.77755	0.0092		0.0059	44.90	0.0065	

Tableau 3-38: Résultats d'effet P- $\Delta$  Sens XX selon RPA99v2003 et RPA2023v.Mars2024.

Sens YY :

Etage	RPA99v.2003				RPA2023v.Mars2024				P-DELTA NEGLIGE
	R	$\Delta k$ (m) (relatif)	Vkx (t)	$\theta_{ky}$	R/Q	$\Delta k$ (m) (relatif)	Vkx (t)	$\theta_{ky}$	
RDC	4	0.0011	78.90458	0.0056	3.636	0.0014	142.97	0.0039	
1		0.0022	73.48211	0.0092		0.0028	133.15	0.0065	
2		0.0027	62.8432	0.0101		0.0035	113.87	0.0071	
3		0.0029	46.96827	0.0094		0.0037	85.10	0.0066	
4		0.0033	24.77755	0.0065		0.0042	44.90	0.0046	

Tableau 3-39: Résultats d'effet P- $\Delta$  Sens YY selon RPA99v2003 et RPA2023v.Mars2024.**Remarque :**

La condition  $\theta < 0.10$  est vérifiée pour les deux règlements RPA99v2003 et RPA2023v (Mars2024).

L'effet de P- $\Delta$  peut être négligé dans notre structure.

### 3. 3. 1. 7 Conclusion :

D'après notre étude comparative du contenu de deux règlements parasismiques algériens (RPA99v2003) et (RPA2023 v Mars 2024) concernant le chapitre de l'étude sismique nous sommes parvenus aux résultats et observations suivantes :

- Le zonage sismique de la région étudiée a été modifié du RPA99v2003 au RPA2023v (Mars2024).
  - **Zone I** selon le RPA99v2003.
  - **Zone III** selon le RPA2023 V Mars 2024.
- Le RPA99v2003 et RPA2023 v Mars 2024 admet la même période numérique (analyse modale) parce que c'est aucun changement des masses et de dimensionnement des éléments structuraux (poteau, poutre, voile).
- Le RPA99v2003 et la version de Mars 2024 du RPA 2023 partagent les mêmes actions sismiques horizontales EX et EY. Cependant, la version de Mars 2024 du RPA 2023 inclut également une composante verticale EZ.
- Le RPA99v2003 le RPA2023v Mars 2024 présentent des configurations d'actions différentes.
- Le RPA99v2003 et le RPA2023v Mars 2024 présentent des spectres de réponse de calcul différents en raison des modifications des paramètres sismiques propres à chacun, notamment le passage de la zone sismique de la zone **I** à la zone **III**.
- La force sismique calculée à partir de la méthode statique équivalente selon le RPA2023 v Mars 2024 est supérieure à celui calculée selon le RPA99v2003.
- Selon les calculs effectués par **la méthode statique équivalente** du RPA 2023 v Mars 2024, l'effort tranchant à la base de la structure se trouve être supérieur de plus de 44%.
- Selon les calculs effectués selon **la méthode modale spectrale** du RPA 2023 v Mars 2024, l'effort tranchant à la base de la structure est supérieur de plus de 34%.
- Il y a une variété dans les justifications de la sécurité et surtout le déplacement inter étage la condition de vérification a changé.

## **Conclusions générales & Perspectives**

Le séisme est un évènement naturel qui entraîne de nombreux dégâts humains et matériels. Ainsi, de nombreux pays dans le monde ont mis en place des réglementations concernant le calcul parasismique. En Algérie le code parasismique utilisé s'appelle le RPA99v2003.

Ce travail de fin d'étude nous a permis d'approfondir nos connaissances dans de nombreux domaines. En effet, la recherche sismique requiert une variété de concepts différents, tels que la dynamique de la structure, la géotechnique, la sismologie, la résistance des matériaux et les calculs de béton armé etc. Ce travail nous a permis également de prendre du recul et de discuter les manières de réaliser une conception sismique d'une structure.

Dans le fond, ce mémoire est une comparaison de la réglementation parasismique en Algérie, le RPA99v2003, avec une version préliminaire de projet RPA2023v (de Octobre 2023) et (de Mars2024) dans un but d'analyser les améliorations progressives apportées au code au fil du temps. Nous avons utilisé le logiciel SAP2000 pour réaliser les études dynamiques et le calcul du ferrailage des éléments principaux.

A travers cette étude, nous tenons à signaler que dans la nouvelle version, le zonage sismique de la wilaya de Tlemcen a été modifié (présence de trois zones). La zone frontalière avec la wilaya d'Ain Témouchent s'est vue augmenter son accélération sismique. Nous avons montré que pour une structure de faible hauteur (R+4), on observe une augmentation des sollicitations dynamiques. D'autres modifications concernant les combinaisons de charges avec l'intégration de la composante verticale ont été apportées.

Les calculs des déplacements non linéaires et les justifications associées ont été également modifiées. En effet, dans la nouvelle version du RPA, le coefficient de comportement est désormais égal à  $R/Q$ . Cela signifie une réduction de la ductilité en cas de non respects de certains critères architecturaux, constructifs et d'exécution.

Ce travail avait un double objectif : 1- Nous permettre de maîtriser un calcul dynamique. 2- De faire une lecture de vulgarisation des améliorations faites sur la version du RPA99 proposée dans la nouvelle version qui a été officiellement présentée le 22 Mai 2024.

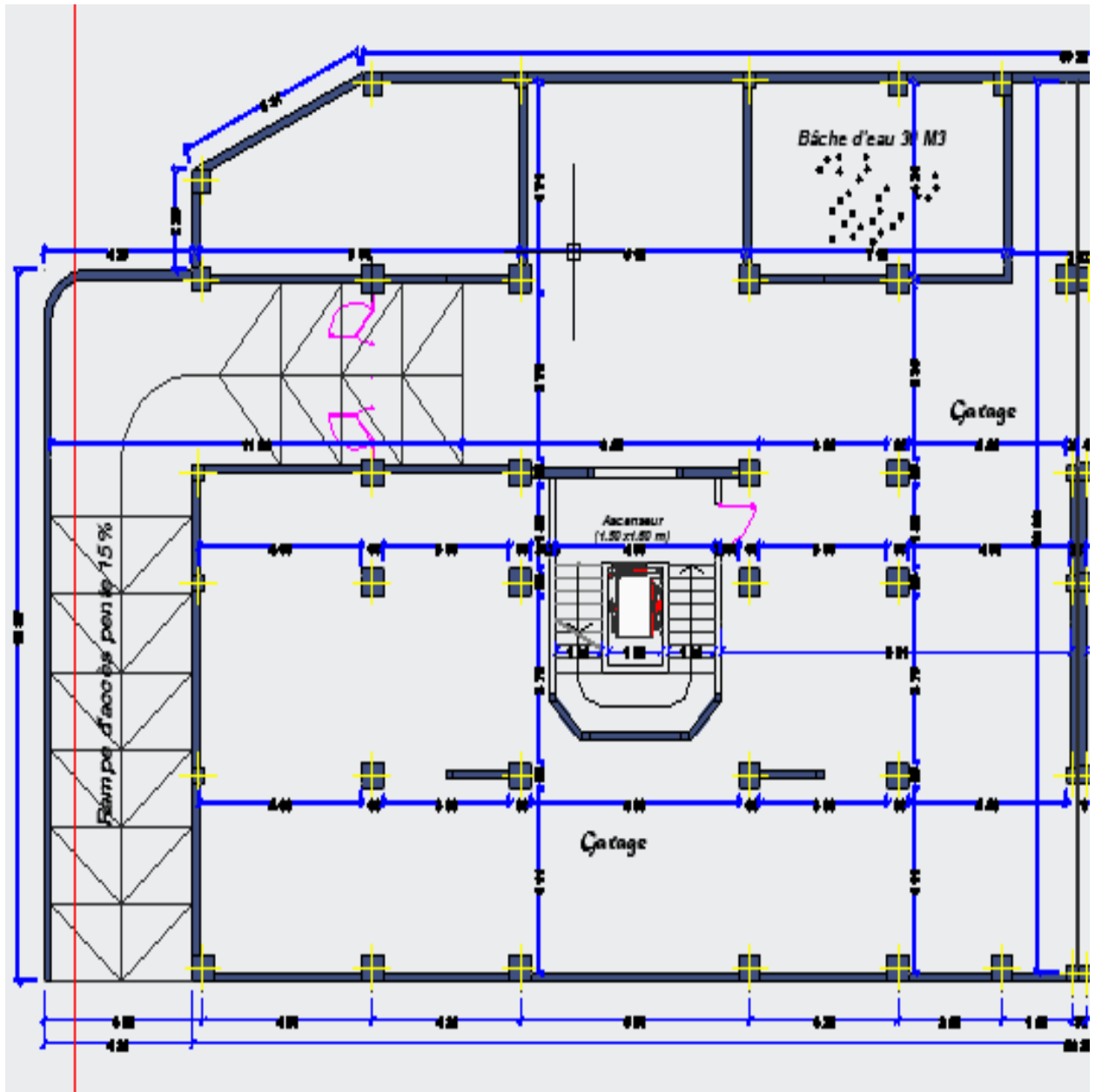
Les deux objectifs ont été atteints. D'autres perspectives sont envisageables. Elles peuvent concerner des bâtiments de grandes hauteurs dans les zones de zonage modifié. Un autre aspect important est celui relatif aux valeurs minimales de ferrailage qui restent, à notre humble avis, trop élevées et déterminent, de facto, le ferrailage des bâtiments ordinaires.



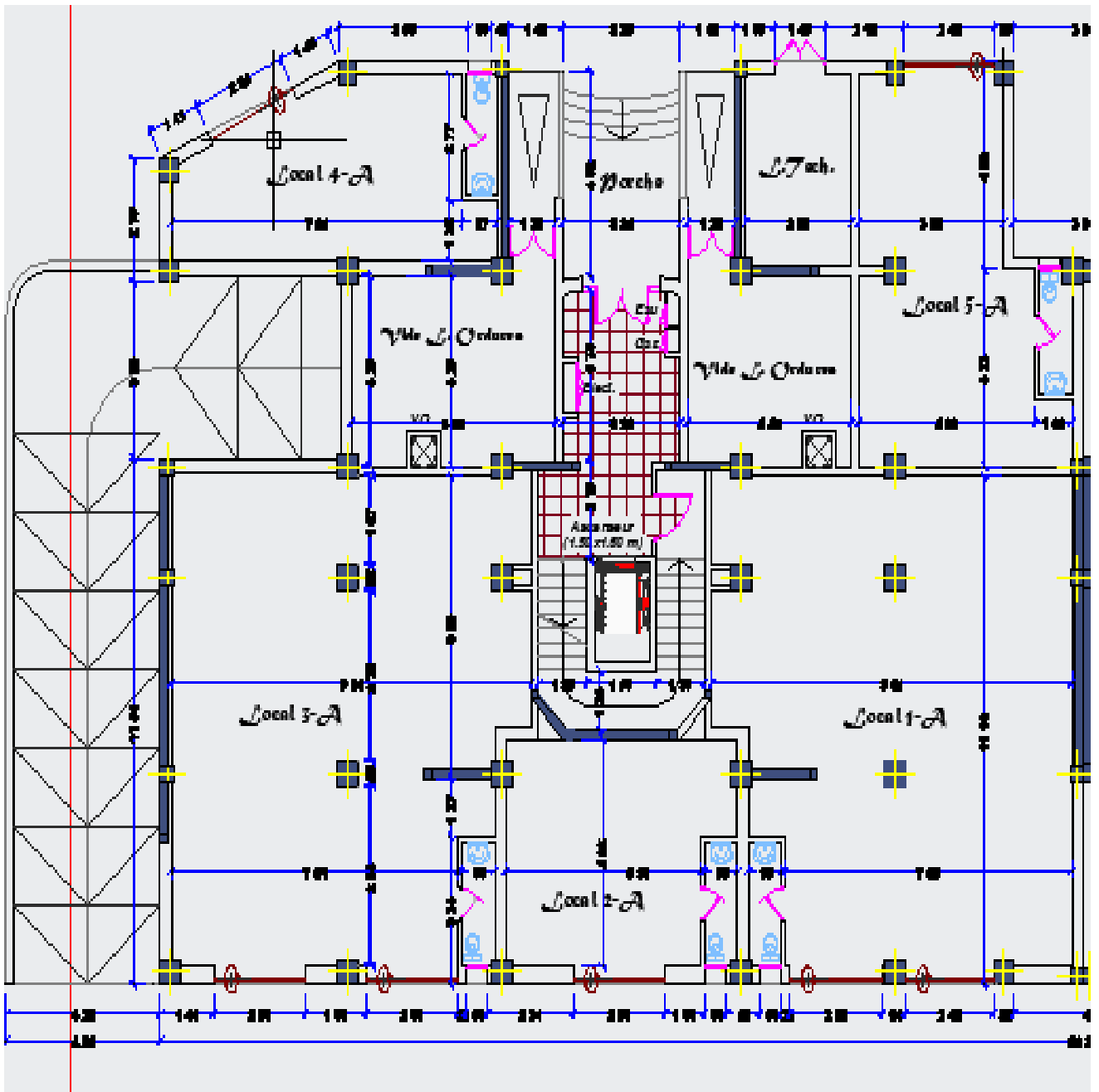
## **Bibliographie**

- [1] A. BOUDAPOUD ET H. SOUFI MERZOUQ, « ETUDE D'UN BATIMENT (R+8) EN BETON ARME : ETUDE COMPARATIVE (AVANT-PROJET RPA2016/RPA99/2003) », MASTER, FACULTE DE TECHNOLOGIE DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL, 2021.
- [2] M. MEKKI, « GENIE PARASISMIQUE ».
- [3] M. EMMANUEL, « CONCEPTION PARASISMIQUE DES STRUCTURES ».
- [4] K. HASSANI, « EFFET DES SEISMES PROCHES ET LOINTAINS SUR LA PERFORMANCE SISMIQUE DES STRUCTURES AUTO-STABLES EN BETON ARME », MAGISTER, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU, 2013.
- [5] R. ACHILI ET M. BELKAI, « EFFET DE CHANGEMENT DE LA ZONE SISMIQUE SUR LA REPOSE DES STRUCTURES EN BETON ARME », MASTER, UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU.
- [6] S. ANANE ET A. BOUZERAFA, « REPOSE SISMIQUE 3D D'UN BATIMENT AVEC PRISE EN COMPTE DE L'INTERACTION SOL-STRUCTURE », MASTER, UNIVERSITE BADJI-MOKHTAR-ANNABA.
- [7] M. ARIBI, « CONTRIBUTION A L'AMELIORATION DES REGLES PARASISMIQUES ALGERIENNES », MASTER, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA, 2018.
- [8] KHAOULA BOUADJ ET HOUFANI KHAWLA, « EFET DE LA ZONE SISMIQUE, LA HAUTEUR ET LA DISPOSITIONS DES VOILES SUR LE CHOIX DU SYSTEME DE CONTREVENTEMENT », MASTER, ABDELHAFID BOUSSOUF MILA.
- [9] FAOUZI GHERBOUDJ ET N. LAOUAMI, « ANALYSE PROBABILISTE D'ALÉA SISMIQUE EN ALGÉRIE : SPECTRE DE RÉPONSE (UHS) ET CHOIX DU SCÉNARIO », 08/01/2019, VOL. 60, P. 49-59, NOV. 2018.
- [10] B. KEBAILI ET B. REDJEL, « ETUDE CRITIQUE DES REGLES PARASISMIQUES ALGERIENNES RPA99 VERSION 2003 ».
- [11] « REGLES PARASISMIQUES ALGERIENNES RPA 99 / VERSION 2003 DOCUMENT ». DOCUMENT TECHNIQUE REGLEMENTAIRE DTR B C 2 48 REGLES PARASISMIQUES ALGERIENNES RPA 99 / VERSION 2003 DOCUMENT PUBLI E POUR VULGARI SATI ON ARRETE D'APPLICATION.
- [12] ARNAUD BAGUET, « ETUDE COMPARATIVE D'UN BATIMENT SUIVANT LES REGLES BAEL/PS92 ET EUROCODES ».

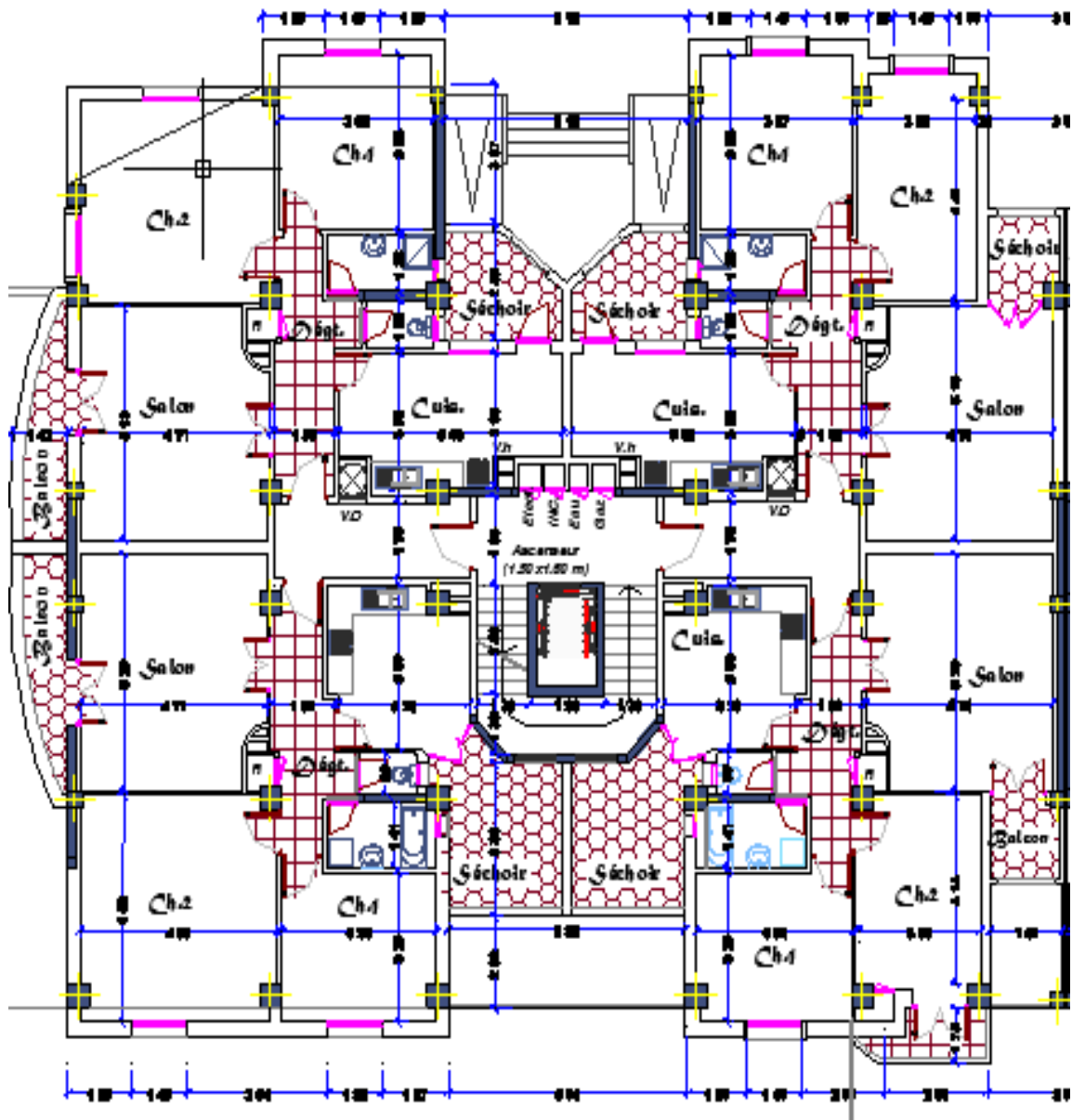
# **Annexe 1 :**



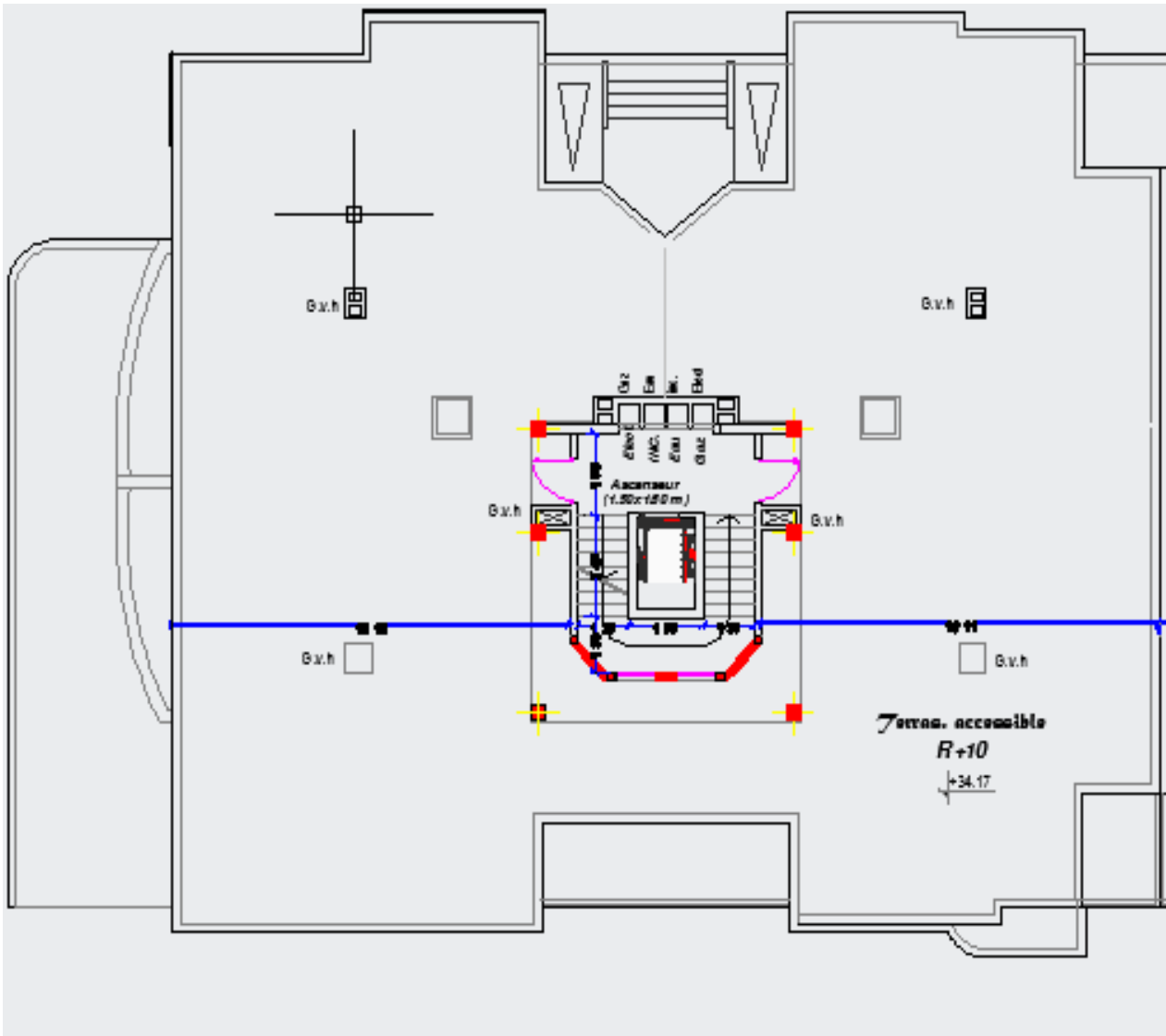
**Plan Sous-Sol**



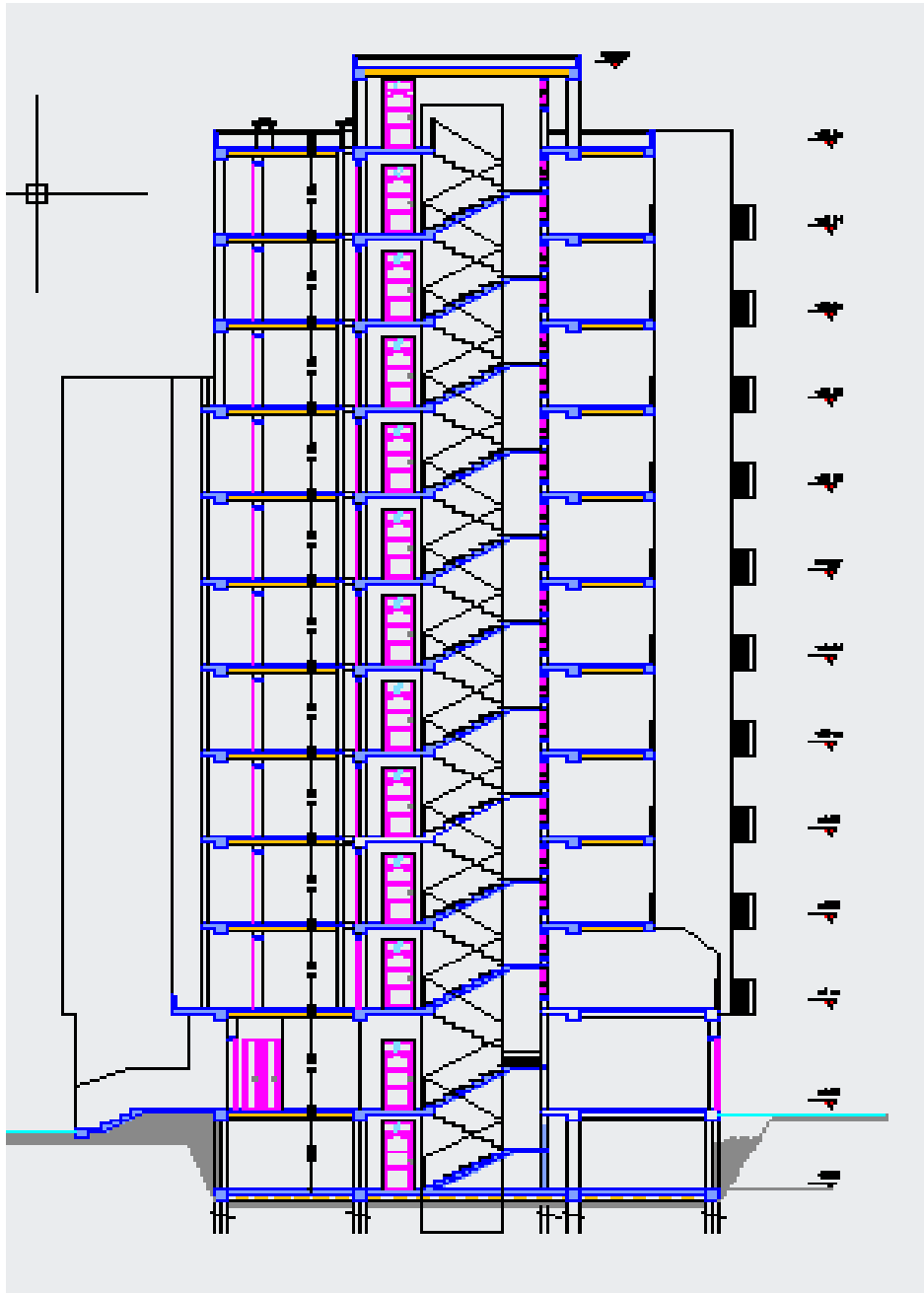
**Plan RDC**



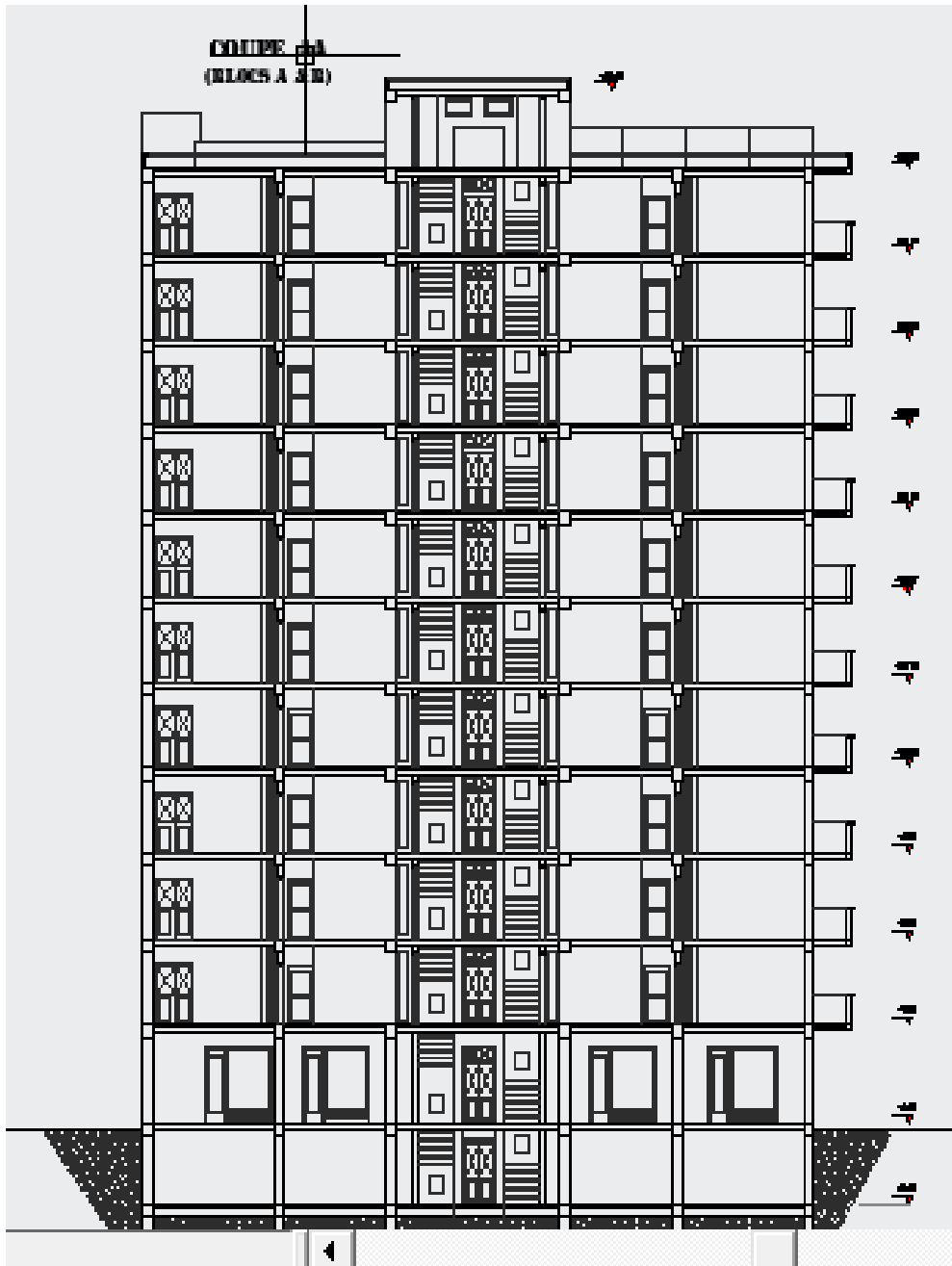
**Plan Etage courant**



**Plan Toiture**

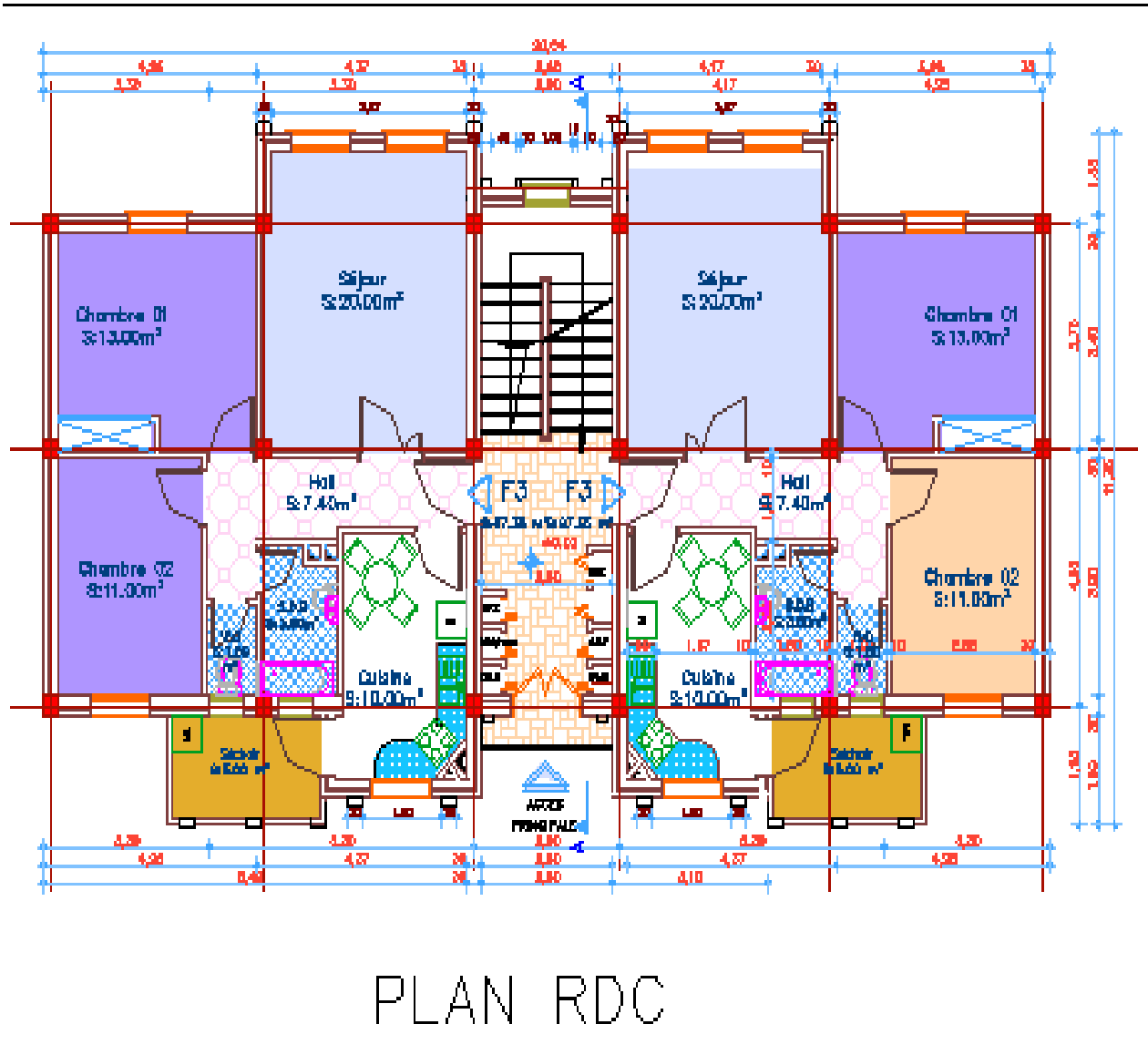


**Coupe A-A**

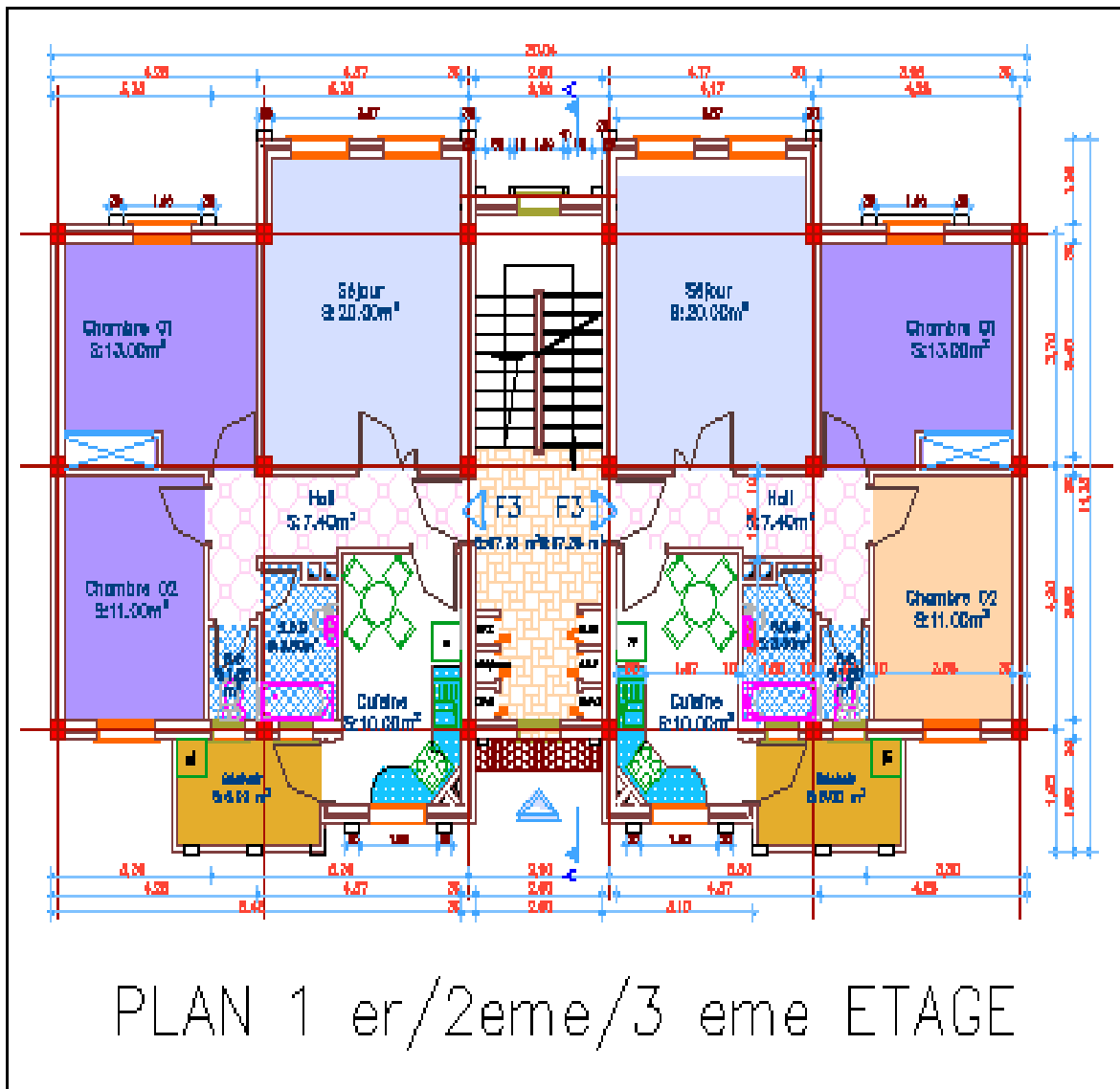


**Façade principale**

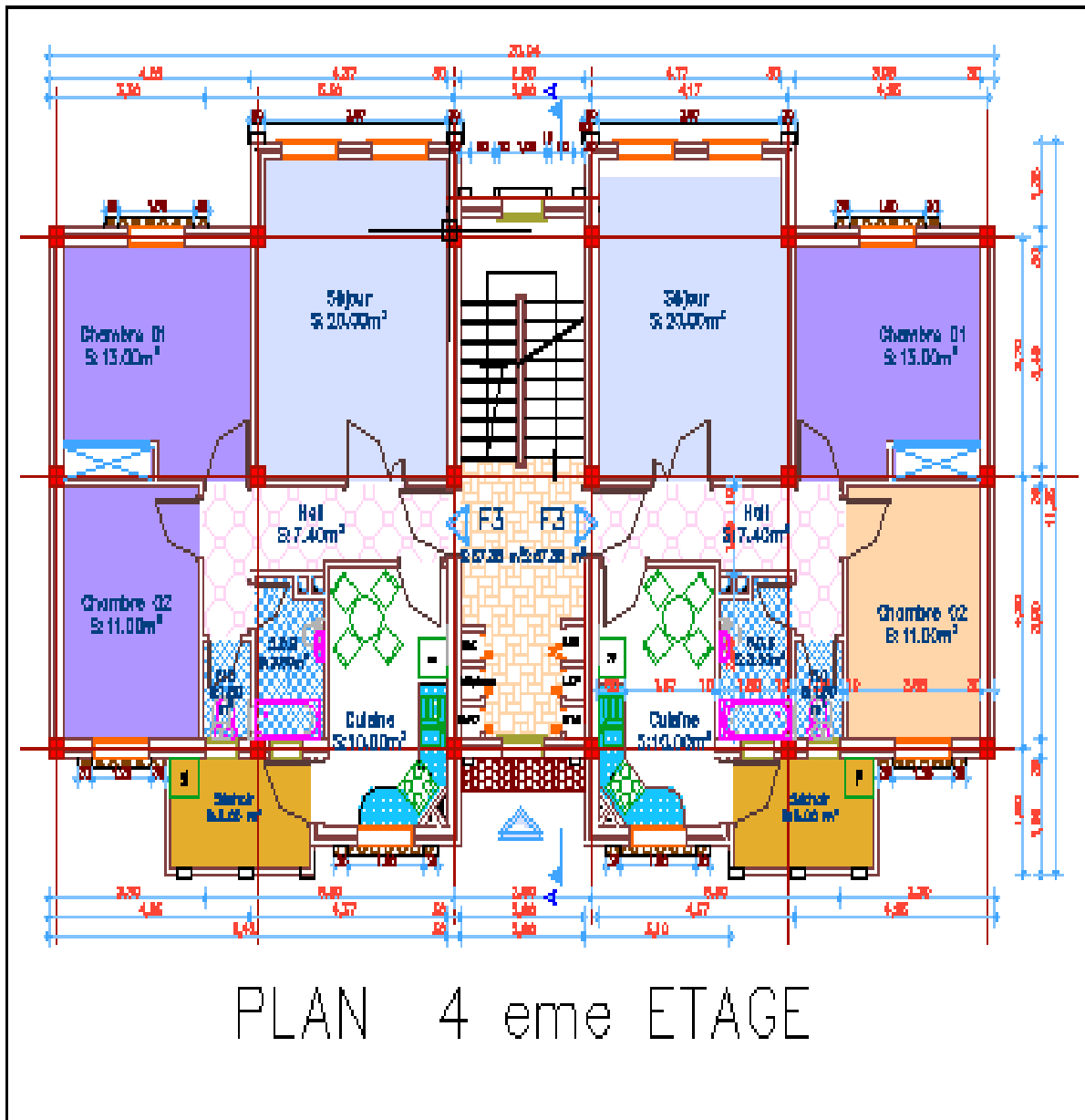
# Annexe 2 :

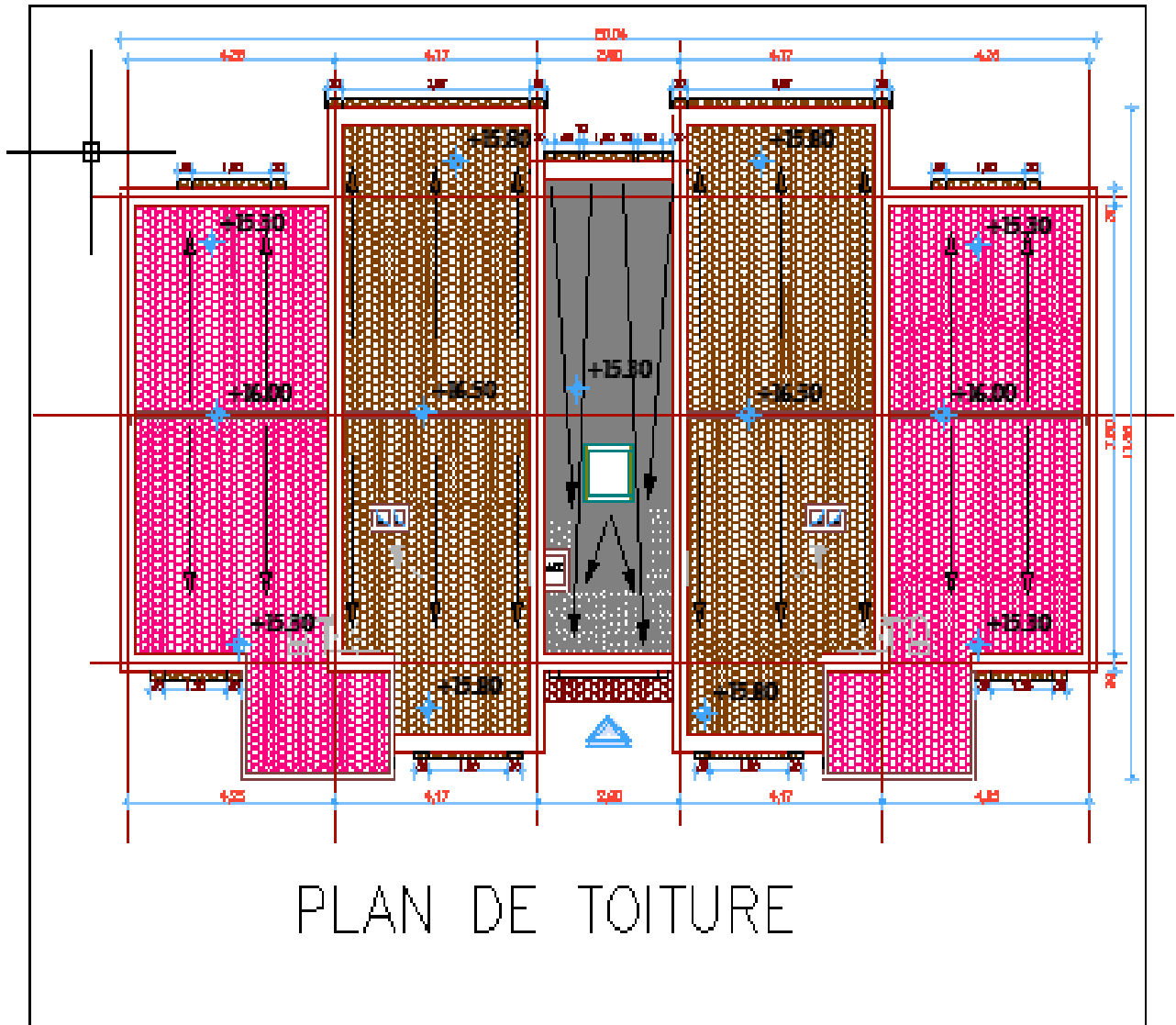


PLAN RDC

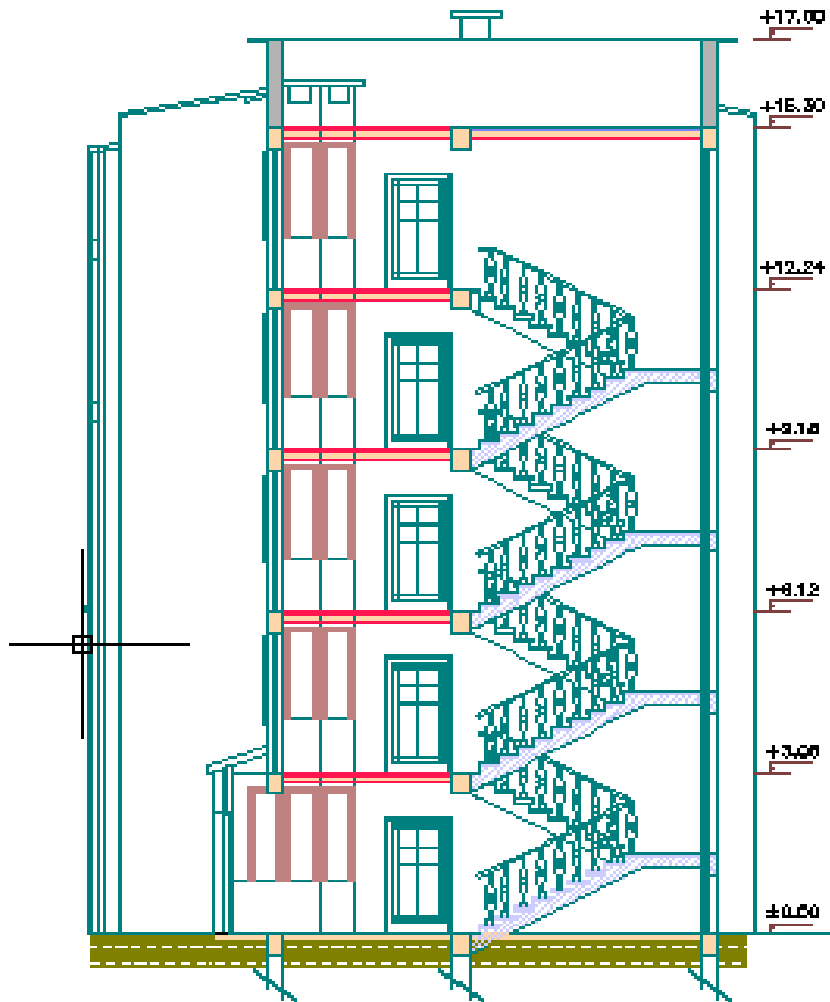


PLAN 1 er/2eme/3 eme ETAGE





PLAN DE TOITURE



COUPE A-A

