

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur
Et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane Mira de Bejaia
Faculté de Technologie
Département de Génie Civil

Mémoire de fin d'études
En vue de l'obtention du Diplôme Master en
Génie Civil
Option : Structures

Thème

*Effet de la zone sismique, la hauteur et la disposition
des voiles sur le choix du système de contreventement.*

Présenté par :

AISSAT Sarah & MOUTERFI Chahimez

Encadré par :

M^{lle} : BOUSSAA Leila

Examine par:

M^r: SERIKMA & M^r: RAMDANI

Promotion 2017/2018

Remerciements

Nous commençons tout d'abord par remercier le bon dieu pour nous avoir donné la force et le courage et de nous avoir doté de toute la bonne volonté nécessaire et de nous avoir gardé en bonne santé jusqu'à avoir mené à terme ce travail.

Nous tenons à présenter nos remerciements les plus chaleureux à notre chère promotrice M^{elle} L. BOUSSAA. Ce projet n'aurait pas pu être mené à terme sans l'intérêt et l'investissement dont elle a fait preuve, ses conseils attentionnés et ses interventions rapides et avisées nous ont guidées en permanence tout au long de ce travail.

Aux membres de jury, pour avoir accepté de juger notre travail.

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents qui m'ont toujours aidés et soutenu tout au long de mon cursus dieu les garde pour nous.

A ma sœur adorée Mounira et son époux

A mon adorable petit frère Abedlaghani

A mon grand frère adoré Walid

A mes chères tantes et leurs familles

A mes chers oncles et leurs familles

A mes cousins et cousines : Aicha, Nassim, Hichem, Lakhdar

A mes meilleures amies qui ont toujours été présente pour moi : Hania,

Selma, Lamia, Dida, Sabah, Lynda, Farah

A ma collègue Shahimez et sa famille

A tous ceux qui m'aime et me connaisse

A. Sarah

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents qui m'ont toujours aidés et soutenu tout au long de mon cursus dieu les garde pour nous.

A ma sœur adorée Nabila

A mon adorable petit frère Nabil

A mon grand frère adoré Tmed

A mes deux grands-mères et à mon grand-père : Oma Melkhir, Djida Wardia et Djedi Ali

A mes chères tantes : Noura et Samia

A mes chers oncles et leurs familles

A mes cousins et cousines : Sonia, Phaima, Salima

A ma meilleure amie qui a toujours été présente pour moi : Hassiba

A mes chères amies : Lynda, Katia, Kahina, Loundja, Sarah, Souad, Nawal, Warda

A ma collègue Sarah et sa famille

A tous ceux qui m'aime et me connaisse

M. Phahimez

Table des matières

<i>Introduction générale</i>	1
1. Introduction	2
2. objectifs et portée du mémoire	3
3. Démarches et contenu de l'étude.....	3
<i>Paramètres Influant sur le choix du système de contreventement des structures en béton armé</i>	4
1. La sismicité en Algérie	5
1.1. la sismicité dans la zone méditerranée.....	5
1.2. la sismicité en Algérie.....	6
1.3. Critères de classification de la zone sismique selon le règlement parasismique Algérien	7
2. Paramètres influençant sur la capacité en résistance et en ductilité d'une structure béton armé.....	8
2.1. Notions Théoriques De Base	8
2.2. L'influence du système structurel (portiques et voiles) sur la capacité en résistance et en ductilité d'une structure en béton armé [7].....	10
2.3. Présentations des courbes de capacité en résistance et en ductilité :	12
3. Critères de classification des systèmes de contreventement selon le R.P.A en fonction de la capacité en résistance et en ductilité [7]	14
3.1. Système 1: Les structures en portiques	15
3.2. Système 4.a: Contreventement mixte assuré par des voiles et des portiques avec justification d'interaction portiques -voiles	15
3.3. Système 4.b: Contreventement de structures en portiques par des voiles en béton armé. 15	
3.4. Système 2: Contreventement constitué par des voiles porteurs en béton armé.....	15
<i>Présentation des Structures étudiées</i>	16
1. Présentation des structures étudiées	17
1.1. Caractéristiques géométriques	17
1.2. Caractéristiques des matériaux.....	18
1.3. Caractéristiques structurelles.....	18
1.4. Référence de calcul.....	32
2. Classification de l'ouvrage selon le règlement parasismique algérienne RPA99/2003.....	32
2.1. Zone sismique (A3.1./RPA99/2003).....	32
2.2. Importance de l'ouvrage (A3.2./RPA99/2003)	32
2.3. Site (A3.3./RPA99/2003).....	32
2.4. Système de contreventement (A3.4./RPA99/2003).....	32

2.5.	Configuration du bloc (A3.5./RPA99/2003)	33
3.	Paramètres utilisées pour l'étude sismique.....	33
3.1.	Coefficient d'accélération de zone A (A.4.2.3 tableau 4.1 RPA99/2003)	33
3.2.	Facteur de qualité Q (A.4.2.3 tableau 4.4 RPA99/2003).....	34
3.3.	Coefficient du comportement R (A.4.2.3.tableau4.3 RPA99/2003)	34
3.4.	Coefficient de pondération « β » (A.4.2.3 tableau4.5 RPA99/2003).....	34
3.5.	Pourcentage critique d'amortissement « ξ (%) » : (A.4.2.3 tableau4.2 RPA99/2003).....	34
3.6.	Coefficient C_T (A.4.2.3 tableau 4.6)	34
3.7.	Valeurs de T_1 et T_2 (A.4.2.3 tableau4.7 RPA99/2003)	35
3.8.	Spectre de réponse sismique (A.4.2.3 tableau4.7 RPA99/2003) [5]......	35
	<i>Justification de la sécurité sismique des structures étudiées</i>	36
1.	Etude sismique.....	37
1.1.	Choix de la méthode de calcul	37
1.2.	Analyse Sismique Dynamique Modale Spectrale (A4.1.3./RPA99/2003).....	37
1.3.	Principe de Modélisation (A4.3.2./RPA99/2003).....	37
1.4.	Modélisation de la structure par la méthode des éléments finis.....	37
1.5.	Programme utilisé pour la modélisation	38
2.	Résultats de l'analyse sismique "5S- Z IIa- 5" et "5S- Z III- 5".....	39
2.1.	Taux de participation massique :.....	39
2.2.	Poids et centre de gravité et de rigidité de la structure.....	40
2.3.	Effort tranchant, moment sismique et les déplacements par niveau	40
2.4.	Justifications sismiques de la structure	44
3.	Résultats de l'analyse sismique "5S- Z IIa- 3.5" et "5S- Z III- 3.5"	49
3.1.	Taux de participation massique :.....	49
3.2.	Poids et centre de gravité de la structure	51
3.3.	Effort tranchant, moments sismiques et les déplacements par niveau :.....	51
3.4.	Justifications sismiques de la structure	55
4.	Résultats de l'analyse sismique "8S- Z IIa- 5" et "8S- Z III- 5".....	57
4.1.	Taux de participation massique et périodes de vibration:.....	57
4.2.	Poids et centre de gravité de la structure	58
4.3.	Effort tranchant, moments sismiques et les déplacements par niveau :.....	58
4.4.	Justifications sismiques de la structure	62
5.	Résultats de l'analyse sismique "8S- Z IIa- 3.5" et "8S- Z III- 3.5"	66
5.1.	Taux de participation massique et périodes de vibration :.....	66
5.2.	Poids et centre de gravité de la structure	67
5.3.	Effort tranchant, moments sismiques et les déplacements par niveau :.....	67

Table des matières

5.4. Justifications sismiques de la structure	71
6. Résultats de l'analyse sismique "11S- Z IIa- 5" et "11S- Z III- 5"	73
6.1. Taux de participation massique et périodes de vibrations.....	73
6.2. Poids et centre de gravité de la structure	75
6.3. Effort tranchant, moments sismiques et les déplacements par niveau :.....	75
6.4. Justifications sismiques de la structure	79
7. Résultats de l'analyse sismique "11S- Z IIa- 3.5" et "11S- Z III- 3.5"	83
7.1. Taux de participation massique et périodes de vibration:.....	83
7.2. Poids et centre de gravité de la structure	84
7.3. Effort tranchant, moments sismiques et les déplacements par niveau :.....	84
7.4. Justifications sismiques de la structure	88
8. Conclusion.....	90
<i>Effet du positionnement des voiles, la zone sismique et la hauteur sur le choix du système de</i> <i>contreventement sur les structures étudiées</i>	<i>91</i>
1. Effet de la zone sismique.....	92
1.1. Système R=5.....	92
1.2. Système R=3.5.....	97
1.3. Commentaire général :.....	100
2. Effet de la hauteur sur la réponse sismique	101
3. Effet de la disposition des voiles.....	102
3.2. Commentaires	103
4. Conclusion.....	107
<i>Conclusion générale</i>	<i>108</i>

Résumé

Dans le but d'étudier l'influence de la zone sismique, la hauteur, et la disposition des voiles (la capacité en résistance et en ductilité) sur le choix de système de contreventement, ce travail traite des structures de bâtiment type à usage multiple (habitation et commerce), en béton armé en R+5, R+8 et R+11 avec des hauteurs 19.38 m, 28.56 et 37.74 m respectivement.

Le choix de ce type de structures pour l'étude se fait car ces derniers forment la plus importante catégorie en nombre de bâtiments pour les villes Algériennes. Plusieurs paramètres seront variées pour cette étude : la zone sismique (Moyenne et forte sismicité), la hauteur de la structure (déjà indiqué), la disposition de voiles (en fonction du pourcentage des efforts repris par les voiles et les portiques)

*Le calcul effectué a été fait conformément aux règlements appliqués en Algérie en utilisant le logiciel de calcul **ETABS** pour l'analyse sismique des structures choisies.*

Introduction générale

1. Introduction

Les séismes font partie des cataclysmes naturels qui ont toujours exercé une grande fascination sur l'humanité. Ils sont responsables de la destruction de villes entières, et causent notamment la mort des millions de personnes sans compter les conséquences économiques désastreuses qu'ils engendrent.

En ce sens témoigne le séisme survenu à Boumerdes en Algérie au cours de l'année 2003.

L'actualisation du code parasismique algérien RPA99/Version2003 après ce séisme (Boumerdes 2003) ait été consacrée essentiellement à:

- ✓ la révision du zonage sismique
- ✓ Aux valeurs du coefficient d'accélération de zone (A) qui s'y rattachent;
- ✓ Proposer plusieurs systèmes structurels de contreventement pour la structure étudiée: portique auto-stables, mixte (portique, voile) avec ou sans interaction et voiles porteurs.

Le R.P.A99/03 exige certaines recommandations à propos de ces systèmes :

- ✓ pour les structures portiques auto-stables : la hauteur est limitée à 5 niveaux ou 17m en zone I, 4 niveaux ou 14m en zone IIa, 3 niveaux ou 11 m en zone IIb, et 2 niveau ou 8m en zone III; la valeur attribuée au coefficient de comportement est $R=5$;
- ✓ pour les structures portiques-voiles avec ou sans interaction, mixtes et voiles porteurs: les valeurs attribuées au coefficient de comportement sont respectivement, $R=5$, 4 et 3.5, la valeur de R est liée directement aux pourcentages des charges verticales et horizontales reprisent par les portiques et les voiles en fonction de leurs rigidités a tous les niveaux

Le RPA99/2003 laisse le choix aux chercheurs de choisir entre ces systèmes de contreventement. :

- ✓ l'action sismique (la zone sismique).

Dans ce contexte; ce travail traite des cas types de structures en béton armé en variant: la hauteur, la zone sismique et la disposition des voiles. Dans le but d'étudier l'influence de ces paramètres (la capacité en résistance et en ductilité) sur le choix de système de contreventement.

Ce choix permet d'attribuer une valeur a R en fonction des pourcentages des charges verticales et horizontales reprisent par les portiques et les voiles.

2. objectifs et portée du mémoire

Notre travail consiste à étudier des cas types de structures en béton armé en variant: la hauteur, la zone sismique et la disposition des voiles. Ici le but est d'étudier :

- ✓ L'influence de la zone sismique sur le choix du système de contreventement
- ✓ L'influence de la hauteur sur le choix du système de contreventement
- ✓ L'influence de la disposition des voiles sur le choix du système de contreventement

3. Démarches et contenu de l'étude

Pour atteindre les objectifs précédents, il est nécessaire de circonscrire convenablement le domaine de l'étude. Compte tenu de la diversité du tissu urbain existant en ALGERIE, certains choix ont été effectués au préalable. L'étude est orientée vers les structures en en béton armé contreventées par des portiques et des voiles. Le choix de ce type de structures pour l'étude est à prendre en considération, car celles-ci forment la plus importante catégorie en nombre de bâtiments pour les villes Algériennes. Pour cela, le travail de mémoire est organisé en quatre chapitres :

- Le premier chapitre sera consacré à la présentation des différents paramètres qui influencent sur le choix de système de contreventement.
- La présentation de l'ouvrage, ou on expose les caractéristiques: géométriques, structurelles de l'ouvrage et les matériaux utilisées, ainsi les références du calcul pour la première proposition et le pré-dimensionnement des éléments, tels que les planchers, et les voiles seront présentés dans le deuxième chapitre.
- L'analyse sismique de la structure fera l'objet du troisième chapitre pour s'assurer que nos structures ont un comportement dynamique satisfait aux critères de sécurité imposés par le règlement parasismique Algérien: les déformations inter-étages, l'effet P- Δ .
- Le quatrième chapitre traite L'influence la zone sismique, la hauteur, la disposition des voiles sur le choix du système de contreventement.
- Enfin, la conclusion viendra compléter le mémoire. Les documents de support au contenu du mémoire seront joints en Annexe pour références

Paramètres Influant sur le choix du système de contreventement des structures en béton armé

Avant d'entamer notre étude nous avons tout d'abord donné les généralités sur le séisme en Algérie (critères de classification des zones sismiques, les différents séismes que l'Algérie a connu...). Puis on définit les différents paramètres influençant sur la capacité en résistance et en déplacement d'une structure en béton armé ainsi que les critères de classification des systèmes de contreventement selon le R.P.A en fonction de la capacité en résistance et en ductilité.

1. La sismicité en Algérie

On appelle un tremblement de terre ou séisme, le mouvement brusque d'une partie de la surface de la terre, provoqué par la libération d'une grande quantité d'énergie accumulée depuis plusieurs années, voire plusieurs dizaines d'années, dans une région sismo-active. Cette énergie se propage dans toutes les directions sous forme d'ondes sismiques génératrices d'une série de mouvements vibratoires à la surface de la terre [1].

1.1. la sismicité dans la zone méditerranéenne

La zone est comprise entre 30° à 45° en latitude et -30° à 30° en longitude : c'est la mer méditerranéenne. Cette dernière est une mer dite intercontinentale, d'où son nom : "mare medi terra" en latin signifiant "mer au milieu des terres". En effet, elle est entourée par le continent africain, l'Europe et l'Asie. La méditerranéenne est presque fermée entièrement, le détroit de Gibraltar permet une ouverture vers l'océan Atlantique. Elle a une superficie d'environ 2,5 millions de kilomètres carrés.

De nombreux pays bordent la méditerranéenne, ils portent le nom de pays côtiers. La France, l'Espagne, le Portugal, la Grèce, l'Italie ou encore les pays du Maghreb comme l'Algérie font parties de ceux-ci. La figure.1.1 : montre les pays côtiers bordent la méditerranéenne:

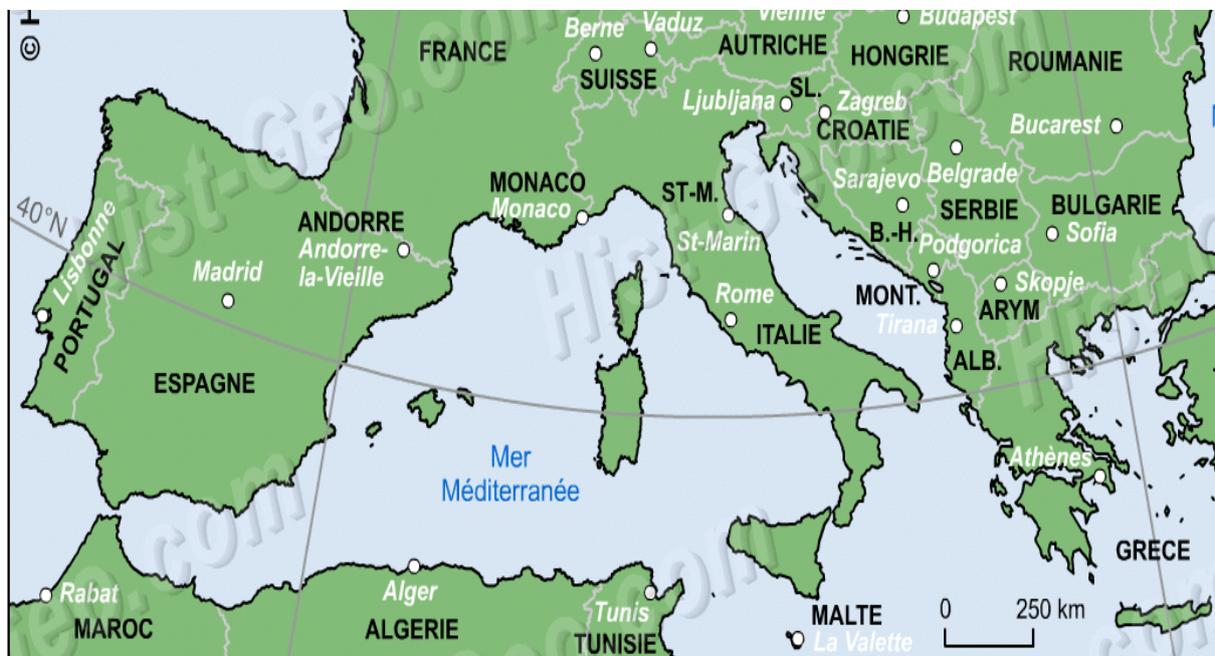


Fig.1. 1: les pays côtiers bordent la méditerranéenne

Toutefois des chercheurs ont effectué des recherches sur ses séismes ayant eu lieu dans cette zone de 2002 à 2009. Ils ont tout d'abord intéressé au séisme reçus par le **Réseau National de Surveillance Sismique (Re.Na.S.S)** a pour but d'observer, identifier et analyser les séismes présents mondialement. Il va alors centraliser et archiver les données. Celles-ci sont accessibles pour tous.

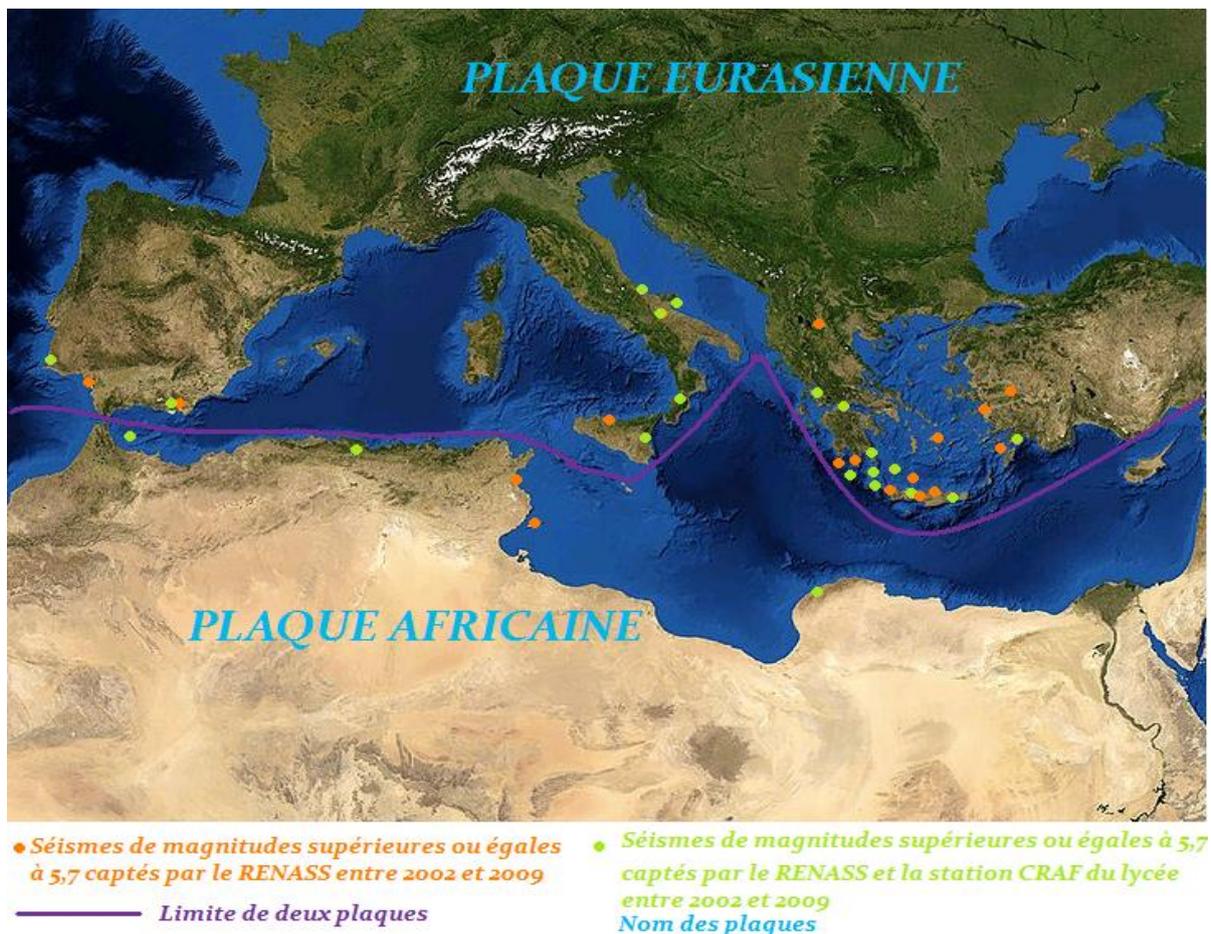


Fig.1. 2 : carte de la méditerranée présentant les séismes supérieurs ou égales à 5.7 captés par le RENASS et la station CRAF.

Le RENASS a reçus 7947 séismes pour une durés de sept ans (environ mille séismes par an), avec des magnitudes allant de 0 à 7. On trouve 179 séismes supérieurs à 4,9 de magnitudes. Comme indique la figure ci-dessus [2].

1.2. la sismicité en Algérie

L'Algérie se situe sur la plaque Africaine laquelle est en perpétuelle collision avec la plaque Eurasienne. La collision de ces deux plaques se fait avec une vitesse de rapprochement de l'Afrique par rapport à l'Europe stable d'environ ~5mm par an et donne du côté de la

frontière des plaques des chaînes de montagnes, des plis et des failles orientés principalement NE-SW et une direction de raccourcissement ~NNW-SSE dans l'Atlas Tellien (Fernandez-Ibañez et al., 2007 ; Domzig, 2006 ; Stich et al., 2006 ; Nocquet & Calais, 2004 ; Calais et al., 2003 ; Fernandez et al., 2003 ; Henares et al., 2003 ; McClusky et al., 2003 ; Meghraoui et al., 1996).

La sismicité de l'Algérie est localisée sur la frange nord du pays formée par quatre domaines morpho-structuraux : L'Atlas Tellien, les hauts plateaux, l'Atlas Saharien et la partie nord de la plateforme saharienne. (La fréquence et la magnitude de la sismicité est importante sur l'Atlas Tellien. Cette sismicité s'atténue si on se dirige vers le sud.

Des séismes modérés sont enregistrés dans l'Atlas Saharien et la partie nord de la plateforme saharienne, nous citons à titre d'exemple, les séismes de la région d'El Djelfa (le 09/01/2007 ; Magnitude: 4.1), de la région d'El Oued (le 09/07/2007; Magnitude: 5.2) et récemment de la région de Ain Sefra (le 14/12/2009 ; Magnitude: 5.0).

La sismicité de l'Algérie est caractérisée par des séismes superficiels, elle est localisée dans les 20 premiers kilomètres. Cette sismicité est généralement marquée par des séismes faibles à modérés. Toutefois, Des séismes forts se sont produits dans l'Atlas Tellien, nous pouvons citer le séisme d'El Asnam (le 10/ 10/ 1980; Magnitude 7.3) et le séisme de Boumerdes - Zemmouri (le 21/ 05/ 2003; Magnitude 6.8) [3].

1.3. Critères de classification de la zone sismique selon le règlement parasismique Algérien

La catastrophe d'Orléans ville (CHLEF) de 1954 a conduit les autorités de l'époque à préconiser dès 1955 des recommandations techniques provisoires dans le but d'atténuer les effets des séismes sur la stabilité des constructions. Ces recommandations sont connues sous le nom AS55. A cette époque deux zones avaient été définies pour l'Algérie :

- Zone A : faible sismicité
- Zone B : forte sismicité.

Le nord de l'Algérie de la frontière Marocaine à la frontière Tunisienne considérée en zone B. Après le séisme d'El Asnam de 1980 (Chlef), des nouvelles règles ont été établies. Qui ont ensuite révisées dans la dernière version du règlement parasismique algérien R.P.A 99/2003.

Selon la dernière version révisée du R.P.A 99, le territoire national est divisé en cinq (05) zones de sismicité croissante, définies sur la carte des zones de sismicité qui précise cette répartition par wilaya et par commune (Figure.1.3)

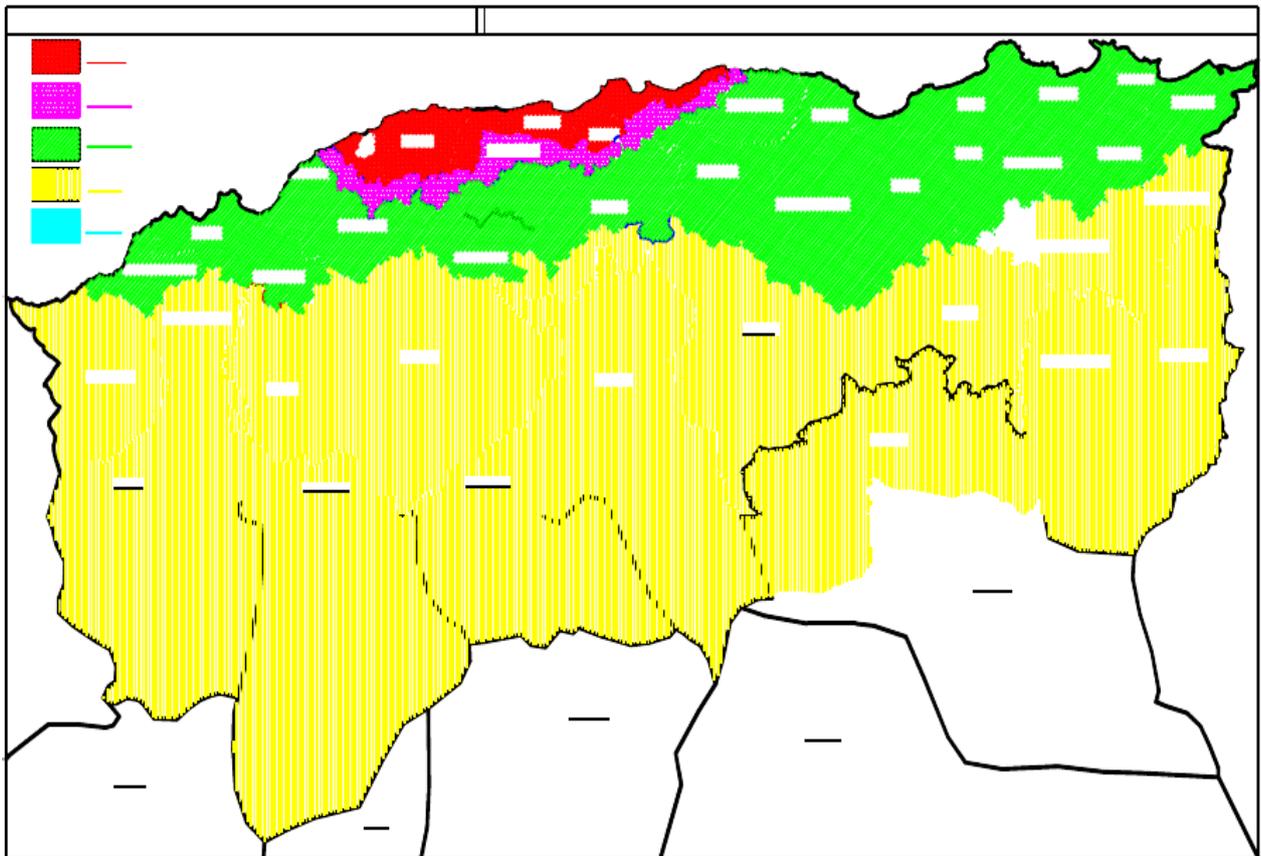


Fig.1. 3: carte de zonage sismique du territoire national- RPA99/APRES ADDENDA

Soit : - Zone 0 : Sismicité négligeable ; - Zone I : Sismicité faible ;
 - Zone II- a / II- b : Sismicité moyenne; - Zone III : Sismicité élevée [4].

2. Paramètres influençant sur la capacité en résistance et en ductilité d'une structure béton armé

2.1. Notions Théoriques De Base

Les propriétés structurelles spécifiques prises en considération dans la conception parasismique paramètres qui caractérisent le comportement post élastique de la structure sont la rigidité, la résistance et la ductilité :

2.1.1. Rigidité d'une structure

La rigidité est définie comme étant le rapport entre la force et la déformation d'une structure. Elle dépend aux propriétés géométriques des éléments et le module d'élasticité du matériau. La figure.1.4 montre la relation non linéaire entre les forces appliquées et les déplacements, qui décrivent la réponse d'un élément en béton armé soumis à des charges croissantes.

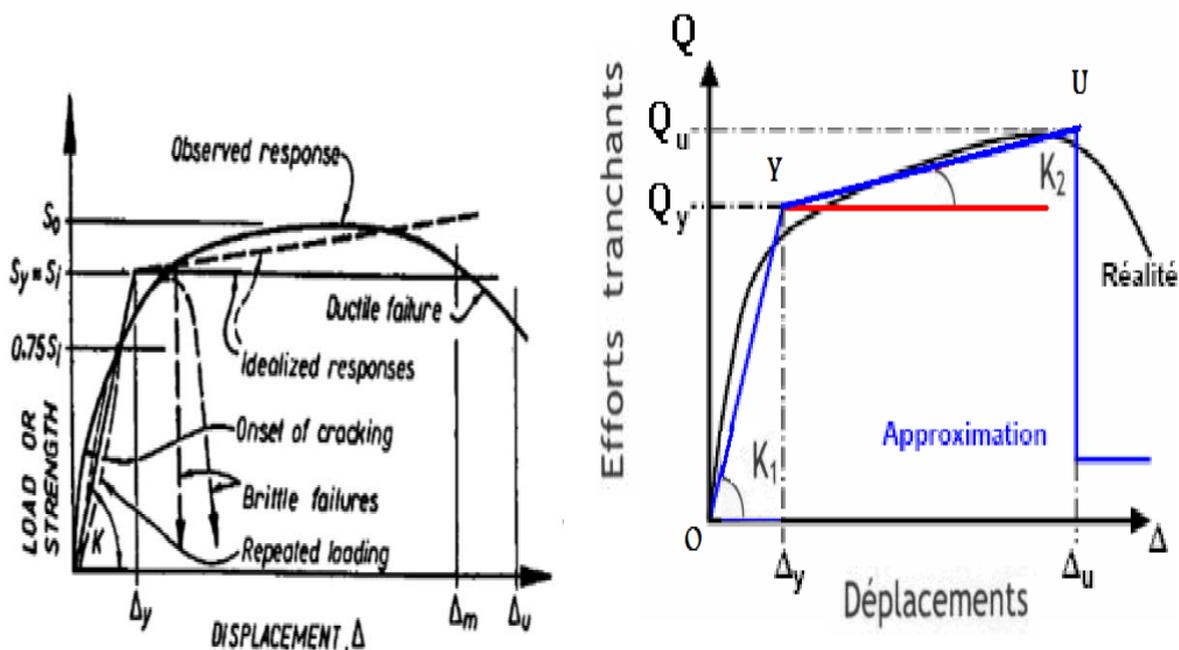


Fig.1. 4 : la relation non linéaire entre les forces appliquées et les déplacements.

La pente de la réponse élastique linéaire idéalisée (Figure 1.4) est utilisée pour quantifier la rigidité. Cette définition donne la rigidité effective élastique qui aura un intérêt particulier durant l'estimation de la réponse. Sous un chargement cyclique [5].

La vérification de la rigidité est traditionnellement considérée par les concepteurs comme le premier critère à satisfaire dans le processus du dimensionnement. Suite à l'impact économique et la perte de fonctionnalité des bâtiments, le contrôle de l'endommagement à travers la vérification de la rigidité structurelle est devenue un critère incontournable afin de :

- Préserver l'intégrité architecturale sous séisme modéré et éviter un endommagement dangereux des éléments non structuraux sous séisme sévère (éléments décoratives, ...);
- limiter l'endommagement structurel.

La vérification est généralement caractérisée à travers la relation :

$$\text{Rigidité requise} \leq \text{Rigidité disponible}$$

La rigidité requise dépend essentiellement du type de séisme et du type de structure [6].

2.1.2. Capacité en Résistance d'une structure

La résistance signifie que la structure doit avoir une force suffisante pour résister aux actions internes générées lors de la réponse dynamique élastique de la structure [5]

Le critère de résistance est traditionnellement introduit comme un but primordial dans le dimensionnement parasismique ; la structure doit donc satisfaire ce critère à travers la relation suivante :

$$\text{Demande de résistance} \leq \text{capacité de résistance}$$

La capacité en résistance dépend des caractéristiques des zones dissipatives d'énergie, où une résistance adéquate est fournie tout en évitant la rupture brutale ou autres modes de rupture. La résistance de ces zones dépend des facteurs suivants :

- la sécurité prise sur les matériaux;
- Redistribution des moments suite à la formation des rotules plastiques, le moment de calcul peut diminuer ou augmenter [6].

2.1.3. Capacité en Ductilité d'une structure

Généralement, les bâtiments en zone sismique sont conçus afin d'assurer une bonne résistance aux forces horizontales (sismiques), et être capable de subir des déformations importantes imposés dans le domaine plastique. Cette capacité de la structure (ses composants: poutres, poteaux où voiles, et les matériaux utilisés) pour offrir une résistance dans le domaine inélastique, est décrite en terme général par la ductilité. Cette ductilité quantifie la capacité de subir des grandes déformations, et absorber l'énergie par un comportement d'hystérésis [5].

Pour les portiques auto stables, la plasticité préférée est celle causé par un comportement flexionnel que celles causées par l'action de l'effort tranchant ou d'adhérence qui sont à éviter, vu qu'elles conduisent à une réduction substantielle de la dissipation d'énergie. Les régions critiques du système structurel résistant aux forces sismiques peuvent être ainsi préalablement, choisies, convenablement conçues et soigneusement ferrailler afin de fournir une capacité de résistance et ductilité adéquate. Cet objet est atteint si le critère de ductilité est satisfait :

$$\text{Demande de ductilité} \leq \text{capacité de ductilité}$$

Les facteurs qui influent sur la demande en ductilité sont le type de séisme, le type de fondation et le type de structure.

2.2. L'influence du système structurel (portiques et voiles) sur la capacité en résistance et en ductilité d'une structure en béton armé [7].

Les éléments de contreventement absorbent les efforts sismiques afin de les transmettre aux fondations. Ce cheminement d'efforts doit être analysé avec des contreventements très fiables pour établir la cohérence de l'ensemble pour un niveau d'action donné.

La classification des systèmes structuraux est faite en tenant compte de leurs :

- Fiabilité
- Capacité de dissipation de l'énergie vis-à-vis de l'action sismique.

Le coefficient de comportement correspondant est fixé en fonction de :

- la nature des matériaux constitutifs,
- du type de construction,
- des capacités de déformation des éléments dans le domaine post-élastique.
- des possibilités de redistribution d'efforts dans la structure

L'objet de la classification des systèmes structuraux se traduit, dans les règles et méthodes de calcul, par l'attribution pour chacune des catégories de cette classification, une valeur numérique du coefficient de comportement. Sa valeur unique est donnée en fonction du pourcentage des efforts repris par les portiques et les voiles. (Voir chapitre 3).

Il existe trois types fondamentaux de structure de contreventement en béton armé, qui seront décrits ci-dessous :

La figure.1.5 : montre l'influence du système structural sur la capacité en résistance et en ductilité d'une structure en béton armé.

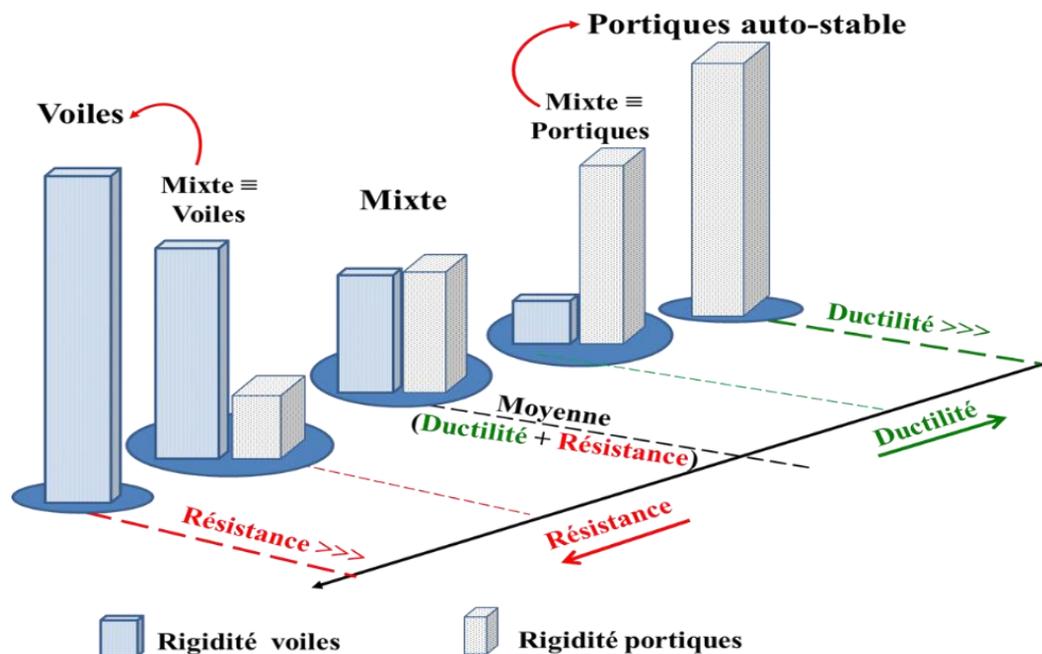


Fig.1. 5 : l'influence du système structural sur la capacité en résistance et en ductilité d'une structure en béton armé.

2.2.1. Les structures en portiques

C'est une ossature constituée uniquement de portiques capables de reprendre la totalité des sollicitations dues aux charges verticales et horizontales, dans lequel la résistance aux charges verticales et aux charges latérales est assurée uniquement par des ossatures en portique, ce système est caractérisé par sa haute capacité en ductilité (elle subit de grands déplacements importants avant l'endommagement)

2.2.2. Les structures mixtes (Portiques et voiles)

Dans lequel le transfert des charges verticales est assuré principalement par une ossature en portique et le contreventement est assuré en partie par l'ossature et en partie par des voiles. Pour simplifier la distinction entre les divers types de structures comportant à la fois des voiles et des portiques, il est admis, dans la plus part des codes (R.P.A, EC08,...) se réfèrent relativement au pourcentage de résistance à l'effort tranchant (les pourcentages d'effort tranchant sollicitant dans la situation sismique de calcul), on distinguera trois cas (Figure.1.6) :

- **Les systèmes à contreventement mixte équivalent à une ossature** : On considère que la sollicitation horizontale est reprise uniquement ou totalement par les portiques (structure primaire); vu que la rigidité des portiques est importante par rapport à la rigidité des voiles. Dans ce cas, on considère que la structure a une capacité en ductilité importante avec une capacité en résistance moyennement faible.

- **Les systèmes à contreventement mixte** : Les charges horizontales sont reprises conjointement par les voiles et les portiques proportionnellement à leurs rigidités, ce système est caractérisé par sa capacité en résistance et en ductilité moyenne.

- **Les systèmes à contreventement mixte équivalent à des voiles** : On considère que la sollicitation horizontale est reprise uniquement ou totalement par les voiles (structure primaire); vu que la rigidité des voiles est importante par rapport à la rigidité des portiques. Dans ce cas, on considère que la structure a une capacité en résistance très élevée avec une capacité en ductilité moyennement faible.

2.2.3. Les structures en voiles

C'est une ossature constituée uniquement de voiles capables de reprendre la totalité des sollicitations dues aux charges verticales et horizontales, dans lequel la résistance aux charges verticales et aux charges latérales est assurée uniquement par des voiles.

2.3. Présentations des courbes de capacité en résistance et en ductilité :

Les Courbe de capacité (en bleu) : représente le comportement de la structure est tracée en portant en abscisse le déplacement du sommet (u_t) et en ordonnée l'effort tranchant à la base (V_b).

La demande sismique (en rouge): représente la sollicitation apportée par le séisme.

Le principe de la méthode consiste à superposer une courbe représentant la capacité en résistance d'une structure issue d'une analyse non linéaire (pushover) avec une courbe représentative de la sollicitation apportée par le séisme (demande sismique);

L'intersection de ces courbes permet d'évaluer le déplacement maximal que la structure subira (point de performance) [8].

La figure.1.6 :montre l'influence de la capacité en résistance et en ductilité sur le choix du système de contreventement

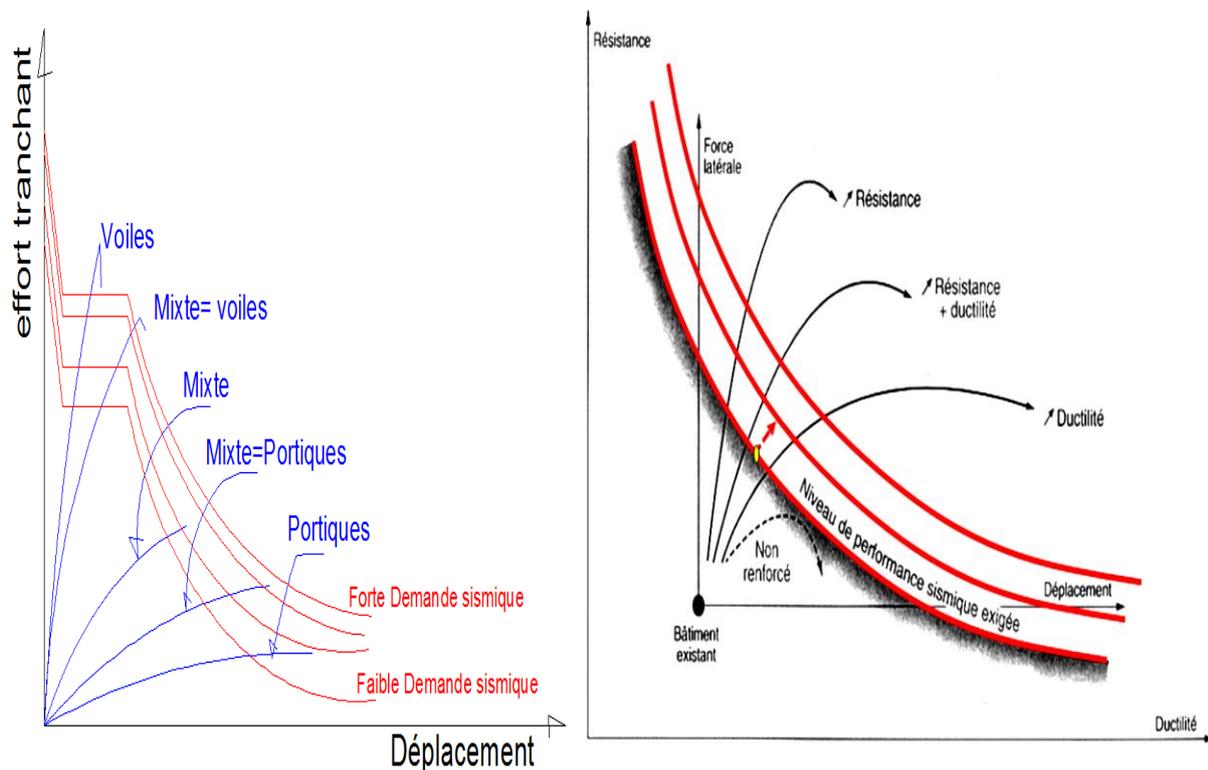


Fig.1. 6 : l'influence de la capacité en résistance et en ductilité sur le choix du système de contreventement

2.3.1. les structures en portiques auto-stables

À cause de capacité en ductilité élevée avec une capacité en résistance moyennement faible, ce système peut supporter :

- lorsque la demande sismique est faible (l'intensité de l'action sismique), la capacité en résistance et en ductilité de ces structures peut supporter cette demande sismique même pour des hauteurs élevées mais a une hauteur limitée;
- lorsque la demande sismique augmente, la capacité en résistance et en ductilité de ces structures ne satisfait pas à la demande sismique que pour des hauteurs faibles.

2.3.2. les structures mixtes

- **Les systèmes à contreventement mixte équivalent à une ossature :**

Ce système peut supporter de fortes demandes sismiques même pour des hauteurs élevées sachant qu'il subira des déplacements avancés à cause de sa haute ductilité (il entre dans le domaine plastique) sans perdre sa capacité en résistance

- **Les systèmes à contreventement mixte :**

Ce système satisfait à n'importe quelle demande sismique; mais a des hauteurs limitées à cause de capacité en ductilité et en résistance moyenne.

- **Les systèmes à contreventement mixte équivalent à des voiles :**

Ce système peut supporter de fortes demandes sismiques même pour des hauteurs élevées sachant qu'il subira à des faibles déplacements à cause de sa haute capacité en résistance.

2.3.3. Les structures en voiles

À cause de capacité en résistance élevée avec une capacité en ductilité moyennement faible, ce système satisfait à n'importe quelle demande sismique

3. Critères de classification des systèmes de contreventement selon le R.P.A en fonction de la capacité en résistance et en ductilité [7]

La figure.1.7 montre les différents systèmes de contreventement proposés le Règlement parasismique Algérien R.P.A99/2003 avec les valeurs attribuées au coefficient de comportement R:

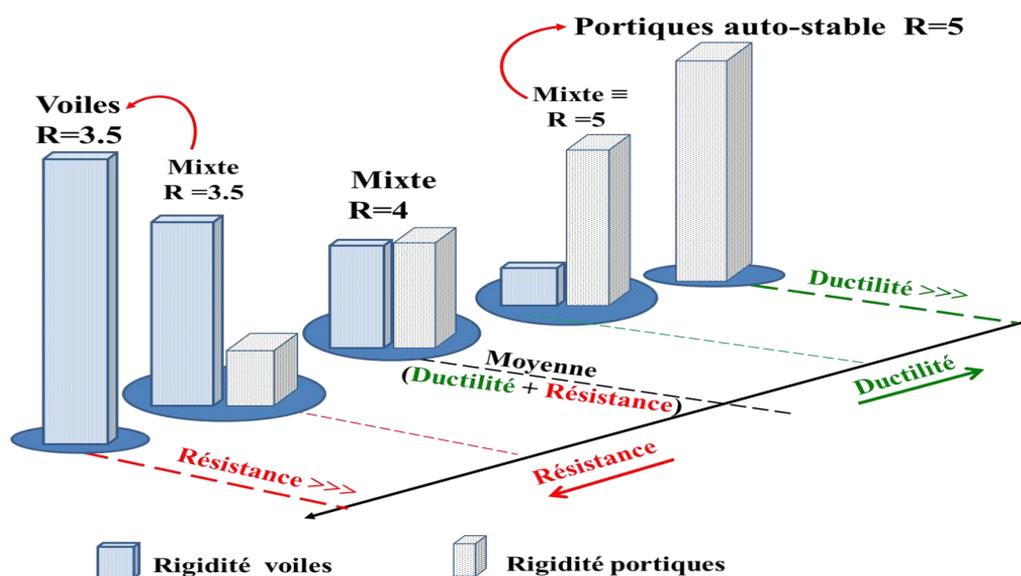


Fig.1. 7 : les différents systèmes de contreventement du RPA avec les valeurs attribuées au coefficient de comportement R

3.1. Système 1: Les structures en portiques

C'est une ossature constituée uniquement de portiques capables de reprendre la totalité des sollicitations dues aux charges verticales et horizontales. Pour cette catégorie, les éléments de remplissage ne doivent pas gêner les déformations des portiques (cloisons désolidarisées ou cloisons légères dont les liaisons ne gênent pas le déplacement des portiques).

La valeur du coefficient de comportement R attribué à ce système est $R=5$. Par ailleurs les bâtiments concernés ne doivent pas dépasser 7 niveaux ou 23 m en zone I, 5 niveaux ou 17m en zone II et 2 niveaux ou 8m en zone III.

3.2. Système 4.a: Contreventement mixte assuré par des voiles et des portiques avec justification d'interaction portiques -voiles

Les voiles de contreventement doivent reprendre au plus 20% des sollicitations dues aux charges verticales. Les charges horizontales sont reprises conjointement par les voiles et les portiques proportionnellement à leurs rigidités relatives ainsi que les sollicitations résultant de leurs interactions à tous les niveaux.

Les portiques doivent reprendre, outre les sollicitations dues aux charges verticales, au moins 25% de l'effort tranchant d'étage.

La valeur du coefficient de comportement R attribué à ce système est $R=5$.

3.3. Système 4.b: Contreventement de structures en portiques par des voiles en béton armé.

Dans ce cas les voiles reprennent au plus 20% des sollicitations dues aux charges verticales et la totalité des sollicitations dues aux charges horizontales. On considère que les portiques ne reprennent que les charges verticales. Toutefois, en zone sismique III, il y a lieu de vérifier les portiques sous un effort horizontal représentant 25% de l'effort horizontal global. La valeur du coefficient de comportement R attribué à ce système est $R=4$.

Avec ce système de contreventement les bâtiments sont limités en hauteur à 10 niveaux ou 33m au maximum

3.4. Système 2: Contreventement constitué par des voiles porteurs en béton armé

Le système est constitué de **voiles uniquement** ou de **voiles et de portiques**. Dans ce dernier cas les voiles reprennent plus de 20% des sollicitations dues aux charges verticales. On considère que la sollicitation horizontale est reprise uniquement par les voiles. La valeur du coefficient de comportement R attribué à ce système est $R=3.5$.

Présentation des Structures étudiées

Ce chapitre sera consacré à la présentation de l'ouvrage, ou on va exposer les caractéristiques: géométriques, structurelles de l'ouvrage et les matériaux utilisées, ainsi que les références du calcul pour les structures étudiées.

Le pré dimensionnement des éléments, tels que les planchers, poutres, poteaux et les voiles seront présentés aussi dans ce chapitre,

Des classifications nécessaires pour l'étude sismique seront présentés à savoir, le choix de la méthode, des paramètres de calcul des forces sismiques : la zone sismique, groupe d'usage, site, le système de contreventement et la régularité de la structure.

1. Présentation des structures étudiées

On propose dans ce projet trois structures types de bâtiment en béton armé; ces structures ont **6 niveaux (R+5), 9 niveaux (R+8) et 12 niveaux (R+11)** sur une emprise au sol de **222.44m²** :

1.1. Caractéristiques géométriques

Tableau.2. 1: Caractéristiques géométriques de structures étudiées

En élévation	Hauteur totale de la super- structure R+11	37.74m
	Hauteur totale de la super- structure R+8	28.56m
	Hauteur totale de la super- structure R+5	19.38m
	Hauteur du RDC (Commerce)	4.08 m
	Hauteur de l'étage courant (Habitation)	3.06 m
En plan	Longueur total.....	13.4 m
	Largeur total.....	16.6 m

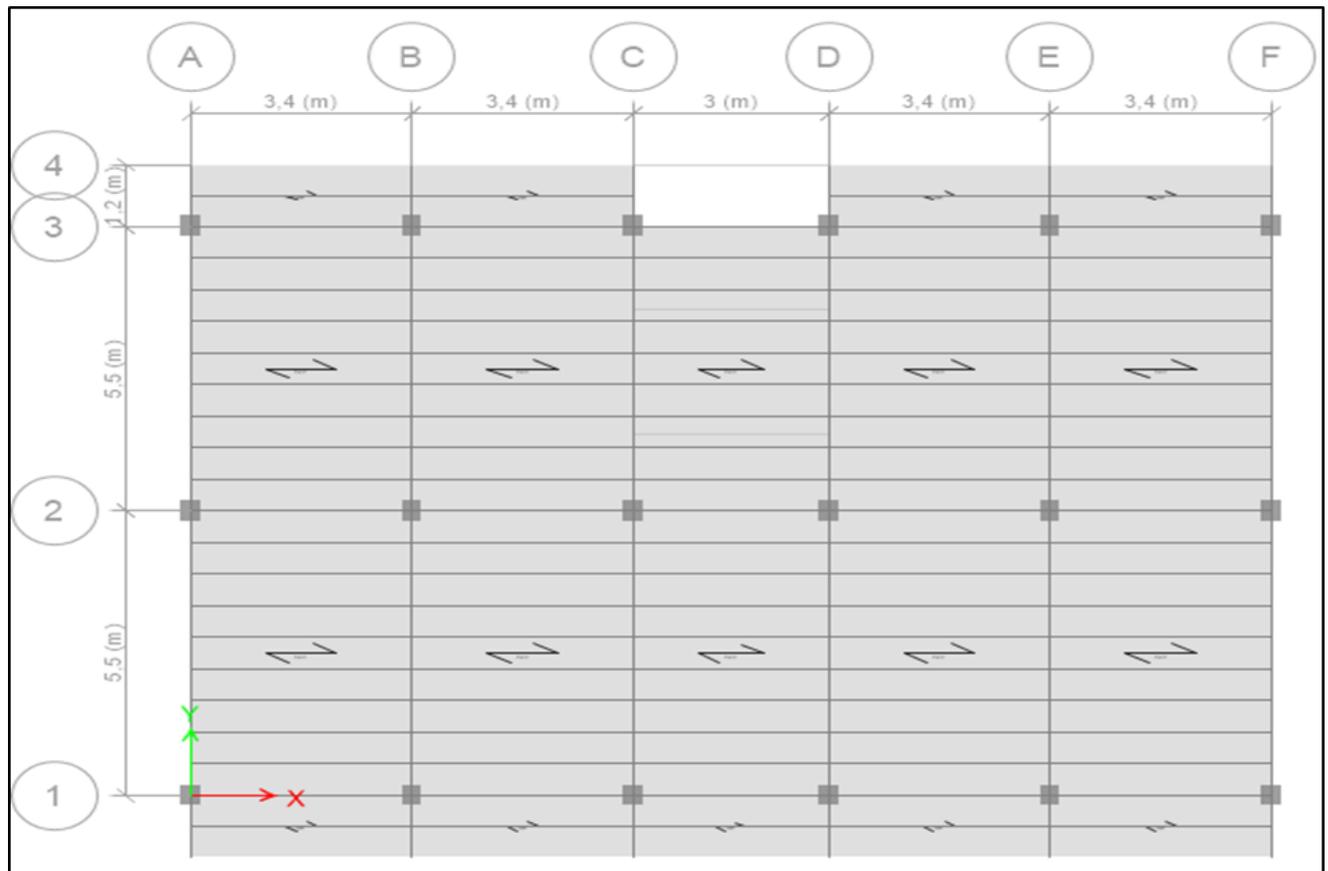


Fig.2. 1:vue en plan pour les trois types de structures a étudiées

1.2. Caractéristiques des matériaux

1.2.1. Béton

Le béton est un matériau constitué par le mélange, dans les proportions convenables de ciment, de granulats (sables et gravillon) et de l'eau et éventuellement de produits d'addition et adjuvants,

1.2.2. Acier

Le matériau acier est un alliage Fer et Carbone en faible pourcentage, est un matériau caractérisé par une bonne résistance aussi bien en traction qu'en compression ; Sa bonne adhérence au béton, en constitue un matériau homogène.

Le module d'élasticité longitudinal de l'acier est pris égale à : $E_s=200\ 000\ \text{MPa}$.

Tableau.2. 2 : résumé des caractéristiques des matériaux utilisés

Matériaux	Caractéristiques mécaniques	Valeurs	Exigences de RPA
Béton	Fc28	25	Min Fc28=20 Max Fc28=45
	Fbu	14.2	
	σ_{bc}	1.5	
	E_{i28}	32164.2	
	E_{v28}	32456.6	
acier	Fe	400	
	Es	$2 \cdot 10^5$	
Unité		MPA	

1.3. Caractéristiques structurelles

Le pré dimensionnement des éléments, tels que les planchers, poutres, poteaux et les voiles est fait conformément au règlement appliqué en Algérie.

1.3.1. Les planchers

Dans notre projet, on a choisi des planchers en corps creux, il est constitué de:

- Corps creux : dont le rôle est le remplissage, il n'a aucune fonction de résistance;
- Poutrelles : éléments résistants du plancher;
- Dalle de compression : c'est une dalle en béton armé, sa hauteur varie de 4 à 6 cm.

La hauteur du plancher est conditionnée par le critère de déformation (**B.6.8.4.2.4/CBA 93**) :

$$H_t \geq \frac{L_{\max}}{22.5} = \frac{340 - 35}{22.5} = \frac{295}{22.5} = 13.22\text{cm}$$

Avec : L_{\max} : Travée maximale de la poutrelle mesurée entre nus d'appuis (figure.3.3)

H_t : Hauteur totale du plancher.

$H_{dalle.C} = 16cm$: Hauteur du corps creux.

$H_{corps.C} = 4cm$: Hauteur de la dalle de compression.

Donc on adopte un plancher de hauteur ($h_t = H_{dalle.C} + H_{corps.C} = 16 + 4 = 20cm$).

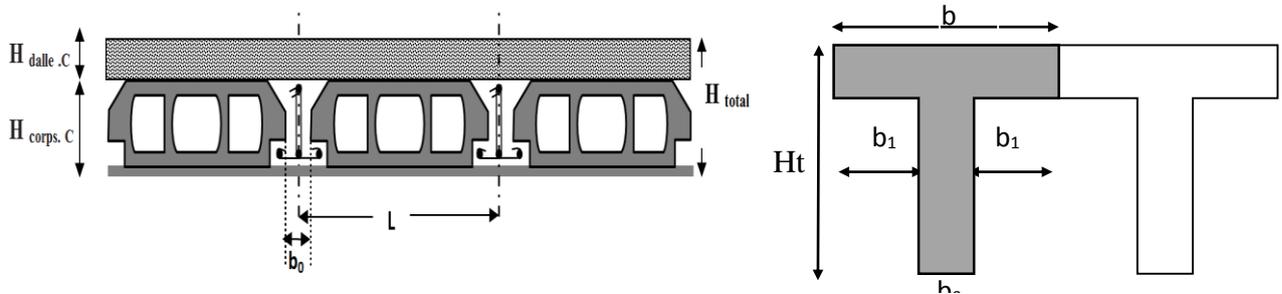


Fig.2. 2 : Coupe transversale sur un plancher

Les Charges et les surcharges pour le plancher : (DTR.BC.2.2)

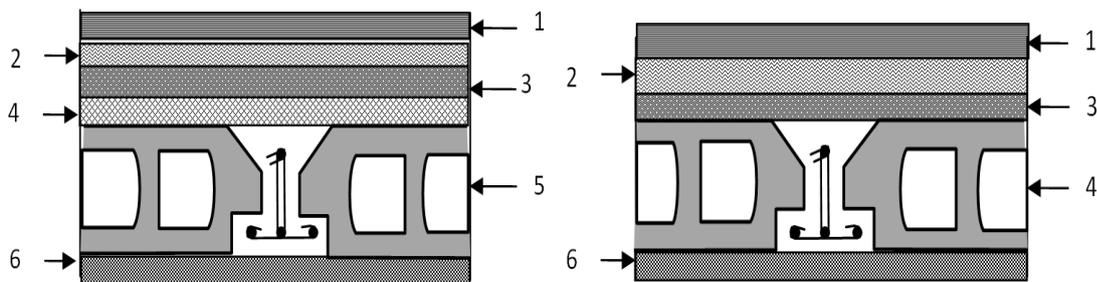


Fig.2. 3 : Coupe transversale d'un plancher terrasse inaccessible et étage courant

Tableau.2. 3: Charge et surcharge des planchers

Plancher	Référent désignation	Poids volumique (KN/m ³)	Epaisseurs (m)	Poids G (KN/m ²)	Surcharges Q (KN/m ²)
Terrasse inaccessible	1.Gravillon de protection	17	0.05	0.85	1
	2.Etanchéité multicouches	6	0.02	0.12	
	3.Forme de pente	10	0.01	0.1	
	4.Isolation thermique	22	0.1	2.2	
	5.Plancher à corps creux (16+4)	/	/	2.8	
	6.Enduit de plâtre	4	0.04	0.16	
Total :				6,23	1
Plancher corps creux	1. Revêtement en carrelage	22	0.02	0.44	/
	2. Mortier de pose	20	0.02	0.4	
	3. Lit de sable	18	0.02	0.36	
	4. Plancher à corps creux (16+4)	/	/	2.8	

	5. Enduit de plâtre	10	0.02	0.2	
	6. Cloison de distribution	10	0.1	1	
	Total :			5.2	$Q_{courant}=1.5$

Les surcharges d'exploitations :

- Terrasse inaccessible $Q= 1 \text{ KN} / \text{m}^2$
- Plancher habitation $Q= 1,50 \text{ KN} / \text{m}^2$

1.3.2. La maçonnerie

Elle joue un rôle important dans la séparation ainsi l'isolation thermique et phonique du bâtiment.

La Maçonnerie extérieurs (double cloison)

- Brique creuse de 10 cm
- L'âme d'air de 5cm d'épaisseur
- Brique creuse de 10cm

La Maçonnerie intérieurs (simple cloison)

- Brique creuse de 10 cm

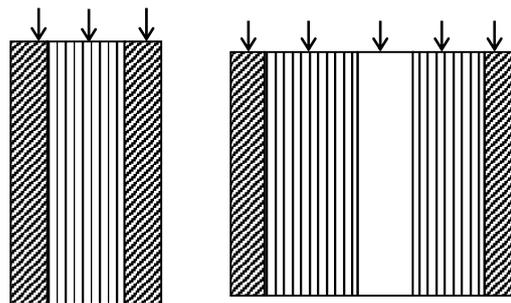


Fig.2. 4 : Coupe transversale d'un mur extérieur et intérieur

Les Charges et surcharge pour la maçonnerie : (DTR.BC.2.2)

Tableau.2. 4 : Charge et surcharge murs

Type de murs	Référent / Désignation	Poids volumique (KN/m ³)	Epaisseurs (m)	Poids G (KN/m ²)
Murs extérieurs	1. Enduit de ciment	20	0.02	0.4
	2. Brique creuse	9	0.15	1.35
	3. lame d'aire	/	0.05	/
	4. Brique creuse	9	0.1	0.9
	5. Enduit de plâtre	14	0.02	0.28
	Total :			2.93
Murs intérieurs	1. Enduit de plâtre	14	0.02	0.28
	2. Brique creuse	9	0.1	0.9
	3. Enduit de plâtre	14	0.02	0.28
	Total :			1.46

1.3.3 L'Escalier

Pour tous les étages habitation, il y a un seul type d'escalier : une volée avec un palier (de repos)

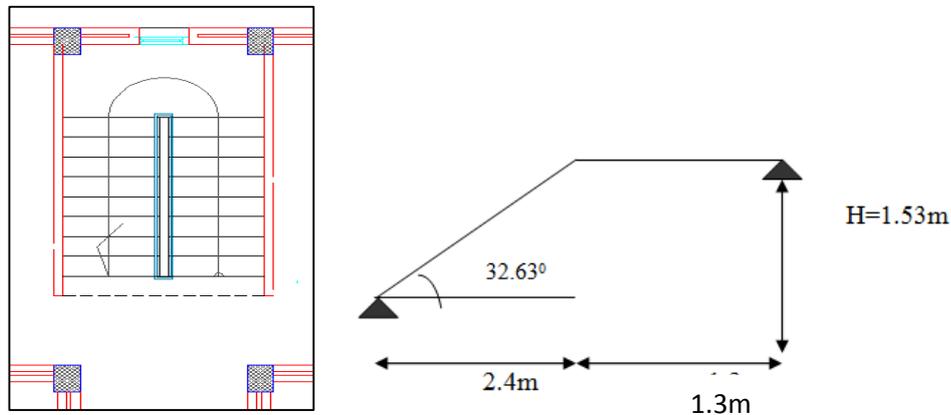


Fig.2. 5 : Schéma représentatif de l'escalier

L'épaisseur de l'escalier doit vérifier :

$$\frac{L}{30} \leq e \leq \frac{L}{20} \Rightarrow \frac{404}{30} \leq e \leq \frac{404}{20} \Rightarrow 11.46\text{cm} \leq e \leq 20.2\text{cm}$$

Avec :

L est la longueur développée = $L_v + L_p$

$$L_v : \text{Longueur de la volée} = L = \sqrt{2.4^2 + 1.53^2} = 2.85\text{m}$$

L_p : Longueur du palier d'arrivé= 1.3m

$$L = 2.85 + 1.3 = 4.15\text{m}$$

$$\frac{L}{30} \leq e \leq \frac{L}{20} \Rightarrow \frac{415}{30} \leq e \leq \frac{415}{20} \Rightarrow 13.8\text{cm} \leq e \leq 20.75\text{cm}$$

$e \geq 11\text{cm}$ pour deux heures de coupe-feu. → **Donc on prend une épaisseur de 14cm.**

Les Charges et les surcharge pour l'escalier :(DTR.BC.2.2)

Tableau.2. 5 : Charge et surcharge Escalier (paillasse et palier)

Désignation		Poids volumique (KN/m ³)	Epaisseur(m)	G (KN/m ²)	Q (KN/m ²)
Paillasse					
Volée		25/cosa	0.14	4.22	2.50
Les marches		22	/	1.87	
Carrelage	horizontal	22	0.02	0.44	
	Vertical	22	/	0.25	
Mortier de pose	horizontal	20	0.02	0.40	
	vertical	20	/	0.22	
Enduit de plâtre		18	0.015	0.32	
Total :				7.72	

Palier			
Palier	25	0.14	3.5
Carrelage	22	0.02	0.44
Mortier de pose	20	0.02	0.4
Lit de sable	18	0.02	0.36
Enduit de plâtre	14	0.02	0.28
Total			4.98

1.3.4. Les poutres

Le Pré dimensionnement des poutres se fait selon le BEAL91 ainsi le RPA99/2003, selon les conditions suivantes :

Tableau.2. 6 : Pré dimensionnement des poutres

	Selon RPA 99 version 2003				
	Hauteur			Largeur	h/b
	$h \geq 30$			$b \geq 20$	$\frac{h}{b} \leq 4$
	Pré dimensionnement des poutres				
	L_{max}	$\frac{L_{max}}{10}$	$\frac{L_{max}}{15}$	$h_{choisis}$	$b_{choisis}$
Poutre principale	505	50.5	33.66	45	30
Poutre secondaire	295	40	16	40	30

1.3.3. Les voiles

L'épaisseur du voile doit être déterminée en fonction de la hauteur libre d'étage et des conditions de rigidité aux extrémités. Les dimensions des voiles doivent satisfaire les conditions suivantes (A 7.7.1/R.P.A 99/03) :

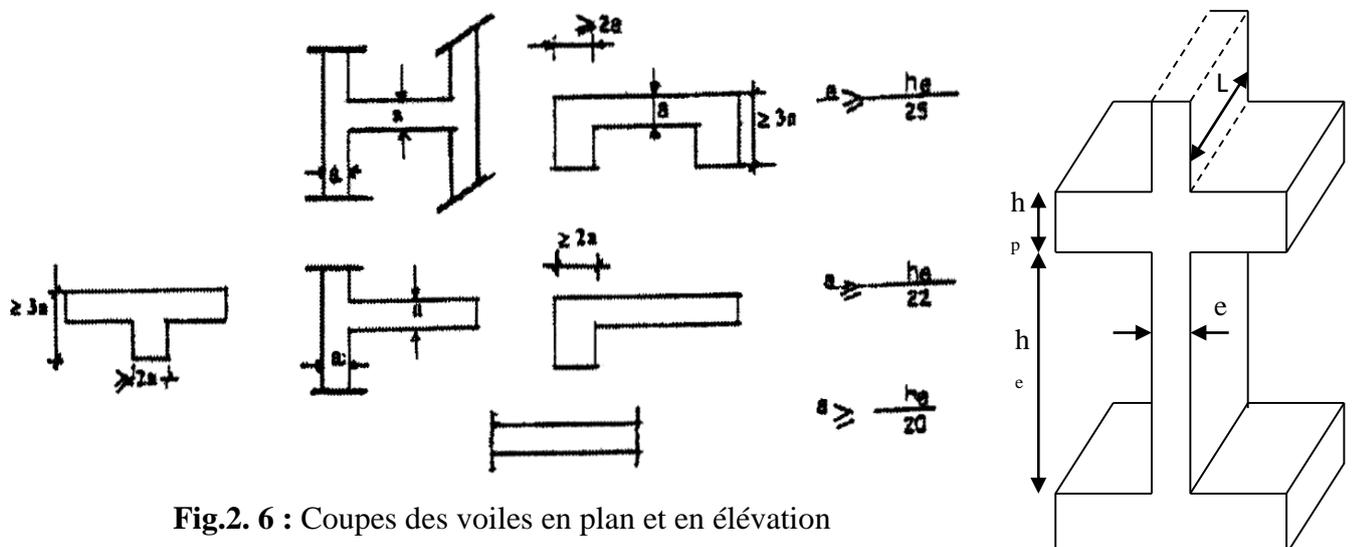


Fig.2. 6 : Coupes des voiles en plan et en élévation

Les dimensions des voiles doivent satisfaire les conditions suivantes :

$$e \geq 15 \text{ cm} \dots\dots\dots(1).$$

$$e \geq (h_e / 20, h_e / 22, h_e / 25) \dots\dots\dots(2). \text{ RPA (article 7.7.1)}$$

$$L \geq 4 e \dots\dots\dots(3).$$

He : Hauteur libre d'étage

Dans notre projet la hauteur libre d'étage est la même dans tous les étages donc :

$$h_e = h_{\text{etage}} - h_{\text{poutre}} = 306 - 40 = 368 \text{ cm}.$$

e : Epaisseur du voile et L : Longueur du voile.

→ On adopte pour tous les voiles une épaisseur de : $e = 20 \text{ cm}$

1.3.4. Les poteaux

Ce sont des éléments en béton armé, rectangulaire et circulaire, destiné à transmettre des charges aux fondations, le pré dimensionnement des poteaux se fait à la compression centrée

Selon les règles du BAEL91 (art B.8.4, 1), en appliquant les critères de résistance et le critère de stabilité de forme et suivant les exigences du RPA 99 version 2003.

On fixera les dimensions des poteaux après avoir effectué la descente de charge, tout en vérifiant les recommandations du RPA99.

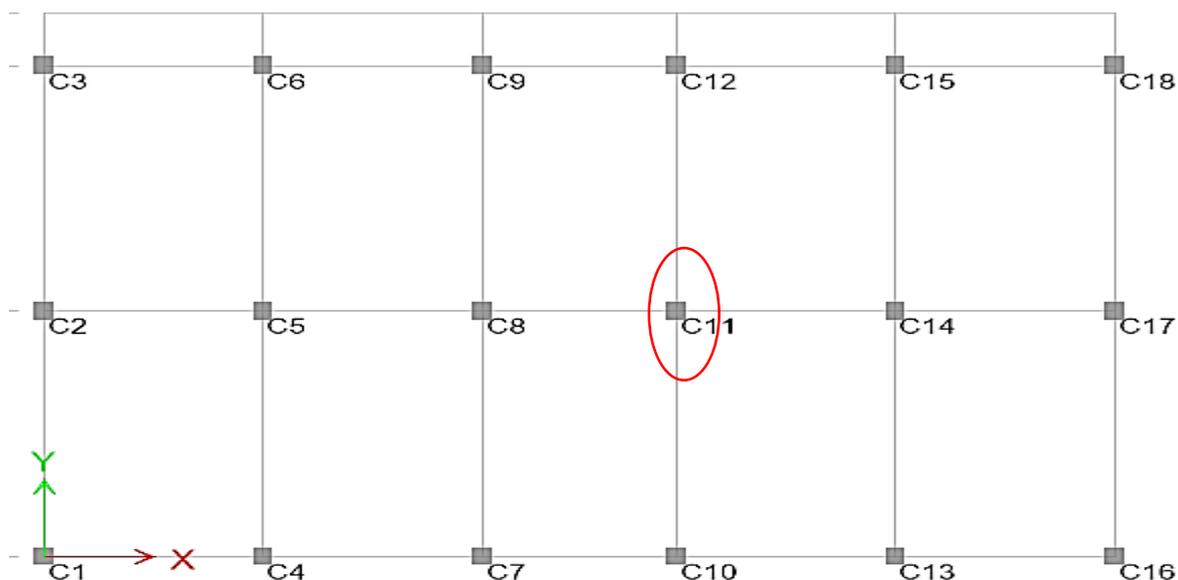


Fig.2. 7 : Poteau le plus sollicité

Il préconise de prendre la section réduite en laissant 1cm de chaque côté. tel que :

$$N_u \leq \alpha \times ((B_r \times f_{c28} / 0.9 \times \gamma_b) + (A \times f_e / \gamma_s)) \quad \text{(B.8.4.1/C.B.A93)}$$

α : Coefficient dépendant de l'élançement mécanique λ des poteaux:

$$\begin{cases} \alpha = 0.85 / (1 + 0.2 \times (\lambda/35)^2) & \lambda \leq 50 \\ \alpha = 0.60 \times (50 / \lambda)^2 & 50 < \lambda \leq 70 \end{cases}$$

λ : est égale à 35 pour être toujours dans la compression centrée suivant le même article,

d'où : $\alpha = 0.85 / (1 + 0.2 \times 1) = 0.708$

Puisque la structure comporte plus de 5 étages; suivant l'article 6.3 de D.T.R.BC2.2: loi de dégression des charges en fonction du nombre d'étages est applicable :

$$\sum_0 = Q_0 = 1 \text{ KN/m}^2$$

$$\sum_1 = Q_0 + Q_1 = 2,5 \text{ KN/m}^2$$

$$\sum_2 = Q_0 + 0.95 (Q_1 + Q_2) = 3,85 \text{ KN/m}^2$$

$$\sum_3 = Q_0 + 0.9 (Q_1 + Q_2 + Q_3) = 5.05 \text{ KN/m}^2$$

$$\sum_4 = Q_0 + 0.85 (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4) = 6.10 \text{ KN/m}^2$$

$$\sum_n = Q_0 + \frac{3+n}{2n} (Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n) \text{ pour } n \geq 5$$

On suppose les sections suivantes pour les poteaux ; ces sections de poteaux seront vérifiées ultérieurement dans la partie étude sismique (effort normal réduit)

Tableau.2. 7 : sections des poteaux proposés

Niveaux	R+11	R+8	R+5
9.10.11	30X40	/	/
6.7.8	35X45	30X40	/
3.4.5	45X50	35X45	30X40
1.2	50X55	40X50	35X45
RDC	55x60	50x50	40x45

La figure suivante montre Section de poteaux proposés pour les deux structures R+5, R+8 et R+11

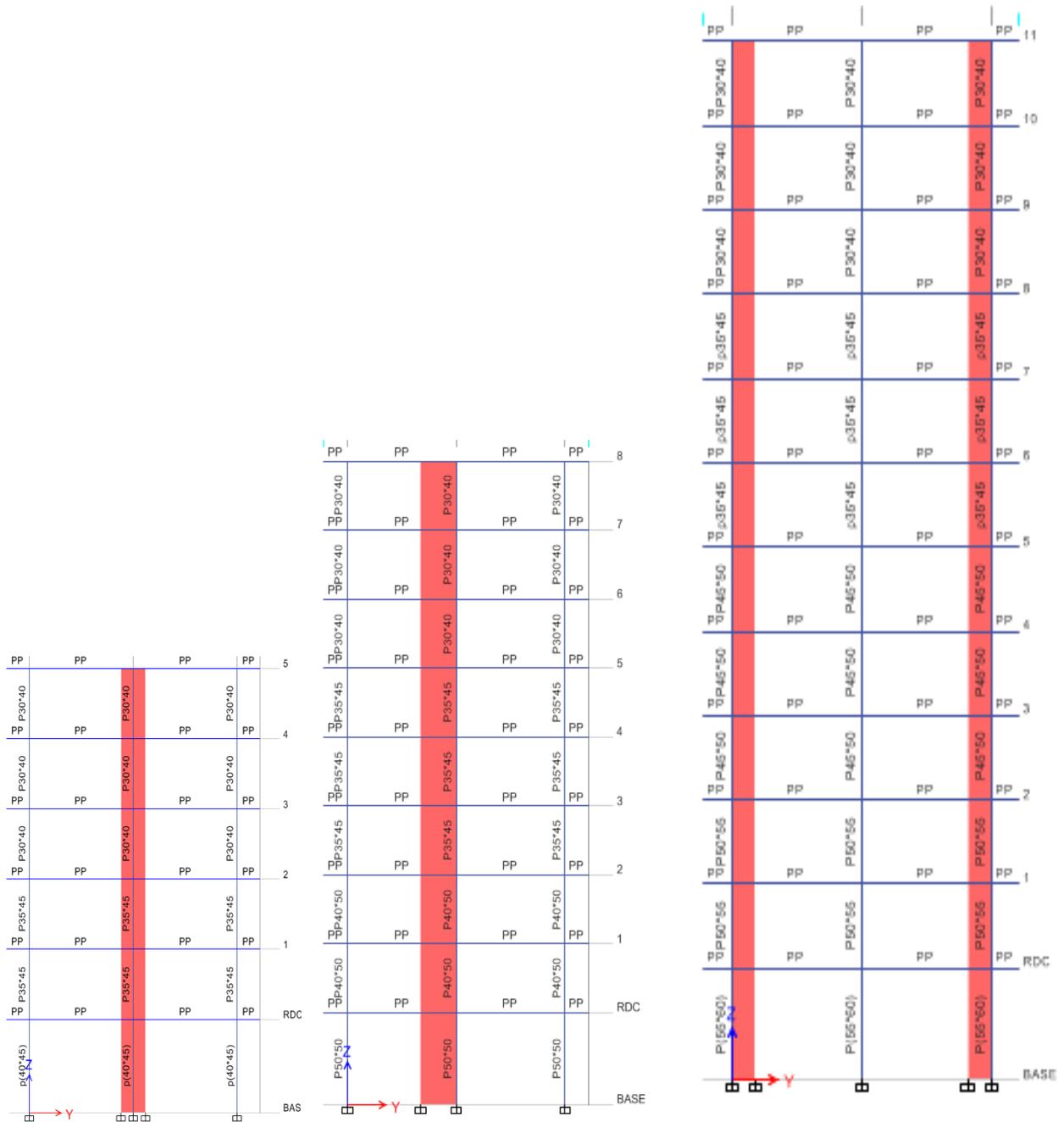
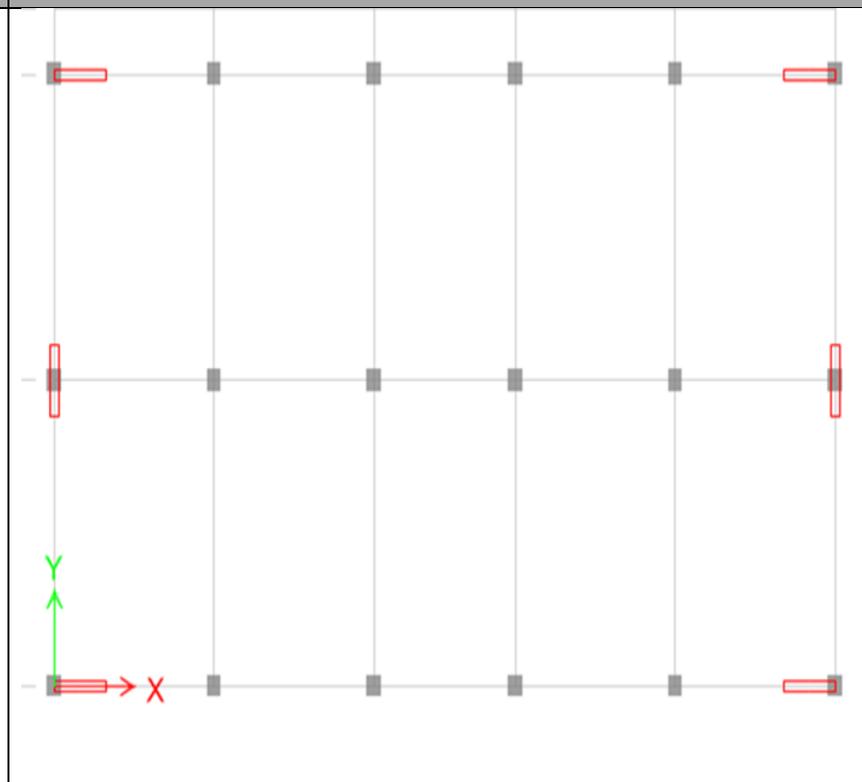
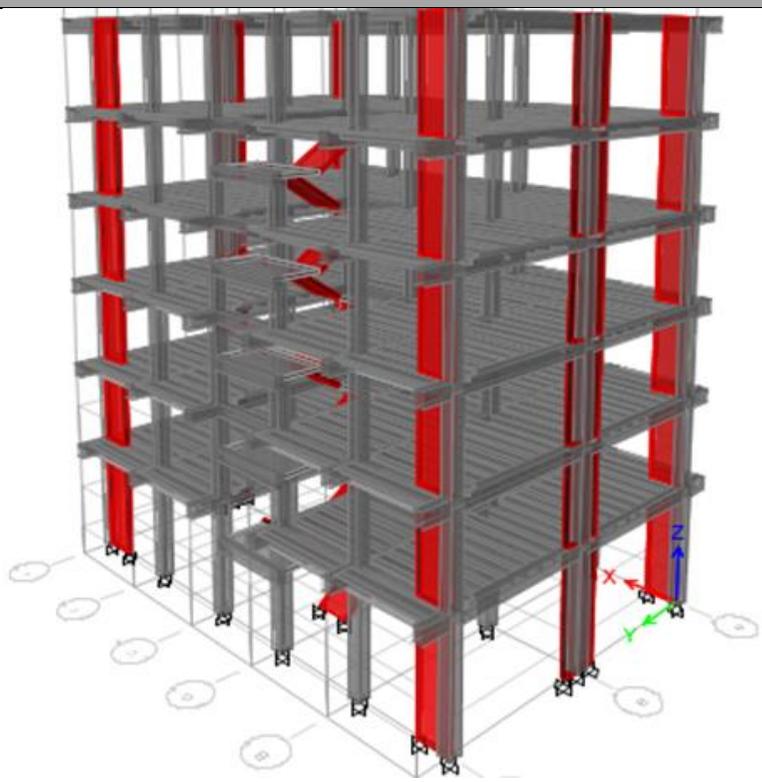


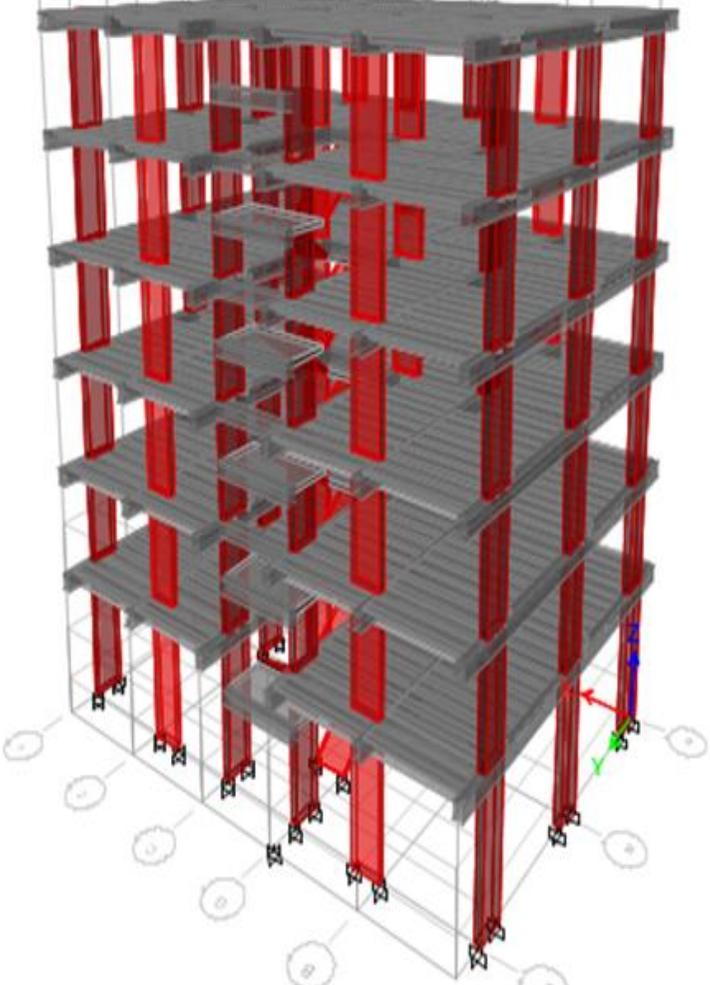
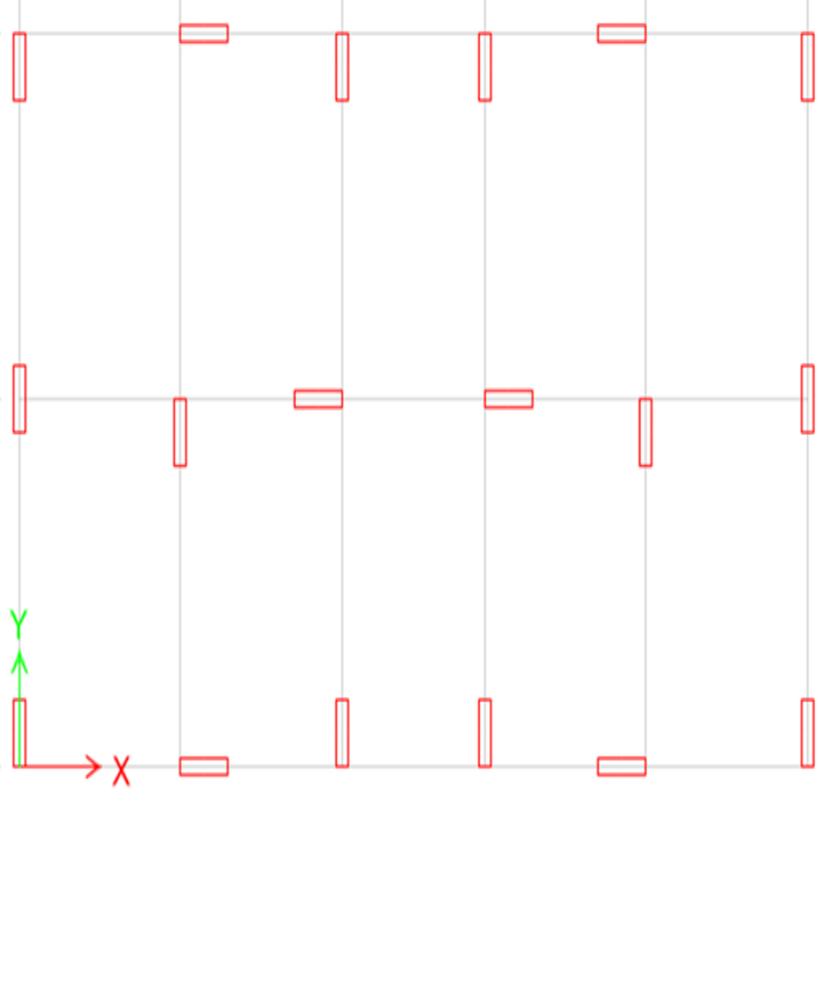
Fig.2. 8 : Section de poteaux proposés pour les trois structures R+5, R+8et R+11

Le tableau 2.10 : résume les Caractéristiques géométriques et structurales des structures a étudiées

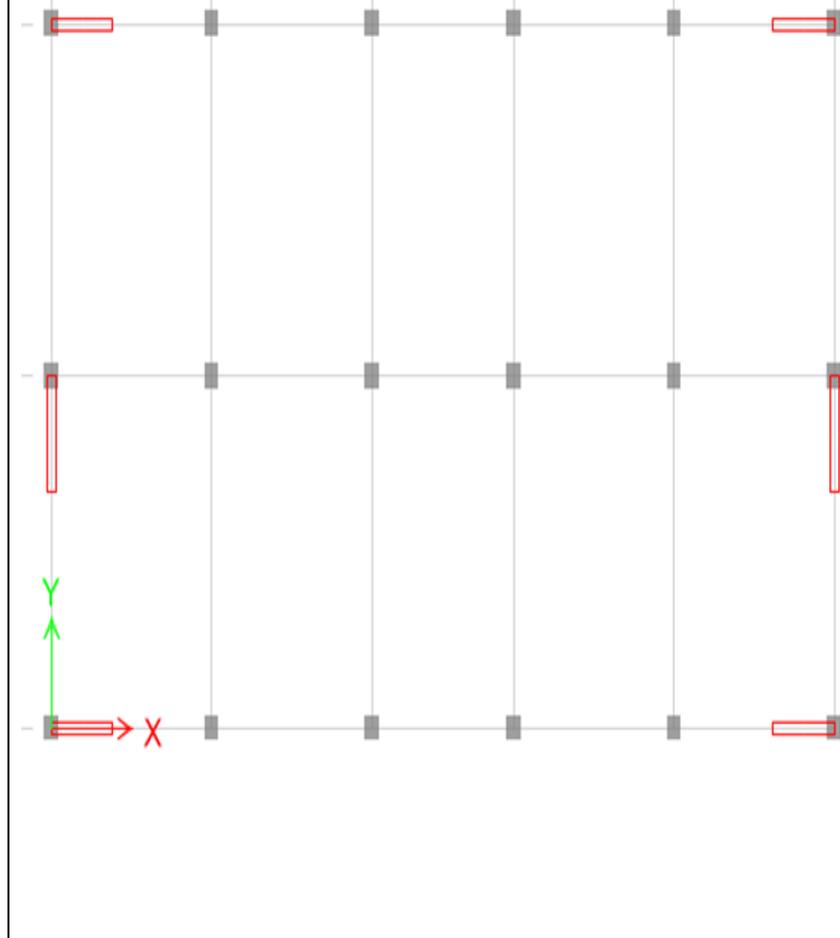
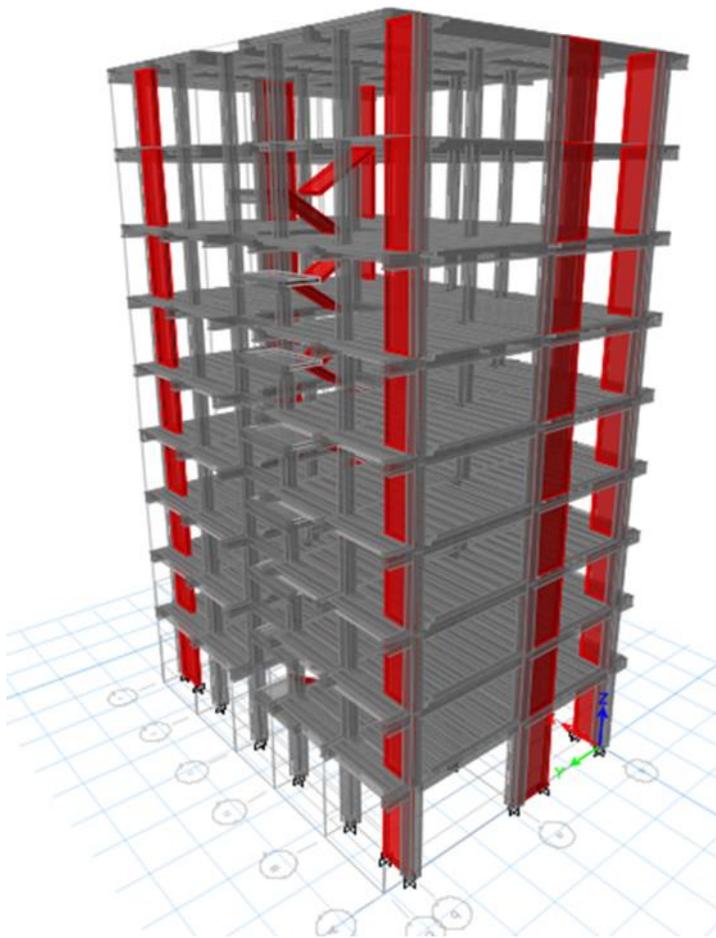
Tableau.2. 8: Caractéristiques géométriques et structurales des structures a étudiées

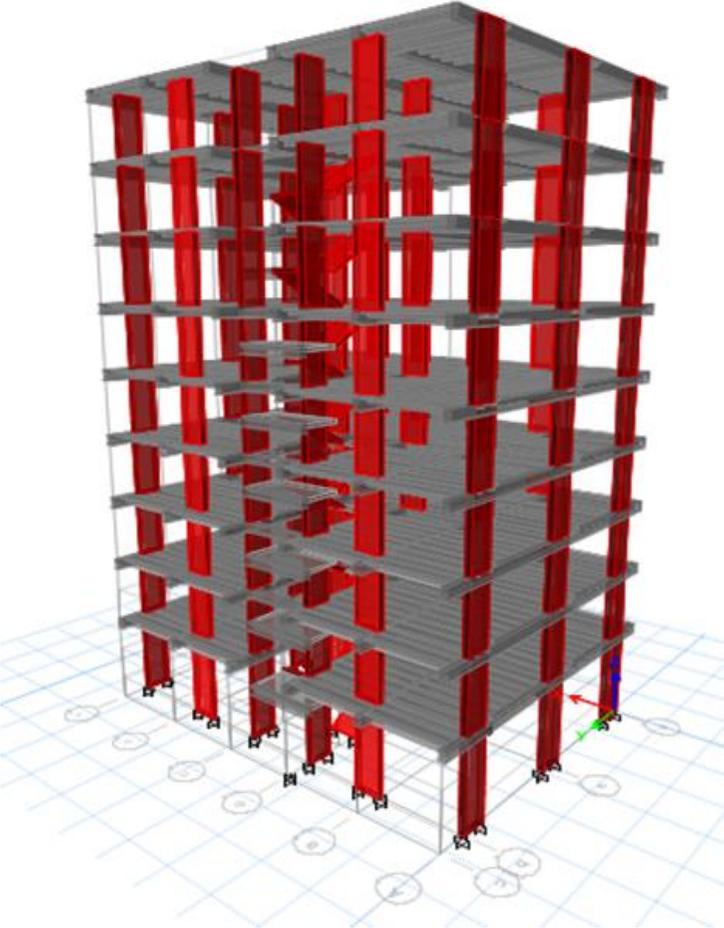
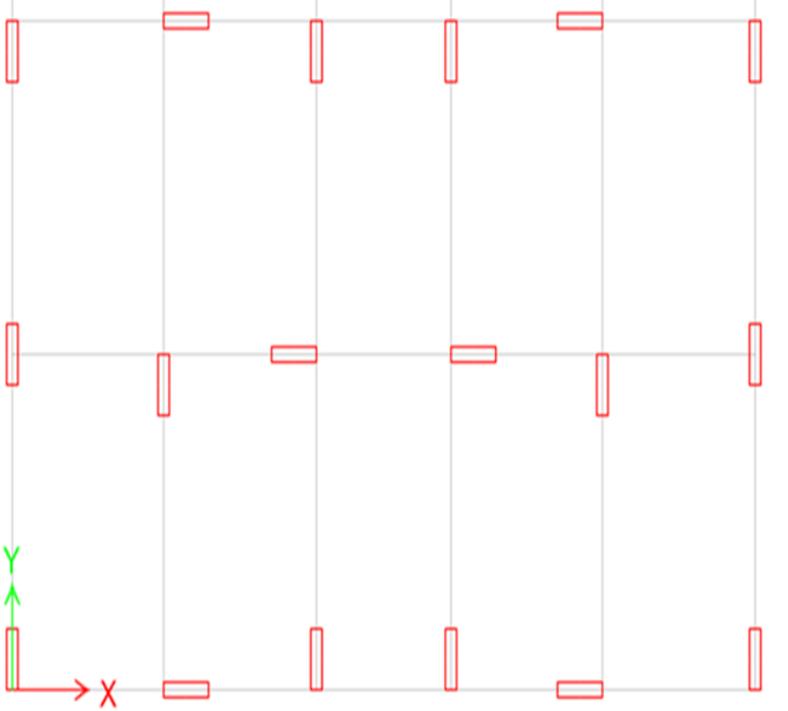
5S- ZIIa- 5 et 5S- ZIII- 5 (*)	
Voiles –portiques Avec justification de l’interaction	
systeme	
Eléments linéaires	
Vue en 3D	
Vue en plan	
poutres	Principale:(30*45) Secondaire:(30*40)
poteaux	RDC: (40*45) Etages 1-2: (35x45) Etages 3-4- 5:(30x40)
Eléments surfaciques	
Voiles	$E_p = 20 \text{ cm}$
Planchers corps creux	$E_p = (16+4) \text{ cm}$
Palier avec pailleasse	$E_p = 14\text{cm}$
<p>(*) :1^{er} indice indique le nombre de niveaux , 2^{emme} indice indique la zone sismique et le dernier indice désigne la valeur attribuée au coeficient de comportement. (Exemple : 11S-ZIIa-3.5 désigne :11 niveaux-zone IIa –R=3.5)</p>	

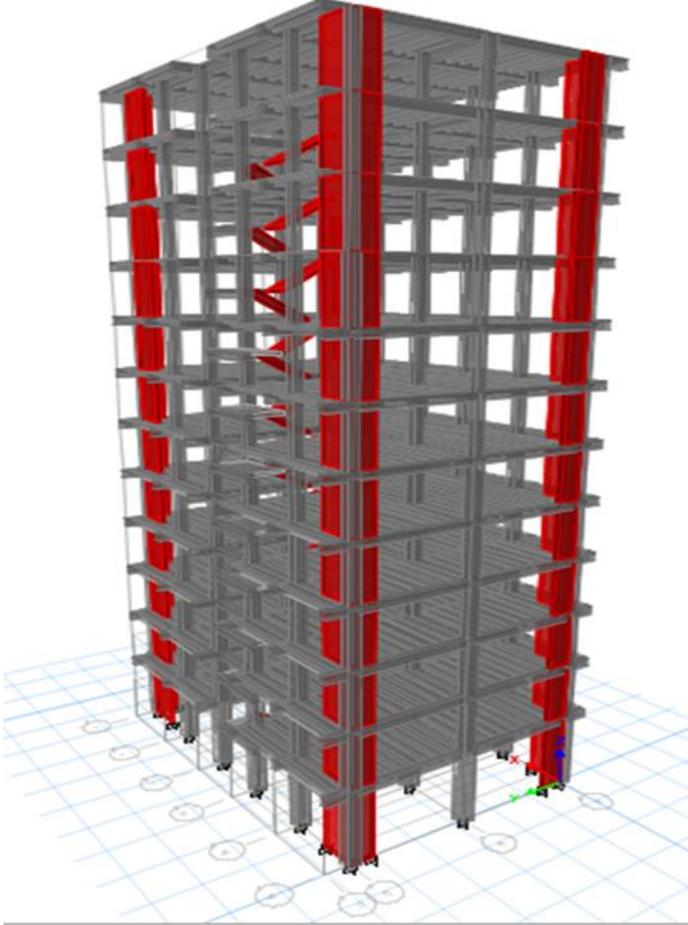
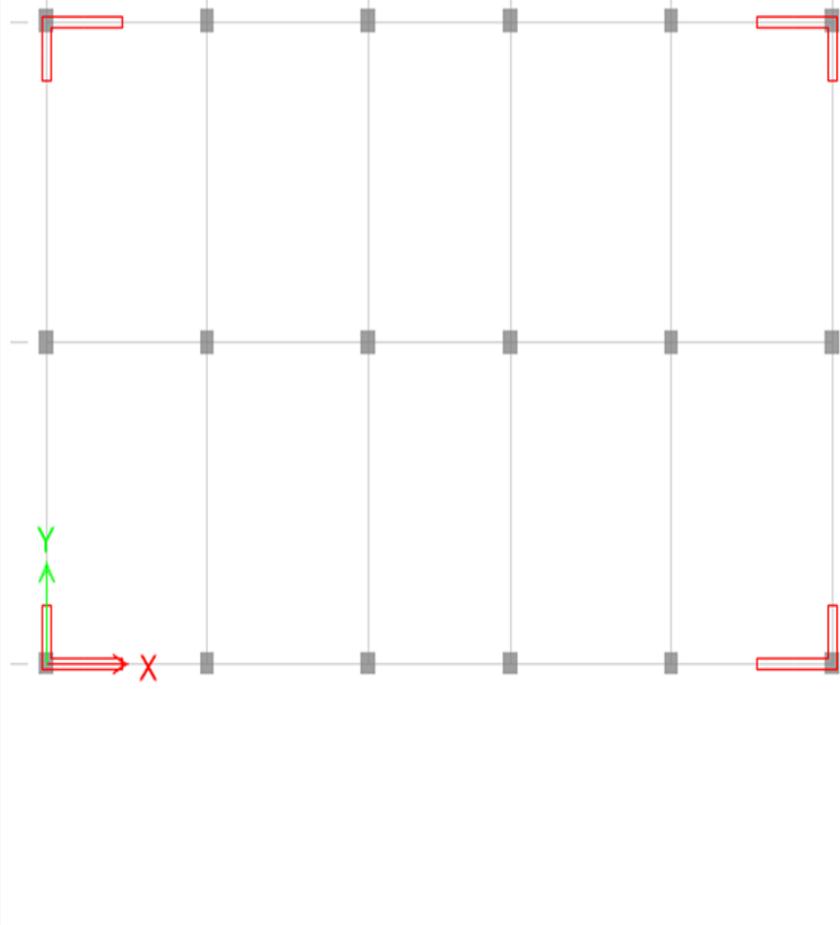


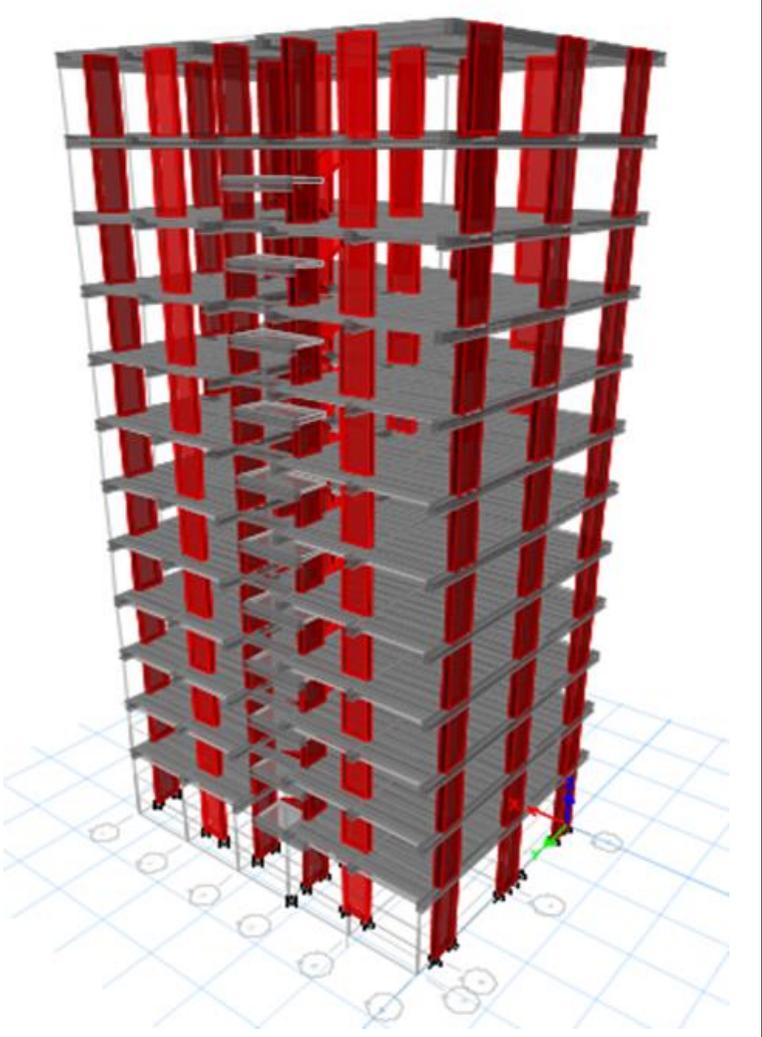
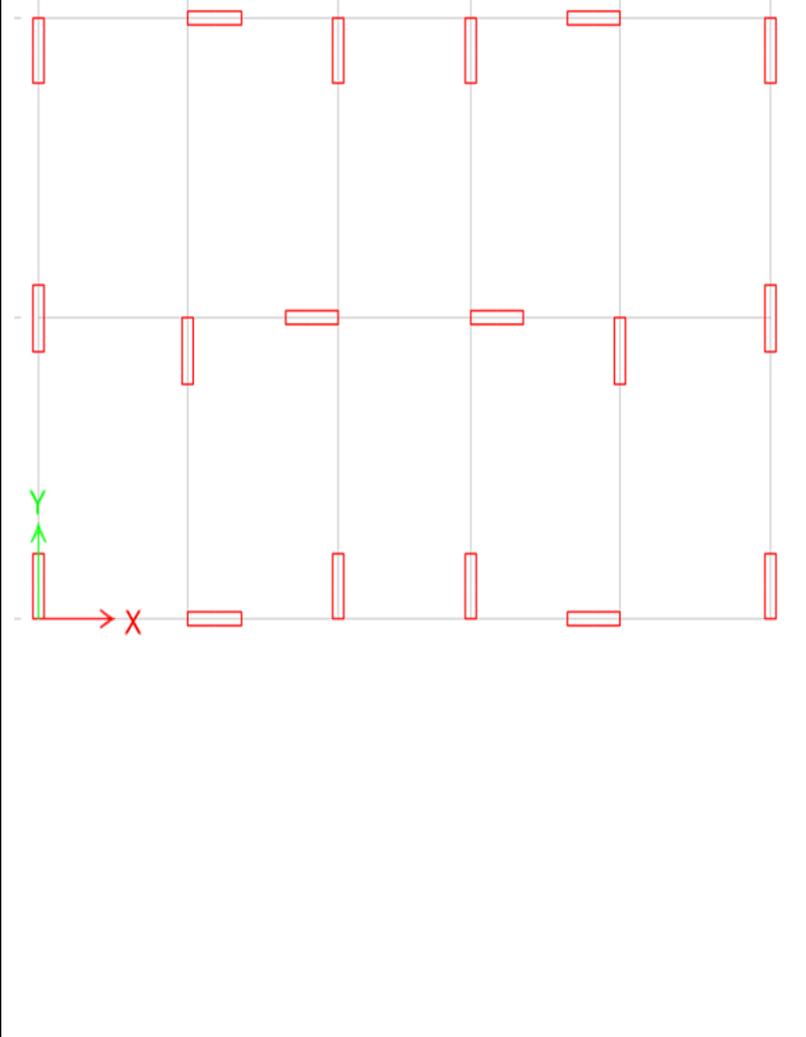
		5S-ZIIa-3.5 et 5S-ZIII-3.5 (*)	
système		Voiles –porteurs	
		Vue en 3D	Vue en plan
Eléments linéaires			
poutres	Principale:(25*45)		
	Secondaire:(25*40)		
Eléments surfaciques			
Voiles	$E_p = 25 \text{ cm}$		
Planchers corps creux	$E_p = (16+4) \text{ cm}$		
Palier avec paille	$E_p = 14\text{cm}$		

8S- ZIIa- 5 et 8S- ZIII- 5 (*)	
système	
Voiles –portiques Avec justification de l'interaction	
Vue en 3D	
Vue en plan	
Eléments linéaires	
poutres	Principale:(30*45)
	Secondaire:(30*40)
poteaux	RDC: (50*50)
	Etages 1-2: (40*50)
	Etages 3- 4- 5:(35*40)
	Etages 6-7-8 : (30*40)
Eléments surfaciques	
Voiles	$E_p = 20 \text{ cm}$
Planches corps creux	$E_p = (16+4) \text{ cm}$
Palier avec paillasse	$E_p = 14\text{cm}$



8S- ZIIa- 3.5 et 8S- ZIII- 3.5 (*)	
Voiles –porteurs	
système	
Vue en 3D	
Vue en plan	
Eléments linéaires	
poutres	Principale:(25*45) Secondaire:(25*40)
Eléments surfaciques	
Voiles	$E_p = 25 \text{ cm}$
Planches corps creux	$E_p = (16+4) \text{ cm}$
Palier avec paillasse	$E_p = 14\text{cm}$
	
	

11S- ZIIa- 5 et 11S- ZIII- 5 (*)	
système	Voiles –portiques Avec justification de l'interaction
Vue en 3D	
Vue en plan	
Eléments linéaires	
poutres	Principale:(30*45)
	Secondaire:(30*40)
poteaux	RDC: (55x60)
	Etages 1-2: (50*55)
	Etages 3- 4- 5:(45*50)
	Etages 6-7-8 :(35*45)
Etages9-10-11 :(30*40)	
Eléments surfaciques	
Voiles	$E_p = 20 \text{ cm}$
Planche rs corps creux	$E_p = (16+4) \text{ cm}$
Palier avec paillasse	$E_p = 14\text{cm}$
	
	

11S- ZIIa- 3.5 et 11S- ZIII- 3.5 (*)	
système	
Voiles –porteurs	
Vue en 3D	
Vue en plan	
Eléments linéaires	
poutres	Principale:(25*45) Secondaire:(25*40)
Eléments surfaciques	
Voiles	Ep = 25 cm
Planches corps creux	Ep = (16+4) cm
Palier avec paillasse	Ep = 14cm
	
	

1.4. Référence de calcul

DTR : BC2.48: Règlement parasismique algérien "R.P.A 99 / 03"

DTR : BC2.41: Règles de conception et de calcul des structures en béton armé" C.B.A93 "

DTR.BC.2.2: Charges permanentes et charges d'exploitation

B.A.E.L91: Béton armé aux états limites ultimes

2. Classification de l'ouvrage selon le règlement parasismique algérienne RPA99/2003

Des classifications nécessaires à la définition de la situation sismique étudiée et au choix de la méthode et des paramètres de calcul des forces sismiques. À savoir, la zone sismique, groupe d'usage, site, le système de contreventement et la régularité de la structure.

2.1. Zone sismique (A3.1./RPA99/2003)

Selon la carte des zones sismiques de l'Algérie et le zonage global des différentes wilayas (l'annexe I), on a choisi comme exemple de calcul deux zones sismique: **faible sismicité (IIa)** et **forte sismicité (III)** dans le but d'analyser l'effet de la zone sismique.

2.2. Importance de l'ouvrage (A3.2./RPA99/2003)

Pour les bâtiments d'habitation collective ou à usage de bureaux dont la hauteur ne dépasse pas 48 m sont classées comme des ouvrages courants (**importance moyenne : Groupe 2**).

2.3. Site (A3.3./RPA99/2003)

Le site sélectionné de notre projet est classé comme **site meuble (Site3)**.

Tableau.2. 9: Valeurs de T_1 et T_2

Site	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄
T _{1(sec)}	0,15	0,15	0,15	0,15
T _{2(sec)}	0,30	0,40	0,50	0,70
S ₃ → T _{1(sec)} = 0,15 / T _{2(sec)} = 0,50				

2.4. Système de contreventement (A3.4./RPA99/2003)

L'objet de la classification des systèmes structuraux se traduit, dans les règles et méthodes de calcul, par l'attribution pour chacune des catégories de cette classification, d'une valeur numérique du coefficient de comportement R (voir tableau 4.3).Le coefficient de comportement correspondant est fixé en fonction de la nature des matériaux constitutifs, du type de construction, des possibilités de redistribution d'efforts dans la structure et des capacités de déformation des éléments dans le domaine post-élastique.

Le règlement parasismique algérien R.P.A99/2003 a classé trois types de système de contreventement pour les structures en béton contreventé par portiques et voiles :

- Système 2** : contreventement constitué par des voiles porteurs en béton armé;
- Système 4a** : Système de contreventement mixte assuré par des voiles et des portiques avec justification d'interaction portiques -voiles;
- Système 4b** : Système de contreventement de structures en portiques par des voiles en **béton armé**.

En fonction du pourcentage de charges verticale et horizontale, on peut fixer une valeur pour R (voir page 30 de RPA).

2.5. Configuration du bloc (A3.5./RPA99/2003)

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

Un bâtiment est classé régulier en plan si tous les critères de régularité en plan (a1 à a4) sont respectés.

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

Selon l'article A3.5.1 (a3-Figure 3.2) :

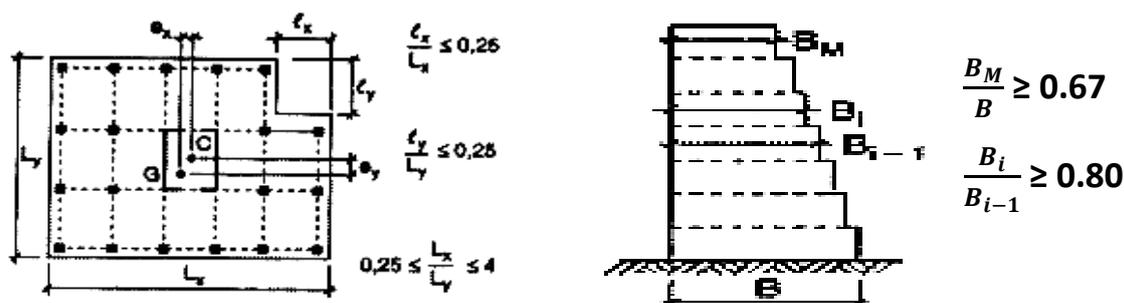


Fig.2. 9: Limites des décrochements en plan et en élévation

Pour nos bâtiments: on a le même plan dans tous les étages \Rightarrow Bâtiment régulière en plan et en élévation.

3. Paramètres utilisées pour l'étude sismique

3.1. Coefficient d'accélération de zone A (A.4.2.3 tableau 4.1 RPA99/2003)

Coefficient d'accélération de la zone, dépend du groupe d'usage de la structure et de la zone sismique

Tableau.2. 10: Coefficient d'accélération de zone A.

Groupe	Zone			
	I	IIa	IIb	III
1A	0,15	0,25	0,30	0,4
1B	0,12	0,20	0,25	0,3
2	0,10	0,15	0,20	0,2
3	0,07	0,10	0,14	0,1

Zone IIa groupe 2 \Rightarrow **A=0,15**

Zone III groupe 2 \Rightarrow **A=0,25**

3.2. Facteur de qualité Q (A.4.2.3 tableau 4.4 RPA99/2003)

Facteur de qualité de la structure est fonction de: redondance et de la géométrie des éléments qui la constituent; la régularité en plan et en élévation ainsi la qualité du contrôle de la construction. La valeur de Q est déterminée par la formule : $Q=1+\sum_1^6 Pq$

Pq : est la pénalité à retenir selon que le critère de qualité q " est satisfait ou non".

Tableau.2. 11: Valeurs des pénalités Pq

Valeur des pénalités P_q	Sens xx		Sens yy	
	Obs.	$P_q /$	Obs.	P_q
1-Condition minimale sur les filles de contreventement	Oui	0	Non	0,05
2-Redondance en plan	Oui	0	Non	0,05
3-Régularité en plan	Oui	0	Oui	0
4-Régularité en élévation	Oui	0	Oui	0
5-Contrôles de qualité des matériaux	Non	0,05	Non	0,05
6-Contrôles de qualité d'exécution	Non	0,1	Non	0,1
Totale	$Q_x=1.15$		$Q_y=1.25$	
$Q=1.25$ pour les deux directions				

3.3. Coefficient du comportement R (A.4.2.3.tableau4.3 RPA99/2003)

Sa valeur unique est donnée en fonction pourcentage des efforts repris par les portiques et les voiles). En cas d'utilisation de systèmes de contreventement différents dans les deux directions considérées il y a lieu d'adopter pour le coefficient **R** la valeur la plus petite (le choix de cette valeur sera justifié dans le parti "analyse sismique" pour chaque structure).

3.4. Coefficient de pondération « β » (A.4.2.3 tableau4.5 RPA99/2003)

Coefficient de pondération, fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation, pour notre cas : Bâtiments d'habitation \Rightarrow bureaux ou assimilés $\beta= 0,2$

3.5. Pourcentage critique d'amortissement « ξ (%) » : (A.4.2.3 tableau4.2 RPA99/2003)

C'est le pourcentage d'amortissement critique fonction du matériau constitutif, du type de structure et de l'importance des remplissages. $\Rightarrow \xi= 10 \%$

3.6. Coefficient C_T (A.4.2.3 tableau 4.6)

Coefficient, fonction du système de contreventement, du type de remplissage. Pour un système de contreventement assuré partiellement ou totalement par des voiles en béton armé, le coefficient C_T égal à 0.05.

3.7. Valeurs de T_1 et T_2 (A.4.2.3 tableau 4.7 RPA99/2003)

Tableau.2. 12 : Périodes caractéristiques associées à la catégorie de site.

Site	S1 (rocheux)	S2 (ferme)	S3 (meuble)	S4 (très meuble)
T1 (sec)	0.15	0.15	0.15	0.15
T2 (sec)	0.30	0.40	0.50	0.70
S3 (meuble) → T2= 0.5				

3.8. Spectre de réponse sismique (A.4.2.3 tableau 4.7 RPA99/2003) [5].

Le spectre de réponse est défini comme étant la réponse maximale d'un système à un degré de liberté avec amortissement à un mouvement dynamique ou des forces, et il dépend donc des caractéristiques du système et de la nature du mouvement du sol.

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

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

Justification de la sécurité sismique des structures étudiées

L'étude sismique d'une structure telle qu'elle se présente réellement, est souvent très complexe et demande un calcul très compliqué. C'est pour cette raison qu'on fait souvent appel à des méthodes qui permettent de simplifier suffisamment le problème pour pouvoir l'analyser.

Le concepteur doit tenir en étude des recommandations et satisfactions aux conditions de sécurités exigées par le règlement parasismique (mode de vibration, effort sismique à la base, effet P- Δ , Déplacement de la structure...).

1. Etude sismique

1.1. Choix de la méthode de calcul

1.1.1. Méthodes utilisables (A4.1.1./RPA99/2003)

Le calcul des forces sismiques peut être mené suivant trois méthodes:

- par la méthode statique équivalente (méthode dynamique) ;
- par la méthode d'analyse modale spectrale (méthode dynamique) ;
- par la méthode d'analyse dynamique par accéléro-grammes (méthode dynamique).

1.1.2. Condition d'application la méthode statique équivalente (A4.1.2./RPA99/03)

La méthode statique équivalente peut être utilisée dans les conditions suivantes (pour notre cas):

- Le bâtiment présente une configuration régulière ;
 - Zone III ;
 - Groupe d'usage 2 ;
 - La hauteur du bâtiment $H = 37,74\text{m} > H_{\text{max}} = 30\text{m}$;
- ⇒ La M.S.E n'est pas applicable**

1.2. Analyse Sismique Dynamique Modale Spectrale (A4.1.3./RPA99/2003)

La méthode d'analyse modale spectrale peut être utilisée dans tous les cas, et en particulier, dans le cas où la méthode statique équivalente n'est pas permise.

1.3. Principe de Modélisation (A4.3.2./RPA99/2003)

Pour les structures irrégulières et comportant des planchers rigides, elles sont représentées par :

- Un modèle tridimensionnel (**Analyse 3D**) ;
- Un modèle encasté à la base;
- Les masses sont concentrées au niveau des centres de gravité des planchers (**Diaphragme rigide**) avec trois **03 DDL** (2 translations horizontales et une rotation d'axe vertical).

Le modèle de bâtiment à utiliser doit représenter au mieux les distributions des rigidités et des masses.

1.4. Modélisation de la structure par la méthode des éléments finis

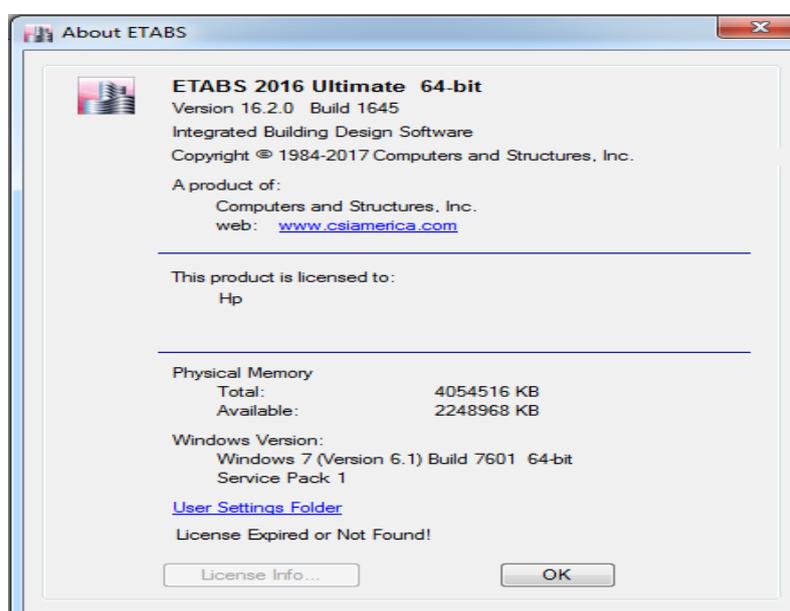
La modélisation revient à représenter un problème physique possédant un nombre infini de degré de liberté (DDL) par un modèle ayant un nombre fini de DDL, et qui reflète avec une bonne précision les paramètres du système d'origine à savoir : la masse, la rigidité et l'amortissement. En d'autres termes; La modélisation est la recherche d'un mécanisme

simplifié qui nous rapproche le plus possible du comportement réel de la structure, en tenant compte le plus correctement possible de la masse et de la rigidité de tous les éléments de la structure.

Un **logiciel** performant utilisé dans le domaine de **modélisation** des **structures de bâtiment** en génie civil est **ETABS** (**E**xtended **T**hree Dimensions **A**nalysis of **B**uilding **S**ystems).

1.5. Programme utilisé pour la modélisation

- Nom du programme: Extended 3D Analysis of Building Systems
- Version : Version 16.2.0
- Entreprise productrice : Computers and Structures, Inc. Berkeley, California. USA



ETABS est un logiciel de calcul conçu exclusivement pour le calcul des bâtiments. Il permet de modéliser facilement et rapidement tous types de bâtiments grâce à une interface graphique unique. Il offre de nombreuses possibilités pour l'analyse statique et dynamique.

Ce logiciel permet ferrailer les éléments structuraux suivant différentes réglementations en vigueur à travers le monde (Euro code, UBC, ACI.etc). Grâce à ses diverses fonctions il permet une descente de charge automatique et rapide, un calcul automatique du centre de masse et de rigidité, ainsi que la prise en compte implicite d'une éventuelle excentricité accidentelle additionnelle.

De plus, ce logiciel utilise une terminologie propre au domaine du bâtiment (plancher, dalle, trumeau, linteau etc.).ETABS permet également le transfert de donnée avec d'autres logiciels (AUTOCAD, SAP2000 et SAFE).

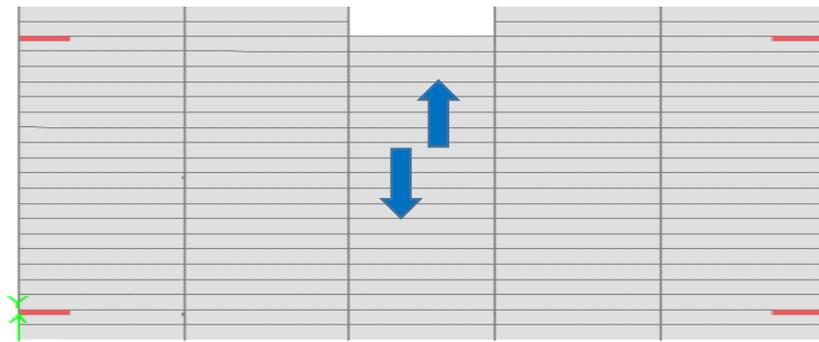
2. Résultats de l'analyse sismique "5S- Z IIa- 5" et "5S- Z III- 5"

2.1. Taux de participation massique :

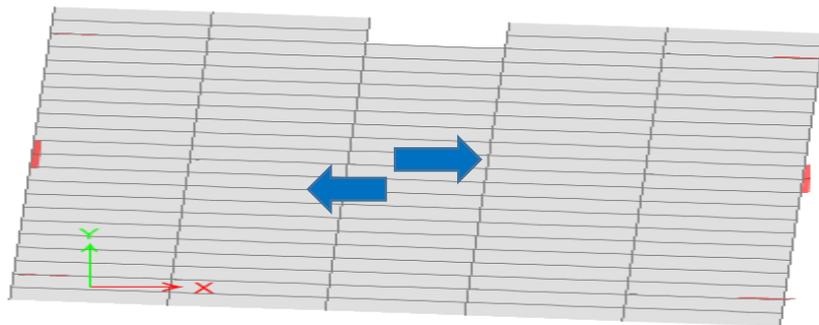
Le tableau suivant donne la période analytique ainsi le taux de participation massique pour chaque mode :

Tableau.3. 1 : vérification taux de participation massique (5S-ZIIa-ZIII-5)

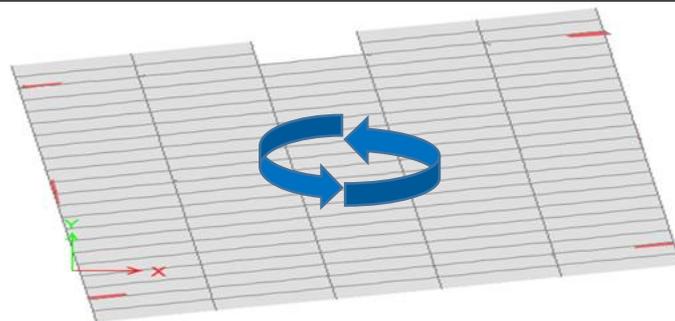
Mode	Period	UX	UY	RZ	Σ UX	Σ UY	Σ RZ
	sec						
1	0,716	1,38E-05	0,8111	0	1,38E-05	0,8111	0
2	0,641	0,6751	9,88E-06	0,1089	0,6751	0,8111	0,1089
3	0,558	0,1083	2,20E-06	0,6854	0,7834	0,8111	0,7943
4	0,227	1,50E-05	0,1112	5,52E-06	0,7834	0,9223	0,7943
5	0,199	0,1255	9,22E-06	0,0043	0,9089	0,9223	0,7985
6	0,171	0,0038	7,00E-06	0,117	0,9127	0,9223	0,9155



Mode 1



Mode 2



Mode 3

• **Commentaires**

- Le 1^{er} mode de vibration : est un mode de translation suivant l'axe Y avec un taux de participation massique égal à 81.11% ;
- Le 2^{ème} mode de vibration : est un mode de translation suivant l'axe X avec un taux de participation massique égal à 67.51% ;
- Le 3^{ème} mode de vibration : est un mode de rotation autour de l'axe Z avec un taux de participation massique égal à 68.54% ;
- Le taux de participation massique tel qu'il est exigé par le RPA99-2003 doit être supérieur à 90% ; pour notre structure le taux de participation atteint les 90% au **6ème mode**
- Les six premières réponses modales (de "E1" jusqu'à "E6") seront combinées pour trouver la réponse total de la structure (effort dynamique à la base).

2.2. Poids et centre de gravité et de rigidité de la structure

Tableau.3. 2 : Poids et centre de gravité de la structure (5S-ZIIa-ZIII-5)

Niveau	D	Σ Pk	Centre de gravité		Centre de rigidité	
			Xg	Yg	Xc	Yc
RDC	D1	11888,554	8,3015	5,3693	8,2951	5,7608
Etage 1	D2	9747,0185	8,2992	5,3609	8,3018	5,9154
Etage 2	D3	7808,1262	8,2992	5,3589	8,3042	6,0413
Etage 3	D4	5869,2338	8,2992	5,3573	8,305	6,1262
Etage 4	D5	3976,6778	8,2926	5,3272	8,3026	6,175
Etage 5	D6	2084,1217	8,3	5,425	8,2964	6,1408
$W = \sum_{i=1}^n W_i = \sum_{i=1}^n M_i * g = \sum_{i=1}^n (W_{Gi} + \beta W_{Qi}) * g = 11888,5541 \text{ KN}$ <p style="text-align: center;">Habitation → β= 0,2</p>						

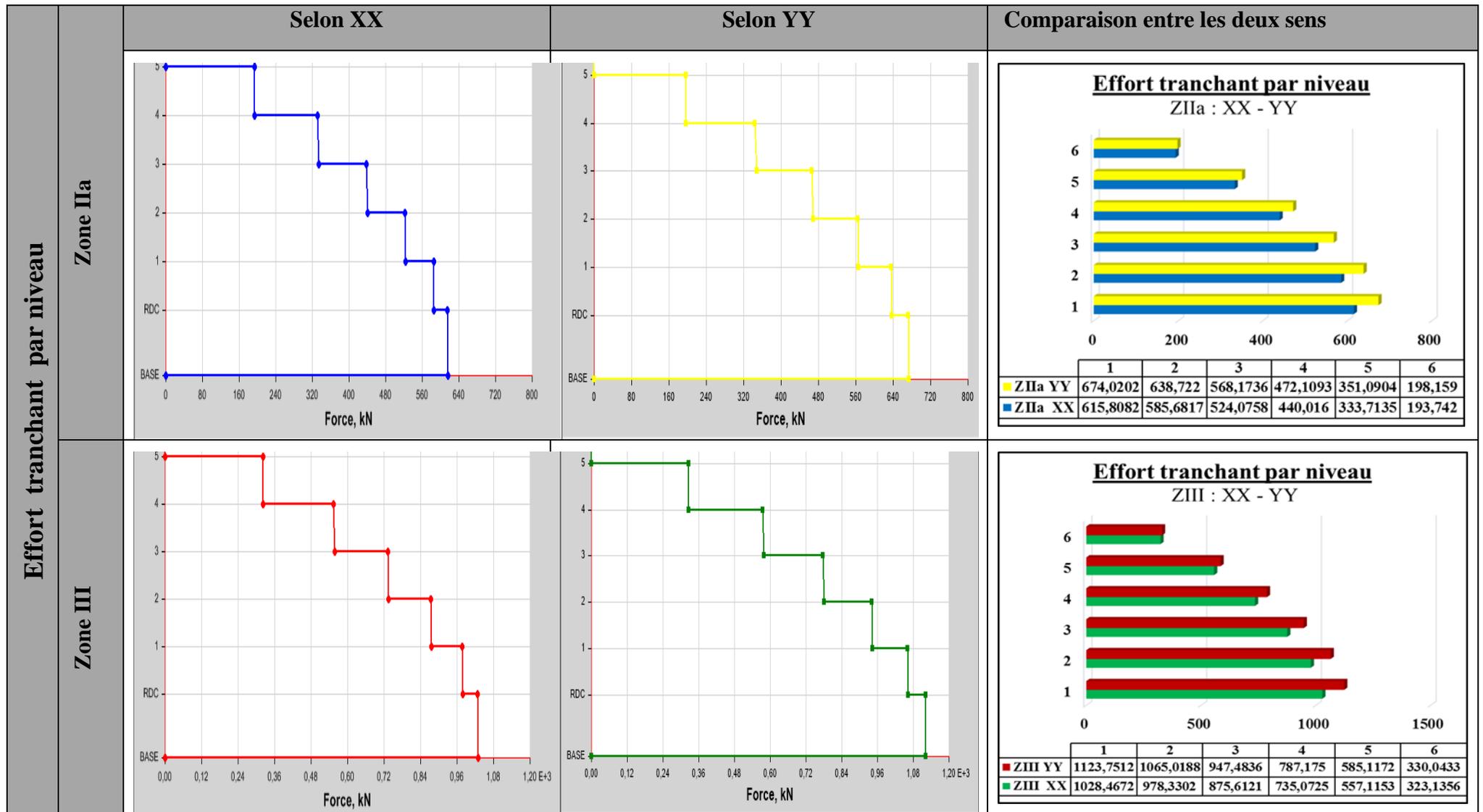
• **Commentaires**

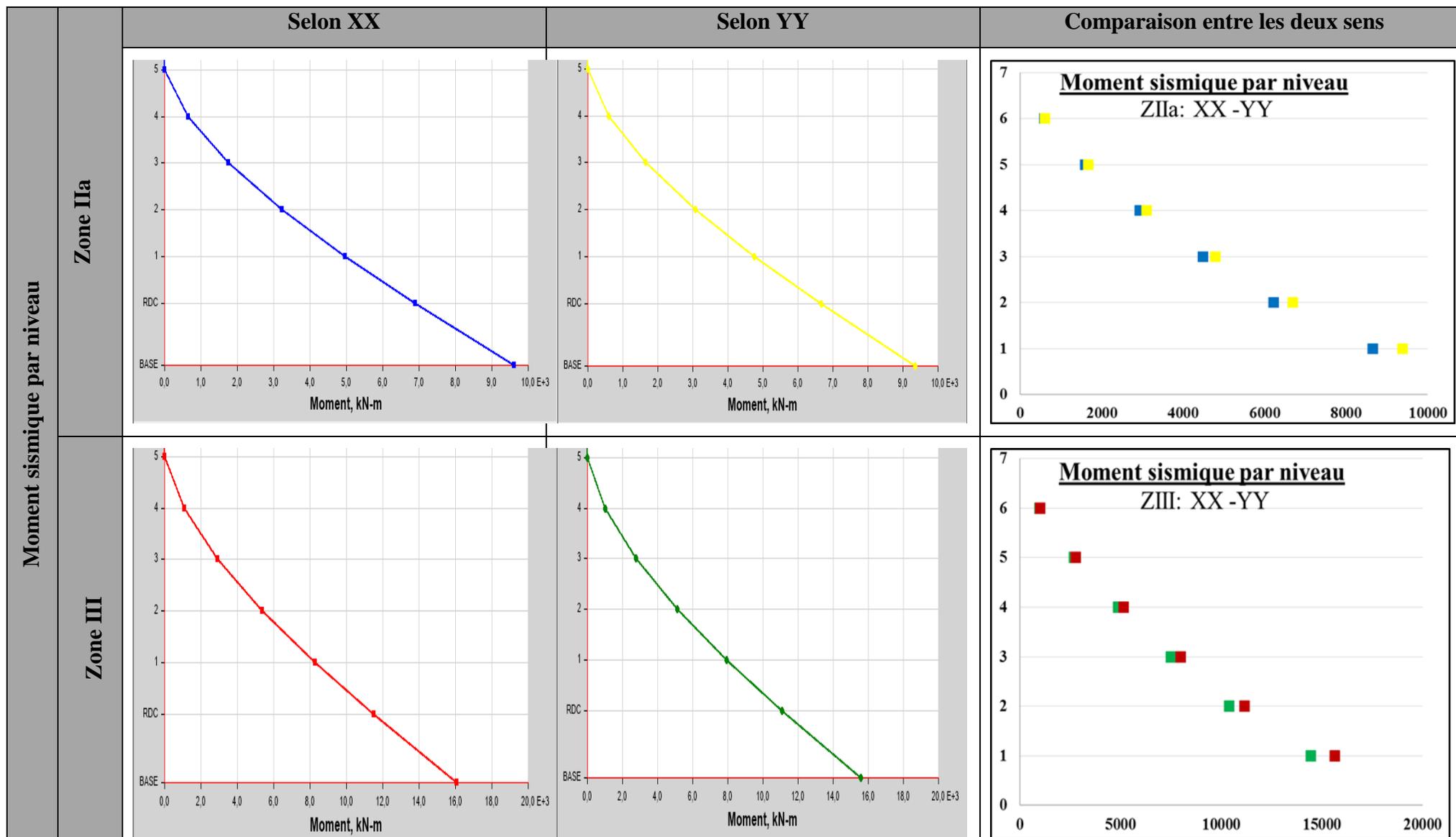
Dans le but d'avoir un meilleur comportement, on a essayé de minimiser l'excentricité entre le centre de gravité (Xg, Yg) et le centre de rigidité (Xc, Yc) afin de minimiser les effets de torsion.

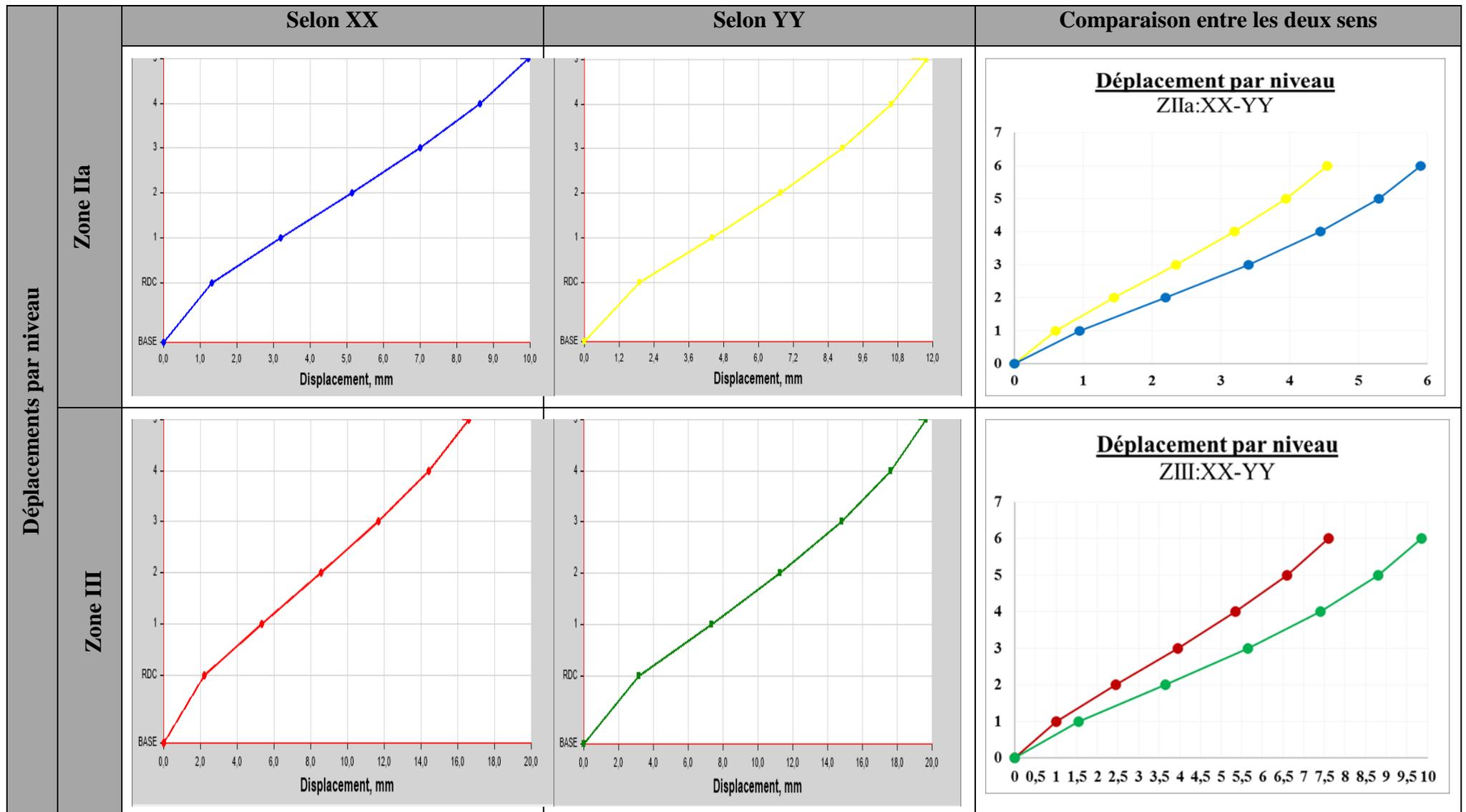
2.3. Effort tranchant, moment sismique et les déplacements par niveau

Dans le tableau suivant, on montre les résultats trouvés sous formes graphes et tableau dans les deux directions XX et YY : les efforts, les moments sismiques avec les déplacements par niveau ainsi une comparaison entre les deux directions :

Tableau.3. 3 : Effort tranchant, moments sismiques et les déplacements par niveau (5S-ZIIa-ZIII-5)







• **Commentaires**

La structure a une géométrie rectangulaire, ce qui signifie une différence en termes de rigidité dans les deux directions. Pour corriger cette différence, on a disposé (4 voiles avec 3 portiques) parallèles a X et (2 voiles avec 6 portiques) parallèles a Y (Voir Tableau.2.10) :

2.4. Justifications sismiques de la structure

2.4.1. Justification de l'interaction voiles-portiques (A.3.4 R.P.A99/2003)

La charge horizontale et verticale ainsi le pourcentage repris par les voiles et les portiques à tous les niveaux sont représentées dans le tableau suivant pour les deux zones sismiques:

Tableau.3. 4 : Vérification de l'interaction sous charges verticales et horizontales (5S-ZIIa-ZIII-5)

Sous charges horizontales (*)								
Sens	Sens XX				Sens YY			
Niv	portiques	voiles	%porti	%voiles	portiques	voiles	%porti	%voiles
5	150.5766	53.06	73.94	26.06	148.2647	51.1072	74.37	25 .63
4	184.3957	111 .952	62.22	37.78	196.6121	99.83	66.32	33.68
3	202.8552	191.1465	51.49	48.51	244.0373	155.4911	61.08	38.92
2	317.4302	157.5566	66.83	33.17	341.0695	143.8569	70.33	29.66
1	308.9278	227.2456	57.62	42.38	430.6707	129.3674	76.9	23.1
RDC	156.162	430.3624	26.63	73.37	252.9284	385.5727	39.61	60.39
Sous charges verticales (**)								
RDC	10977.214	2520.5625	81.33	18.67	Sous combinaison : G+Q			
(*) : $\frac{\sum F_{portiques}}{\sum F_{portiques} + \sum F_{voiles}} \geq 25\%$, $\frac{\sum F_{voiles}}{\sum F_{portiques} + \sum F_{voiles}} \leq 75\%$ des charges horizontales reprises par les portiques et les voiles respectivement;								
(**): $\frac{\sum F_{portiques}}{\sum F_{portiques} + \sum F_{voiles}} \geq 80\%$, $\frac{\sum F_{voiles}}{\sum F_{portiques} + \sum F_{voiles}} \leq 20\%$ Pourcentage des charges verticales reprises par les portiques et les voiles respectivement;								

• **Commentaires**

Les interactions horizontales et verticales sont justifiées → La valeur attribuée au coefficient de comportement est R= 5

2.4.2. Effort tranchant à la base (A.4.3.6 R.P.A99/2003)

La résultante des forces sismiques à la base V_{dy} obtenue par combinaison des valeurs modales ne doit pas être supérieur à 80% de la résultante des forces sismiques déterminée par la méthode statique équivalente V_{st} ; donné par la formule : $V_{st} = \frac{A \cdot D \cdot Q}{R} \cdot W$

- A : coefficient d'accélération de la zone sismique : **A=0,15, A=0,25**
- Q : facteur de qualité : **Q=1,25**
- R : coefficient du comportement dépend du système de contreventement : **R=5**

W : poids total de la structure $W = \sum_{i=1}^n W_i$ avec $W_i = W_{Gi} + \beta W_{Qi} = 11888,5541 \text{KN}$

W_{Gi} : poids dû aux charges permanentes, W_{Qi} : charges d'exploitation.

- D: facteur d'amplification sismique: $D = \begin{cases} 2.5\eta & 0 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta(T_2/T)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\eta(T_2/3.0)^{2/3}(3.0/T)^{5/3} & T \geq 3.0s \end{cases}$

$T_{\text{empirique}} = \min \begin{cases} C_T h_N^{3/4} & \begin{cases} C_T = 0,05 \\ h_N = 19,38\text{m} \rightarrow T = 0,46\text{s} \end{cases} \\ 0,09 H_N / \sqrt{d} & \begin{cases} dx = 16,6\text{m} \\ dy = 13,4\text{m} \rightarrow \begin{cases} T_x = 0,43\text{s} \\ T_y = 0,48\text{s} \end{cases} \end{cases} \end{cases}$

$\begin{cases} T_{\text{empirique}/xx} = \min(0,46; 0,43) = 0,43\text{s} \rightarrow 1,3T_{\text{empirique}/xx} = 0,56\text{s} \\ T_{\text{empirique}/yy} = \min(0,46; 0,48) = 0,46\text{s} \rightarrow 1,3T_{\text{empirique}/yy} = 0,60\text{s} \end{cases}$

$T_{\text{analytique}/yy} = 0,716\text{s} > 1,3T_{\text{empirique}/yy} = 0,60\text{s} \rightarrow T_{\text{calcul}/xx} = T_{\text{calcul}/yy} = 0,60\text{s}$

$\rightarrow T_{\text{Calculé}} > T_2 = 0,5\text{s} \Rightarrow D = 2.5 \eta \left(\left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3} \right) \rightarrow D_x = D_y = 1,68$

- Combinaison des réponses modales

Selon l'article A.4.3.5 /R.P.A99/03, la réponse sismique totale de la structure est donnée par :

-Si les réponses modales retenues sont indépendantes les unes des autres : $E = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^k E_i^2}$

-Si deux réponses modales ne sont pas indépendantes ; E_1 et E_2 par exemple, la réponse

totale est donnée par : $E = \sqrt{(|E_1| + |E_2|)^2 + \sum_{i=3}^K E_i^2}$

Avec : **E** : effet de l'action sismique considéré.

E_i : valeur modale de E selon le mode « i ».

K : nombre de modes retenus.

Tableau.3. 5 : la réponse sismique totale de la structure (5S-ZIIa-ZIII-5)

	XX	YY
$T_1(s)$	0,641	0,716
$T_2(s)$	0,199	0,227
$r=T_i / T_j (T_i \leq T_j)$	0,31	0,32
$10 / (10 + \sqrt{\xi_i \xi_j})$	0,5	0,5
$E = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^k E_i^2}$		

Tableau.3. 6 : vérification de l'effort tranchant à la base (5S-ZIIa-ZIII-5)

Zone	IIa		III	
	Sens x	Sens y	Sens x	Sens y
Vst	748,9789	748,9787	1248,2981	1248,2981
0.8*Vst	599,1831	599,1831	998,6384	998,6384
Vdyn	615,8081	674,0204	1028,4672	1123,7512

Effort tranchant a la base
ZIIa:XX-YY

	Vst	0.8Vst	Vdyn
ZIIa XX	748,9789	599,1831	615,8081
ZIIa YY	748,9789	599,1831	674,0202

Effort tranchant a la base
ZIII:XX-YY

	Vst	0.8Vst	Vdyn
ZIII XX	1248,2981	998,6384	1028,4672
ZIII YY	1248,2981	998,6384	1123,7512

• **Commentaires**

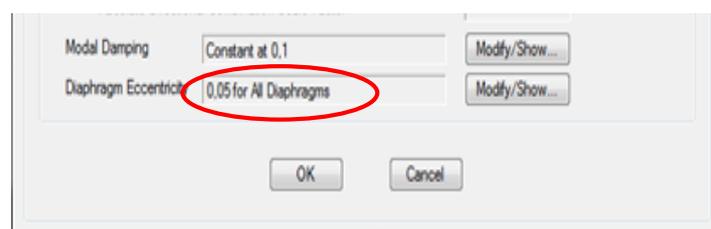
- Vue que les réponses modales sont indépendantes les unes des autres, la réponse sismique

totale de la structure est : $E = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^{k=6} E_i^2}$ (6 modes)

- L'effort tranchant dynamique à la base est supérieur à 80% de l'effort tranchant statique.

2.4.3. Effets de la torsion accidentelle (A.4.3.7 R.P.A99/2003)

L'excentricité accidentelle additionnelle $\pm 0.05 L$ est introduite dans le programme de calcul, lors de la définition des réponses sismiques **Ex** et **Ey**



2.4.4. Effort normal réduit (A.7.1.3.3 R.P.A99/2003)

Dans le but d'éviter ou de limiter le risque de rupture fragile sous sollicitation d'ensemble due au séisme, l'effort normal de compression de calcul est limité par la condition du RPA/version 2003 suivante :

$$\nu = \frac{N_d}{B_c \times f_{cj}} \leq 0.3$$

Avec : N_d : désigne l'effort normal de calcul s'exerçant sur une section de béton

B_c : Est l'aire (section brute) de cette dernière

f_{cj} : Est la résistance caractéristique du béton

Tableau.3. 7: Vérification de l'effort normal réduit (5S-ZIIa-ZIII-5)

Effort normal réduit : ZONE IIa						
Niv	Section (m ²)		N _d (KN)	Comb	ν	Observation
	a	b				
RDC	0,45	0,40	1171,61	G+Q-EXIIa	0,2604	✓
1,2	0,45	0,35	920,3681	G+Q-EYIIa	0,2337	✓
3,4,5	0,40	0,30	524,5688	G+Q-EYIIa	0,1749	✓
Effort normal réduit : ZONE III						
RDC	0,45	0,40	1256,9862	G+Q-EXIII	0,2793	✓
1,2	0,45	0,35	979,8091	G+Q-EYIII	0,2488	✓
3,4,5	0,40	0,30	542,2941	G+Q-EYIII	0,1808	✓

Effort normal réduit
ZIIa-ZIII

	RDC	1,2	3,4,5
■ ZIIa	0,2604	0,2337	0,1749
■ ZIII	0,2793	0,2488	0,1808

• **Commentaires**

La rupture fragile dans les poteaux sous effort sismique est écartée.

2.4.5. justification vis-à-vis les déformations : (A.5.10. R.P.A99/2003)

Le déplacement horizontal à chaque niveau K de la structure est calculé par : $\delta_k = R \cdot \delta_{ek}$

Le déplacement relatif au niveau K par rapport au niveau $K-1$ est égal à : $\Delta k = \delta_k - \delta_{k-1}$

Avec : $\Delta_k < 1\% \times h_k$ (Article 5.10)

Tableau.3. 8 : Vérification vis-à-vis les déformations (5S-ZIIa-ZIII-5)

ZONE II a									Observ
étage	Diaph	δ_{eKx}	δ_{Kx}	Δ_{Kx}	δ_{eKy}	δ_{Ky}	Δ_{Ky}	1% h_k	
5	D6	0,0091	0,045	0,006	0,0118	0,059	0,006	0,0306	<input checked="" type="checkbox"/>
4	D5	0,0079	0,039	0,0075	0,0106	0,053	0,008	0,0306	<input checked="" type="checkbox"/>
3	D4	0,0064	0,032	0,0085	0,0089	0,044	0,010	0,0306	<input checked="" type="checkbox"/>
2	D3	0,0047	0,023	0,009	0,0068	0,034	0,012	0,0306	<input checked="" type="checkbox"/>
1	D2	0,0029	0,014	0,0085	0,0044	0,022	0,012	0,0306	<input checked="" type="checkbox"/>
RDC	D1	0,0012	0,006	0,006	0,0019	0,009	0,009	0,0408	<input checked="" type="checkbox"/>
ZONE III									
5	D6	0,0152	0,076	0,01	0,0197	0,098	0,010	0,0306	<input type="checkbox"/>
4	D5	0,0132	0,066	0,0125	0,0176	0,088	0,014	0,0306	<input type="checkbox"/>
3	D4	0,0107	0,053	0,014	0,0148	0,074	0,017	0,0306	<input type="checkbox"/>
2	D3	0,0079	0,039	0,015	0,0113	0,056	0,02	0,0306	<input type="checkbox"/>
1	D2	0,0049	0,024	0,0145	0,0073	0,036	0,021	0,0306	<input type="checkbox"/>
RDC	D1	0,002	0,01	0,01	0,0031	0,015	0,015	0,0408	<input type="checkbox"/>

• **Commentaires**

Le déplacement inter étages est inférieur à 1% de la hauteur d'étage pour les deux zones sismiques.

2.4.6. Justification vis-à-vis les effets p-Δ (A.5.9. R.P.A99/2003)

L'effet P-Δ (effet de second ordre) est l'effet dû aux charges verticales après déplacement. Il peut être négligé si la condition suivante est satisfaite à tous les niveaux :

$$\theta_k = \frac{PK * \Delta K}{VK * h_k} \leq 0.1$$

Tel que :

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

V_k : Effort tranchant d'étage de niveau « k ».

ΔK : Déplacement relatif du niveau « k » par rapport au niveau « k-1 ».

h_k : Hauteur de l'étage « k ».

• Si $0,1 < \theta_k < 0,2$: l'effet P-Δ peut être pris en compte de manière approximative en amplifiant les effets de l'action sismique calculée aux moyens d'une analyse élastique du premier ordre par le facteur $\frac{1}{1-\theta_k}$

• Si $\theta_k > 0,2$ la structure est partiellement instable elle doit être redimensionnée.

Tableau.3. 9: Vérification vis-à-vis les effets p- Δ (5S-ZIIa-ZIII-5)

Zone IIa								
Sens XX						Sens YY		
étage	h k	ΣP_k	ΔK_x	V _{kx}	θ_{kx}	ΔK_y	V _{ky}	θ_{ky}
D6	3.06	2084,1217	0,006	193,742	0,02109255	0,006	198,159	0,02062239
D5	3.06	3976,6778	0,007	333,7135	0,02920697	0,0085	351,0904	0,03146291
D4	3.06	5869,2338	0,008	440,016	0,0370519	0,0105	472,1093	0,04265861
D3	3.06	7808,1262	0,009	524,0758	0,04382014	0,012	568,1736	0,05389216
D2	3.06	9747,0185	0,008	585,6817	0,04622827	0,0125	638,722	0,06233737
D1	4.08	11888,554	0,006	615,8082	0,02839061	0,0095	674,0202	0,04106951
Zone III								
Sens XX						Sens YY		
étage	h k	ΣP_k	ΔK_x	V _{kx}	θ_{kx}	ΔK_y	V _{ky}	θ_{ky}
D6	3.06	2084,1217	0,01	323,1356	0,02107739	0,0105	330,0433	0,02166806
D5	3.06	3976,6778	0,012	557,1153	0,02915841	0,014	585,1172	0,03109454
D4	3.06	5869,2338	0,014	735,0725	0,03653069	0,0175	787,175	0,04264094
D3	3.06	7808,1262	0,015	875,6121	0,04371243	0,02	947,4836	0,05386215
D2	3.06	9747,0185	0,014	978,3302	0,04720988	0,021	1065,018	0,06280767
D1	4.08	11888,554	0,01	1028,467	0,02833208	0,0155	1123,751	0,04019115

- *Commentaires* : L'effet P- Δ est négligeable.

3. Résultats de l'analyse sismique "5S- Z IIa- 3.5" et "5S- Z III- 3.5"

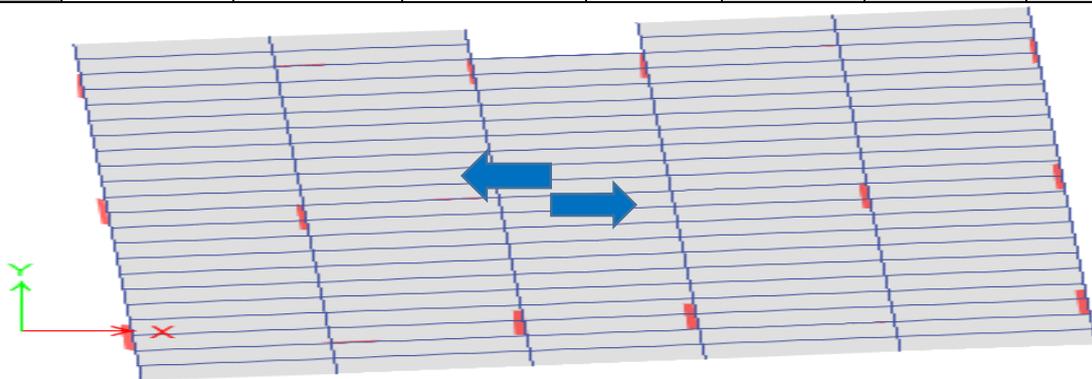
Les résultats de l'analyse sismique sont présentés ci-dessous pour la structure "5S- Z IIa- 3.5" et "5S- Z III- 3.5" :

3.1. Taux de participation massique :

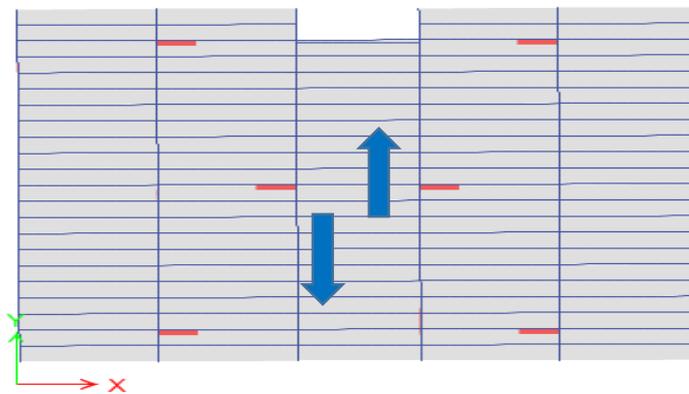
Le tableau suivant donne la période analytique ainsi la participation massique pour chaque mode :

Tableau.3. 10 : Vérification taux de participation massique (5S-ZIIa-ZIII-3.5)

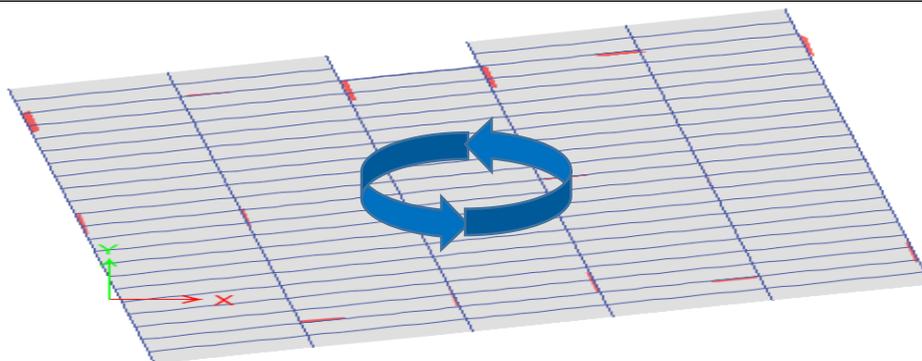
Mode	Period	UX	UY	RZ	Σ UX	Σ UY	Σ RZ
	sec						
1	0,574	0,7217	0,0008	0,1007	0,7217	0,0008	0,1007
2	0,561	0,0006	0,8005	0,0002	0,7223	0,8013	0,1008
3	0,483	0,1037	1,03E-05	0,7145	0,826	0,8013	0,8154
4	0,177	0,0964	0,0001	0,0059	0,9224	0,8014	0,8213
5	0,168	0,0001	0,1121	0,0001	0,9224	0,9136	0,8213
6	0,145	0,0048	2,732E-05	0,099	0,9272	0,9136	0,9203



Mode 1



Mode2



Mode3

• **Commentaires**

- Le 1^{er} mode de vibration : est un mode de translation suivant l'axe X avec un taux de participation massique égal à 72.17% ;
- Le 2^{ème} mode de vibration : est un mode de translation suivant l'axe Y avec un taux de participation massique égal à 80.05% ;
- Le 3^{ème} mode de vibration : est un mode de rotation autour de l'axe Z avec un taux de participation massique égal à 71.45% ;
- Le taux de participation massique tel qu'il est exigé par le RPA99-2003 doit être supérieur à 90% ; pour notre structure le taux de participation atteint les 90% au **6^{ème} mode**
- Les six premières réponses modales (de "E1" jusqu'à "E6") seront combinées pour trouver la réponse total de la structure (effort dynamique à la base).

3.2. Poids et centre de gravité de la structure

Tableau.3. 11 : Poids et centre de gravité de la structure (5S-ZIIa-ZIII-3.5)

Niveau	D	Σ Pk(KN)	Centre de gravité		Centre de rigidité	
			Xg	Yg	Xc	Yc
RDC	D1	12362,154	8,301	5,3664	8,2785	5,9352
Etage 1	D2	10205,166	8,2993	5,364	8,2893	6,0965
Etage 2	D3	8202,9324	8,2993	5,364	8,2966	6,2062
Etage 3	D4	6200,6988	8,2993	5,364	8,2995	6,2671
Etage 4	D5	4198,4651	8,293	5,3494	8,2982	6,304
Etage 5	D6	2196,2314	8,3	5,4402	8,2928	6,3065
$W = \sum_{i=1}^n W_i = \sum_{i=1}^n M_i * g = \sum_{i=1}^n (W_{Gi} + \beta W_{Qi}) * g = 12362,1545 \text{KN}$ <p>Habitation → β= 0,2</p>						

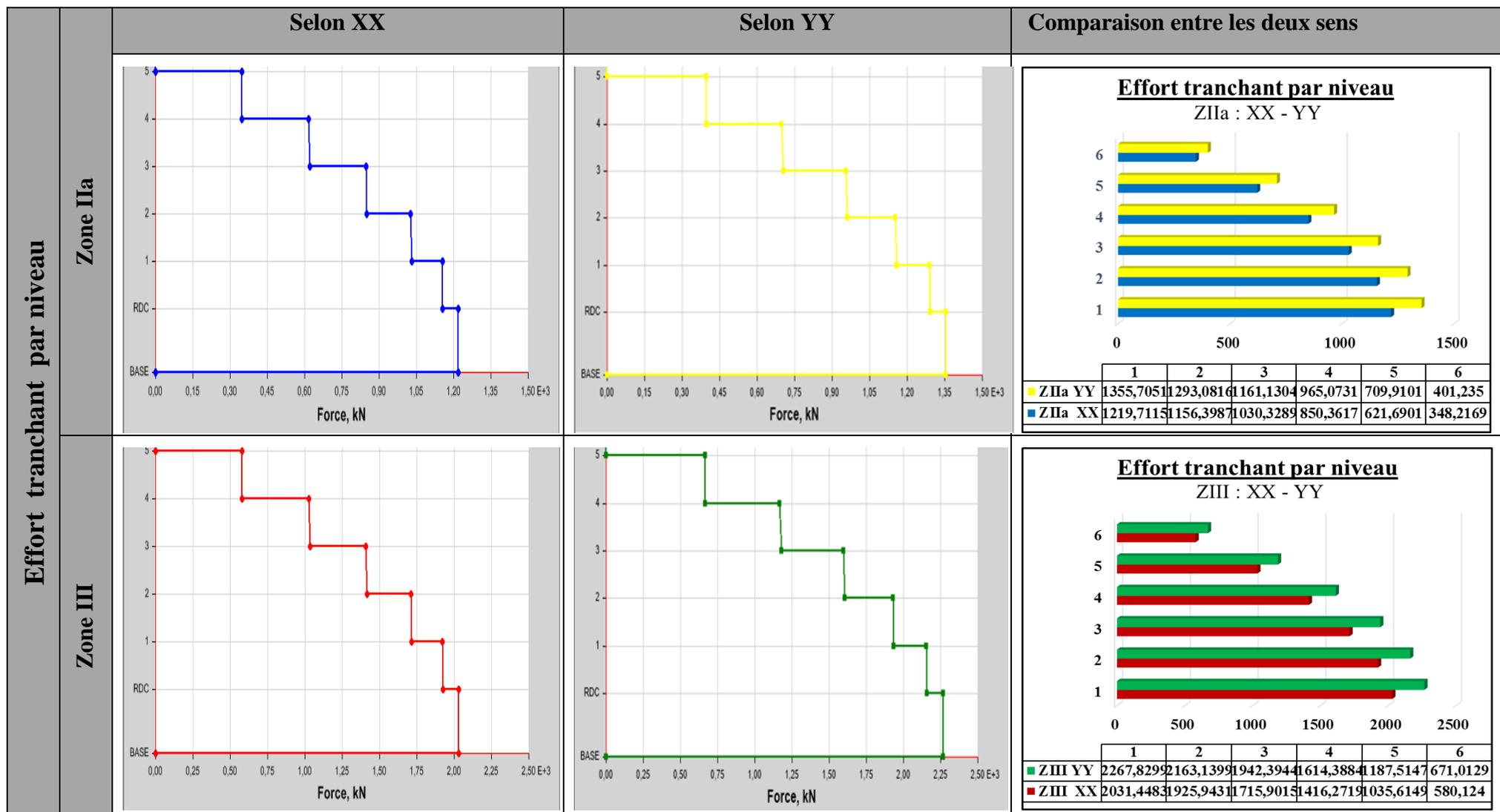
• **Commentaires**

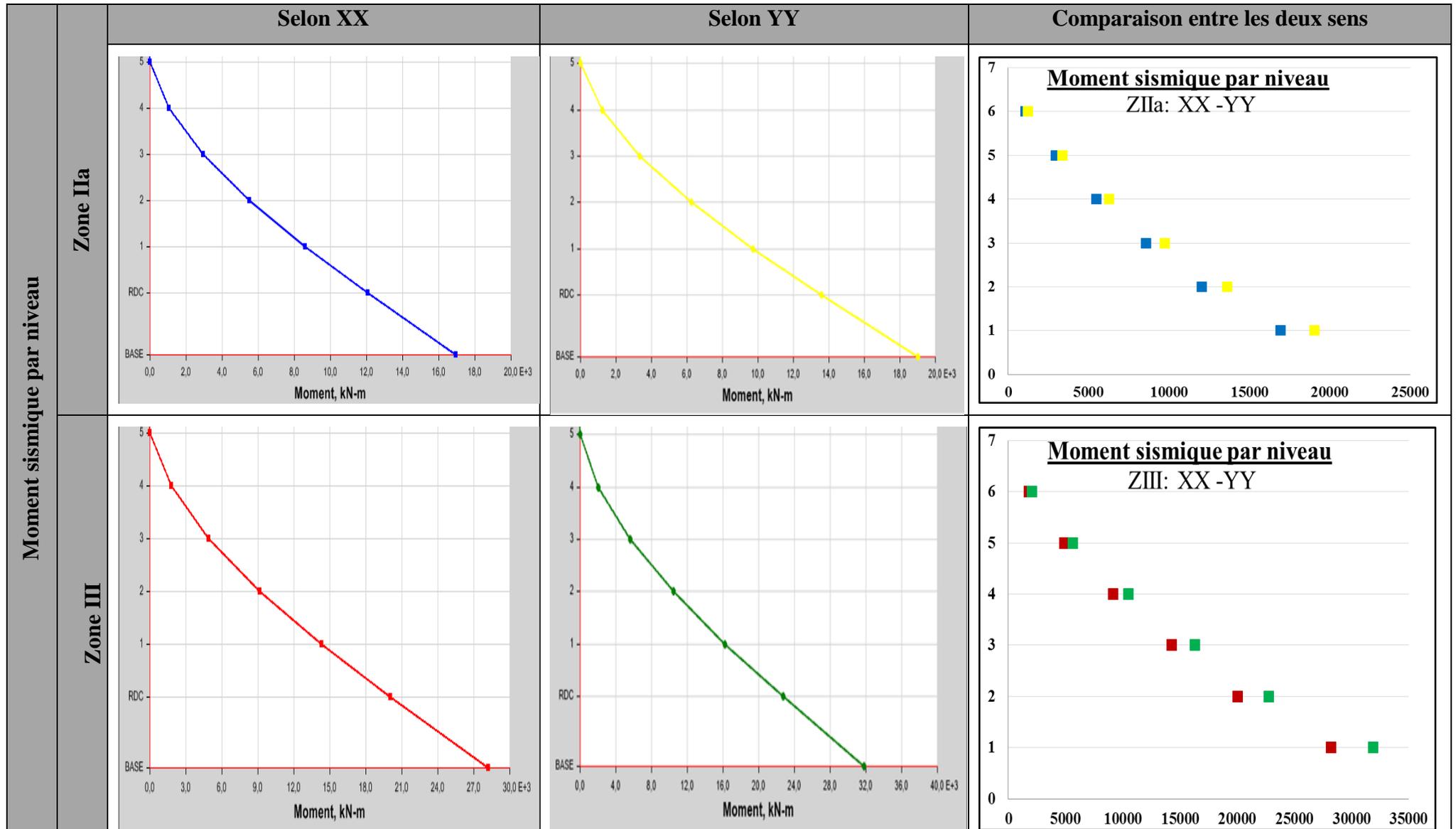
Dans le but d'avoir un meilleur comportement, on a essayé de minimiser l'excentricité entre le centre de gravité (Xg, Yg) et le centre de rigidité (Xc, Yc) afin de minimiser les effets de torsion.

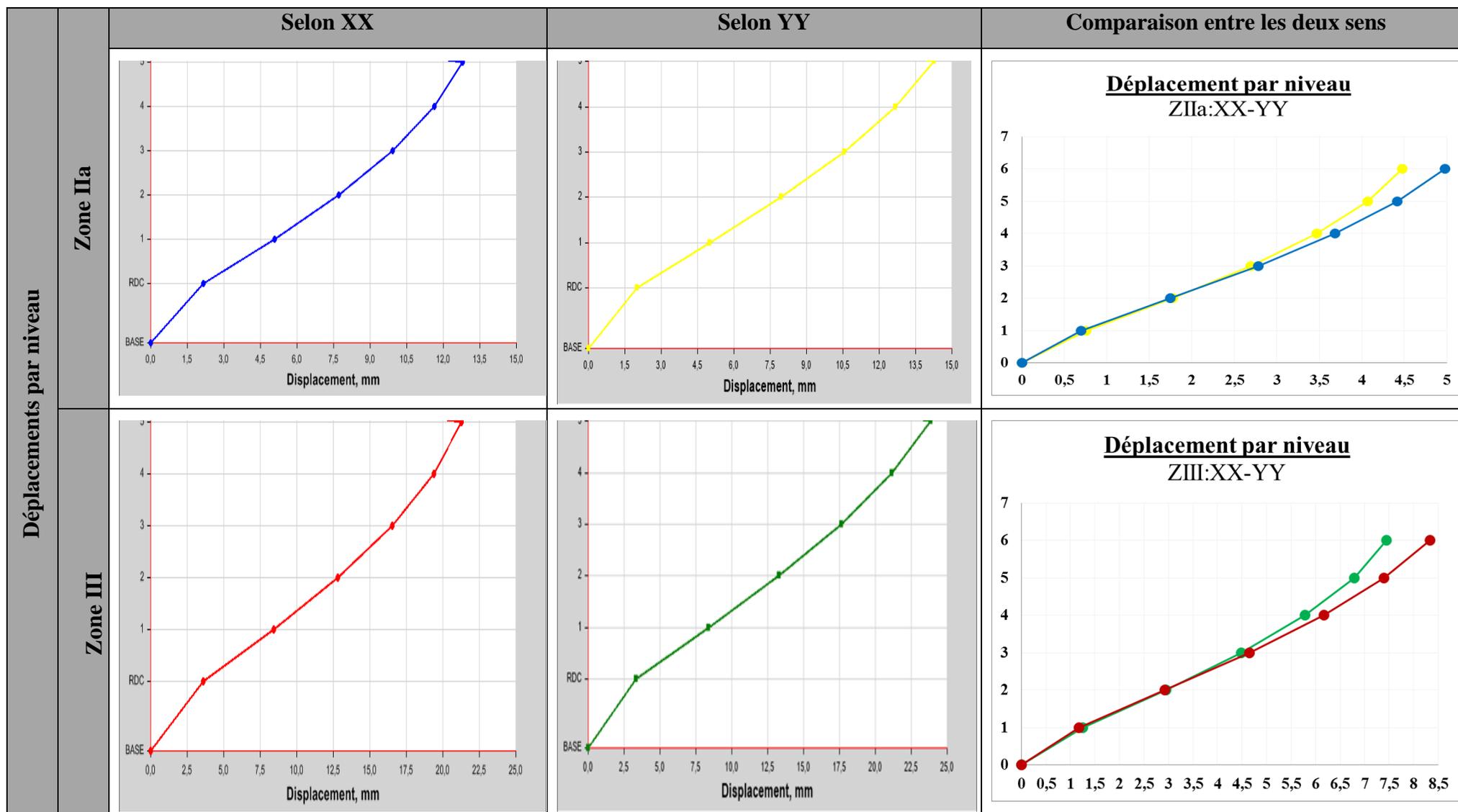
3.3. Effort tranchant, moments sismiques et les déplacements par niveau :

Dans le tableau suivant, on montre les résultats trouvés sous formes graphes et tableau dans les deux directions XX et YY : les efforts, les moments sismiques avec les déplacements par niveau ainsi une comparaison entre les deux directions :

Tableau.3. 12 : Effort tranchant, moments sismiques et les déplacements par niveau (5S-ZIIa-ZIII-3.5)







• **Commentaires**

La structure a une géométrie rectangulaire, ce qui signifie une différence en termes de rigidité. Pour corriger cette différence, on a disposé les voiles dans les deux directions dans le but d'avoir deux rigidités comparables (Voir Tableau.2.10) :

3.4. Justifications sismiques de la structure

3.4.1. Effort tranchant à la base (A.4.3.6 R.P.A99/2003)

$$R=3,5 \quad , \quad W=12362,1545\text{KN}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{\text{empirique /xx}} = \min (0,46; 0,43) = \mathbf{0,43s} \rightarrow 1,3T_{\text{empirique /xx}} = \mathbf{0,56 s} \\ T_{\text{empirique /yy}} = \min (0,46; 0,48) = \mathbf{0,46s} \rightarrow 1,3T_{\text{empirique /yy}} = \mathbf{0,60 s} \\ T_{\text{analytique/yy}} = 0,576\text{s} < 1,3T_{\text{empirique /yy}} = \mathbf{0,60 s} \rightarrow T_{\text{calcul /xx}} = T_{\text{calcul /yy}} = \mathbf{0,576 s} \\ \rightarrow T_{\text{calcul /xx}} = T_{\text{calcul /yy}} = \mathbf{0,576 s} > T_2 = 0,5 \text{ s} \Rightarrow D = 2,5 \eta \left(\frac{T^2}{T} \right)^{2/3} \rightarrow D_x = D_y = 1,72 \end{array} \right.$$

- **Combinaison des réponses modale**

Tableau.3. 13 : La réponse sismique totale de la structure (5S-ZIIa-ZIII-3.5)

	XX	YY
T₁(s)	0,574	0,561
T₂(s)	0,177	0,168
r=T₁/ T_j (T_i ≤ T_j)	0,31	0,33
10 / (10 + √(ξ_i ξ_j))	0,5	0,5
E = ± √(∑_{i=1}^k E_i²)		

Les valeurs trouvées sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau.3. 14 : Vérification de l'effort tranchant à la base (5S-ZIIa-ZIII-3.5)

Zone	IIa		III	
	Sens X	Sens Y	Sens X	Sens Y
Vst	1139,08	1139,08	1898,47	1898,47
0.8*Vst	911,26	911,26	1518,78	1518,78
Vdyn	1219,71	1355,15	2031,45	2267,83

Effort tranchant a la base
ZIIa:XX-YY

	Vst	0.8Vst	Vdyn
ZIIa XX	1139,08	911,26	1219,71
ZIIa YY	1139,08	911,26	1355,15

Effort tranchant a la base
ZIII:XX-YY

	Vst	0.8Vst	Vdyn
ZIII XX	1898,47	1518,78	2031,45
ZIII YY	1898,47	1518,78	2267,83

• **Commentaires**

- Vue que les réponses modales sont indépendantes les unes des autres, la réponse sismique

totale de la structure est : $E = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^{k=6} E_i^2}$ (6 modes)

- L'effort tranchant dynamique a la base est supérieur à 80% de l'effort tranchant statique.

3.4.2. justification vis-à-vis les déformations :

Tableau.3. 15 : Vérification vis-à-vis les déformations (5S-ZIIa-ZIII-3.5)

Zone II a									Observ
étage	Diaph	δ_{eKx}	δ_{Kx}	Δ_{Kx}	δ_{eKy}	δ_{Ky}	Δ_{Ky}	1% h _k	
5	D6	0,0128	0,0448	0,00385	0,0143	0,05005	0,0056	0,0306	☑
4	D5	0,0117	0,04095	0,00595	0,0127	0,04445	0,00735	0,0306	☑
3	D4	0,01	0,035	0,00805	0,0106	0,0371	0,0091	0,0306	☑
2	D3	0,0077	0,02695	0,0091	0,008	0,028	0,0105	0,0306	☑
1	D2	0,0051	0,01785	0,01015	0,005	0,0175	0,01015	0,0306	☑
RDC	D1	0,0022	0,0077	0,0077	0,0021	0,00735	0,00735	0,0408	☑
Zone III									Observ
étage	Diaph	δ_{eKx}	δ_{Kx}	Δ_{Kx}	δ_{eKy}	δ_{Ky}	Δ_{Ky}	1% h _k	
5	D6	0,0213	0,07455	0,00665	0,0239	0,08365	0,00945	0,0306	☑
4	D5	0,0194	0,0679	0,0098	0,0212	0,0742	0,01225	0,0306	☑
3	D4	0,0166	0,0581	0,01295	0,0177	0,06195	0,0154	0,0306	☑
2	D3	0,0129	0,04515	0,0154	0,0133	0,04655	0,01715	0,0306	☑
1	D2	0,0085	0,02975	0,01715	0,0084	0,0294	0,0175	0,0306	☑
RDC	D1	0,0036	0,0126	0,0126	0,0034	0,0119	0,0119	0,0408	☑

• **Commentaires**

Le déplacement inter étages est inférieur à 1% de la hauteur d'étage pour les deux zones sismiques.

3.4.3. Justification vis-à-vis les effets p-Δ

Tableau.3. 16: Vérification vis-à-vis les effets p-Δ (5S-ZIIa-ZIII-3.5)

Zone IIa								
étage	h _k	Sens XX				Sens YY		
		$\Sigma P_k(KN)$	Δ_{Kx}	V_{kx}	θ_{kx}	Δ_{Ky}	V_{ky}	θ_{ky}
D6	3.06	2196,2314	0,0038	348,2169	0,007935	0,0056	401,235	0,010017
D5	3.06	4198,4651	0,0059	621,6901	0,013131	0,0073	709,9101	0,014205
D4	3.06	6200,6988	0,0080	850,3617	0,019182	0,0091	965,0731	0,019107
D3	3.06	8202,9324	0,0091	1030,328	0,023676	0,0105	1161,1304	0,024241
D2	3.06	10205,166	0,0101	1156,398	0,029272	0,0101	1293,0816	0,026178
D1	4.08	12362,154	0,0077	1219,711	0,019127	0,0073	1355,7051	0,016426

Zone III								
Sens XX						Sens YY		
étage	h k	ΣP_k	ΔK_x	V_{kx}	θ_{kx}	ΔK_y	V_{ky}	θ_{ky}
D6	3.06	2196,2314	0,00665	580,124	0,0082273	0,00945	671,0129	0,010107
D5	3.06	4198,4651	0,0098	1035,6149	0,0129836	0,01225	1187,5147	0,014153
D4	3.06	6200,6988	0,01295	1416,2719	0,0185285	0,0154	1614,3884	0,01933
D3	3.06	8202,9324	0,0154	1715,9015	0,0240589	0,01715	1942,3944	0,023668
D2	3.06	10205,1661	0,01715	1925,9431	0,0296974	0,0175	2163,1399	0,026980
D1	4.08	12362,1545	0,0126	2031,4483	0,0187931	0,0119	2267,8299	0,015899

- *Commentaires* : L'effet P- Δ est négligeable.

4. Résultats de l'analyse sismique "8S- Z IIa- 5" et "8S- Z III- 5"

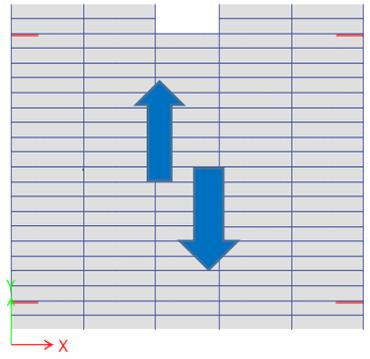
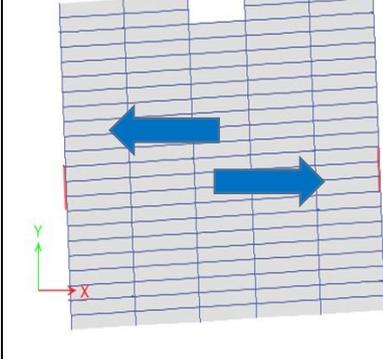
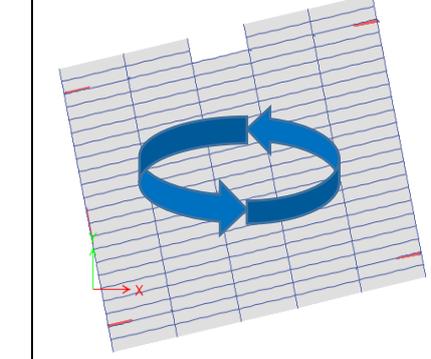
Les résultats de l'analyse sismique sont présentés ci-dessous pour la structure "8S- Z IIa- 5" et "8S- Z III- 5" :

4.1. Taux de participation massique et périodes de vibration:

Le tableau suivant donne la période analytique ainsi la participation massique pour chaque mode :

Tableau.3. 17 : Vérification taux de participation massique (8S-ZIIa-ZIII-5)

Mode	Period	UX	UY	RZ	ΣUX	ΣUY	ΣRZ
	sec						
1	0,941	0,000002327	0,7617	0	0,000002327	0,7617	0
2	0,879	0,7154	0,00002114	0,0371	0,7155	0,7617	0,0371
3	0,729	0,0376	0,000131	0,7162	0,7531	0,7617	0,7533
4	0,291	0,00001077	0,1249	0,000001125	0,7531	0,8866	0,7533
5	0,283	0,1306	0,00009091	0,0021	0,8837	0,8866	0,7555
6	0,223	0,0018	0,000002104	0,1278	0,8855	0,8866	0,8833
7	0,146	0,0001	0,0526	0,000001483	0,8856	0,9392	0,8833
8	0,144	0,052	0,0001	0,0002	0,93876	0,9493	0,8835
9	0,109	0,0002	0,000002432	0,0545	0,9378	0,9493	0,938

		
Mode1	Mode2	Mode3

• **Commentaires**

- Le 1^{er} mode de vibration : est un mode de translation suivant l'axe Y avec un taux de participation massique égal à 76.17% ;
- Le 2^{ème} mode de vibration : est un mode de translation suivant l'axe X avec un taux de participation massique égal à 71.54% ;
- Le 3^{ème} mode de vibration : est un mode de rotation autour de l'axe Z avec un taux de participation massique égal à 71.62% ;
- Le taux de participation massique tel qu'il est exigé par le RPA99-2003 doit être supérieur à 90% ; pour notre structure le taux de participation atteint les 90% au **9^{ème} mode**
- Les six premières réponses modales (de "E1" jusqu'à "E6") seront combinées pour trouver la réponse total de la structure (effort dynamique à la base).

4.2. Poids et centre de gravité de la structure

Tableau.3. 18 : Poids et centre de gravité de la structure (8S-ZIIa-ZIII-5)

Niveau	D	Σ Pk	Centre de gravité		Centre de rigidité	
			Xg	Yg	Xc	Yc
RDC	D1	18181,1809	8,3043	5,3752	8,2968	5,6741
Etage 1	D2	15886,68	8,3007	5,3687	8,3013	5,8056
Etage 2	D3	13866,6284	8,3007	5,3666	8,3028	5,9049
Etage 3	D4	11846,5769	8,3007	5,3649	8,3038	5,972
Etage 4	D5	9879,7447	8,3007	5,3649	8,3042	6,019
Etage 5	D6	7912,9125	8,3007	5,3629	8,3043	6,0549
Etage 6	D7	5946,0802	8,3007	5,3614	8,3041	6,0841
Etage 7	D8	4025,5843	8,2943	5,3319	8,3025	6,0996
Etage 8	D9	2105,0884	8,3	5,4257	8,2993	6,0695

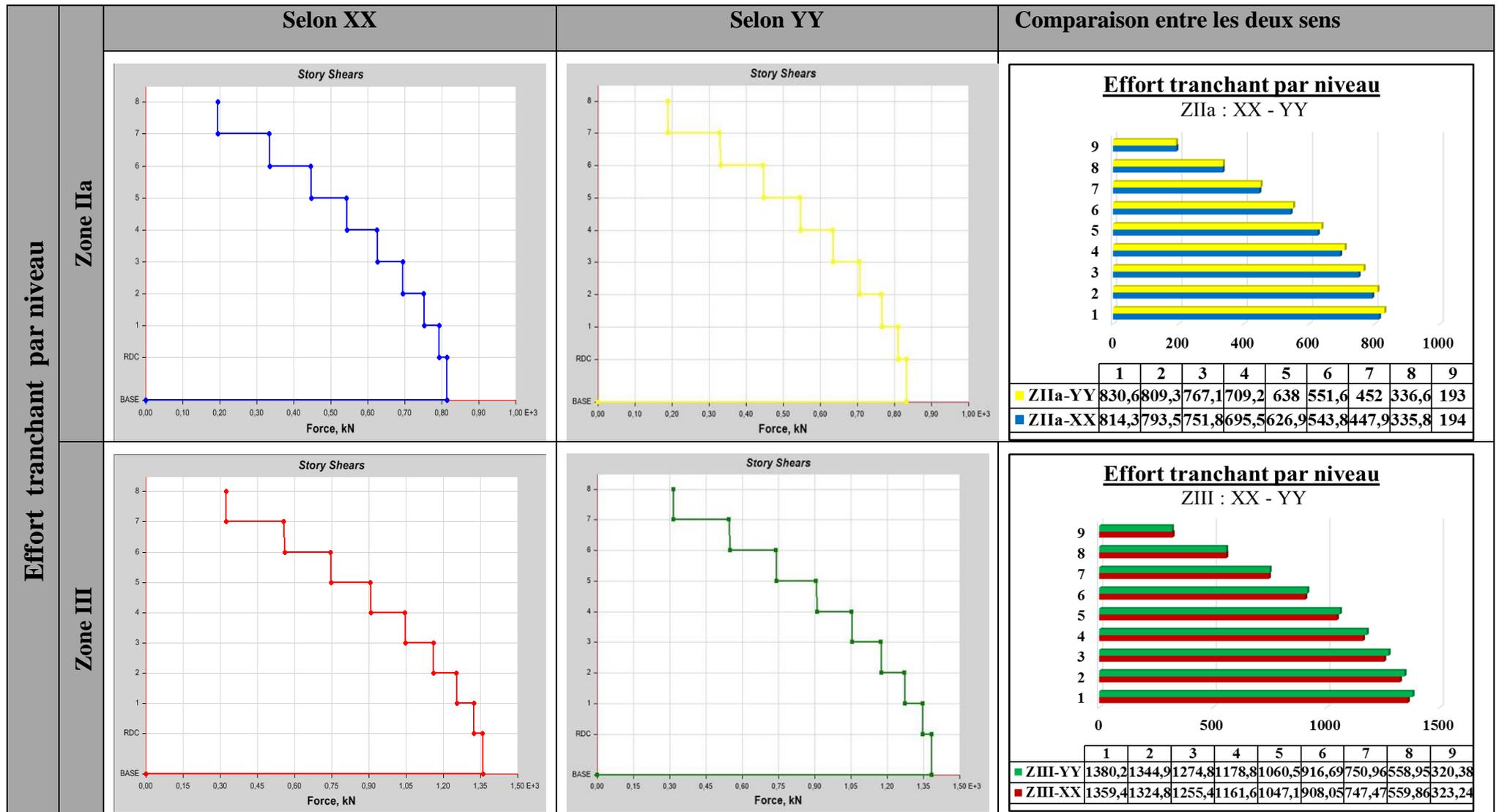
Commentaires

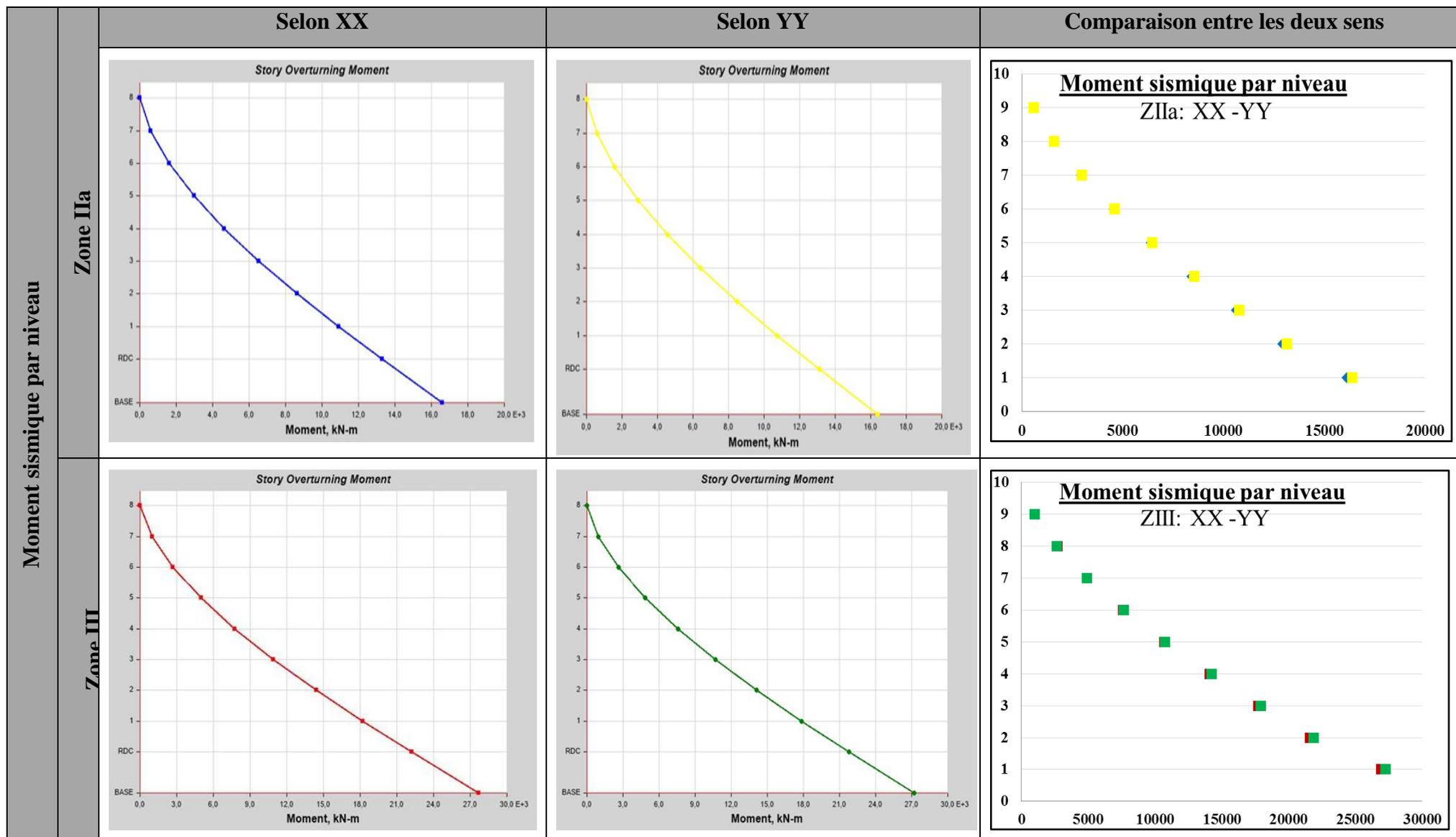
Dans le but d'avoir un meilleur comportement, on a essayé de minimiser l'excentricité entre le centre de gravité (Xg, Yg) et le centre de rigidité (Xc, Yc) afin de minimiser les effets de torsion.

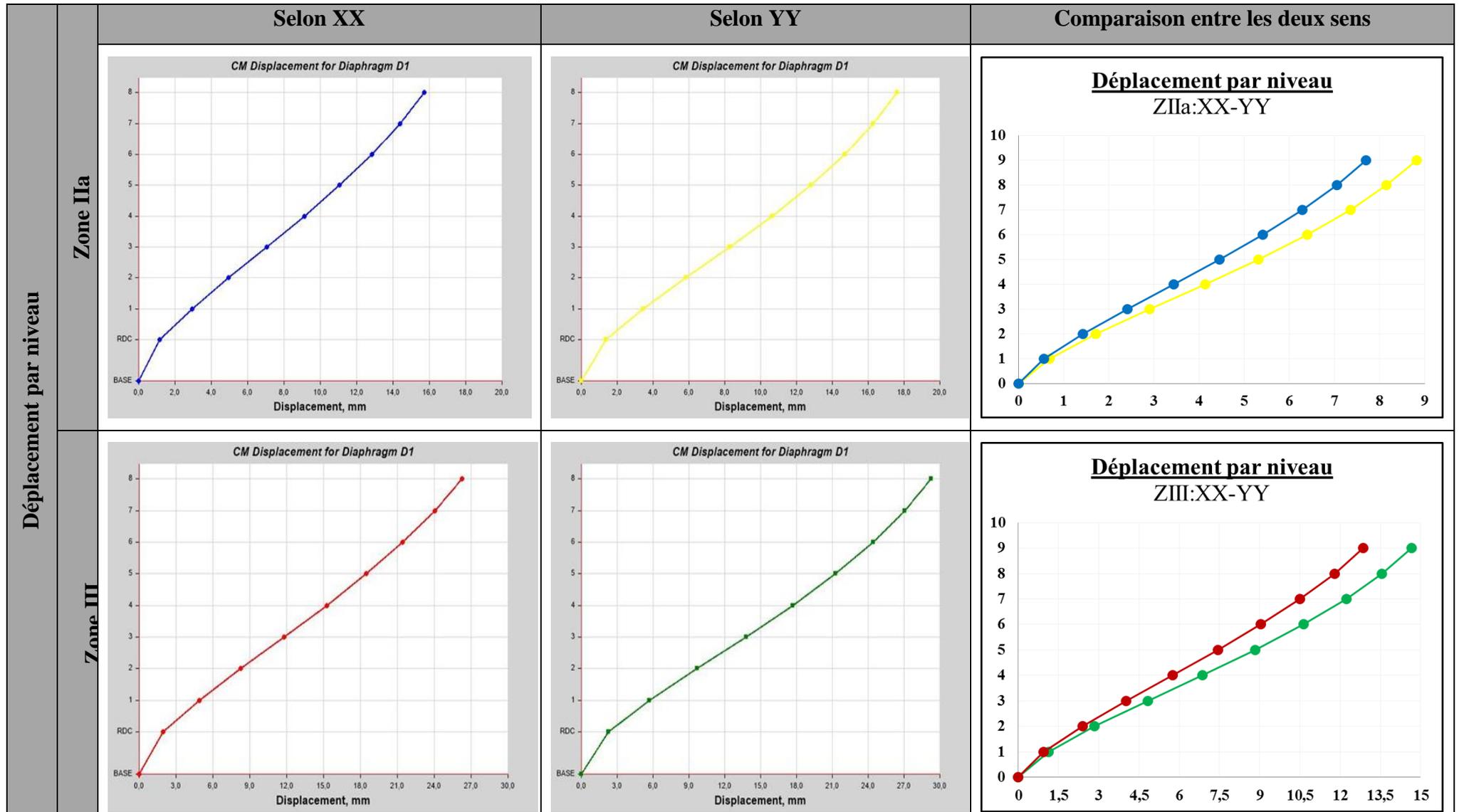
4.3. Effort tranchant, moments sismiques et les déplacements par niveau :

Dans le tableau suivant, on montre les résultats trouvés sous formes graphes et tableau dans les deux directions XX et YY : les efforts, les moments sismiques avec les déplacements par niveau ainsi une comparaison entre les deux directions :

Tableau.3. 19 : Effort tranchant, moments sismiques et les déplacements par niveau (8S-ZIIa-ZIII-5)







• **Commentaires**

La structure a une géométrie rectangulaire, ce qui signifie une différence en termes de rigidité. Pour corriger cette différence, on a disposé (4 voiles avec 3 portiques) parallèles a X et (2 voiles avec 6 portiques) parallèles a Y (Voir Tableau.2.10) :

4.4. Justifications sismiques de la structure

4.4.1. Justification de l'interaction voiles-portiques

La charge horizontale et verticale ainsi le pourcentage repris par les voiles et les portiques à tous les niveaux sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau.3. 20 : Vérification de l'interaction sous charges verticales et horizontales (8S-ZIIa-ZIII-5)

Sous charges horizontales (*)								
Sens	Sens XX				Sens YY			
Niv	portiques	voiles	%porti	%voiles	portiques	voiles	%porti	%voiles
8	162,9566	53,2569	75,37	24,63	165,5748	46,5856	78,04	21,96
7	193,2103	106,4524	64,48	35,52	179,5485	116,0149	60,75	39,25
6	210,4628	189,1476	52,67	47,33	208,4647	185,7971	52,88	47,12
5	339,5995	151,0798	69,2	30,8	312,7663	170,0565	64,78	35,22
4	351,0399	217,5838	61,74	38,26	337,5027	225,055	60	40
3	344,5726	287,613	54,5	45,5	342,4815	284,7292	54,6	45,4
2	451,0673	238,0746	65,45	34,45	418,8339	269,0288	60,89	39,11
1	393,8699	341,1495	53,58	46,42	401,9653	347,4052	53,64	46,36
RDC	248,0178	535,1069	31,67	68,33	235,2915	569,0974	29,25	70,75
Sous charges verticales (**)								
RDC	16595,808	4091,8414	80,22	19,78	Sous combinaison : G+Q			

• **Commentaires**

Les interactions horizontales et verticales sont justifiées → La valeur attribuée au coefficient de comportement est R= 5

4.4.2. Effort tranchant à la base

$$\begin{aligned}
 & R=5, \quad W=18181, 1809\text{KN} \\
 T_{\text{empirique}} = \min \left\{ \begin{array}{l} C_T h_N^{3/4} \\ 0,09 \cdot H_N / \sqrt{d} \end{array} \right. & \left\{ \begin{array}{l} C_T = 0, 05 \\ h_N = 28.56\text{m} \rightarrow T = 0.62\text{s} \end{array} \right. \\
 & \left\{ \begin{array}{l} dx = 16.6\text{m} \\ dy = 13.4\text{m} \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} T_x = 0.63 \\ T_y = 0.70 \end{array} \right. \\
 \left\{ \begin{array}{l} T_{\text{empirique} / xx} = \min (0.62, 0.63) = 0.62\text{s} \rightarrow 1,3T_{\text{empirique} / xx} = 0,81 \text{ s} \\ T_{\text{empirique} / yy} = \min (0.62, 0.70) = 0.62 \text{ s} \rightarrow 1,3T_{\text{empirique} / yy} = 0,81 \end{array} \right.
 \end{aligned}$$

$$T_{\text{analytique/yy}} = 0.94s > 1,3 * T_{\text{empirique /yy}} = 0,81 s,$$

$$T_{\text{calcul /xx}} = T_{\text{calcul /yy}} = 0,81s > T_2 = 0.5S \rightarrow D = 2.5 \eta \left(\left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3} \right) \rightarrow D_x = D_y = 1.38$$

- Combinaison des réponses modales

Tableau.3. 21 : la réponse sismique totale de la structure (8S-ZIIa-ZIII-5)

	XX	YY
T1(s)	0,879	0,941
T2(s)	0,283	0,283
$r = T_i / T_j (T_i \leq T_j)$	0,32	0,3
$10 / (10 + \sqrt{\xi_i \xi_j})$	0,5	0,5
$E = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^k E_i^2}$		

Les valeurs trouvées sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau.3. 22 : Vérification de l'effort tranchant à la base (8S-ZIIa-ZIII-5)

Zone	IIa		III	
	Sens X	Sens Y	Sens X	Sens Y
Vst	940,88	940,88	1568,13	1568,13
0.8*Vst	752,70	752,70	1254,50	1254,50
Vdyn	814,34	830,55	1359,39	1380,17

Effort tranchant a la base
ZIIa:XX-YY

	Vst	0.8Vst	Vdyn
ZIIAXX	940,88	752,7	814,34
ZIIA YY	940,88	752,7	830,55

Effort tranchant a la base
ZIII:XX-YY

	Vst	0.8Vst	Vdyn
ZIII XX	1568,13	1254,5	1359,39
ZIII YY	1568,13	1254,5	1380,17

• Commentaires

- Vu que les réponses modales sont indépendantes les unes des autres, la réponse sismique

totale de la structure est : $E = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^{k=6} E_i^2}$ (6 modes)

- L'effort tranchant dynamique a la base est supérieur à 80% de l'effort tranchant statique.

4.4.3. Effort normal réduit

Tableau.3. 23 : Vérification de l'effort normal réduit (8S-ZIIa-ZIII-5)

Effort normal réduit : ZONE IIa							
Niv	Section (m ²)		N° Poteau	N _d (KN)	Comb	N	Observation
	A	b					
RDC	0,5	0,5	11	1683,201	G+Q+EYIIaMin	0,26211	✔
1,2	0,4	0,5	11	1438,9261	G+Q+EYIIaMin	0,28778	✔
3,4,5	0,35	0,45	11	1033,6924	G+Q+EYIIaMin	0,2625	✔
6,7,8	0,3	0,4	8	492,1201	G+Q+EYIIaMin	0,16404	✔
Effort normal réduit : ZONE III							
RDC	0,5	0,5	11	1812,7787	G+Q+EXIII Min	0,29	✔
1,2	0,4	0,5	11	1524,9362	G+Q+EYIII Min	0,30	✔
3,4,5	0,35	0,45	8	1083,2352	G+Q+EYIII Min	0,2751	✔
6,7,8	0,3	0,4	8	500,7576	G+Q+EYIII Min	0,1669	✔

Effort normal réduit
ZIIa-ZIII

	RDC	1,2	3,4,5	6,7,8
■ ZIIa	0,26211	0,28778	0,2625	0,16404
■ ZIII	0,29	0,3	0,2751	0,1669

- *Commentaires* : La rupture fragile dans les poteaux sous effort sismique est écartée.

4.4.4. justification vis-à-vis les déformations

Tableau.3. 24: Vérification vis-à-vis les déformations (8S-ZIIa-ZIII-5)

ZONE II a									Obs
Etage	Diaph	δ_{eKx}	δ_{Kx}	Δ_{Kx}	δ_{eKy}	δ_{Ky}	Δ_{Ky}	1% h _k	
8	D9	0,0155	0,0775	0,0065	0,0177	0,0885	0,0065	0,0306	✔
7	D8	0,0142	0,071	0,008	0,0164	0,082	0,008	0,0306	✔
6	D7	0,0126	0,063	0,0085	0,0148	0,074	0,01	0,0306	✔
5	D6	0,0109	0,0545	0,0095	0,0128	0,064	0,0105	0,0306	✔
4	D5	0,009	0,045	0,0105	0,0107	0,0535	0,012	0,0306	✔
3	D4	0,0069	0,0345	0,01	0,0083	0,0415	0,012	0,0306	✔
2	D3	0,0049	0,0245	0,01	0,0059	0,0295	0,012	0,0306	✔
1	D2	0,0029	0,0145	0,0085	0,0035	0,0175	0,0105	0,0306	✔
RDC	D1	0,0012	0,006	0,006	0,0014	0,007	0,007	0,0408	✔

ZONE III									
8	D9	0,0258	0,129	0,011	0,0294	0,147	0,011	0,0306	☑
7	D8	0,0236	0,118	0,0125	0,0272	0,136	0,0135	0,0306	☑
6	D7	0,0211	0,1055	0,015	0,0245	0,1225	0,016	0,0306	☑
5	D6	0,0181	0,0905	0,016	0,0213	0,1065	0,018	0,0306	☑
4	D5	0,0149	0,0745	0,0165	0,0177	0,0885	0,0195	0,0306	☑
3	D4	0,0116	0,058	0,0175	0,0138	0,069	0,0205	0,0306	☑
2	D3	0,0081	0,0405	0,0165	0,0097	0,0485	0,02	0,0306	☑
1	D2	0,0048	0,024	0,0145	0,0057	0,0285	0,017	0,0306	☑
RDC	D1	0,0019	0,0095	0,0095	0,0023	0,0115	0,0115	0,0408	☑

• *Commentaires*

Le déplacement inter étages est inférieur à 1% de la hauteur d'étage pour les deux zones sismiques.

4.4.5. Justification vis-à-vis les effets p-Δ

Tableau.3. 25 : Vérification vis-à-vis les effets p-Δ (8S-ZIIa-ZIII-5)

ZONE IIa			Sens XX			Sens YY		
étage	h k	Σ Pk	ΔKx	Vkx	θkx	ΔKy	Vky	θky
D9	3.06	2105,0884	0,0065	194,0436	0,02304427	0,0065	192,9684	0,02317267
D8	3.06	4025,5843	0,008	335,7918	0,03134205	0,008	336,5511	0,03127134
D7	3.06	5946,0802	0,0085	447,9207	0,03687458	0,01	451,9969	0,04299064
D6	3.06	7912,9125	0,0095	543,8197	0,04517349	0,0105	551,5987	0,04922446
D5	3.06	9879,7447	0,0105	626,8959	0,05407769	0,012	638,0281	0,06072475
D4	3.06	11846,5769	0,01	695,4607	0,05566713	0,012	709,1837	0,06550794
D3	3.06	13866,6284	0,01	751,7794	0,06027803	0,012	767,0527	0,07089335
D2	3.06	15886,68	0,0085	793,5176	0,05561271	0,0105	809,2856	0,06735955
D1	4.08	18181,1809	0,006	814,3381	0,03283284	0,007	830,55	0,03755728
ZONE III			Sens XX			Sens YY		
étage	h k	Σ Pk	ΔKx	Vkx	θkx	ΔKy	Vky	θky
D9	3.06	2105,0884	0,011	323,2419	0,02341068	0,011	320,3832	0,02361956
D8	3.06	4025,5843	0,0125	559,8648	0,02937206	0,0135	558,9549	0,03177346
D7	3.06	5946,0802	0,015	747,4654	0,03899505	0,016	750,9571	0,04140132
D6	3.06	7912,9125	0,016	908,0514	0,04556428	0,018	916,6918	0,05077666
D5	3.06	9879,7447	0,0165	1047,0723	0,05087818	0,0195	1060,477	0,05936869
D4	3.06	11846,5769	0,0175	1161,6106	0,05832422	0,0205	1178,759	0,06732866
D3	3.06	13866,6284	0,0165	1255,4471	0,0595573	0,02	1274,849	0,07109194
D2	3.06	15886,68	0,0145	1324,8309	0,05682236	0,017	1344,915	0,06562445
D1	4.08	18181,1809	0,0095	1359,3993	0,03114143	0,0115	1380,178	0,03712997

- *Commentaires* : L'effet P-Δ est négligeable.

5. Résultats de l'analyse sismique "8S- Z IIa- 3.5" et "8S- Z III- 3.5"

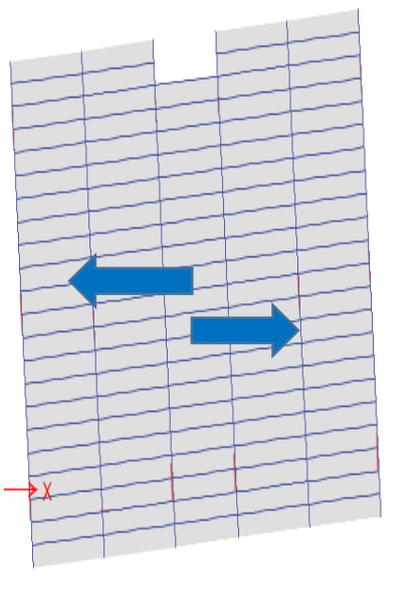
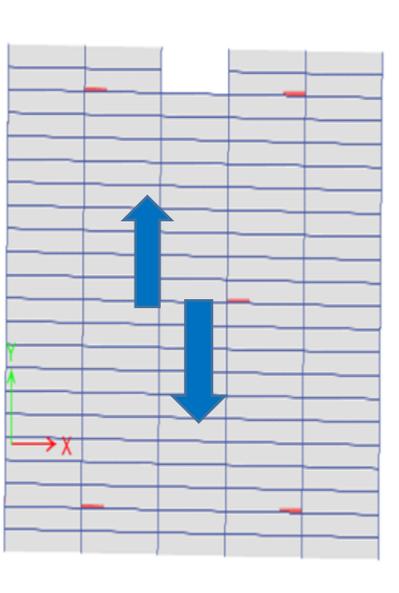
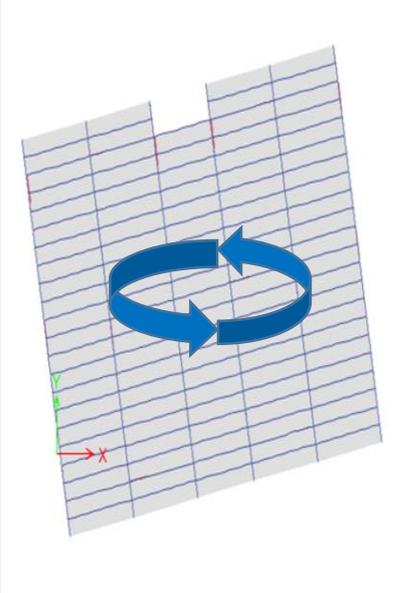
Les résultats de l'analyse sismique sont présentés ci-dessous pour la structure "8S- Z IIa- 3.5" et "8S- Z III- 3.5" :

5.1. Taux de participation massique et périodes de vibration :

Le tableau suivant donne la période analytique ainsi la participation massique pour chaque mode :

Tableau.3. 26 : Vérification taux de participation massique (8S-ZIIa-ZIII-3.5)

Mode	Period sec	UX	UY	RZ	Σ UX	Σ UY	Σ RZ
1	0,909	0,6719	0,0125	0,1236	0,6719	0,0125	0,1236
2	0,904	0,0106	0,7774	0,0022	0,6824	0,7899	0,1258
3	0,768	0,1276	0,000004799	0,6798	0,81	0,7899	0,8056
4	0,287	0,0939	0,0004	0,0103	0,9039	0,7903	0,8158
5	0,278	0,0003	0,1103	0,0001	0,9042	0,9006	0,816
6	0,241	0,0101	0,00002633	0,0902	0,9143	0,9007	0,9061

		
Mode 1	Mode2	Mode3

- *Commentaires*

- Le 1^{er} mode de vibration : est un mode de translation suivant l'axe X avec un taux de participation massique égal à 67.19% ;

- Le 2^{ème} mode de vibration : est un mode de translation suivant l'axe Y avec un taux de participation massique égal à 77.74% ;
- Le 3^{ème} mode de vibration : est un mode de rotation autour de l'axe Z avec un taux de participation massique égal à 67.98% ;
- Le taux de participation massique tel qu'il est exigé par le RPA99-2003 doit être supérieur à 90% ; pour notre structure le taux de participation atteint les 90% au **6ème mode**
- Les six premières réponses modales (de "E1" jusqu'à "E6") seront combinées pour trouver la réponse total de la structure (effort dynamique à la base).

5.2. Poids et centre de gravité de la structure

Tableau.3. 27 : Poids et centre de gravité de la structure (8S-ZIIa-ZIII-3.5)

Niveau	D	Σ Pk	Centre de gravité		Centre de rigidité	
			Xg	Yg	Xc	Yc
RDC	D1	17719,9222	8,3011	5,3889	8,2772	5,94
Etage 1	D2	15621,0416	8,2992	5,3525	8,2863	6,1035
Etage 2	D3	13691,9113	8,2992	5,3525	8,2935	6,2127
Etage 3	D4	11762,7811	8,2992	5,3525	8,2974	6,2696
Etage 4	D5	9833,6508	8,2992	5,3525	8,2997	6,3035
Etage 5	D6	7904,5206	8,2992	5,3525	8,3011	6,3265
Etage 6	D7	5975,3903	8,2992	5,3525	8,3018	6,3446
Etage 7	D8	4046,2601	8,2927	5,325	8,3006	6,3556
Etage 8	D9	2117,1298	8,3	5,4248	8,2964	6,3247
$W = \sum_{i=1}^n W_i = \sum_{i=1}^n M_i * g = \sum_{i=1}^n (W_{Gi} + \beta W_{Qi}) * g = 17719,9222 \text{ KN} \rightarrow \beta = 0,2,$						

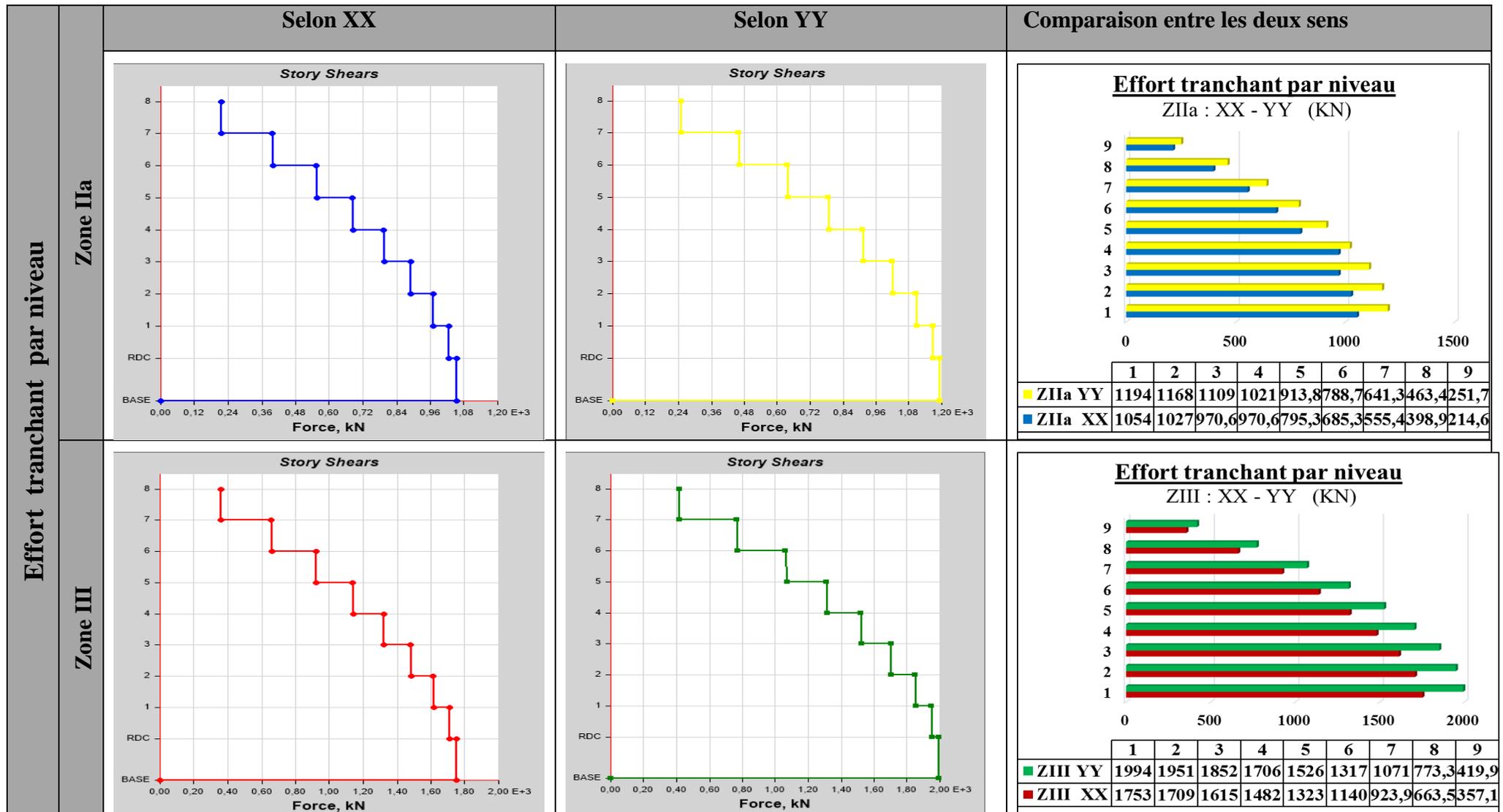
- **Commentaires**

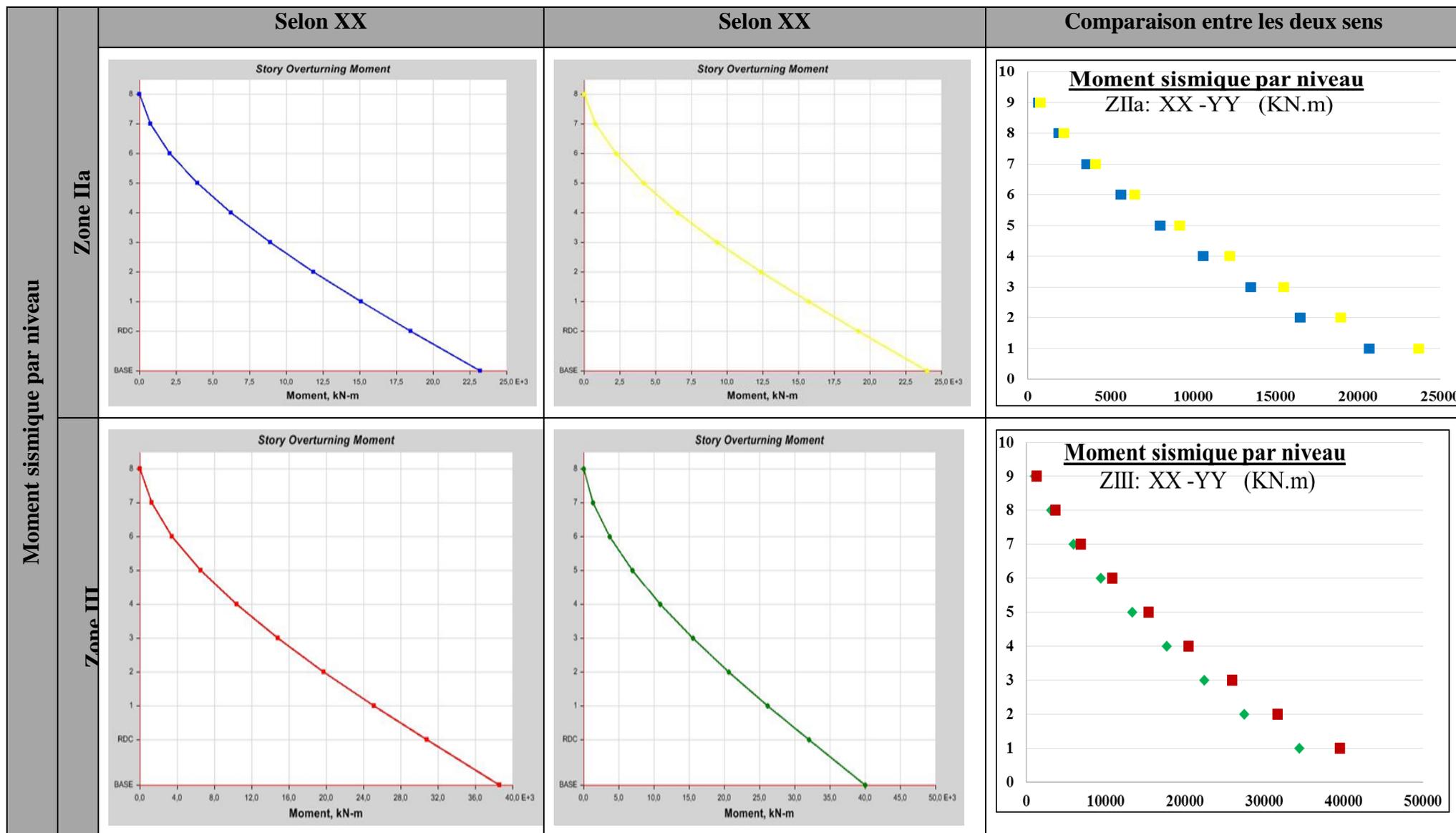
Dans le but d'avoir un meilleur comportement, on a essayé de minimiser l'excentricité entre le centre de gravité (Xg, Yg) et le centre de rigidité (Xc, Yc) afin de minimiser les effets de torsion.

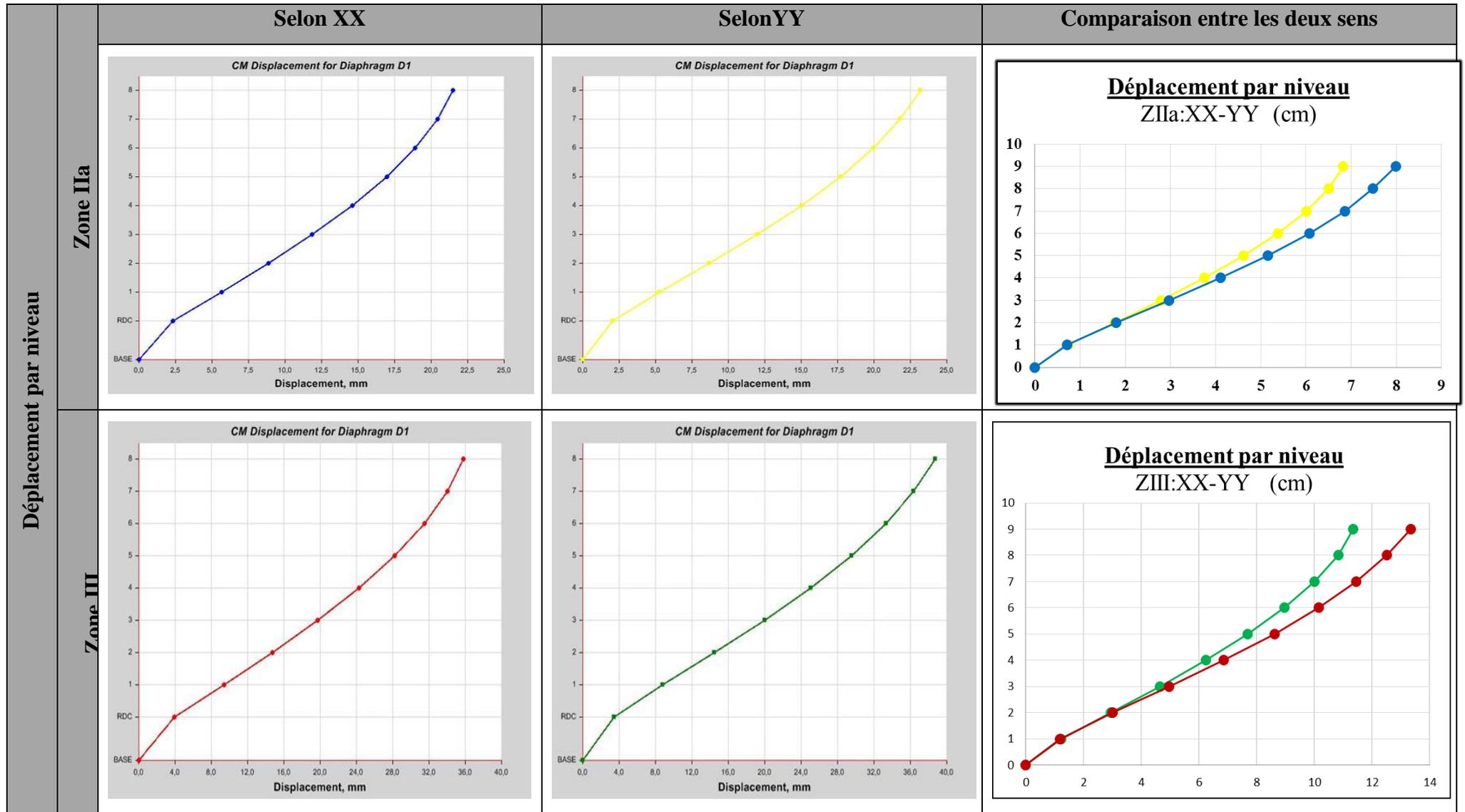
5.3. Effort tranchant, moments sismiques et les déplacements par niveau :

Dans le tableau suivant, on montre les résultats trouvés sous formes graphes et tableau dans les deux directions XX et YY : les efforts, les moments sismiques avec les déplacements par niveau ainsi une comparaison entre les deux directions :

Tableau.3. 28 : Effort tranchant, moments sismiques et les déplacements par niveau (8S-ZIIa-ZIII-3.5)







• **Commentaires**

La structure a une géométrie rectangulaire, ce qui signifie une différence en termes de rigidité. Pour corriger cette différence, on a disposé les voiles dans les deux directions dans le but d'avoir deux rigidités comparables (Voir Tableau.2.10) :

5.4. Justifications sismiques de la structure

5.4.1. Effort tranchant a la base

$$R=3.5, W=17719,9222 \text{ KN}$$

$$T_{\text{empirique}/xx} = \min(0.62, 0.63) = 0.62s \rightarrow 1,3T_{\text{empirique}/xx} = 0,81 \text{ s}$$

$$T_{\text{empirique}/yy} = \min(0.62, 0.70) = 0.62 \text{ s} \rightarrow 1,3T_{\text{empirique}/yy} = 0,81$$

$$T_{\text{analytique}/xx} = 0.909s > 1,3. T_{\text{empirique}/yy} = 0,81 \text{ s}$$

$$T_{\text{analytique}/yy} = 0.904s > 1,3T_{\text{empirique}/yy} = 0,81 \text{ s}$$

$$\rightarrow T_{\text{calcul}/xx} = T_{\text{calcul}/yy} = 0,81s > T2=0.5S \rightarrow D=2.5 \eta \left(\left(\frac{T2}{T}\right)^{2/3}\right) \rightarrow Dx=Dy=1.38$$

- **Combinaison des réponses modales**

Tableau.3. 29 : La réponse sismique totale de la structure (8S-ZIIa-ZIII-3.5)

	XX	YY
T₁(s)	0.909	0.904
T₂(s)	0.287	0.278
r=T_i / T_j (T_i ≤ T_j)	0.315	0.307
10 / (10 + √(ξ_i ξ_j))	0.5	0,5
E = ± √(∑_{i=1}^k E_i²)		

Les valeurs trouvées sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau.3. 30 : Vérification de l’effort tranchant à la base (8S-ZIIa-ZIII-3.5)

zone	IIa		III	
	Sens x	Sens y	Sens x	Sens y
Vst	1310.01	1310.01	2183.35	2183.35
0.8*Vst	1048.01	1048.01	1746.68	1746.68
Vdyn	1053,9185	1194,3801	1753,1848	1994,3105

Effort tranchant a la base
ZIIa:XX-YY (KN)

	Vst	0.8Vst	Vdyn
ZIIa XX	1310,01	1048,01	1053,9185
ZIIa YY	1310,01	1048,01	1194,3801

Effort tranchant a la base
ZIII:XX-YY (KN)

	Vst	0.8Vst	Vdyn
ZIII XX	2183,35	1746,68	1753,1848
ZIII YY	2183,35	1746,68	1994,3105

• **Commentaires**

- Vue que les réponses modales sont indépendantes les unes des autres, la réponse sismique

totale de la structure est : $E = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^{k=6} E_i^2}$ (6 modes)

- L'effort tranchant dynamique a la base est supérieur à 80% de l'effort tranchant statique.

5.3.2 Justification vis-à-vis les déformations

Tableau.3. 31 : Vérification vis-à-vis les déformations (8S-ZIIa-ZIII-3.5)

ZONE II a									Observ	
étage	Diaph	δ_{eKx}	δ_{Kx}	Δ_{Kx}	δ_{eKy}	δ_{Ky}	Δ_{Ky}	1% h_k		
8	D9	0,019492	0,068222	0,0031605	0,022822	0,079877	0,0049875	0,0306	☑	
7	D8	0,018589	0,0650615	0,0049455	0,021397	0,0748895	0,0062755	0,0306	☑	
6	D7	0,017176	0,060116	0,006272	0,019604	0,068614	0,0077875	0,0306	☑	
5	D6	0,015384	0,053844	0,007588	0,017379	0,0608265	0,0092435	0,0306	☑	
4	D5	0,013216	0,046256	0,0087185	0,014738	0,051583	0,010472	0,0306	☑	
3	D4	0,010725	0,0375375	0,0096215	0,011746	0,041111	0,011361	0,0306	☑	
2	D3	0,007976	0,027916	0,0101745	0,0085	0,02975	0,01169	0,0306	☑	
1	D2	0,005069	0,0177415	0,010402	0,00516	0,01806	0,010983	0,0306	☑	
RDC	D1	0,002097	0,0073395	0,0073395	0,002022	0,007077	0,007077	0,0408	☑	
ZONE III										
8	D9	0,032424	0,113484	0,0052605	0,038112	0,133392	0,0083265	0,0306		☑
7	D8	0,030921	0,1082235	0,0082215	0,035733	0,1250655	0,0104825	0,0306		☑
6	D7	0,028572	0,100002	0,0104335	0,032738	0,114583	0,0130025	0,0306		☑
5	D6	0,025591	0,0895685	0,0126245	0,029023	0,1015805	0,015435	0,0306		☑
4	D5	0,021984	0,076944	0,014504	0,024613	0,0861455	0,017493	0,0306		☑
3	D4	0,01784	0,06244	0,0160055	0,019615	0,0686525	0,0189735	0,0306		☑
2	D3	0,013267	0,0464345	0,016926	0,014194	0,049679	0,0195195	0,0306		☑
1	D2	0,008431	0,0295085	0,0173005	0,008617	0,0301595	0,0183435	0,0306		☑
RDC	D1	0,003488	0,012208	0,012208	0,003376	0,011816	0,011816	0,0408	☑	

• **Commentaires**

Le déplacement inter étages est inférieur à 1% de la hauteur d'étage pour les deux zones sismiques.

5.3.3 Justification vis-à-vis les effets p-Δ

Tableau.3. 32: Vérification vis-à-vis les effets p-Δ (8S-ZIIa-ZIII-3.5)

Zone IIA			Sens XX			Sens YY		
éta ge	h k	Σ Pk	ΔKx	Vkx	θkx	ΔKy	Vky	θky
D9	3.06	2117,1298	0,0031605	214,6255	0,01018827	0,0049875	251,6808	0,01371068
D8	3.06	4046,2601	0,0049455	398,8662	0,01639515	0,0062755	463,3524	0,01787573
D7	3.06	5975,3903	0,006272	555,3967	0,02205198	0,0077875	641,2988	0,02365327
D6	3.06	7904,5206	0,007588	685,2841	0,02860295	0,0092435	788,7236	0,03018757
D5	3.06	9833,6508	0,0087185	795,283	0,03523006	0,010472	913,7748	0,03671616
D4	3.06	11762,7811	0,0096215	890,7648	0,04152105	0,011361	1021,4858	0,04261735
D3	3.06	13691,9113	0,0101745	970,5774	0,04690569	0,01169	1109,1599	0,04700388
D2	3.06	15621,0416	0,010402	1027,3658	0,05168688	0,010983	1168,4176	0,04782443
D1	4.08	17719,9222	0,0073395	1053,9185	0,03024552	0,007077	1194,3801	0,02564695
Zone IIA			Sens XX			Sens YY		
éta ge	h k	Σ Pk	ΔKx	Vkx	θkx	ΔKy	Vky	θky
D9	3.06	2117,1298	0,0052605	357,0538	0,01019341	0,0083265	419,9385	0,01371838
D8	3.06	4046,2601	0,0082215	663,5448	0,01638375	0,0104825	773,305	0,01792447
D7	3.06	5975,3903	0,0104335	923,9229	0,02205155	0,0130025	1070,5594	0,02371707
D6	3.06	7904,5206	0,0126245	1139,9695	0,02860718	0,015435	1316,9562	0,03027537
D5	3.06	9833,6508	0,014504	1322,9326	0,0352325	0,017493	1525,9607	0,03683955
D4	3.06	11762,7811	0,0160055	1481,7577	0,04152223	0,0189735	1705,8745	0,0427552
D3	3.06	13691,9113	0,016926	1614,5302	0,04690842	0,0195195	1852,197	0,04715461
D2	3.06	15621,0416	0,0173005	1709,0077	0,0516777	0,0183435	1951,0267	0,04799628
D1	4.08	17719,9222	0,012208	1753,1848	0,03024255	0,011816	1994,3105	0,02573234

- *Commentaires* : L'effet P-Δ est négligeable.

6. Résultats de l'analyse sismique "11S- Z IIA- 5" et "11S- Z III- 5"

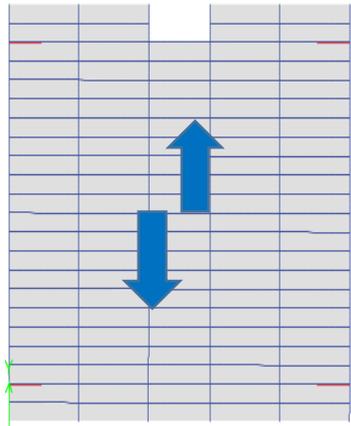
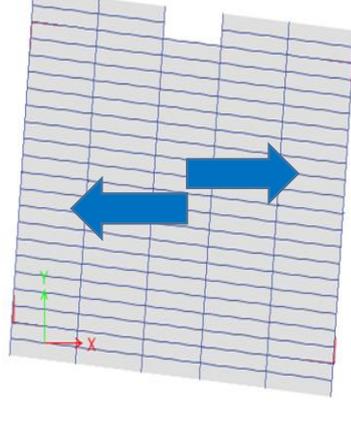
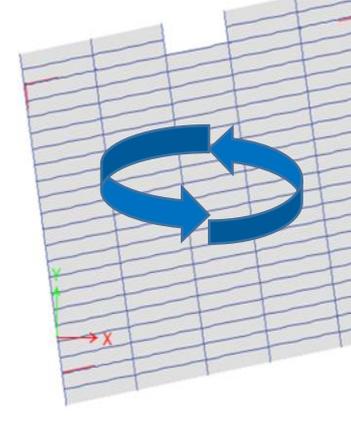
Les résultats de l'analyse sismique sont présentés ci-dessous pour la structure "11S- Z IIA- 5" et "11S- Z III- 5" :

6.1. Taux de participation massique et périodes de vibrations

Le tableau suivant donne la période analytique ainsi la participation massique pour chaque mode :

Tableau.3. 33 : vérification taux de participation massique (11S-ZIIa-ZIII-5)

Mode	T	UX	UY	RZ	Σ UX	Σ UY	Σ RZ
	sec						
1	1,209	0,0000092	0,7635	0,00000503	9,21E-06	0,7635	0,00000503
2	0,935	0,5631	0,000002696	0,1623	0,5631	0,7635	0,1623
3	0,856	0,1627	0,00001121	0,5763	0,7258	0,7635	0,7386
4	0,401	0	0,119	0	0,7258	0,8825	0,7386
5	0,305	0,1314	0	0,0172	0,8573	0,8825	0,7557
6	0,278	0,0165	0,00000133	0,1176	0,8738	0,8825	0,8733
7	0,218	0,0000079	0,0457	0,00000552	0,8738	0,9283	0,8733
8	0,156	0,0516	0,00001308	0,0023	0,9254	0,9283	0,8756
9	0,141	0,0019	0,0004	0,0505	0,9273	0,9287	0,9261

		
Mode1	Mode2	Mode3

• **Commentaires**

- Le 1^{er} mode de vibration : est un mode de translation suivant l'axe Y avec un taux de participation massique égal à 76.35% ;
- Le 2^{ème} mode de vibration : est un mode de translation suivant l'axe X avec un taux de participation massique égal à 56.31% ;
- Le 3^{ème} mode de vibration : est un mode de rotation autour de l'axe Z avec un taux de participation massique égal à 57.63% ;
- Le taux de participation massique tel qu'il est exigé par le RPA99-2003 doit être supérieur à 90% ; pour notre structure le taux de participation atteint les 90% au **9ème mode**
- Les six premières réponses modales (de "E1" jusqu'à "E6") seront combinées pour trouver la réponse total de la structure (effort dynamique à la base).

6.2. Poids et centre de gravité de la structure

Tableau.3. 34 : Poids et centre de gravité de la structure (11S-ZIIa-ZIII-5)

Niveau	D	ΣP_k	Centre de gravité		Centre de rigidité	
			Xg	Yg	Xc	Yc
RDC	D1	24972,6051	8,3009	5,4112	8,3017	5,606
Etage 1	D2	22499,87	8,2993	5,3745	8,3103	5,6814
Etage 2	D3	20360,0444	8,2993	5,3723	8,3126	5,7349
Etage 3	D4	18220,2189	8,2993	5,3704	8,3146	5,7789
Etage 4	D5	16143,9371	8,2993	5,3704	8,3155	5,8156
Etage 5	D6	14067,6553	8,2993	5,3672	8,3158	5,8493
Etage 6	D7	11991,3736	8,2993	5,3644	8,317	5,8875
Etage 7	D8	10000,4765	8,2993	5,3644	8,318	5,9277
Etage 8	D9	8009,5795	8,2992	5,3625	8,3187	5,9693
Etage 9	D10	6018,6825	8,2992	5,3609	8,3196	6,0123
Etage 10	D11	4074,1218	8,2928	5,3316	8,3187	6,0482
Etage 11	D12	2129,5611	8,3	5,426	8,3147	6,0542
$W = \sum_{i=1}^n W_i = \sum_{i=1}^n M_i * g = \sum_{i=1}^n (W_{Gi} + \beta W_{Qi}) * g = 24972,6051 \text{ KN}$ <p style="text-align: center;">Habitation $\rightarrow \beta = 0,2$,</p>						

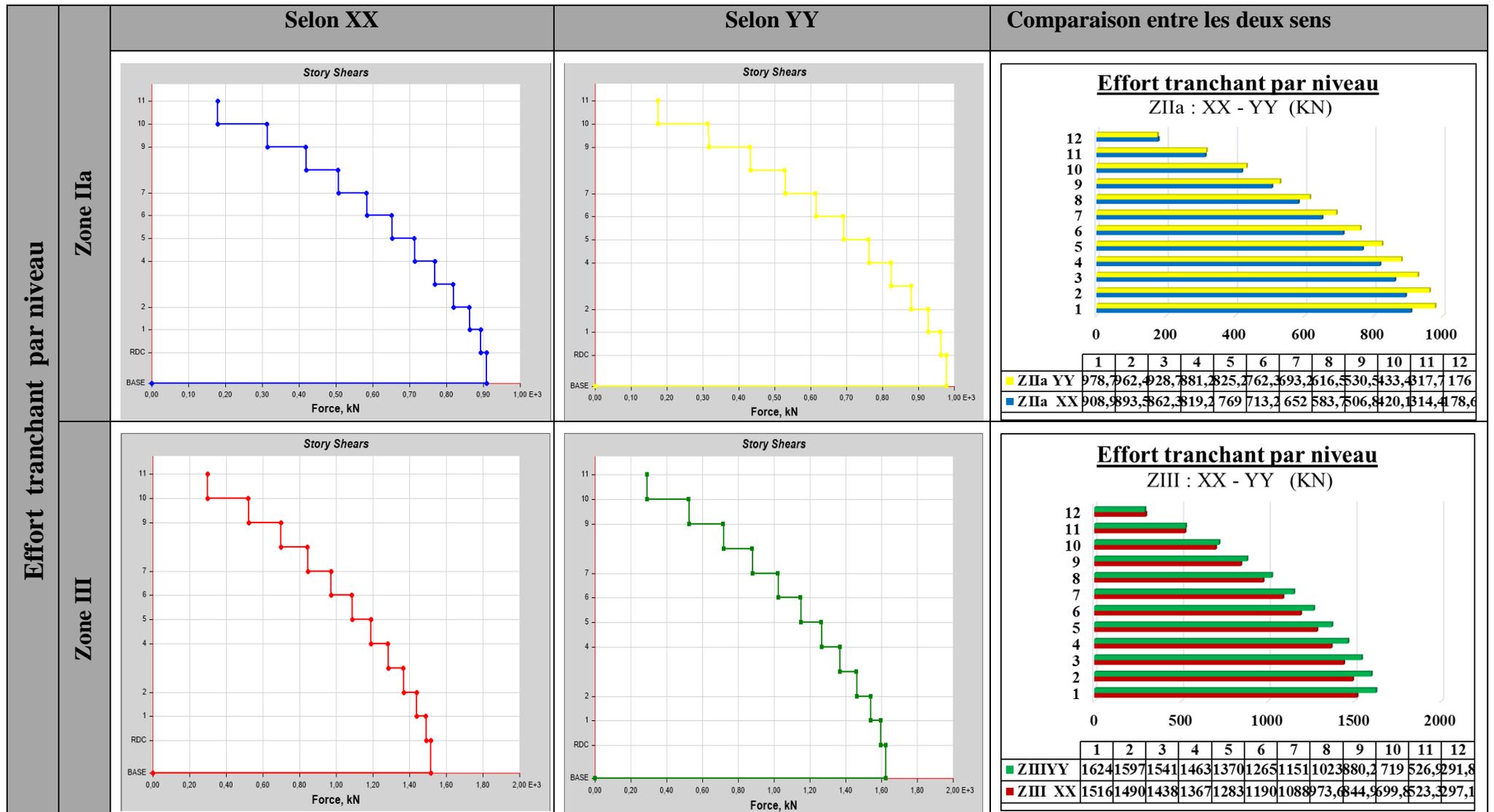
• Commentaires

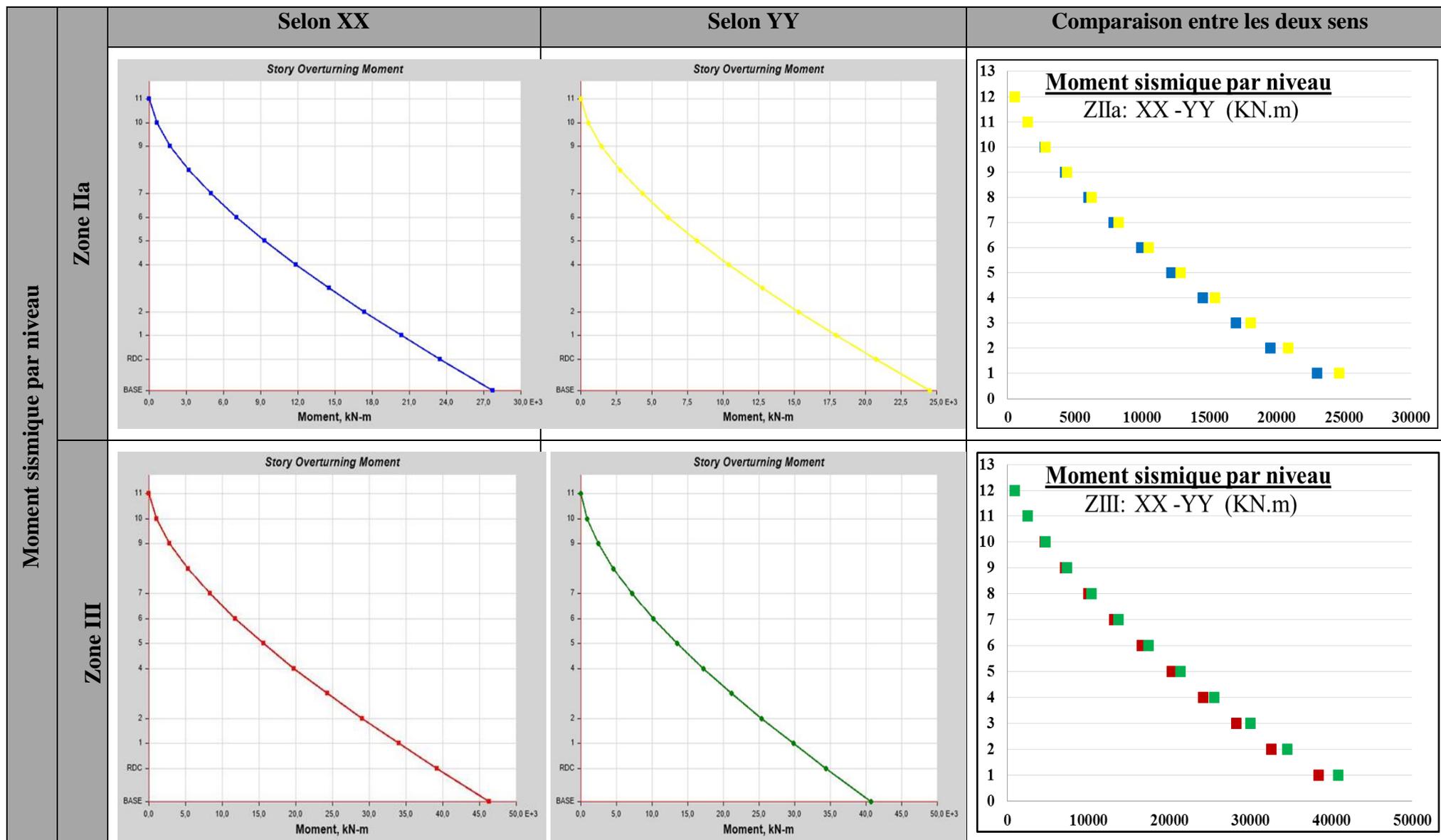
Dans le but d'avoir un meilleur comportement, on a essayé de minimiser l'excentricité entre le centre de gravité (Xg, Yg) et le centre de rigidité (Xc, Yc) afin de minimiser les effets de torsion.

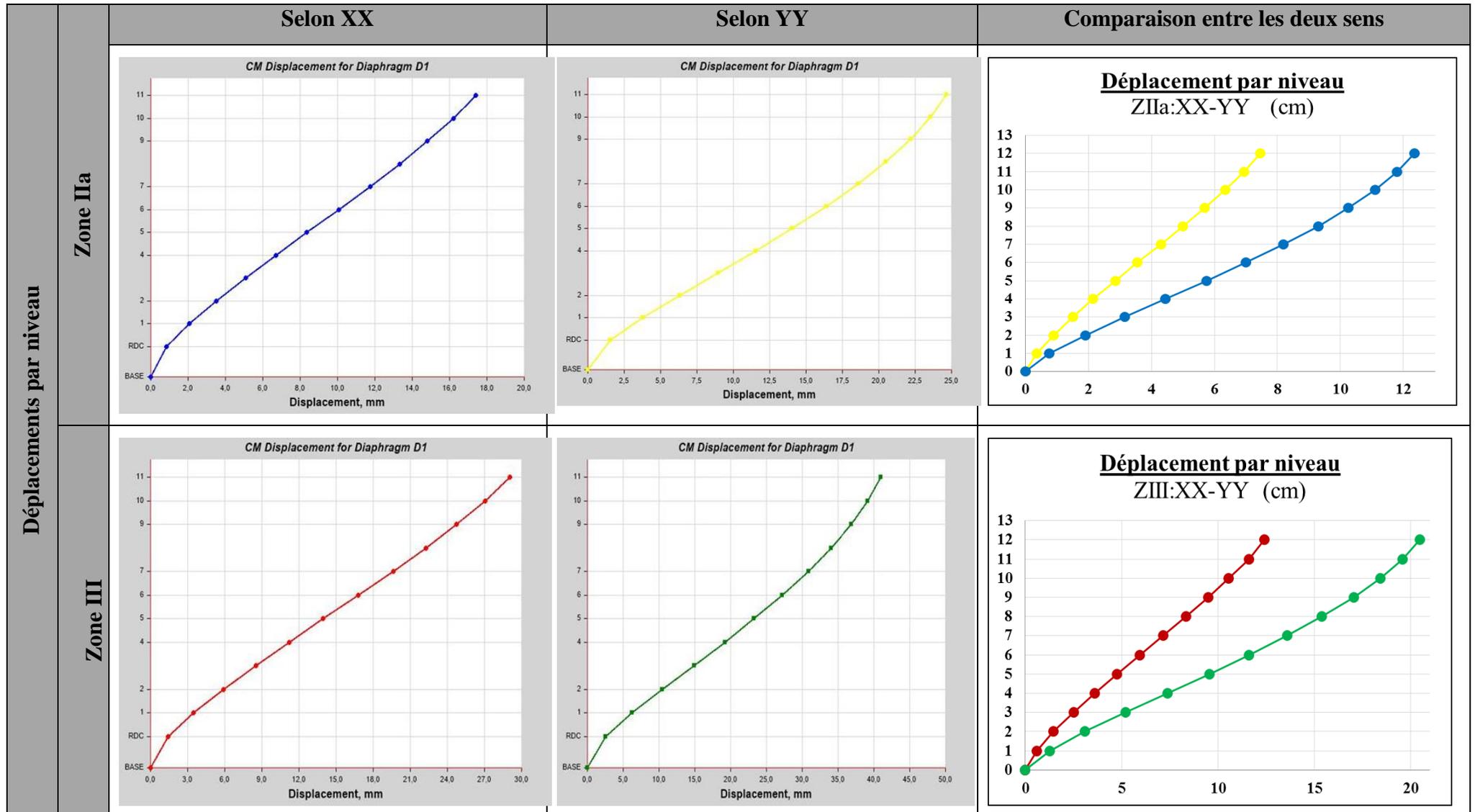
6.3. Effort tranchant, moments sismiques et les déplacements par niveau :

Dans le tableau suivant, on montre les résultats trouvés sous formes graphes et tableau dans les deux directions XX et YY : les efforts, les moments sismiques avec les déplacements par niveau ainsi une comparaison entre les deux directions :

Tableau.3. 35 : Effort tranchant, moments sismiques et les déplacements par niveau (11S-ZIIa-ZIII-5)







• *Commentaires*

La structure a une géométrie rectangulaire, ce qui signifie une différence en termes de rigidité. Pour corriger cette différence, on a disposé (4 voiles avec 3 portiques) parallèles a X et (2 voiles avec 6 portiques) parallèles a Y (Voir Tableau.2.10) :

6.4. Justifications sismiques de la structure

6.4.1. Justification de l'interaction voiles-portiques (A.3.4 R.P.A99/2003)

Les charges horizontales et verticales ainsi le pourcentage repris par les voiles et les portiques à tous les niveaux sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau.3. 36: Vérification de l'effort tranchant à la base (11S-ZIIa-ZIII-5)

Niv	Sous charges horizontales (*)							
	Sens XX				Sens YY			
	portiques	voiles	%porti	%voiles	portiques	voiles	%porti	%voiles
11	187,7165	55,8005	77,09	22,91	169,2002	20,5448	89,17	10,83
10	202,1216	95,8493	67,83	32,17	199,5436	80,4581	71,26	28,74
9	215,802	172,3455	55,60	44,40	242,4424	138,0426	63,72	36,28
8	340,9422	131,6788	72,14	27,86	358,2979	109,6597	76,57	23,43
7	347,8557	197,9122	63,74	36,26	398,0456	147,6481	72,94	27,06
6	331,544	280,3068	54,19	45,81	411,2082	199,9695	67,28	32,72
5	525,2618	152,0385	77,55	22,45	540,2357	135,5907	79,94	20,06
4	482,7028	248,1673	66,05	33,95	548,889	185,1242	74,78	25,22
3	469,2966	311,0182	60,14	39,86	563,2305	222,0548	71,72	28,28
2	533,9066	292,0222	64,64	35,36	624,749	213,1661	74,56	25,44
1	492,5958	367,8898	57,25	42,75	673,8663	222,2328	75,20	24,80
RDC	264,5856	623,7357	29,79	70,21	400,9585	543,2783	42,46	57,54
Sous charges verticales (**)								
RDC	22837,8052	5536,6462	80,49	19,51	Sous combinaison : G+Q			
La valeur attribuée au coefficient de comportement est R= 5								

• *Commentaires*

Les interactions horizontales et verticales sont justifiées → La valeur attribuée au coefficient de comportement est R= 5

6.4.2. Effort tranchant a la base

R=5 , W=24972, 6051KN

$$T_{\text{empirique}} = \min \left\{ \begin{array}{l} C_T h_N^{3/4} \left\{ \begin{array}{l} C_T = 0,05 \\ h_N = 37.74\text{m} \rightarrow T = 0.76\text{s} \end{array} \right. \\ 0,09 \cdot H_N / \sqrt{d} \left\{ \begin{array}{l} dx = 16.6\text{m} \\ dy = 13.4\text{m} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} T_x = 0.83\text{s} \\ T_y = 0.93\text{s} \end{array} \right. \end{array} \right. \end{array} \right.$$

$$\begin{cases} T_{\text{empirique}/xx} = \min(0.76, 0.83) = 0.76 \text{ s} \rightarrow 1,3 T_{\text{empirique}/xx} = 0.988 \text{ s} \\ T_{\text{empirique}/yy} = \min(0.76, 0.93) = 0.76 \text{ s} \rightarrow 1,3 T_{\text{empirique}/yy} = 0.988 \text{ s} \\ T_{\text{analytique}/yy} = 1.209 \text{ s} > 1,3 T_{\text{empirique}/yy} = 0.988 \text{ s} \end{cases}$$

$$\rightarrow T_{\text{calcul}/xx} = T_{\text{calcul}/yy} = 0.988 \text{ s} > T_2 = 0.5 \text{ s} \Rightarrow D = 2.5 \eta \left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3} \rightarrow D_x = D_y = 1.21$$

- *Combinaison des réponses modales*

Tableau.3. 37 : La réponse sismique totale de la structure (11S-ZIIa-ZIII-5)

	XX	YY
T₁(s)	0.906	1.207
T₂(s)	0.284	0.4
r = T_i / T_j (T_i ≤ T_j)	0.313	0.331
10 / (10 + √(ξ_i ξ_j))	0.5	0,5
E = ± √(∑_{i=1}^k E_i²)		

Les valeurs trouvées sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau.3. 38: Vérification de l'effort tranchant à la base (11S-ZIIa-ZIII-5)

zone	IIa		III	
	Sens X	Sens Y	Sens X	Sens Y
Vst	1127.9	1127.9	1879.83	1879.83
0.8*Vst	902.32	902.32	1503.864	1503.864
Vdyn	1094,1507	983,850	1825,5941	1632,7852

Effort tranchant a la base
ZIIa:XX-YY

	Vst	0.8Vst	Vdyn
■ ZIIa-XX	1127,9	902,32	1094,1507
■ ZIIa-YY	1127,9	902,32	983,8502

Effort tranchant a la base
ZIII:XX-YY

	Vst	0.8Vst	Vdyn
■ ZIII-XX	1879,83	1503,864	1825,5941
■ ZIII-YY	1879,83	1503,864	1632,7852

• *Commentaires*

- Vu que les réponses modales sont indépendantes les unes des autres, la réponse sismique totale de la structure est : $E = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^{k=6} E_i^2}$ (6 modes)
- L'effort tranchant dynamique a la base est supérieur à 80% de l'effort tranchant statique.

6.4.3. Effort normal réduit

Tableau.3. 39 : Vérification de l'effort normal réduit (11S-ZIIa-ZIII-5)

Effort normal réduit : ZONE IIa							
Niv	Section (m ²) a*b		N° Poteau	N _d (KN)	Comb	v	Observation
RDC	0,55	0,6	11	2147,4344	G+Q+EYIIa Min	0,26029508	✓
1,2	0,5	0,55	11	1893,0455	G+Q+EYIIaMin	0,27535207	✓
3,4,5	0,45	0,5	11	1476,7158	G+Q+EYIIaMin	0,26252725	✓
6,7,8	0,35	0,45	8	927,9709	G+Q+EYIIaMin	0,23567515	✓
9,10,11	0,3	0,4	8	465,8355	G+Q+EXIIa Min	0,1552785	✓
Effort normal réduit : ZONE III							
RDC	0,55	0,6	11	2292,4788	G+Q+EXIIIMin	0,27787622	✓
1,2	0,5	0,55	11	2015,2146	G+Q+EYIIIMin	0,29312212	✓
3,4,5	0,45	0,5	11	1554,4664	G+Q+EYIIIMin	0,27634958	✓
6,7,8	0,35	0,45	8	954,9122	G+Q+EYIIIMin	0,24251738	✓
9,10,11	0,3	0,4	8	478,3358	G+Q+EXIIIMin	0,159445267	✓

Effort normal réduit
ZIIa-ZIII

	RDC	1	3	6	9
■ IIa	0,26029508	0,27535207	0,26252725	0,23567515	0,1552785
■ III	0,27787622	0,29312212	0,27634958	0,24251738	0,15944527

6.4.4. justification vis-à-vis les déformations

Tableau.3. 40 : Vérification vis-à-vis les déformations (11S-ZIIa-ZIII-5)

ZONE II a									Observ
étage	Diaph	δ_{eKx}	δ_{Kx}	Δ_{Kx}	δ_{eKy}	δ_{Ky}	Δ_{Ky}	1% h _k	
11	D12	0,0149	0,0745	0,005	0,0247	0,1235	0,0055	0,0306	✓
10	D11	0,0139	0,0695	0,006	0,0236	0,118	0,007	0,0306	✓
9	D10	0,0127	0,0635	0,0065	0,0222	0,111	0,0085	0,0306	✓
8	D9	0,0114	0,057	0,007	0,0205	0,1025	0,0095	0,0306	✓
7	D8	0,01	0,05	0,007	0,0186	0,093	0,011	0,0306	✓
6	D7	0,0086	0,043	0,0075	0,0164	0,082	0,012	0,0306	✓
5	D6	0,0071	0,0355	0,007	0,014	0,07	0,0125	0,0306	✓
4	D5	0,0057	0,0285	0,007	0,0115	0,0575	0,013	0,0306	✓
3	D4	0,0043	0,0215	0,0065	0,0089	0,0445	0,013	0,0306	✓
2	D3	0,003	0,015	0,006	0,0063	0,0315	0,0125	0,0306	✓
1	D2	0,0018	0,009	0,0055	0,0038	0,019	0,0115	0,0306	✓
RDC	D1	0,0007	0,0035	0,0035	0,0015	0,0075	0,0075	0,0408	✓

ZONE III									
11	D12	0,0248	0,124	0,008	0,041	0,205	0,009	0,0306	☑
10	D11	0,0232	0,116	0,0105	0,0392	0,196	0,0115	0,0306	☑
9	D10	0,0211	0,1055	0,0105	0,0369	0,1845	0,014	0,0306	☑
8	D9	0,019	0,095	0,0115	0,0341	0,1705	0,0165	0,0306	☑
7	D8	0,0167	0,0835	0,012	0,0308	0,154	0,018	0,0306	☑
6	D7	0,0143	0,0715	0,012	0,0272	0,136	0,02	0,0306	☑
5	D6	0,0119	0,0595	0,012	0,0232	0,116	0,0205	0,0306	☑
4	D5	0,0095	0,0475	0,0115	0,0191	0,0955	0,0215	0,0306	☑
3	D4	0,0072	0,036	0,011	0,0148	0,074	0,022	0,0306	☑
2	D3	0,005	0,025	0,0105	0,0104	0,052	0,021	0,0306	☑
1	D2	0,0029	0,0145	0,0085	0,0062	0,031	0,0185	0,0306	☑
RDC	D1	0,0012	0,006	0,006	0,0025	0,0125	0,0125	0,0408	☑

6.4.5. Justification vis-à-vis les effets p-Δ

Tableau.3. 41 : vérification vis-à-vis les effets p-Δ (11S-ZIIa-ZIII-5)

Zone IIa								
Sens XX					Sens YY			
étage	h k	Σ Pk	ΔKx	Vkx	θkx	ΔKy	Vky	θky
D12	3.06	2129,5611	0,005	178,6204	0,01948084	0,0055	176,0058	0,02174725
D11	3.06	4074,1218	0,006	314,402	0,02540847	0,007	317,7224	0,02933343
D10	3.06	6018,6825	0,0065	420,0691	0,03043495	0,0085	433,4418	0,03857164
D9	3.06	8009,5795	0,007	506,7775	0,03615505	0,0095	530,4752	0,0468756
D8	3.06	10000,4765	0,007	583,6568	0,03919582	0,011	616,53	0,05830929
D7	3.06	11991,3736	0,0075	652,0266	0,0450758	0,012	693,1928	0,06783826
D6	3.06	14067,6553	0,007	713,1804	0,0451231	0,0125	762,2859	0,0753863
D5	3.06	16143,9371	0,007	769,0204	0,04802288	0,013	825,2031	0,0831133
D4	3.06	18220,2189	0,0065	819,1801	0,04724612	0,013	881,1547	0,08784628
D3	3.06	20360,0444	0,006	862,3112	0,04629611	0,0125	928,6538	0,08955987
D2	3.06	22499,87	0,0055	893,4565	0,04526347	0,0115	962,3942	0,08786247
D1	4.08	24972,6051	0,0035	908,9469	0,02356857	0,0075	978,6964	0,04690476
Zone III								
Sens XX					Sens YY			
étage	h k	Σ Pk	ΔKx	Vkx	θkx	ΔKy	Vky	θky
D12	3.06	2129,5611	0,008	297,0851	0,01874035	0,009	291,8371	0,02146202
D11	3.06	4074,1218	0,0105	523,3408	0,02671267	0,0115	526,9404	0,02905688
D10	3.06	6018,6825	0,0105	699,8373	0,0295102	0,014	719,0443	0,03829591
D9	3.06	8009,5795	0,0115	844,9323	0,03562577	0,0165	880,2248	0,04906577
D8	3.06	10000,4765	0,012	973,6126	0,04028045	0,018	1023,203	0,05749229
D7	3.06	11991,3736	0,012	1087,9766	0,04322243	0,02	1150,573	0,06811821

D6	3.06	14067,6553	0,012	1190,1649	0,04635263	0,0205	1265,341	0,07448113
D5	3.06	16143,9371	0,0115	1283,3052	0,04727765	0,0215	1369,802	0,08280729
D4	3.06	18220,2189	0,011	1366,7629	0,04792164	0,022	1462,629	0,08956133
D3	3.06	20360,0444	0,0105	1438,3543	0,04857141	0,021	1541,372	0,09065025
D2	3.06	22499,87	0,0085	1489,9636	0,04194709	0,0185	1597,274	0,08516296
D1	4.08	24972,6051	0,006	1515,6078	0,02423082	0,0125	1624,275	0,04710358

- **Commentaires** : L'effet P- Δ est négligeable.

7. Résultats de l'analyse sismique "11S- Z IIa- 3.5" et "11S- Z III- 3.5"

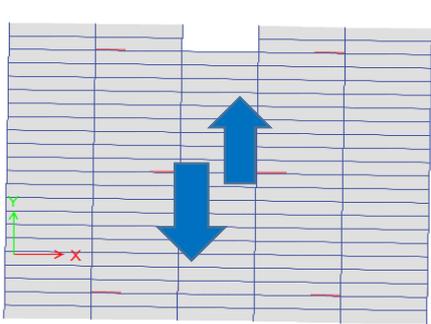
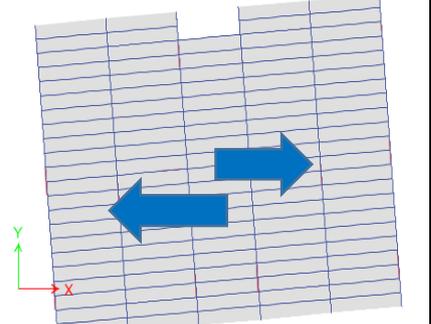
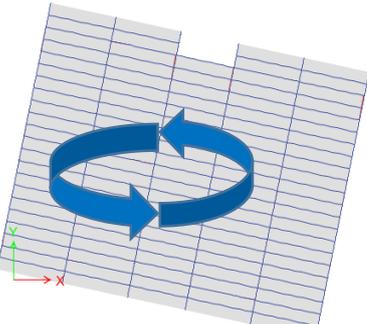
Les résultats de l'analyse sismique sont présentés ci-dessous pour la structure "11S- Z IIa- 3.5" et "11S- Z III- 3.5" :

7.1. Taux de participation massique et périodes de vibration:

Le tableau suivant donne la période analytique ainsi la participation massique pour chaque mode :

Tableau.3. 42 : Vérification taux de participation massique (11S-ZIIa-ZIII-3.5)

Mode	T (sec)	UX	UY	RZ	Σ UX	Σ UY	Σ RZ
1	1,146	0,017	0,7563	0,0026	0,017	0,7563	0,0026
2	1,145	0,6719	0,0192	0,1028	0,6888	0,7754	0,1054
3	0,963	0,1067	0	0,6904	0,7955	0,7754	0,7958
4	0,361	0,0982	0,0001	0,0106	0,8937	0,7756	0,8064
5	0,351	0,0001	0,1161	4,857E-05	0,8938	0,8917	0,8064
6	0,304	0,011	1,573E-05	0,0898	0,9048	0,8917	0,8963
7	0,197	0,035	0	0,0026	0,9398	0,8917	0,8988
8	0,184	1,546E-06	0,0414	1,858E-05	0,9398	0,9331	0,8988
9	0,165	0,002	1,842E-05	0,0374	0,9418	0,9331	0,9362

		
Mode 1	Mode2	Mode3

- **Commentaires**

- Le 1^{er} mode de vibration : est un mode de translation suivant l'axe Y avec un taux de participation massique égal à 75.63% ;
- Le 2^{ème} mode de vibration : est un mode de translation suivant l'axe X avec un taux de participation massique égal à 67.19% ;

- Le 3^{ème} mode de vibration : est un mode de rotation autour de l'axe Z avec un taux de participation massique égal à 69.04% ;
- Le taux de participation massique tel qu'il est exigé par le RPA99-2003 doit être supérieur à 90% ; pour notre structure le taux de participation atteint les 90% au **9ème mode**
- Les six premières réponses modales (de "E1" jusqu'à "E6") seront combinées pour trouver la réponse total de la structure (effort dynamique à la base).

7.2. Poids et centre de gravité de la structure

Tableau.3. 43 : Poids et centre de gravité de la structure (11S-ZIIa-ZIII-3.5)

Niveau	D	Σ Pk	Centre de gravité		Centre de rigidité	
			Xg	Yg	Xc	Yc
RDC	D1	24348,7144	8,301	5,3737	8,2773	5,8798
Etage 1	D2	22165,5587	8,2993	5,3601	8,2848	6,026
Etage 2	D3	20167,5988	8,2993	5,3601	8,2908	6,1297
Etage 3	D3	8179,8392	8,2993	5,3601	8,2944	6,1912
Etage 4	D4	18169,6389	8,2993	5,3601	8,2965	6,2307
Etage 5	D5	16171,6789	8,2993	5,3601	8,2978	6,2587
Etage 6	D6	14173,719	8,2993	5,3601	8,2986	6,2801
Etage 7	D7	12175,7591	8,2993	5,3601	8,2991	6,2979
Etage 8	D8	10177,7992	8,2993	5,3601	8,2994	6,3138
Etage 9	D9	8179,8392	8,2993	5,3601	8,2996	6,3293
Etage 10	D10	6181,8793	8,2931	5,3341	8,2989	6,3415
Etage 11	D11	4183,9194	8,3	5,4266	8,2965	6,3276
$W = \sum_{i=1}^n W_i = \sum_{i=1}^n M_i * g = \sum_{i=1}^n (W_{Gi} + \beta W_{Qi}) * g = 24348,7144 \text{KN} \rightarrow \beta = 0,2$						

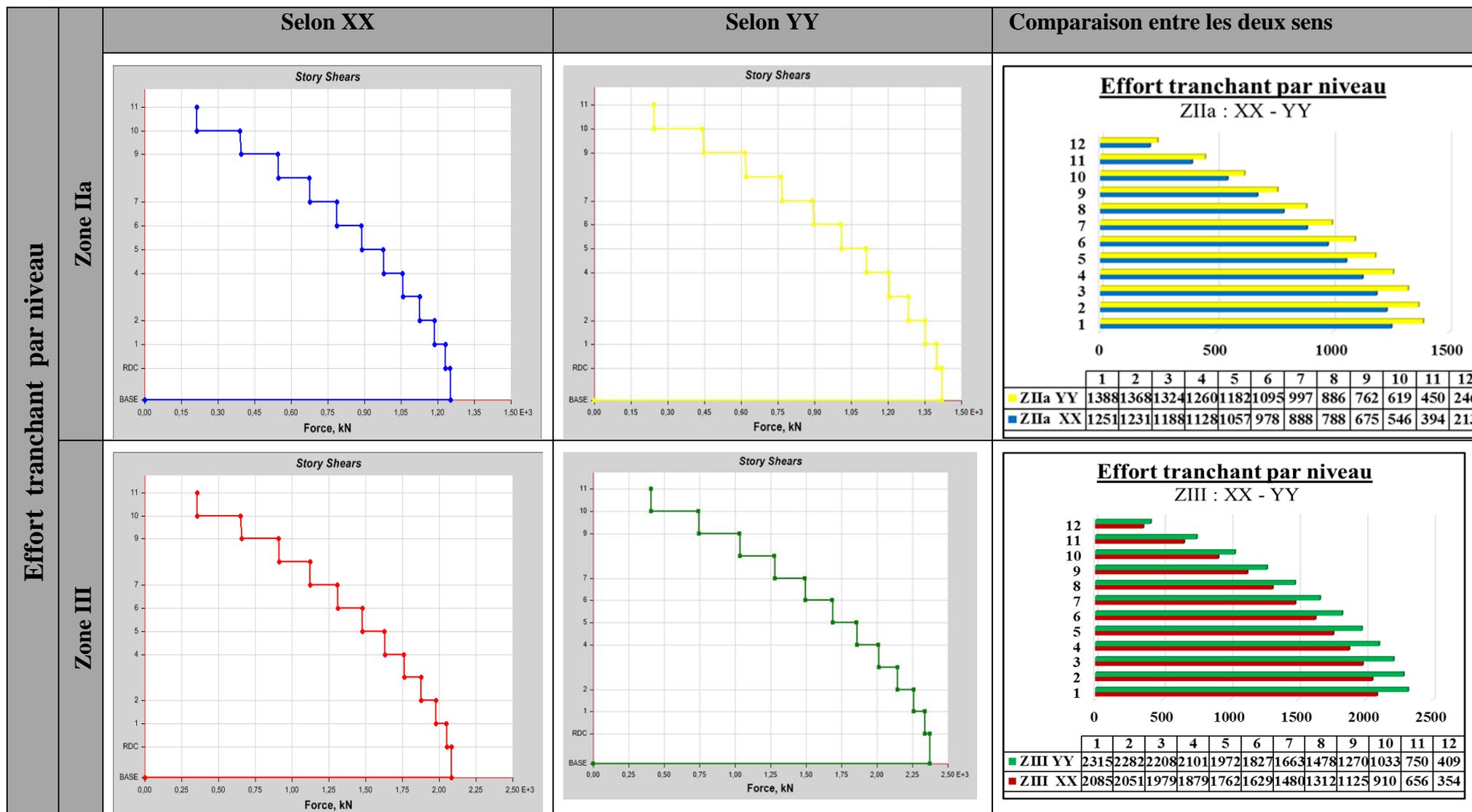
• Commentaires

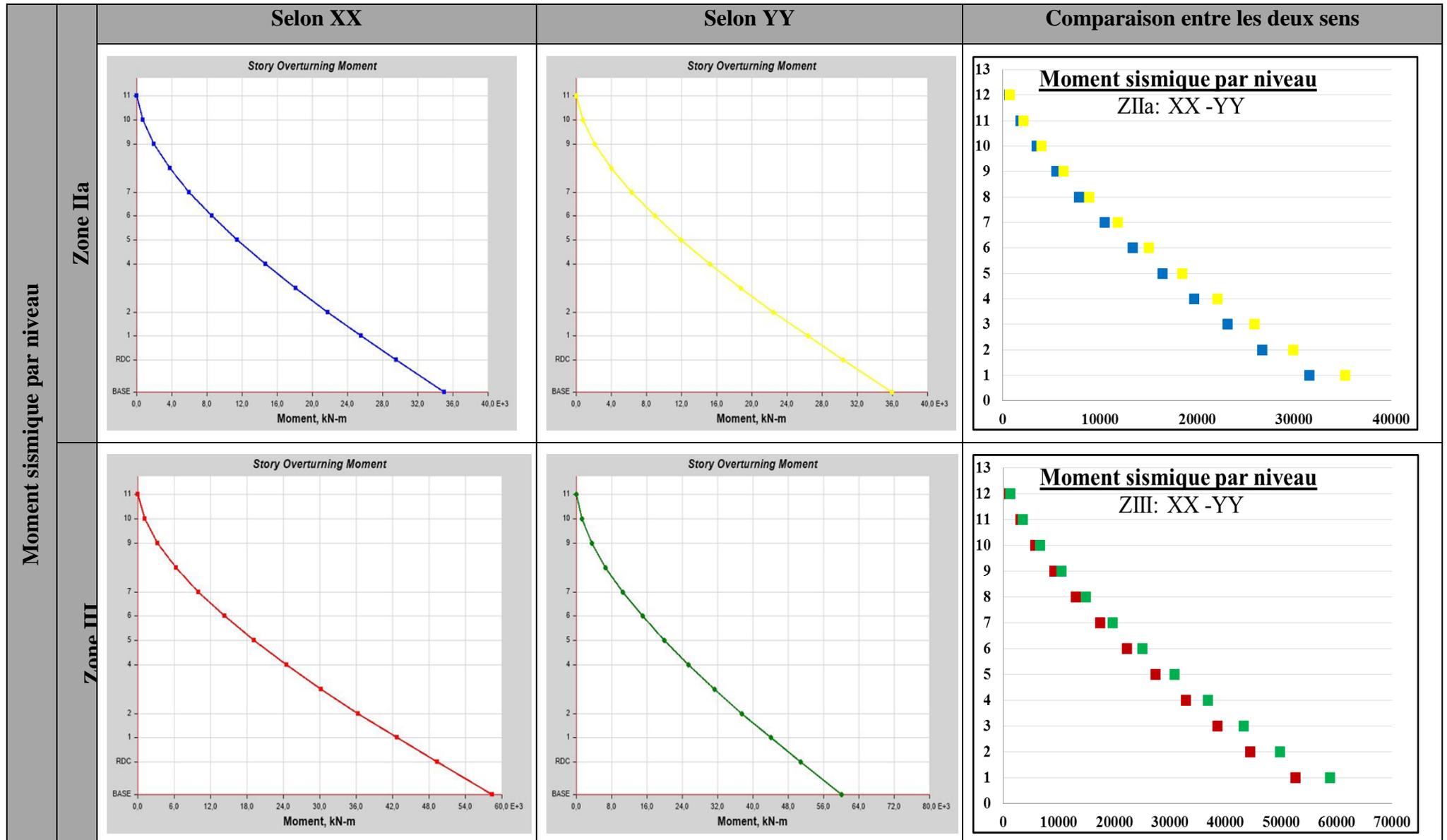
Dans le but d'avoir un meilleur comportement, on a essayé de minimiser l'excentricité entre le centre de gravité (Xg, Yg) et le centre de rigidité (Xc, Yc) afin de minimiser les effets de torsion.

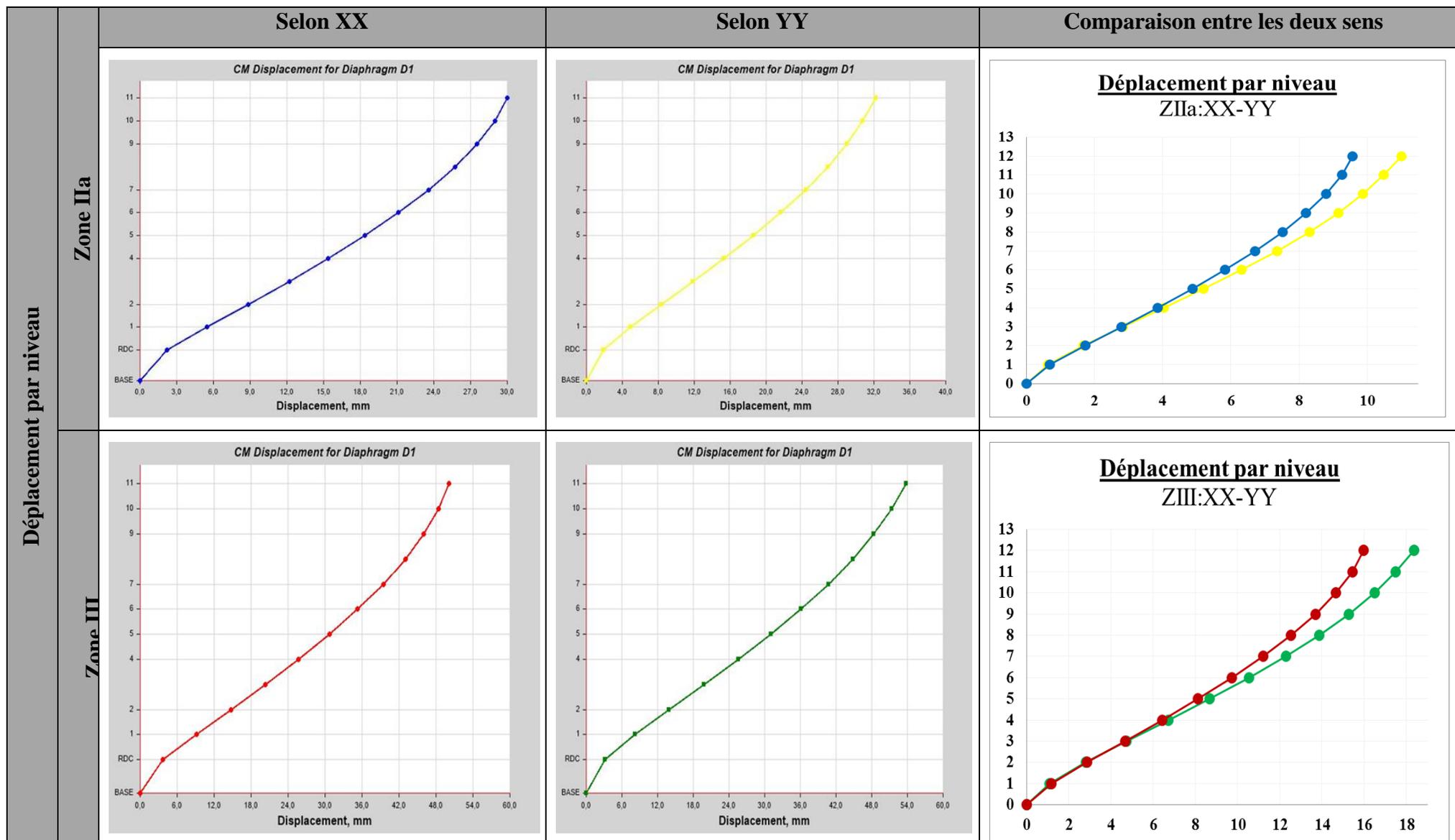
7.3. Effort tranchant, moments sismiques et les déplacements par niveau :

Dans le tableau suivant, on montre les résultats trouvés sous formes graphes et tableau dans les deux directions XX et YY : les efforts, les moments sismiques avec les déplacements par niveau ainsi une comparaison entre les deux directions :

Tableau.3. 44 : Effort tranchant, moments sismiques et les déplacements par niveau (11S-ZIIa-ZIII-3.5)







7.4. Justifications sismiques de la structure

7.4.1. Effort tranchant à la base

$$R=3,5 \quad , \quad W=24348,7144\text{KN}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{\text{empirique}/xx} = \min(0,76, 0,83) = 0,76 \text{ s} \rightarrow 1,3 T_{\text{empirique}/xx} = 0,988 \text{ s} \\ T_{\text{empirique}/yy} = \min(0,76, 0,93) = 0,76 \text{ s} \rightarrow 1,3 T_{\text{empirique}/yy} = 0,988 \end{array} \right.$$

$$T_{\text{analytique}/yy} = 1,151 \text{ s} > 1,3 \cdot T_{\text{empirique}/yy} = 0,988 \text{ s} > \mathbf{T_2=0.5S}$$

$$\Rightarrow D=2.5 \eta \left(\frac{T_2}{T}\right)^{2/3} \rightarrow D_x=D_y=1.21$$

- *Combinaison des réponses modales*

Tableau.3. 45 : La réponse sismique totale de la structure (11S-ZIIa-ZIII-3.5)

	XX	YY
T₁(s)	1,145	1,146
T₂(s)	0,361	0,351
r=T_i / T_j (T_i ≤ T_j)	0,32	0,31
10 / (10 + √(ξ_i ξ_j))	0,5	0,5
E = ± √(∑_{i=1}^k E_i²)		

Les valeurs trouvées sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau.3. 46 : Vérification de l'effort tranchant à la base (11S-ZIIa-ZIII-3.5)

zone	IIa		III	
	Sens X	Sens Y	Sens X	Sens Y
Vst	1578,32	1578,32	2630,53	2630,53
0.8*Vst	1262,66	1262,66	2104,42	2104,42
Vdyn	1398.8367	1428.3478	2085,1269	2315,1775

Effort tranchant a la base
ZIIa:XX-YY (KN)

	Vst	0.8Vst	Vdyn
ZIIa XX	1578,32	1262,66	1398,8367
ZIIa YY	1578,32	1262,66	1428,3478

Effort tranchant a la base
ZIII:XX-YY

	Vst	0.8Vst	Vdyn
ZIII XX	2630,53	2104,42	2085,1269
ZIII YY	2630,53	2104,42	2315,1775

• *Commentaires*

- Vue que les réponses modales sont indépendantes les unes des autres, la réponse sismique

totale de la structure est : $E = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^{k=6} E_i^2}$ (6 modes)

- L'effort tranchant dynamique a la base est supérieur à 80% de l'effort tranchant statique.

7.4.2. justification vis-à-vis les déformations

Tableau.3. 47 : Vérification vis-à-vis les déformations (11S-ZIIa-ZIII-3.5)

ZONE II a									
étage	Diaph	δ_{eKx}	δ_{Kx}	Δ_{Kx}	δ_{eKy}	δ_{Ky}	Δ_{Ky}	1% h _k	Obs
11	D12	0,0274	0,0959	0,00315	0,0315	0,1100785	0,005152	0,0306	☑
10	D11	0,0265	0,09275	0,00455	0,03	0,1049265	0,0061005	0,0306	☑
9	D10	0,0252	0,0882	0,00595	0,0283	0,098826	0,0072555	0,0306	☑
8	D9	0,0235	0,08225	0,007	0,0262	0,0915705	0,008421	0,0306	☑
7	D8	0,0215	0,07525	0,0077	0,0238	0,0831495	0,009492	0,0306	☑
6	D7	0,0193	0,06755	0,0091	0,0211	0,0736575	0,0104265	0,0306	☑
5	D6	0,0167	0,05845	0,00945	0,0181	0,063231	0,0111825	0,0306	☑
4	D5	0,014	0,049	0,01015	0,0149	0,0520485	0,011718	0,0306	☑
3	D4	0,0111	0,03885	0,01085	0,0116	0,0403305	0,011942	0,0306	☑
2	D3	0,008	0,028	0,0105	0,0082	0,0283885	0,0116305	0,0306	☑
1	D2	0,005	0,0175	0,0105	0,0048	0,016758	0,0103215	0,0306	☑
RDC	D1	0,002	0,007	0,007	0,0019	0,0064365	0,0064365	0,0408	☑
ZONE III									
11	D12	0,0456	0,1596	0,0049	0,0525	0,18375	0,0084	0,0306	☑
10	D11	0,0442	0,1547	0,00805	0,0501	0,17535	0,0105	0,0306	☑
9	D10	0,0419	0,14665	0,0098	0,0471	0,16485	0,0119	0,0306	☑
8	D9	0,0391	0,13685	0,01155	0,0437	0,15295	0,014	0,0306	☑
7	D8	0,0358	0,1253	0,01295	0,0397	0,13895	0,01575	0,0306	☑
6	D7	0,0321	0,11235	0,01505	0,0352	0,1232	0,0175	0,0306	☑
5	D6	0,0278	0,0973	0,01575	0,0302	0,1057	0,01855	0,0306	☑
4	D5	0,0233	0,08155	0,01715	0,0249	0,08715	0,0196	0,0306	☑
3	D4	0,0184	0,0644	0,0175	0,0193	0,06755	0,01995	0,0306	☑
2	D3	0,0134	0,0469	0,01785	0,0136	0,0476	0,0196	0,0306	☑
1	D2	0,0083	0,02905	0,01715	0,008	0,028	0,01715	0,0306	☑
RDC	D1	0,0034	0,0119	0,0119	0,0031	0,01085	0,01085	0,0408	☑

7.4.3. Justification vis-à-vis les effets p-Δ

Tableau.3. 48 : vérification vis-à-vis les effets p-Δ (11S-ZIIa-ZIII-3.5)

Zone IIa			Sens XX			Sens YY		
étage	h _k	Σ P _k	ΔK _x	V _{kx}	θ _{kx}	ΔK _y	V _{ky}	θ _{ky}
D12	3.06	2185,9595	0,00315	212,5886	0,01058501	0,005152	245,6446	0,01498267
D11	3.06	4183,9194	0,00455	393,8325	0,01579653	0,006100	449,8882	0,01853903
D10	3.06	6181,8793	0,00595	546,4171	0,02199843	0,007255	619,4294	0,02366163
D9	3.06	8179,8392	0,007	675,1262	0,02771637	0,008421	761,7646	0,02955059
D8	3.06	10177,7992	0,0077	787,6121	0,03251702	0,009492	886,0083	0,035633
D7	3.06	12175,7591	0,0091	888,2127	0,04076609	0,010426	996,80	0,0416183
D6	3.06	14173,719	0,00945	977,8423	0,04476364	0,011182	1095,265	0,04728928

D5	3.06	16171,6789	0,01015	1057,2164	0,05073829	0,011718	1182,475	0,05237152
D4	3.06	18169,6389	0,01085	1127,6023	0,05713453	0,011942	1259,536	0,05629779
D3	3.06	20167,5988	0,0105	1187,573	0,05827225	0,011635	1323,900	0,05792206
D2	3.06	22165,5587	0,0105	1230,9224	0,06178967	0,010321	1368,414	0,05463381
D1	4.08	24348,7144	0,007	1251,3802	0,03338294	0,006436	1388,220	0,02766774
ZONE III								
étage	h k	ΣP_k	ΔK_x	V_{kx}	θ_{kx}	ΔK_y	V_{ky}	θ_{ky}
D12	3.06	2185,9595	0,0049	354,0654	0,00988629	0,0084	409,3522	0,01465895
D11	3.06	4183,9194	0,00805	655,9953	0,01677865	0,0105	749,8602	0,01914568
D10	3.06	6181,8793	0,0098	910,2581	0,02175007	0,0119	1032,665	0,02328019
D9	3.06	8179,8392	0,01155	1124,7978	0,02744927	0,014	1270,205	0,02946304
D8	3.06	10177,7992	0,01295	1312,3255	0,03282167	0,01575	1477,600	0,03545326
D7	3.06	12175,7591	0,01505	1480,0409	0,04046107	0,0175	1662,553	0,04188294
D6	3.06	14173,719	0,01575	1629,4544	0,04477141	0,01855	1826,871	0,04703254
D5	3.06	16171,6789	0,01715	1761,747	0,05144631	0,0196	1972,361	0,05251742
D4	3.06	18169,6389	0,0175	1879,0199	0,05530082	0,01995	2100,841	0,05638643
D3	3.06	20167,5988	0,01785	1978,8991	0,05944938	0,0196	2208,078	0,0585025
D2	3.06	22165,5587	0,01715	2051,0725	0,0605676	0,01715	2282,204	0,05443358
D1	4.08	24348,7144	0,0119	2085,1269	0,03405888	0,01085	2315,177	0,027968

8. Conclusion

On constate que tous les vérifications sismiques sont justifiées pour tous les cas de structures étudiées : R+5, R+8 et R+11 cela est justifié pour les deux systèmes de contreventement (R=5 et R=3.5) sous les deux intensités sismiques : faible (IIa) et forte (III) à savoir :

- L'effort tranchant à la base ;
- Interactions horizontales et verticales ;
- L'effort normal réduit ;
- Les déformations inter-étages ;
- l'effet p- Δ ;
- aucune indication sur le rapport de sol ;
- vérification du cisaillement pour les voiles qui sera majoré de 40% de l'effort tranchant à la base ;
- vérification de la stabilité de l'ensemble.

Effet du positionnement des voiles, la zone sismique et la hauteur sur le choix du système de contreventement sur les structures étudiées

Le règlement parasismique algérien laisse le choix aux concepteurs de bien choisir entre plusieurs système de contreventement, ou il doit tenir en considération: la hauteur, la zone sismique et la rigidité assigné aux voiles et aux poteaux. Ce choix influence directement sur la réponse sismique de la structure durant un futur séisme: rigidité, capacité en résistance et en ductilité.

Ce chapitre est consacré à étudier l'effet de la zone sismique, la hauteur et la disposition des voiles sur le bon choix du système de contreventement.

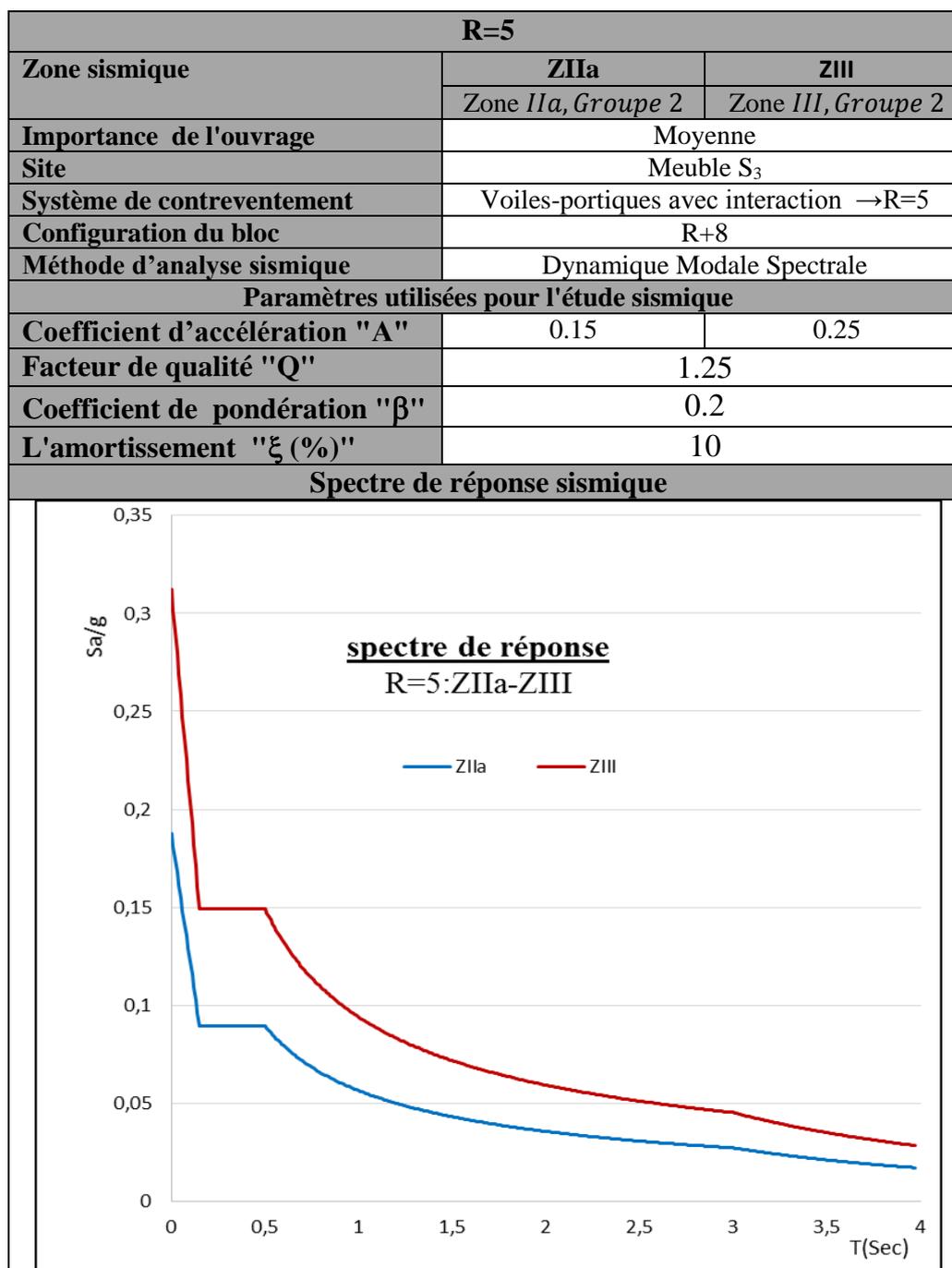
1. Effet de la zone sismique

Pour étudier l'influence de la zone sismique sur le choix de système de contreventement, on compare la réponse sismique de deux cas de structures : 8S-ZIIa-5 sera comparée avec 8S-ZIII-5 et 8S-ZIIa-3.5 sera comparée avec 8S-ZIII-3.5 :

1.1. Système R=5

1.1.1. Paramètres utilisés pour l'étude sismiques

Tableau.4. 1 : Les paramètres utilisés pour l'étude sismiques (8S-ZIIa-ZIII-5)



• **Commentaires**

- Il est clair que l'intensité sismique dans la zone III est plus élevée que celle IIa : $A_{IIa} = 60\% A_{III}$;
- Par conséquent, la demande sismique de la zone III est plus élevée que la demande sismique zone IIa;
- Pour étudier l'influence de la zone sismique sur la réponse de la structure, on compare la réponse sismique des deux cas de structures : 8S-ZIIa-5 sera comparée avec 8S-ZIII-5, par conséquent 5S-ZIIa-5 avec 5S-ZIII-5 et 11S-ZIIa-5 avec 11S-ZIII-5:

1.1.2. La réponse sismique des deux structures 8S-ZIIa-5 et 8S-ZIII-5

Le tableau 4.2 montre les périodes propres ainsi que les taux de participation massique de la structure (8S) dans les deux intensités sismiques (IIa et III) et dans les deux systèmes (R=5 et R=3.5)

Tableau.4. 2 : Comparaisons de la réponse sismique des deux structures

8S- ZIII-5 et 8S- ZIIa-5 , W=18181, 1809KN								
Case	Mode	Période	UX	UY	RZ	ΣUX	ΣUY	ΣRZ
Modal	1	0,941	0,000002327	0,7617	0	0,000002327	0,7617	0
Modal	2	0,879	0,7154	0,00002114	0,0371	0,7155	0,7617	0,0371
Modal	3	0,729	0,0376	0,000131	0,7162	0,7531	0,7617	0,7533
Modal	4	0,291	0,00001077	0,1249	0,000001125	0,7531	0,8866	0,7533
Modal	5	0,283	0,1306	0,00009091	0,0021	0,8837	0,8866	0,7555
Modal	6	0,223	0,0018	0,000002104	0,1278	0,8855	0,8866	0,8833
Modal	7	0,146	0,0001	0,0526	0,000001483	0,8856	0,9392	0,8833
Modal	8	0,144	0,052	0,0001	0,0002	0,93876	0,9493	0,8835
Modal	9	0,109	0,0002	0,000002432	0,0545	0,9378	0,9493	0,938
8S- ZIII-3,5 et 8S- ZIIa-3,5 , W=17719,9222KN								
Case	Mode	Période	UX	UY	RZ	ΣUX	ΣUY	ΣRZ
Modal	1	0,909	0,6719	0,0125	0,1236	0,6719	0,0125	0,1236
Modal	2	0,904	0,0106	0,7774	0,0022	0,6824	0,7899	0,1258
Modal	3	0,768	0,1276	0,000004799	0,6798	0,81	0,7899	0,8056
Modal	4	0,287	0,0939	0,0004	0,0103	0,9039	0,7903	0,8158
Modal	5	0,278	0,0003	0,1103	0,0001	0,9042	0,9006	0,816
Modal	6	0,241	0,0101	0,00002633	0,0902	0,9143	0,9007	0,9061

- **Commentaire:** D'après le tableau 4.2, on constate que:

- la valeur du période T ne dépend pas de la zone sismique: $T_{8S-ZIII-5} = T_{8S-ZIIa-5} = 0,941$ s;
- sa valeur est liée directement à la masse et à la rigidité de la structure: $T_{8S-ZIII-5} = 0,941$ s, $T_{8S-ZIII-3,5} = 0,909$ s \Rightarrow la structure **8S- ZIII-3,5** a une période plus courte que la période de la structure **8S- ZIII-5**.

1.1.3. Efforts tranchants, moments et déplacements par niveau

Le tableau 4.3 : montre la comparaison des efforts tranchants, effort tranchant a la base moments ainsi que les déplacements par niveau dans les deux zones sismiques (IIa et III) pour la structure (8S-ZIIa-5 et 8S-ZIII-5)

- **Commentaire:**

☒ Lorsque l'intensité sismique augmente, l'effort tranchant dynamique augmente dans les deux directions: - $V_{dyn IIa}=814.34$ KN

- $V_{dyn III}=1359.39$ KN

Cette augmentation est justifiée par effet de l'action sismique (le spectre de réponse : $A_{III}=0.25$, $A_{IIa}=0.15$)

☒ Même effet sur l'effort tranchant statique: $V_{st IIa}=940.88$ KN et $V_{st III}=1561.13$ KN

☒ Même constatation enregistrée pour le moment sismique

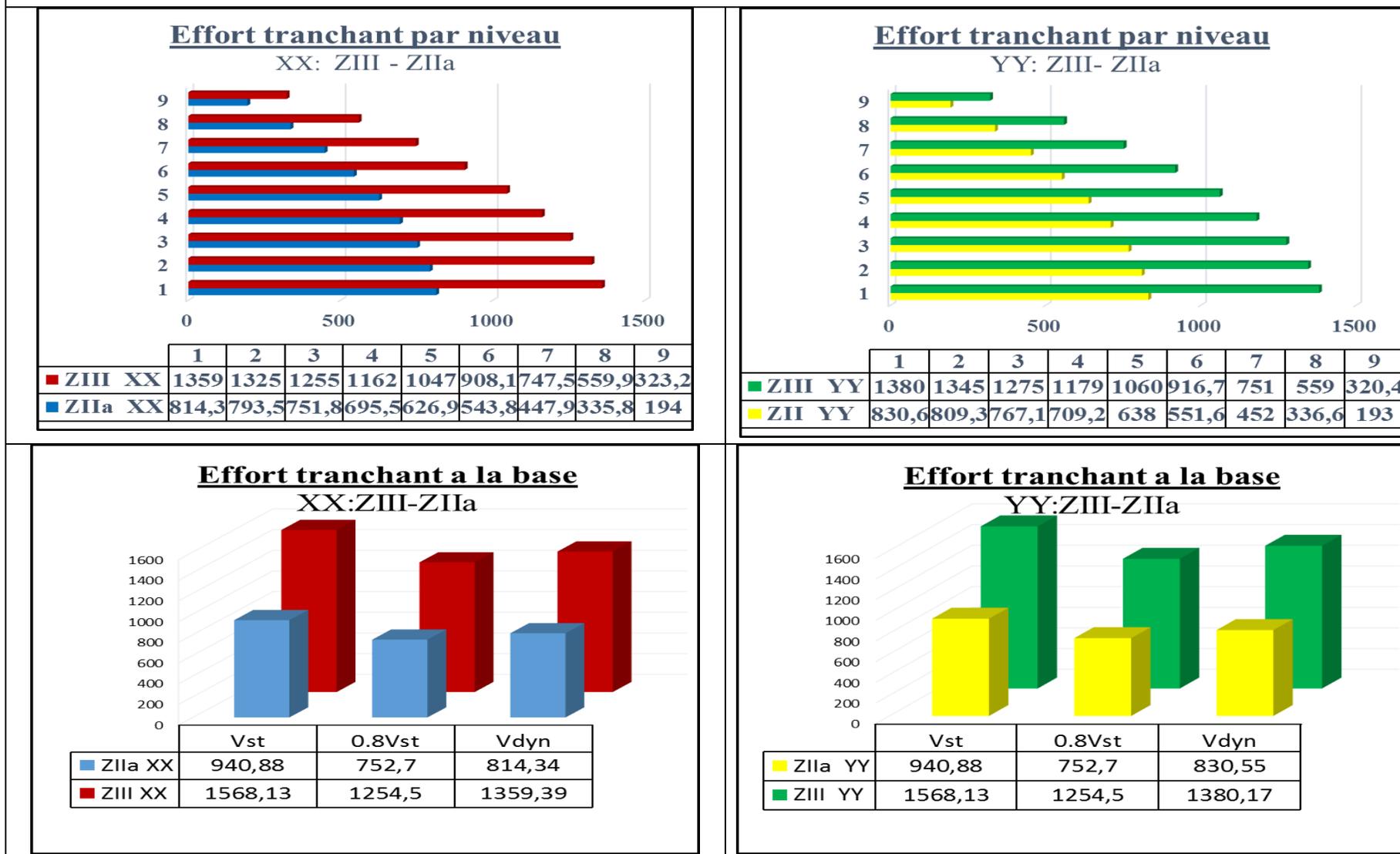
☒ Le déplacement au sommet de la structure pour les deux zones sismiques:

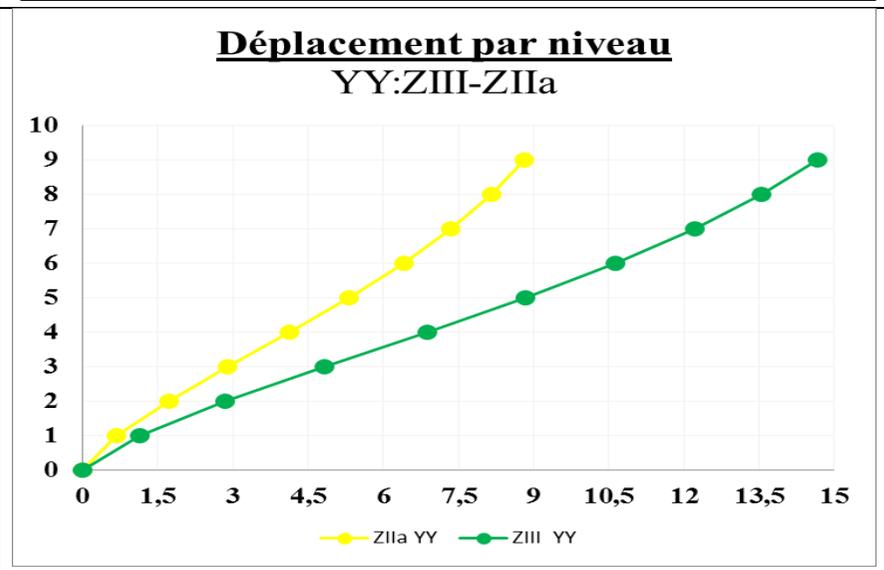
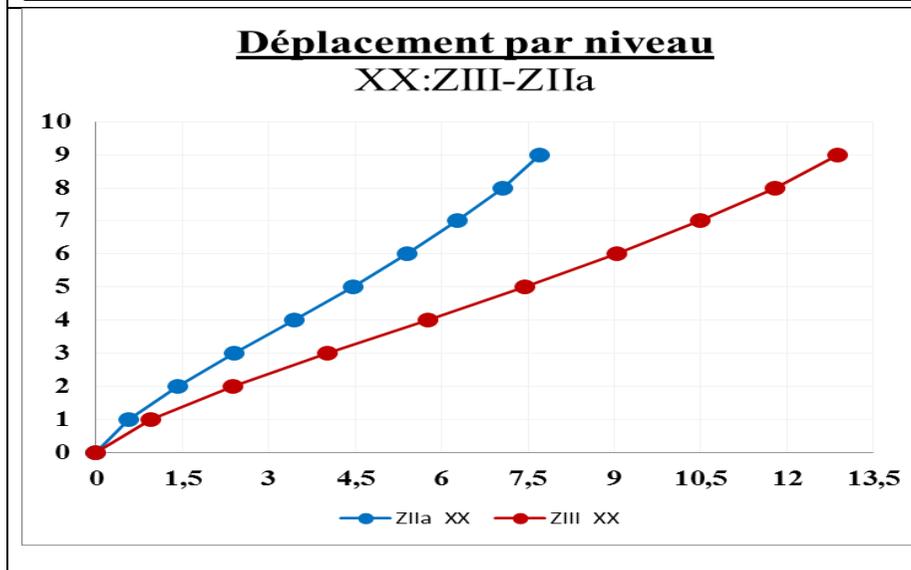
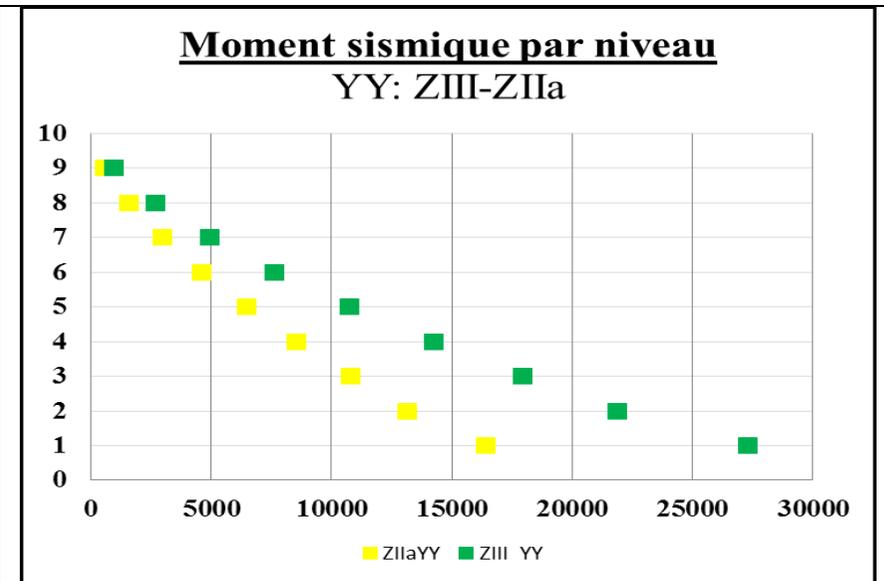
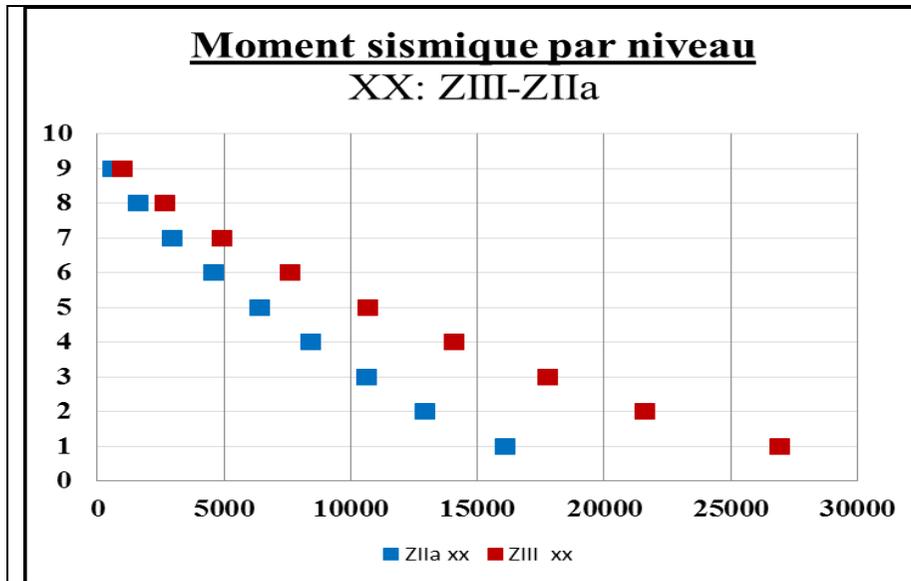
- $\delta_{8S-ZIIa-5}=7,705$ cm et $\delta_{8S-ZIII-5}=12,87$ cm (selon xx)

- $\delta_{8S-ZIIa-5}=8,822$ cm et $\delta_{8S-ZIII-5}=14,66$ cm (selon y)

\rightarrow l'action sismique pousse la structure de se déformer en plus (la structure passe à un état de déformation avancés).

Tableau.4. 3 : Efforts tranchant, moments et déplacement par niveau (8S-ZIIa-ZIII-5)

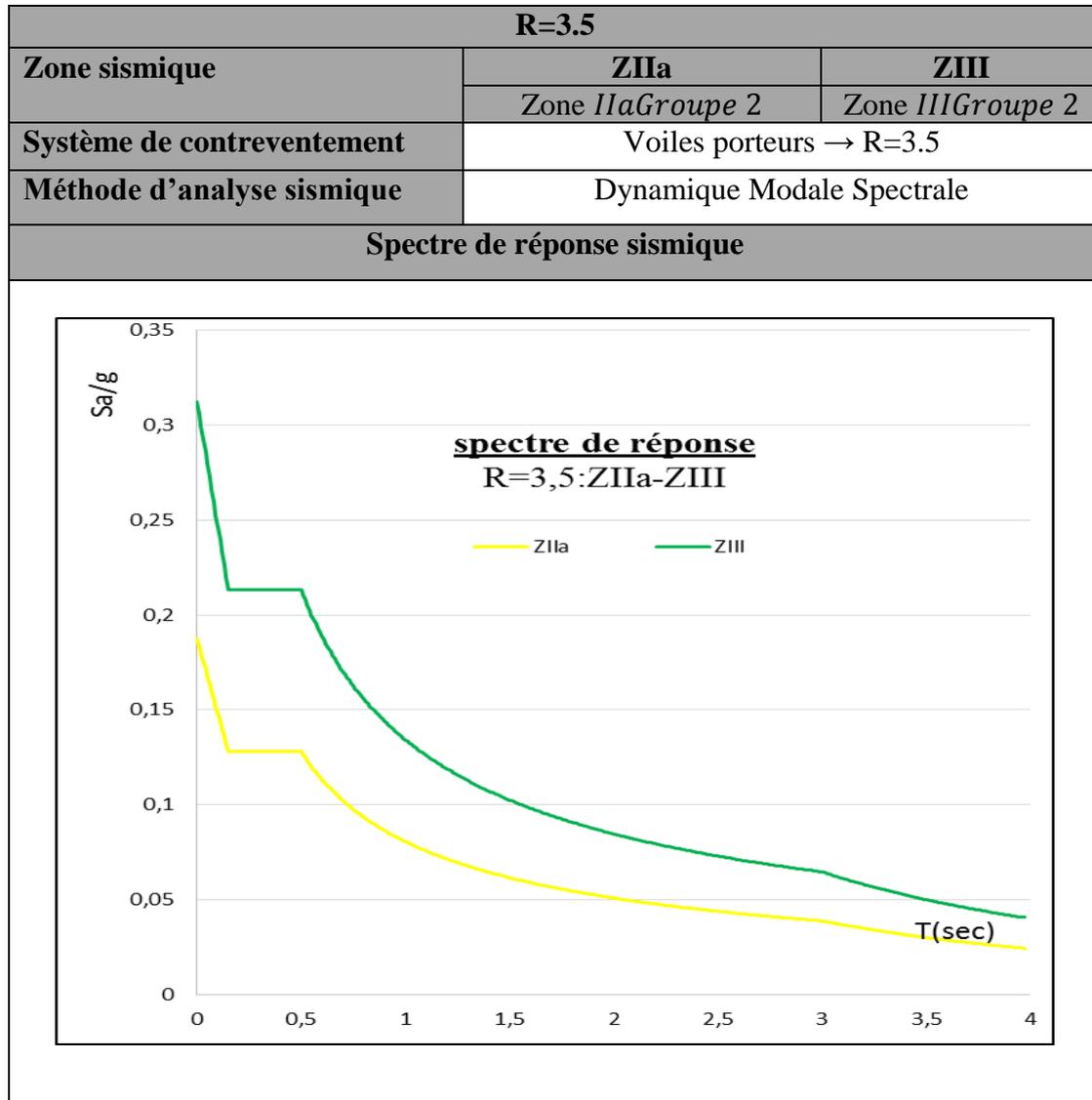




1.2. Système R=3.5

1.2.1 Paramètres utilisés pour l'étude sismiques

Tableau.4. 4 : Les paramètres utilisés pour l'étude sismiques ((8S-ZIIa-ZIII-3.5)



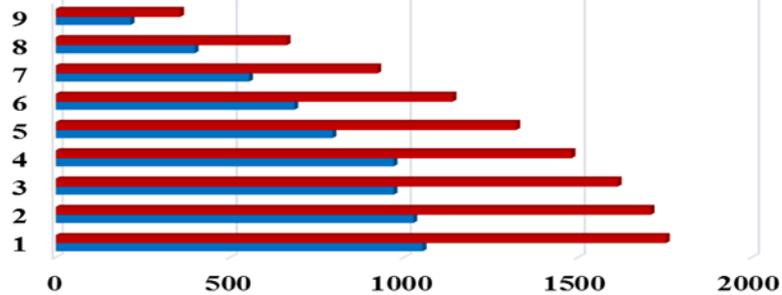
1.2.2. Efforts tranchants, moments sismiques, déplacements par niveau

Le tableau 4.5 : montre la comparaison des efforts tranchants, effort tranchant a la base, moments ainsi que les déplacements par niveau dans les deux zones sismiques (IIa et III) pour la structure (8S-ZIIa-ZIII-3.5)

Tableau.4. 5 : Efforts tranchant, moments et déplacement par niveau (8S-ZIIa-ZIII-3.5)

Effort tranchant par niveau

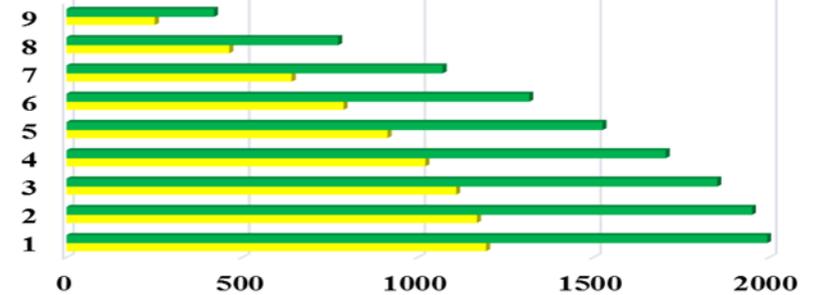
XX: ZIII - ZIIa (KN)



	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ZIII	1753	1709	1615	1482	1323	1140	923,9	663,5	357,1
ZII X	1054	1027	970,6	970,6	795,3	685,3	555,4	398,9	214,6

Effort tranchant par niveau

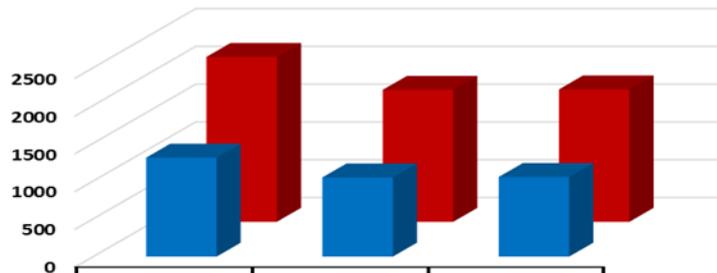
YY: ZIII- ZIIa (KN)



	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ZIII Y	1994	1951	1852	1706	1526	1317	1071	773,3	419,9
ZII Y	1194	1168	1109	1021	913,8	788,7	641,3	463,4	251,7

Effort tranchant a la base

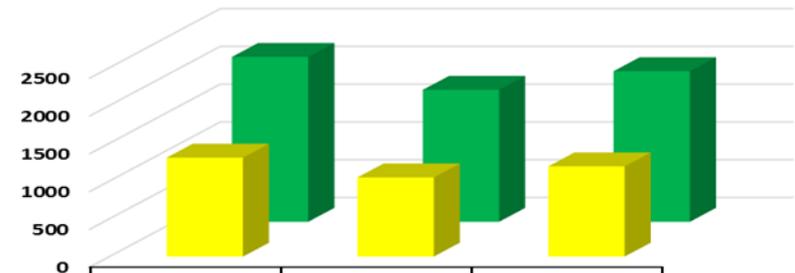
XX:ZIII-ZIIa (KN)



	Vst	0.8Vst	Vdyn
ZIIa XX	1310,01	1048,01	1053,9185
ZIII XX	2183,35	1746,68	1753,1848

Effort tranchant a la base

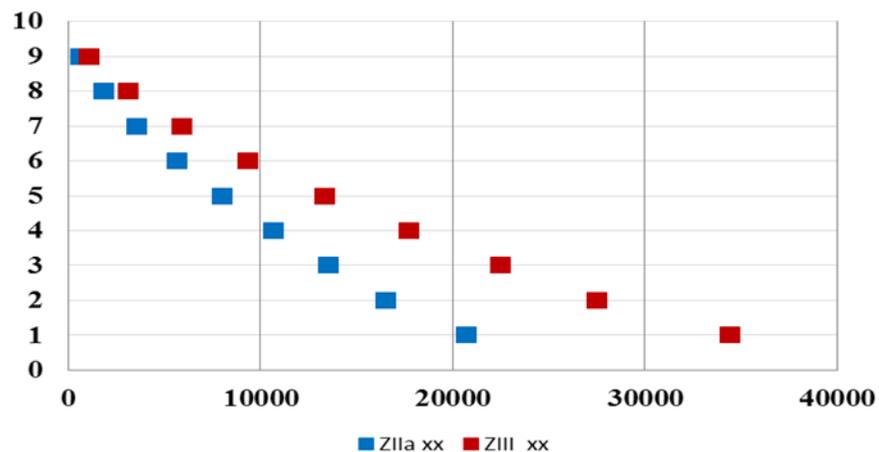
YY:ZIII-ZIIa (KN)



	Vst	0.8Vst	Vdyn
ZIIa YY	1310,01	1048,01	1194,3801
ZIII YY	2183,35	1746,68	1994,3105

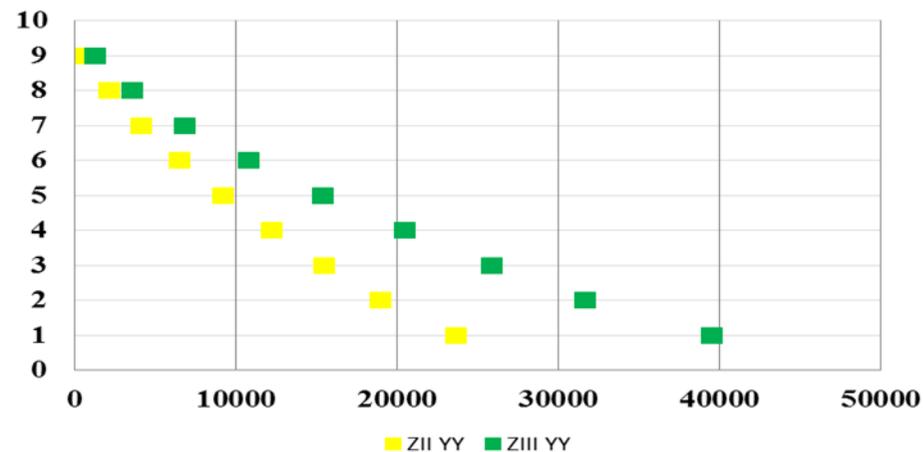
Moment sismique par niveau

XX: ZIII-ZIIa (KN.m)



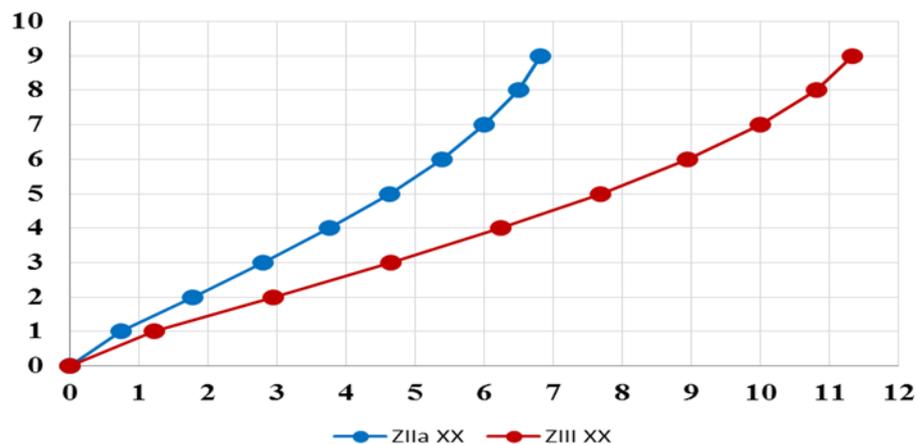
Moment sismique par niveau

YY: ZIII-ZIIa (KN.m)



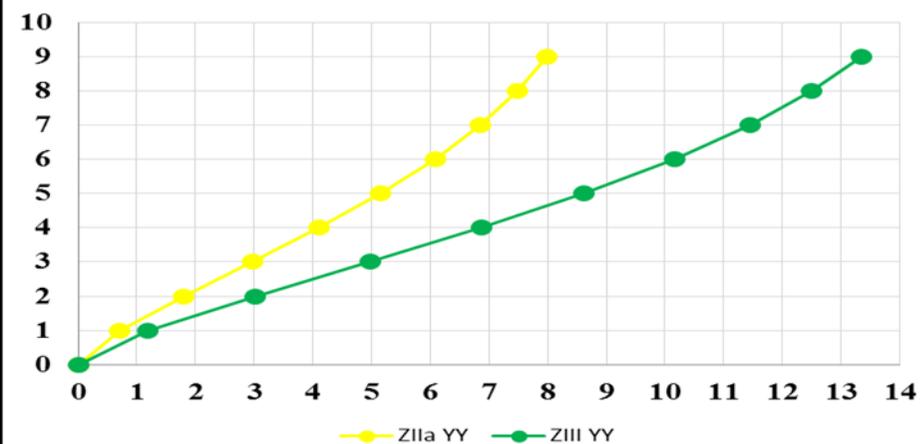
Déplacement par niveau

XX:ZIII-ZIIa (cm)



Déplacement par niveau

YY:ZIII-ZIIa (cm)



1.3. Commentaire général :

D'après la comparaison faite entre : 8S-ZIIa-5 avec 8S-ZIII-5 et 8S-ZIIa-3.5 avec 8S-ZIII-3.5, on constate que :

✎ Lorsqu' on change la zone sismique (zone IIa en Zone III); l'effort tranchant, moment sismique et le déplacement seront augmentés à cause de l'augmentation du coefficient d'accélération de zone: A

✎ L'action sismique pousse la structure vers un état de déformation avancé.

✎ Même constatations enregistrées pour le R+5 et R+11.

✎ Toutes les vérifications sismiques sont justifiées pour les deux zones sismiques,

✎ Les résultats de ferrailage traité par (Mr Atmane et Mr Saidj) sont résumés dans les points suivants :

✎ Le moment fléchissant sismique ainsi que l'effort tranchant dans les Poutres Secondaires de la structure 5S-ZIII-5 sont plus élevé que dans la structure 5S-ZIIa-5, à cause du changement du coefficient d'accélération sismique A ($A_{III}=0.25$, $A_{IIa}=0.15$)

✎ Le moment fléchissant sismique dans les Poutres principales de la structure "5S-ZIII-5" est plus élevé que dans "5S- ZIIa-5", cela est dû au changement du coefficient d'accélération sismique A.

✎ Le ferrailage des Poutres principales obtenue en appui pour "5S-ZIII-5" est important qu'en "5S- ZIIa-5", par contre en travée les valeurs trouvés sont presque les mêmes, cela est justifié par: l'influence de l'action sismique (E) aux appuis qu'en travée (les combinaisons $G+Q\pm E$, $0.8G\pm E$)

✎ Les sollicitations (P, M2, M3), L'effort tranchant ainsi que La contrainte de cisaillement dans les Poteaux de la structure "5S-ZIII-5" sont plus élevées que dans "5S- ZIIa-5", à cause de changement du coefficient d'accélération sismique A

✎ Pour les deux zones sismique le ferrailage longitudinale trouvé dans les poteaux est le minimum du R.P.A : la quantité de béton utilisé (section de poteau) peut seul supporter les sollicitations, ce choix est mis pour justifier l'interaction portique – voile ;

✎ Les sollicitations (P, M), l'effort tranchant ainsi que la contrainte de cisaillement dans les Voiles de la structure "5S-ZIII-5" sont plus élevées que dans "5S- ZIIa-5», cela est dû au changement du coefficient d'accélération sismique A ($A_{III}=0.25$, $A_{IIa}=0.15$)

✎ Pour la zone III : dans le but d'abaissé le ferrailage, deux solutions envisagées :

-La première solution : on augmente la longueur et ou le nombre des voiles parallèle à Y → En conséquence, on doit augmenter la rigidité des portiques dans le but de garder le même système de contreventement (Contreventement mixte assuré par des voiles et des portiques avec justification d'interaction portiques -voiles $R=5$)

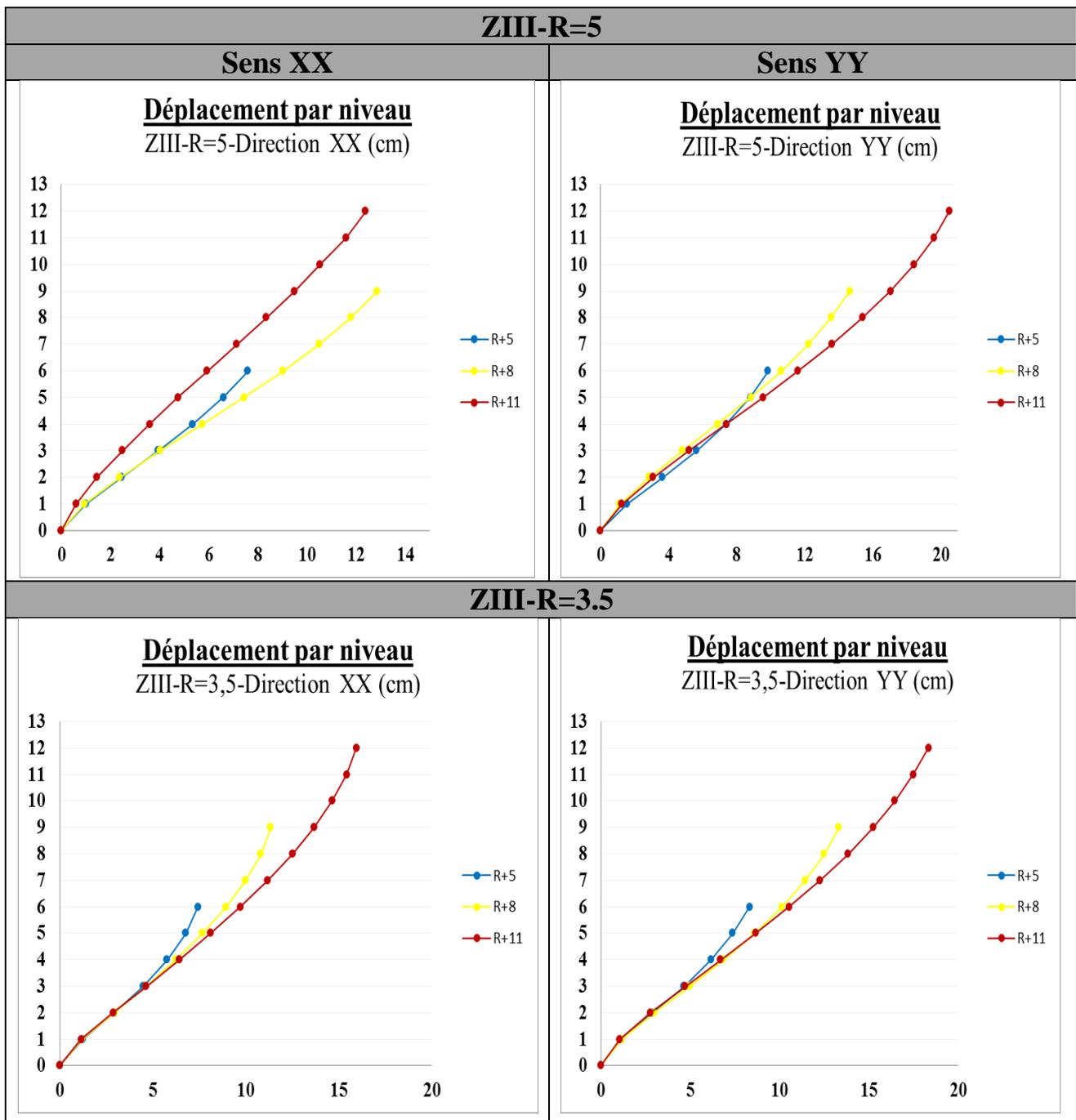
- La deuxième solution: on change le système de contreventement, soit
- Contreventement de structures en portiques par des voiles en béton armé $R=4$
- Contreventement constitué par des voiles porteurs en béton armé $R=3.5$

2. Effet de la hauteur sur la réponse sismique

Pour déterminer l'effet de la hauteur de la structure sur le choix de système de contreventement, on compare : le poids, la période, l'effort sismique ainsi que les déplacements pour les trois types de structures étudiées

Le tableau 4.6 : montre les déplacements des trois structures (5S, 8S et 11s) dans la zone III pour les deux systèmes (R=5 et R=3.5)

Tableau.4. 6 : Déplacements des trois structures étudiées



Le tableau 4.7 : résume les différents résultats (périodes, poids, efforts sismiques et les déplacements) pour les trois structures (5S, 8S et 11S) dans la zone III pour les deux systèmes (R=5 et R=3.5)

Tableau.4. 7: Comparaison entre les résultats trouvés dans les structures sélectionnés

	ZIII-R=5			ZIII-R=3.5		
	R+5	R+8	R+11	R+5	R+8	R+11
Hauteur(m)	19.38	28.56	37.74	19.38	28.56	37.74
Poids(KN)	11888.55	18181.18	24972.60	12362.15	17719.92	24348.71
Période	0.716	0.941	1.209	0.574	0.909	1.146
$V_{dyn\ XX}$	1028.46	1359.39	1825.59	2031.45	1753.18	2085.12
δ_{XX} au sommet	7.6	12.9	12.4	7.46	11.35	15.96
δ_{XX} au niveau 5	7.6	9.05	5.95	7.46	8.96	9.73
$V_{dyn\ YY}$	1123.75	1380.17	1632.7852	2267.83	1994.31	2315.17
δ_{YY} au sommet	9.85	14.7	20.5	8.37	13.34	18.37
δ_{YY} au niveau 5	9.85	12.3	11.6	8.37	10.16	10.57

- **Commentaires:** Lorsque la hauteur de la structure augmente :

✘ Le poids de la structure augmente en conséquence, ainsi ses périodes (empirique et analytique);

✘ L'effort tranchant augmente ; cela est justifié par l'augmentation de l'inertie des éléments structuraux (sections de poteaux, longueur des voiles)

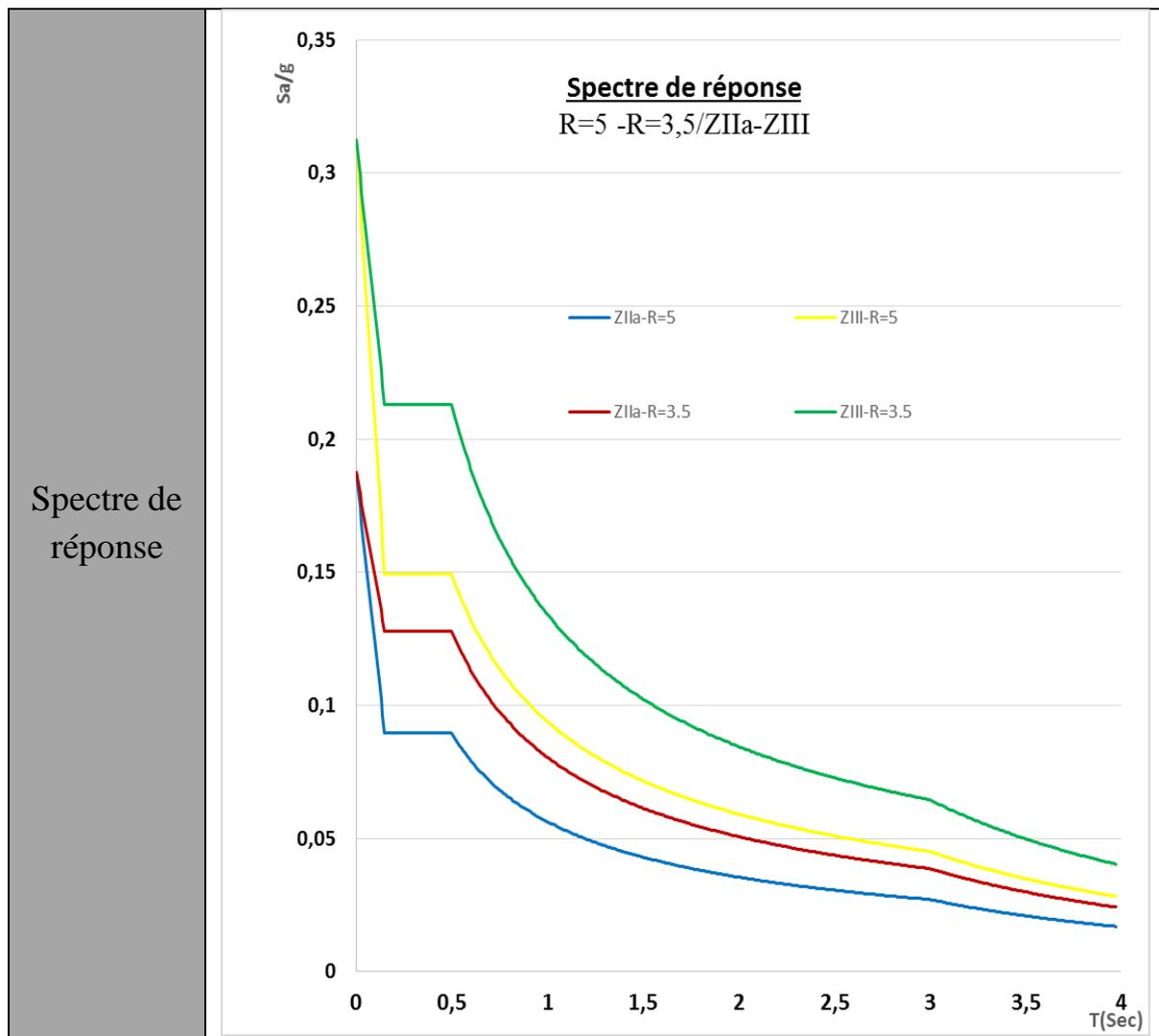
✘ Le déplacement croît aussi (l'élancement de la structure)

✘ L'augmentation de l'effort sismique à la base et le déplacement au sommet de la structure diminuent la rigidité de la structure (un rapport approximatif représente la rigidité de la structure $K: V_{dyn} / U_{sommet}$): 5ZIII-5/xx: $V_{dyn} / U_{sommet} = 1028.4672 \text{ KN} / 7.6 \text{ cm} = 135.32 \text{ KN/cm}$

$$8S\text{-ZIII-5/xx: } V_{dyn} / U_{sommet} = 1359.39 \text{ KN} / 12.9 \text{ cm} = 105.38 \text{ KN/cm}$$

3. Effet de la disposition des voiles

Pour étudier l'influence de la disposition des voiles sur le choix de système de contreventement, on compare les résultats trouvés dans le système **R=5** avec **R=3.5** : période, déplacement, effort tranchant à la base ainsi que le poids des éléments pour les trois types de structures.

Tableau.4. 8 : Spectre de réponse des deux systèmes pour les différentes zones (IIa, III)

- **Commentaires:**

On sait bien que la demande sismique qui correspond à R=3.5 (action sismique représenté par un spectre de réponse) est élevée à celle de R =5. De même la demande sismique de la zone III est plus élevée que dans la zone IIa (Tableau.4.8)

3.2. Commentaires

3.2.1. Capacité en résistance

On compare les valeurs de l'effort tranchant à la base pour les deux systèmes R=5 et R=3.5 dans la zone III

Tableau.4. 9 : Valeurs de V_{dyn-XX} des systèmes R=5 et R=3.5 dans la zone III

La structure	Système R=5	Système R=3.5
5S-III	1028.4672	2031.45
8S-III	1359.39	1753.1848
11S-III	1825.5941	2085.1960

Tableau.4. 10 : Sections des poteaux pour les trois types de structures

Niveaux	R+11	R+8	R+5
9.10.11	30X40	/	/
6.7.8	35X45	30X40	/
3.4.5	45X50	35X45	30X40
1.2	50X55	40X50	35X45
RDC	55X60	50X50	40X45

- ✎ Le système R=3.5 est plus résistant que R=5 pour tous les cas de structures traités
Cela est justifié par la présence des voiles dans le système R=3.5; en revanche, dans le système R=5 c'est les portiques qui ont une rigidité importante que les voiles (capacité en résistance faible).

3.2.2. Capacité en ductilité

On compare les déplacements aux sommets trouvés pour les deux systèmes R=5 et R=3.5 dans la zone III pour les structures étudiées :

Tableau.4. 11 : Déplacements aux sommets/XX pour les structures étudiées

La structure	Système R=5	Système R=3.5
5S-III	7.6	7.46
8S-III	12.9	11.35
11S-III	12.4	15.96

- ✎ Le déplacement trouvé dans le système R=5 est plus important que celui trouvé dans R=3.5 ; les portiques ont une capacité de se déformer plus que les voiles →le système R=5 est plus ductile que le système R=3.5.

3.2.3. La période

On compare les valeurs de périodes pour les structures étudiées dans les deux systèmes R=5 et R=3.5

Tableau.4. 12 : Valeurs des périodes des structures étudiées dans les deux systèmes

	Système R=5	Système R=3.5
5S-III	0.716	0.574
8S-III	0.941	0.909
11S-III	1.209	1.146

- Les périodes trouvées pour le système R=3.5 sont plus courtes que dans le système R=5 → le système voiles porteurs (R=3.5) est plus rigide que le système mixte (R=5).

3.2.4. Le bon choix d'un système de contreventement

Afin de trouver le meilleur choix pour le système de contreventement; on s'intéresse à calculer le poids du béton armé pour les deux systèmes:

Tableau.4. 13 : Poids des éléments (poteaux, poutres, voiles) pour les deux systèmes

Poids	Système R=5				Système R=3.5		
	total	Poteau et poutres	poteaux	voiles	total	poutres	voiles
5S	4307.77	3629.67	1259.58	678.70	4793.33	2613.73	2179.61
8S	6950.70	5694.43	2155.52	1256.27	6494.21	3282.15	3212.05
11S	10086.99	8125.1	3438.04	1961.90	9397.12	4303.73	5093.39

A l'issue des résultats trouvés, on constate que :

- Pour des structures ayant (4, 5,6) niveaux, le système R=5 est le bon choix par rapport au système R=3.5 (quantité du béton) dans la zone IIa ou III, vue que la réponse sismique des structures justifiés :

$$\begin{cases} 5S-III-5 = 5S-IIa-5 = 4307.77 \text{ KN} \\ 5S-III-3.5 = 5S-IIa-3.5 = 4793.33 \text{ KN} \end{cases}$$

- Pour les structures ayant (7, 8,9) niveaux :

- Dans une zone faible à moyenne sismicité (zone IIa)

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Poids:} \quad - 8S-ZIIa-5=6950.70\text{KN} \\ \quad \quad \quad - 8S-ZIIa-3.5=6494.21 \text{ KN} \\ \text{Ferrailage admis : T14, T16, T12 (poteaux, voiles)} \end{array} \right.$$

→ On constate que le poids du béton armé est élevé juste pour justifier

l'interaction R=5; ce qui implique que la section du béton augmente ainsi que $A_{\min RPA}$ augmente en conséquence.

- Dans une zone de forte sismicité (zone III)

- Poids: - 8S-ZIII-5 = 8S-ZIIa-5
 - 8S-ZIII-3.5 = 8S-ZIIa-3.5
 Ferrailage admis : La section du béton augmente

Deux solutions sont envisagées :

- L'augmentation de la longueur des voiles \Leftrightarrow l'augmentation de la rigidité des voiles et du taux de participation des voiles, donc on doit augmenter la rigidité des poteaux (l'augmentation des sections des poteaux $\rightarrow A_{\min}$ RPA en conséquence): **toutes ces pénalités uniquement pour avoir un système de contreventement R=5.**
- Changer le système de contreventement, soit R= 4 ou R= 3.5:

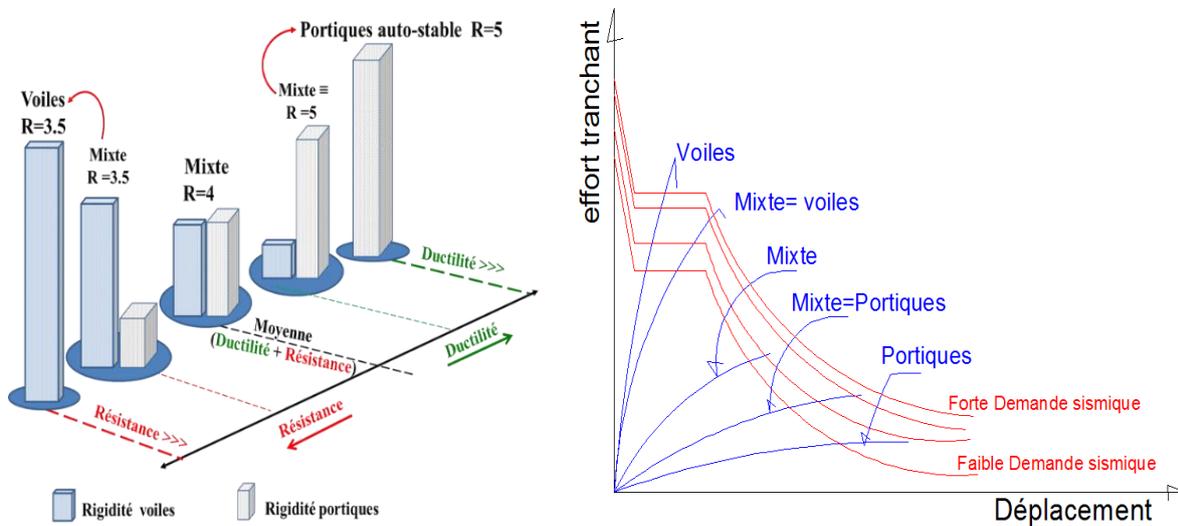


Fig.4. 1 : Influence de la capacité en résistance et en ductilité sur le choix du système de contreventement

- ✓ Dans le cas ou R= 4: on doit se limiter à une hauteur inférieure à 33m, ce système est caractérisé par une capacité en résistance et en ductilité moyenne \rightarrow il ne satisfait pas à la demande sismique pour des hauteurs dépassent les 33m quel que soit la zone sismique
 - ✓ Dans le cas ou R=3.5 (notre choix) en se basant sur la capacité en résistance de la structure, vu que l'action sismique est importante (zone forte sismicité).
- ☒ On remarque la même chose pour la structure R+11.

4. Conclusion

En conclusion du présent chapitre nous avons pu voir l'effet de la zone sismique, la hauteur et la disposition des voiles sur le choix de système de contreventement. On retient par conséquent ces points essentiels :

- ✎ La Zone sismique n'a aucune influence sur la valeur de la période ;
- ✎ L'augmentation de l'effort sismique et le déplacement au sommet de la structure font diminuer la rigidité de la structure (un rapport approximatif représente la rigidité de la structure $K : V_{\text{dyn}} / U_{\text{sommet}}$);
- ✎ Lorsque on change la zone sismique (zone IIa en Zone III); l'effort tranchant, moment sismique et le déplacement seront augmentés à cause de l'augmentation du coefficient d'accélération de zone: A ;
- ✎ L'action sismique pousse la structure vers un état de déformation avancé ;

Le RPA laisse le choix aux concepteurs de bien choisir entre les trois systèmes de contreventement : $R= 5$, $R= 4$ et $R= 3.5$; ou il doit prendre en considération : la hauteur, la zone sismique et la rigidité assigné aux voiles et aux poteaux

Si : $\left\{ \begin{array}{l} \text{Les portiques sont plus rigides} \rightarrow R=5 ; \\ \text{Les portiques et les voiles ont une inertie équivalente} \rightarrow R=4 ; \\ \text{Les voiles sont plus rigides} \rightarrow R=3.5. \end{array} \right.$

Conclusion générale

La réalisation de cette étude représente en quelque sorte la concrétisation de l'apprentissage théorique de notre cycle de formation et surtout de mettre en application les différentes techniques de calcul, les concepts et les règlements régissant le domaine étudié. Elle nous a permis aussi de développer l'esprit de recherche, et le savoir de se documenter.

Nous avons constaté par ailleurs que l'élaboration d'un projet ne se base pas que sur des calculs théoriques mais sur la concordance avec le côté pratique et la nécessité d'une expérience acquise sur le terrain.

A noter aussi que lors de l'étude sismique d'un ouvrage, la prise en compte de la zone sismique, la hauteur et le positionnement des voiles sur le choix du système de contreventement revêt une importance croissante et tend à devenir primordial. Car ce choix influence directement sur sa réponse sismique durant un futur séisme: rigidité, la capacité en résistance et en ductilité.

A cet égard, le présent mémoire s'inscrit dans le cadre d'étudier l'influence de la zone sismique, la hauteur et la disposition des voiles sur le choix du système de contreventement des structures en béton armé. Le choix de ce type de structure est motivé par la proportion importante des différents types de structure de bâtiments en Algérie.

La méthode dynamique modale spectrale a été utilisée pour l'évaluation de la réponse sismique de la structure à l'aide du logiciel ETABS version 16.2.0.

Deux cas de structures types ont été traités en faisant varier la hauteur: R+5, R+8 et R+11 pour deux zones sismiques: moyenne et forte sismicité (IIa et III) avec deux systèmes de contreventement: voiles porteurs ($R=3.5$) et mixte portiques-voiles avec justification de l'interaction ($R=5$).

Les points suivants peuvent être tirés :

- ✎ La Zone sismique n'a aucune influence sur la valeur de la période ;
- ✎ L'augmentation de l'effort sismique à la base et le déplacement au sommet de la structure font diminuer la rigidité de la structure (un rapport approximatif représente la rigidité de la structure $K: V_{dyn} / U_{sommet}$);

✎ Lorsque on change la zone sismique (zone IIa en Zone III); l'effort tranchant, moment sismique et le déplacement seront augmentés à cause de l'augmentation du coefficient d'accélération de zone: A ;

✎ L'action sismique pousse la structure vers un état de déformation avancé ;

Le RPA laisse le choix aux concepteurs de bien choisir entre les trois systèmes de contreventement: $R= 5$, $R= 4$ et $R= 3.5$; ou il doit prendre en considération: la hauteur, la zone sismique et la rigidité assigné aux voiles et aux poteaux;

Enfin pour l'utilisation de l'outil informatique, dans un domaine aussi présent et diversifier qui est le génie civil et la construction en générale, il est de nos jours un outil de travail indispensable.

Perspective

Notons qu'enfin ce projet qui constitue pour nous une première expérience, qui nous a été très bénéfique puisque l'utilisation de l'outil informatique nous a permis d'économiser beau coup de temps et de traiter plusieurs cas de structures, mais la maîtrise du logiciel reste une étape très importante qui demande la connaissance de certaines notions de base des sciences de l'ingénieur.

Notons aussi que dans ce travail on a traité des cas de structures régulières (en plan et en élévation) et symétrique. Nous encourageons les futurs étudiants à élargir cette étude en traitant d'autres cas de structures irrégulières avec le système de contreventement mixte : portiques contreventés par voiles ($R=4$) et de confirmer ces résultats à travers le calcul non linéaire

-Interaction sol-structure cas actuellement

-La modélisation suppose un encastrement parfait à la base des encastremets

-Travailler sur l'influence des voiles en termes de nombres et de longueur.

En fin nous espérons que notre modeste travail sera un bon guide pour les promotions futures

Liste des tableaux

Tableau.2. 1: Caractéristiques géométriques de structures étudiées	17
Tableau.2. 4 : résumé des caractéristiques des matériaux utilisés.....	18
Tableau.2. 5: Charge et surcharge des planchers	19
Tableau.2. 6 : Charge et surcharge murs	20
Tableau.2. 7 : Charge et surcharge Escalier (paillasse et palier).....	21
Tableau.2. 8 : Pré dimensionnement des poutres	22
Tableau.2. 9 : sections des poteaux proposés	24
Tableau.2. 10: Caractéristiques géométriques et structurelles des structures a étudiées	26
Tableau.2. 11: Valeurs de T_1 et T_2	32
Tableau.2. 12: Coefficient d'accélération de zone A.	33
Tableau.2. 13: Valeurs des pénalités P_q	34
Tableau.2. 14 : Périodes caractéristiques associées à la catégorie de site.....	35
Tableau.3. 1 : vérification taux de participation massique (5S-ZIIa-ZIII-5)	39
Tableau.3. 2 : Poids et centre de gravité de la structure (5S-ZIIa-ZIII-5).....	40
Tableau.3. 3 : Effort tranchant, moments sismiques et les déplacements par niveau (5S-ZIIa-ZIII-5)	41
Tableau.3. 4 : Vérification de l'interaction sous charges verticales et horizontales (5S-ZIIa-ZIII-5)	44
Tableau.3. 5 : la réponse sismique totale de la structure (5S-ZIIa-ZIII-5).....	46
Tableau.3. 6 : vérification de l'effort tranchant à la base (5S-ZIIa-ZIII-5).....	46
Tableau.3. 7: Vérification de l'effort normal réduit (5S-ZIIa-ZIII-5).....	47
Tableau.3. 8 : Vérification vis-à-vis les déformations (5S-ZIIa-ZIII-5)	48
Tableau.3. 9: Vérification vis-à-vis les effets $p-\Delta$ (5S-ZIIa-ZIII-5).....	49
Tableau.3. 10 : Vérification taux de participation massique (5S-ZIIa-ZIII-3.5).....	50
Tableau.3. 11 : Poids et centre de gravité de la structure (5S-ZIIa-ZIII-3.5).....	51
Tableau.3. 12 : Effort tranchant, moments sismiques et les déplacements par niveau (5S-ZIIa-ZIII-3.5)	52
Tableau.3. 13 : La réponse sismique totale de la structure (5S-ZIIa-ZIII-3.5)	55
Tableau.3. 14 : Vérification de l'effort tranchant à la base (5S-ZIIa-ZIII-3.5).....	55
Tableau.3. 15 : Vérification vis-à-vis les déformations (5S-ZIIa-ZIII-3.5)	56

Tableau.3. 16: Vérification vis-à-vis les effets p- Δ (5S-ZIIa-ZIII-3.5).....	56
Tableau.3. 17 : Vérification taux de participation massique (8S-ZIIa-ZIII-5).....	57
Tableau.3. 18 : Poids et centre de gravité de la structure (8S-ZIIa-ZIII-5).....	58
Tableau.3. 19 : Effort tranchant, moments sismiques et les déplacements par niveau (8S-ZIIa-ZIII-5)	59
Tableau.3. 20 : Vérification de l'interaction sous charges verticales et horizontales (8S-ZIIa-ZIII-5)	62
Tableau.3. 21 : la réponse sismique totale de la structure (8S-ZIIa-ZIII-5).....	63
Tableau.3. 22 : Vérification de l'effort tranchant à la base (8S-ZIIa-ZIII-5).....	63
Tableau.3. 23 : Vérification de l'effort normal réduit (8S-ZIIa-ZIII-5).....	64
Tableau.3. 24: Vérification vis-à-vis les déformations (8S-ZIIa-ZIII-5)	64
Tableau.3. 25 : Vérification vis-à-vis les effets p- Δ (8S-ZIIa-ZIII-5).....	65
Tableau.3. 26 : Vérification taux de participation massique (8S-ZIIa-ZIII-3.5).....	66
Tableau.3. 27 : Poids et centre de gravité de la structure (8S-ZIIa-ZIII-3.5).....	67
Tableau.3. 28 : Effort tranchant, moments sismiques et les déplacements par niveau (8S-ZIIa-ZIII-3.5)	68
Tableau.3. 29 : La réponse sismique totale de la structure (8S-ZIIa-ZIII-3.5)	71
Tableau.3. 30 : Vérification de l'effort tranchant à la base (8S-ZIIa-ZIII-3.5).....	71
Tableau.3. 31 : Vérification vis-à-vis les déformations (8S-ZIIa-ZIII-3.5)	72
Tableau.3. 32: Vérification vis-à-vis les effets p- Δ (8S-ZIIa-ZIII-3.5).....	73
Tableau.3. 33 : vérification taux de participation massique (11S-ZIIa-ZIII-5).....	74
Tableau.3. 34 : Poids et centre de gravité de la structure (11S-ZIIa-ZIII-5).....	75
Tableau.3. 35 : Effort tranchant, moments sismiques et les déplacements par niveau (11S-ZIIa-ZIII-5)	76
Tableau.3. 36: Vérification de l'effort tranchant à la base (11S-ZIIa-ZIII-5).....	79
Tableau.3. 37 : La réponse sismique totale de la structure (11S-ZIIa-ZIII-5)	80
Tableau.3. 38: Vérification de l'effort tranchant à la base (11S-ZIIa-ZIII-5).....	80
Tableau.3. 39 : Vérification de l'effort normal réduit (11S-ZIIa-ZIII-5).....	81
Tableau.3. 40 : Vérification vis-à-vis les déformations (11S-ZIIa-ZIII-5)	81
Tableau.3. 41 : vérification vis-à-vis les effets p- Δ (11S-ZIIa-ZIII-5)	82
Tableau.3. 42 : Vérification taux de participation massique (11S-ZIIa-ZIII-3.5).....	83
Tableau.3. 43 : Poids et centre de gravité de la structure (11S-ZIIa-ZIII-3.5).....	84

Tableau.3. 44 : Effort tranchant, moments sismiques et les déplacements par niveau (11S-ZIIa-ZIII-3.5)	85
Tableau.3. 45 : La réponse sismique totale de la structure (11S-ZIIa-ZIII-3.5)	88
Tableau.3. 46 : Vérification de l'effort tranchant à la base (11S-ZIIa-ZIII-3.5).....	88
Tableau.3. 47 : Vérification vis-à-vis les déformations (11S-ZIIa-ZIII-3.5)	89
Tableau.3. 48 : vérification vis-à-vis les effets p- Δ (11S-ZIIa-ZIII-3.5)	89
Tableau.4. 1 : Les paramètres utilisés pour l'étude sismiques (8S-ZIIa-ZIII-5)	92
Tableau.4. 2 : Comparaisons de la réponse sismique des deux structures	93
Tableau.4. 3 : Efforts tranchant, moments et déplacement par niveau (8S-ZIIa-ZIII-5)	95
Tableau.4. 4 : Les paramètres utilisés pour l'étude sismiques ((8S-ZIIa-ZIII-3.5)	97
Tableau.4. 5 : Efforts tranchant, moments et déplacement par niveau (8S-ZIIa-ZIII-3.5)	97
Tableau.4. 6 : Déplacements des trois structures étudiées	101
Tableau.4. 7: Comparaison entre les résultats trouvés dans les structures sélectionnés	102
Tableau.4. 8 : Spectre de réponse des deux systèmes pour les différentes zones (IIa, III)	103
Tableau.4. 9 : Valeurs de V_{dyn-XX} des systèmes R=5 et R=3.5 dans la zone III	103
Tableau.4. 10 : Sections des poteaux pour les trois types de structures	104
Tableau.4. 11 : Déplacements aux sommets/XX pour les structures étudiées	104
Tableau.4. 12 : Valeurs des périodes des structures étudiées dans les deux systèmes	105
Tableau.4. 13 : Poids des éléments (poteaux, poutres, voiles) pour les deux systèmes	105

Liste des figures

Fig.1. 1: les pays côtiers bordent la méditerranée	5
Fig.1. 2 : carte de la méditerranée présentant les séismes supérieurs ou égales à 5.7 captés par le RENASS et la station CRAF.	6
Fig.1. 3: carte de zonage sismique du territoire national- RPA99/APRES ADDENDA	8
Fig.1. 4 : la relation non linéaire entre les forces appliqués et les déplacements.....	9
Fig.1. 5 : l'influence du système structurel sur la capacité en résistance et en ductilité d'une structure en béton armé.....	11
Fig.1. 6 : l'influence de la capacité en résistance et en ductilité sur le choix du système de contreventement	13
Fig.1. 7 : les différents systèmes de contreventement du RPA avec les valeurs attribuées au coefficient de comportement R.....	14
Fig.2. 1:vue en plan pour les trois types de structures a étudiées	17
Fig.2. 6 : Coupe transversale sur un plancher	19
Fig.2. 7 : Coupe transversale d'un plancher terrasse inaccessible et étage courant.....	19
Fig.2. 8 : Coupe transversale d'un mur extérieur et intérieur	20
Fig.2. 9 : Schéma représentatif de l'escalier	21
Fig.2. 10 : Coupes des voiles en plan et en élévation.....	22
Fig.2. 11 : Poteau le plus sollicité	23
Fig.2. 12 : Section de poteaux proposés pour les trois structures R+5, R+8et R+11.....	25
Fig.2. 13: Limites des décrochements en plan et en élévation	33
Fig.4. 1 : Influence de la capacité en résistance et en ductilité sur le choix du système de contreventement	106

Références bibliographiques

- [1] : Mémoire master département génie civil, Université Bejaïa présenté par AGGAOU Amirouche & LANSEUR Hamza [ÉTUDE DE LA RÉPONSE SISMIQUE DE STRUCTURES PAR ANALYSE MODALE SPECTRALE ET ANALYSE DYNAMIQUE PAR ACCÉLÉROGRAMMES GÉNÉRÉS À PARTIR DU SPECTRE DE RÉPONSE ÉLASTIQUE DU RPA99/2003] promotion 2011/2012
- [2] : la méditerranée et sa sismicité [site internet]
- [3] : Thèse doctorat, département DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS ; Spécialité : Géophysique UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID-TLEMCEN ; présenté par Hamoud BELDJOURI [ETUDE DE LA SISMICITE DU NORD ALGERIEN] Soutenue le : 10 janvier 2011
- [4] : Cours dynamique des structures [Chapitre 5 aperçu sur l'RPA] téléchargé par Othman pomaria EL-Widad
- [5] : Mémoire Magister en génie civil Option: Structures et Géotechnique UNIVERSITE HASSIBA BEN BOUALI DE CHLEF, présenté par SEBAI Khalifa [Quantification de la ductilité des constructions Auto-stables en béton armé selon le RPA99/] Soutenu le : 08/03/2012
- [6] : Mémoire de magister en génie civil option : Matériaux et structures, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou présenté par Mr Hassani Karim [Effet des séismes proches et lointains sur la performance sismique des structures auto-stables en béton armé] soutenu le 1/12/2013
- [7] : Règlement parasismique Algérien 99/version 2003
- [8] : Mémoire de magister en génie civil, Option : Sol - Structure – Matériau, Université M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES présenté par Bousaa Leila [EFFET DE CONFORTEMENT SUR LES STRUCTURES EN BETON ARME] promotion 2011/2012
- [9] : B.A.E.L91:Béton armé aux états limites ultimes
- [10] : DTR.BC.2.2 : Charges permanentes et charges d'exploitation.

Annexe :

CLASSIFICATION SISMIQUE DES WILAYAS ET COMMUNES D'ALGERIE

N°	WILAYAS OU COMMUNES	ZONE SISMIQUE
01	ADRAR	0
02	CHLEF	
	Groupe de communes A	III
	Toutes les communes autres que celles figurant au groupe de communes B et C	
	Groupe de communes B	IIb
	El karimia,Harchoun,sendjas,Oued sly,Boukadir	
	Groupe de communes C	IIa
	Ouled Ben Abd El Kader Hadjadj	
	LAGHOUAT	I
	OUM EL BOUAGHI	I
03	BATNA	I
04	BEJAIA	IIa
05	BISKRA	I
06	BECHAR	0
07	BLIDA	
08	Groupe de communes A	III
09	Toutes les communes autres que celles figurant au groupe de communes B	
	Groupe de communes B	IIb
	Meftah , Djebabra, Souhane, Larbaa,Ouled Selama,Bougara,Hammam Melouane, Ain Romana	
10	BOUIRA	IIa
11	TAMENRASSET	0
12	TEBESSA	I
13	TLEMCEN	I
14	TIARET	
15	TIZI-OUZOU	I
	Groupe de communes A	
	Mizrana	
	Groupe de communes B	
	Toutes les communes autres que celles figurant au groupe de communes A	
16	ALGER	III
17	DJELFA	I
18	JIJEL	IIa

19	SETIF	IIa
20	SAIDA	I
21	SKIKDA	IIa
22	SIDI BEL-ABBES	I
23	ANNABA	IIa
24	GUELMA	IIa
25	CONSTANTINE	IIa
26	MEDEA	
	Groupe de communes A	IIb
	El hamdania , Medea, Tamesguida,	
	Groupe de communes B	IIa
	Toutes les communes autres que celles figurant au groupe de communes A et C	
	Groupe de communes C	I
	Bou Aiche, Chahbounia, Boughzoul, Sareg, Meftaha, Ouled Maref, El Aounet, Ain Boucif, Sidi Damed, Ain Ouksir, Cheniguel	
	MOSTAGANEM	
27	Groupe de communes A	III
	Ouled Boughalem, Achaacha, Khadra, Nekmaria	
	Groupe de communes B	IIb
	Sidi Lakhdar, Tasghait, Ouled Maalah	
	Groupe de communes C	IIa
	Toutes les communes autres que celles figurant au groupe de communes A et B	
28	M'SILA	
	Groupe de communes A	IIa
	Beni Ilmane, Ounougha, Hammam Dalaa, Tarmount, Ouled Mansour, M'sila, M'tarfa, Maadid, Ouled Derradj, Ouled Addi, Dahahna, Berhoum, Ain Kadra, Magra, Belaiba	
	Groupe de communes B	I
	Toutes les communes autres que celles figurant au groupe de communes A	
29	MASCARA	
	Groupe de communes A	IIa
	Toutes les communes autres que celles figurant au groupe de communes B	
	Groupe de communes B	I
	Ain Fares, Ain fekran, Bouhanifia, Guerdjou, Oued	

	Taria, Ghris, Benain, Mokhda, Aouf, Gharous, Nesmot, M'hamid, Hachem, Oued El Abtal, Ain Ferrah.	
30	OUARGLA	0
31	ORAN	IIa
32	EL BAYADH	I
33	ILLIZI	0
34	BORDJ BOU ARRERIDJ	IIa
35	BOUMERDES	
	Groupe de communes A	III
	Toutes les communes autres que celles figurant au groupe de communes B et C	
	Groupe de communes B	IIb
	Afir, Benchoud, Taouerga, Baghlia, Oued Aissa, Naciria, Bordj Menail, Isser , Beni Amrane, Souk El Had, Bouzegza Kedar, El Kharouba, Larbatache, Khemis El khechna, Ouled Moussa, Hammadi.	
	Groupe de communes C	IIa
	Timezrit, Ammal, Chaabet El Ameur	
36	EL TARF	IIa
37	TINDOUF	0
38	TISSEMSILT	IIa
39	EL OUED	0
40	KHENCHELA	I
41	SOUK AHRAS	I
42	TIPAZA	III
43	MILA	IIa
44	AIN DEFLA	
	Groupe de communes A	III
	Tacheta, Zougagha, El Abadia, Ain Bouyahia, El Attaf	
	Groupe de communes B	IIb
	El Amra, Mekhtaria, Arib, Rouina, Ain Defla, Bourashed, Zeddine, Tiberkanine, Sen Allah, Meliana, Ain Torki , Hammam Righa, Ain Benian, Houceinia, Boumadfaa	
	Groupe de communes C	IIa
	Toutes les communes autres que celles figurant au groupe de communes A et B	
45	NAAMA	I
46	AIN TEMOUCHENT	IIa

47	GHARDAIA	0
48	RELIZANE	
	Groupe de communes A	III
	Mediouna, Sidi M'hamed Ben Ali, Mazouna, El Guettar	
	Groupe de communes B	IIb
	Merdja Sidi Abed, Oued Rhiou, Quartzenz, Djidiouia, Hamri, Beni Zentis	
	Groupe de communes C	IIa
	Toutes les communes autres que celles figurant au groupe de communes A et B	