

Ordre...../F.S.S.A/UAMOB/2022

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ-BOUIRA



Faculté des Sciences et des sciences appliquées
Département Génie Civil

Mémoire de fin d'étude

Présenté par :

M^{elle} AGGOUN MANEL
M^{elle} ALOUACHE KENZA

En vue de l'obtention du diplôme de **Master 02** en :

Filière : **Génie Civil**
Option : **Structures**

Thème :

**Etude de l'effet du système de contreventement sur le
comportement dynamique des structures métalliques**

Devant le jury composé de :

Mr.ARBAOUIO
Mme. BOUMAIZA
Mr.LAIB

MCA
MAA
MCB

UAMOB
UAMOB
UAMOB

Président
Encadreur
Examineur

Année Universitaire 2021-2022



Remerciements

Ce travail est le résultat de plusieurs années d'étude pour cela

*Nous remercions DIEU, le tout puissant de nous avoir donné la force
et le courage de mené à bien ce travail et nous
avoir aidées à arriver jusqu'au bout.*

*On remercie profondément nos chers parents pour leur soutien moral,
matériel et physique pendant nos études.*

*On tient aussi à remercier vivement tous nos enseignants qui nous ont
guidés le long de notre formation*

Particulièrement :


*Notre promotrice Mm BOUMAIZA .M pour son suivi et ses
remarques.*

*Les membres de jury pour l'intérêt qui ont portés à notre travail et qui
feront l'honneur d'examiner et juger ce dernier.*

*Nos vifs remerciements vont également aux staffs administratifs du
département génie civil de l'université*

*AKLI MOHAND OULHEDJ de BOUIRA pour nos avoir
accompagnées pendant notre parcours universitaire.*

*Enfin, nos sincères gratitudes vont vers tous ceux qui ont contribué
de près ou de loin à l'élaboration de notre travail et en particulier les
deux ingénieurs Messieurs, HANAFLIS et ABOU ABDSALAM .H*



Dédicaces

*Pour commencer je prends le temps de remercier le bon DIEU
de m'avoir donné la force et le courage pour terminer mes
études.*

*A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour,
leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes
études,*

*A mon frère AMAR et ma sœur Leticia pour leurs
encouragements permanents, et leur soutien moral,*

A ma belle-sœur Kenza et ma nièce Léa

*A toute ma famille : mes oncles, mes tantes, mes cousins et mes
cousines*

A tous mes amis et mes camarades,

Je remercie mon binôme alouache Kenza et sa famille,

*A tous mes professeurs à qui je témoigne leur soutien, leur
générosité à qui je dois un profond respect et ma loyale
considération*

Dédicaces

*Je dédie ce projet de fin d'étude, aux personnes qui
me sont les plus chers :*

*A mes chers parents ; eux qui se sont sacrifié de leur
vies pour ma réussite, eux qui se sont voués corps et
âmes afin que je puisse consentir les efforts
nécessaires pour que mon but soit atteint. Je
voudrais pour l'occasion leur rendre un semblant ou
une fraction de l'amour que j'ai reçu de leur part
durant toutes ces années.*

A mes chers sœurs : Fadila, Samia, Chahra, Karima.

A mes chers frères : Hakim, Mohamed et Azzedine.

A mon binôme Manel et tous mes amis.

*A tous ceux qui comptent pour moi et je compte pour
eux, en espérant être toujours à la hauteur de leurs
attentes*

Résumé

L'étude concerne l'évaluation de l'influence des différents systèmes de contreventement sachant que les portiques auto stable, les ossatures avec triangulations centrées en X, V inversé, portique/X, portique/V et mixte X-V sur le comportement sismique de la structure implanté en zone de forte sismicité, à l'aide des méthodes définies dans le règlement parasismique algérien (RPA2003), à savoir la méthode statique équivalente par effort tranchant à la base et dynamique par spectre de réponse élastique. Les résultats ainsi obtenus ont fait l'objet d'une discussion au terme de laquelle des conclusions ont été tirées.

Mots clés : système de contreventement, stabilité sismique, triangulations

Abstract

The study concerns the evaluation of the influence of the various bracing systems knowing that the freestanding frames, frames with triangulations centered in X, inverted V, frame/X, frame/V and mixed X-V on the seismic behavior of the structure implanted in a zone of high seismicity, using the methods defined in the RPA2003, namely the equivalent static method by shear force at the base and dynamic by elastic response spectrum. The results thus obtained were the subject of a discussion at the end of which conclusions were drawn.

Keywords: bracing system, seismic stability, triangulations

ملخص

تتعلق الدراسة بتقييم تأثير أنظمة التدعيم المختلفة الهيكل وحده ، والهيكل ذات المثلثات المتمركزة في X ، و V المقلوب ، والهيكل / X ، والهيكل / V والمختلط X-V على السلوك الزلزالي للبنية التي تقع في منطقة ذات الشدة الزلزالية عالية ، باستخدام الطرق المحددة في الأنظمة الزلزالية الجزائرية (RPA2003) ، وهي الطريقة الساكنة المكافئة بواسطة قوة القطع عند القاعدة والديناميكية بطيف الاستجابة المرنة. كانت النتائج التي تم الحصول عليها على هذا النحو موضوع مناقشة تم في نهايتها استخلاص النتائج.

الكلمات المفتاحية : نظام الدعامة ، الاستقرار الزلزالي ، التثبيت

Sommaire

| | |
|----------------------------|---|
| Remerciements | |
| Dédicace | |
| Résumé | |
| Abstract | |
| ملخص | |
| Liste des symboles | |
| Liste des figures | |
| Liste des tableaux | |
| Introduction générale..... | 1 |

Chapitre I: Généralités sur les systèmes de contreventement

| | |
|---|----|
| I.1. Introduction..... | 3 |
| I.2. Le rôle du système de contreventement..... | 3 |
| I.3. Principe | 4 |
| I.4. Choix de contreventement | 4 |
| I.5. Contreventement général des bâtiments en charpente métallique | 5 |
| I.5.1. Contreventement triangulés | 5 |
| I.5.2. Treillis non plans..... | 5 |
| I.6. Contreventement en tôle profilée..... | 6 |
| I.7. La classification des systèmes de contreventement selon le règlement parasismique Algérien (RPA99/2003) des structures en acier..... | 6 |
| I.8. La notion de coefficient de comportement R..... | 7 |
| I.9. L'endommagement des structures métalliques durant les séismes..... | 9 |
| I.10. Quelques travaux réalisées sur l'effet des systèmes de contreventement..... | 11 |

Chapitre II: Etude climatique

| | |
|--|----|
| II.1. Introduction | 13 |
| II.2. Charges climatiques..... | 13 |
| II.2.1. Le calcul..... | 13 |
| II.2.2. Données relatives au site..... | 14 |
| II.3. Détermination de la pression dynamique | 15 |
| II.3.1. Détermination du coefficient d'exposition $C_e(Z)$ | 15 |
| II.3.2. Intensité de turbulence I_v (2.5 RNV 2013 page 57) | 15 |
| II.3.3. Coefficient de rugosité..... | 16 |
| II.4. Direction du vent V_1 | 16 |

Sommaire

| | |
|--|----|
| II.5. Direction du V2 du vent | 22 |
| II.6. Effet de la neige | 26 |
| II.6.1. Charge de neige sur les toitures | 26 |
| II.7. Effet de la variation de température | 26 |

Chapitre III: Etude de cas, effet des systèmes de contreventement

| | |
|---|----|
| III.1. Présentation du projet..... | 27 |
| III.2. Données géométriques du projet | 27 |
| III.3. Localisation et données concernant le site | 27 |
| III.4. Composition de l'ouvrage | 27 |
| III.5. Assemblages..... | 28 |
| III.6. Matériaux utilisés | 28 |
| III.7. Réglements techniques | 29 |
| III.8. Définition d'états limite de calcul | 30 |
| III.9. Réglements techniques | 30 |
| III.10. Présentation des actions sismiques..... | 32 |
| III.11. Méthode statique équivalente..... | 32 |
| III.12. Méthode d'analyse modale spectrale | 35 |
| III.12.1. Les spectres de réponse de calcul utilisés | 35 |
| III.13. Résultats | 36 |
| III.13.1. Calcul du poids total de la structure $W(t)$ | 36 |
| III.13.2. La force sismique horizontale V à la base pour les différents cas de R..... | 37 |
| III.13.3. Distribution de la résultante des forces sismiques selon la hauteur | 38 |
| III.14. Calcul et vérification de la structure | 42 |

Chapitre IV: Résultats et discussion

| | |
|---|----|
| IV.1. Introduction..... | 59 |
| IV.2. Périodes propres..... | 59 |
| IV.3. Efforts tranchants | 60 |
| IV.4. Les déplacements latéraux inter-étage | 61 |
| IV.5. Les déplacements relatifs | 62 |
| IV.6. Conclusion | 63 |
| Conclusion generale et perspectives | 65 |
| Références bibliographiques | |
| Annexes | |

Liste des symboles

Liste des symboles

| | |
|-------------------------------|---|
| G | Charges permanentes. |
| Q | Charges d'exploitation. |
| N | Surcharge climatique de neige. |
| V | Surcharge climatique du vent. |
| S | Charges du sable. |
| F_{fr} | Force de frottement |
| R | La force résultante |
| F_w | Force horizontale correspondant à la résultante des forces agissant sur les parois de la construction et de la force composante horizontale appliquée à la toiture. |
| F_u | Force de soulèvement représentant la composante verticale des forces appliquées à la toiture. |
| Q_j | Pression du vent qui s'exerce sur un élément de surface j |
| S_j | L'aire de l'élément de surface j. |
| C_d | Coefficient dynamique de la construction |
| $W_{(zj)}$ | Pression nette de l'élément de surface |
| Q_{dyn} | Pression dynamique du vent |
| C_{pe} | Coefficient de pression extérieur |
| C_{pi} | Coefficient de pression intérieur |
| Q_{ref} | Pression dynamique de référence pour construction permanente |
| C_e | Coefficient d'exposition au vent |
| Z_j | Distance vertical à partir du sol au centre de l'élément j verticalement |
| C_r | Coefficient de rugosité |
| C_t | Coefficient de topographie Z Hauteur considérée |
| K_T | Facteur de terrain |
| $C_{pe.1}$ | Coefficient de pression correspondant à 1m ² |
| $C_{pe.10}$ | Coefficient de pression correspondant à 10m ² |
| S | Surface chargé de la paroi considérée |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure I. 1: Bâtiment métallique avec système de contreventement en X | 3 |
| Figure I. 2: Effondrement total des constructions non ou mal contreventées [2]. | 4 |
| Figure II. 1: les deux directions principales du vent. | 13 |
| Figure II. 2: La force résultant R. | 14 |
| Figure II. 3: Légende pour les parois verticales direction V2. | 17 |
| Figure II. 4: C_{pe} pour les parois verticales de bâtiments. | 17 |
| Figure II. 5: Valeurs de C_{pe} pour les parois verticales direction V2. | 17 |
| Figure II. 6: légende pour la terrasse direction V2. | 18 |
| Figure II. 7: Valeurs de C_{pe} pour la toiture direction V2. | 18 |
| Figure II. 8: Valeurs de C_{pe} de la toiture. | 18 |
| Figure II. 9: coefficients de pression inférieur C_{pi} | 19 |
| Figure II. 10: Pressions au niveau des différentes zones A, B, C, D, E, F, G, H, I (V1). | 21 |
| Figure II. 11: Pressions au niveau des zones A, B, C, D, E, F, G, H, I (V1). | 21 |
| Figure II. 12: Pressions au niveau des zones A, B, C, D, E, F, G, H, I (V1). | 21 |
| Figure II. 13: légende pour les parois verticales direction V2. | 22 |
| Figure II. 14: Valeurs de C_{pe} pour les parois verticales direction V2. | 22 |
| Figure II. 15: légende pour la terrasse direction V2. | 23 |
| Figure II. 16: Valeur de C_{pe} pour la toiture direction V2. | 23 |
| Figure II. 17: Pressions au niveau des différentes zones A', B', D, E, F, G, H, I (V2). | 24 |
| Figure II. 18: Pressions au niveau des différentes zones A', B', D, E, F, G, H, I (V2). | 25 |
| Figure II. 19: Pressions au niveau des différentes zones A', B', D, E, F, G, H, I (V2). | 25 |
| Figure III. 1: Vue en en 3D des modèles de systèmes de contreventement considérés pour les différents cas de la structure. | 31 |
| Figure III. 2: Spectre de réponse de calcul pour le cas de structure en portique autostables ductile avec $R=6$ | 36 |
| Figure III. 3: Spectre de réponse de calcul pour le cas de structure en portique contreventée par palées triangulées en V avec $R=3$ | 36 |
| Figure III. 4: Spectre de réponse de calcul pour le cas de structure en portique contreventée par palées triangulées en X avec $R=4$ | 36 |
| Figure III. 5: Spectre de réponse de calcul pour le cas de structure en portique contreventée par portique palées triangulées en X avec $R=5$ | 36 |
| Figure III. 6: La distribution de la résultante des forces sismiques suivant la hauteur pour $R=6$ | 38 |
| Figure III. 7: La distribution de la résultante des forces sismiques suivant la hauteur pour $R=3$ | 39 |
| Figure III. 8: La distribution de la résultante des forces sismiques suivant la hauteur pour $R=4$ | 40 |
| Figure III. 9: La distribution de la résultante des forces sismiques suivant la hauteur pour $R=5$ | 41 |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure IV. 1: La variation des périodes différents modes en fonction des systèmes de contreventement. | 59 |
| Figure IV. 2: La période fondamentale relative aux différents modes de vibration des structures étudiées. | 60 |
| Figure IV. 3: Déplacements latéraux à chaque étage suivant l'axe xx. | 61 |
| Figure IV. 4: Déplacements latéraux à chaque étage suivant l' axes yy. | 62 |
| Figure IV. 5: Les déplacements relatifs des différents étages .suivant X. | 63 |
| Figure IV. 6: Les déplacements relatifs des différents étages Δx suivant Y..... | 63 |

Liste des tableaux

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau I. 1: Valeurs du coefficient de comportement R pour les structures en acier..... | 9 |
| Tableau I. 2: Exemples des dommages au niveau des différents éléments des structures métallique. | 10 |
| Tableau II. 1: Valeurs des pressions dynamiques. | 16 |
| Tableau II. 2: Les valeurs des pressions Q_j pour les parois verticales direction de vent V1. | 20 |
| Tableau II. 3: Les valeurs des pressions Q_j pour la toiture direction de vent V1. | 20 |
| Tableau II. 4: Les valeurs des pressions Q_j pour les parois verticales direction de vent V2... .. | 24 |
| Tableau II. 5: Les valeurs des pressions Q_j pour la toiture direction de vent V1. | 25 |
| Tableau III. 1: Les valeurs nominales des résistances. | 28 |
| Tableau III. 2: Limite élastique f_y (MPa) en fonction de l'épaisseur nominale. | 29 |
| Tableau III. 3: Les différentes valeurs des coefficients R. | 32 |
| Tableau III. 4: Les valeurs de coefficient de comportement. | 32 |
| Tableau III. 5: Les charges d'exploitation de la structure. | 33 |
| Tableau III. 6: Les charges permanentes. | 33 |
| Tableau III. 7: Les charges permanentes. | 34 |
| Tableau III. 8: Les dimensions des profilés des systèmes de contreventement. | 35 |
| Tableau III. 9: Les charges permanentes de chaque niveau. | 37 |
| Tableau III. 10: Les charges d'exploitations de chaque niveau. | 37 |
| Tableau III. 11: la force sismique horizontale V à la base pour les différents cas de systèmes de contreventement. | 37 |
| Tableau III. 12: l'effort tranchant et le moment fléchissant R=6. | 38 |
| Tableau III. 13: l'effort tranchant et le moment fléchissant R=3. | 39 |
| Tableau III. 14: l'effort tranchant et le moment fléchissant R=4. | 40 |
| Tableau III. 15: l'effort tranchant et le moment fléchissant R=5. | 41 |
| Tableau III. 16: La période et le coefficient de participation massique R= 6. | 42 |
| Tableau III. 17: La variation de l'effort sismique suivant X pour R= 6. | 43 |
| Tableau III. 18: La variation de l'effort sismique suivant Y pour R= 6. | 43 |
| Tableau III. 19: Les déplacements suivant X pour R= 6. | 44 |
| Tableau III. 20: Les déplacements suivant Y pour R= 6. | 44 |
| Tableau III. 21: Le déplacement relatif pour R= 6. | 44 |
| Tableau III. 22: La période et le coefficient de participation massique R= 3. | 45 |
| Tableau III. 23: La variation de l'effort sismique suivant X pour R= 3. | 45 |
| Tableau III. 24: La variation de l'effort sismique suivant Y pour R= 6. | 46 |
| Tableau III. 25: Les déplacements suivant X pour R= 3. | 46 |
| Tableau III. 26: Les déplacements suivant Y pour R= 3. | 46 |
| Tableau III. 27: Le déplacement relatif pour R= 3. | 47 |
| Tableau III. 28: La période et le coefficient de participation massique pour R= 4 (palée en X). | 47 |
| Tableau III. 29: La variation de l'effort sismique suivant X pour R= 4 (palée en X). | 48 |
| Tableau III. 30: La variation de l'effort sismique suivant Y pour R= 4 (palée en X). | 48 |
| Tableau III. 31: Les déplacements suivant X pour R= 4 (palée en X). | 49 |

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau III. 32: Les déplacements suivant Y pour R= 4 (palée en X)..... | 49 |
| Tableau III. 33: Les déplacements relatifs pour R= 4 (palée en X). | 49 |
| Tableau III. 34: La période et le coefficient de participation massique pour R= 4 (palée en V renversé)..... | 50 |
| Tableau III. 35: La variation de l'effort sismique suivant X pour R= 4 (palée en V renversé). | 51 |
| Tableau III. 36: La variation de l'effort sismique suivant Y pour R= 4 (palée en V renversé). | 51 |
| Tableau III. 37: Les déplacements suivant X pour R= 4 (palée en V renversé). | 52 |
| Tableau III. 38: Les déplacements suivant Y pour R= 4 (palée en V renversé). | 52 |
| Tableau III. 39: Les déplacements relatifs pour R= 4 (palée en V renversé)..... | 52 |
| Tableau III. 40: La période et le coefficient de participation massique pour R= 5..... | 53 |
| Tableau III. 41: L'effort sismique suivant X pour R= 5. | 54 |
| Tableau III. 42: L'effort sismique suivant Y pour R= 5. | 54 |
| Tableau III. 43: Les déplacements suivant X pour R= 5..... | 54 |
| Tableau III. 44: Les déplacements suivant Y pour R= 5..... | 55 |
| Tableau III. 45: Les déplacements relatifs suivant pour R= 5. | 55 |
| Tableau III. 46: La période et les coefficients de participation massique pour R= 3 (X-V).. | 56 |
| Tableau III. 47: Les déplacements relatifs suivant pour R= 3 (X-V)..... | 56 |
| Tableau III. 48: Les déplacements relatifs suivant pour R= 3 (X-V)..... | 57 |
| Tableau III. 49: Les déplacements suivant X pour R= 3 (X-V)..... | 57 |
| Tableau III. 50: Les déplacements relatifs Y pour R= 3 (X-V). | 57 |
| Tableau III. 51: Les déplacements relatifs pour R= 3 (X-V). | 58 |

Introduction générale

Introduction générale

Pour un grand nombre de codes parasismiques, l'approche la plus conventionnelle de la protection des ouvrages (bâtiments et ponts) des effets des tremblements de terre consiste à fournir une combinaison de résistance par augmentation de leurs rigidités (comme c'est le cas du RPA99/2003) et de la ductilité inhérente à la structure afin d'éviter une défaillance catastrophique, tout en acceptant un certain niveau de dommages (Eurocode 8).

La problématique de la rigidité latérale des bâtiments nécessite l'étude du comportement de leurs structures vis-à-vis de toutes les actions horizontales qui pourraient agir durant la vie de l'ouvrage. Parmi ces actions, le vent et le séisme en constituent les principales sources. En effet, le vent génère des forces de pression s'appliquant de manière directe sur l'ouvrage.

La stabilité latérale de ces constructions constitue le problème primordial. Nous l'avons appris à nos dépens lors des différents tremblements de terre enregistrés. Dans ce type de construction, cette stabilité est assurée par différents systèmes de contreventement en amélioration perpétuelle.

A ce titre, une construction contreventée (pour le vent) ou parasismique (pour le séisme), doit être conçue de manière à résister à des niveaux d'actions définis soit par les règles neige et vent, soit par le règlement parasismique en vigueur pour chaque zone de sismicité.

Les codes de calculs sont basés sur l'utilisation des méthodes de calculs simplifiées (spectrale, statique équivalente) et visent à réduire les efforts sismique élastique à des efforts anélastiques en exploitant la capacité que possède la structure à dissiper de l'énergie à travers des déformations inélastiques sans se rompre. La réduction des efforts dans les règlements est faite par l'introduction d'un coefficient appelé 'coefficient de comportement'. En réalité, ce coefficient de comportement dépend essentiellement de la ductilité liée principalement à la configuration de la structure (géométrie, rigidité, nature des matériaux, mode de ruine...) et la capacité de dissiper de l'énergie.

Dans ce travail, l'objectif est d'évaluer l'effet des systèmes de contreventement sur la réponse sismique de structures en charpente métallique, en utilisant les méthodes d'analyse du règlement parasismique Algérien (RPA), qui sont la méthode statique équivalente basée sur le premier mode fondamental de vibration et la méthode d'analyse modale spectrale basée sur un spectre de réponse normalisé. Les différents résultats obtenus font l'objet de comparaison à partir desquelles des conclusions sont tirées.

Introduction générale

Afin d'atteindre cet objectif, le mémoire est structuré comme suit :

Le premier chapitre est une recherche bibliographique sur les différents systèmes de contreventement pour les structures en charpente métallique et en plus leurs classifications selon le règlement parasismique Algérien (RPA). Nous avons aussi mis en relief la notion de coefficient de comportement et ses méthodes d'évaluation quelques exemples d'endommagement des systèmes de contreventement sur l'effet de séisme.

Le deuxième chapitre étudie le comportement climatique.

Le troisième chapitre est consacré pour l'analyse de comportement sismique de la structure en charpente métallique, tel que le cas d'un portique auto stable, portique avec contreventement en V, un portique avec contreventement en X, contreventement en V, en X et mixte X-V.

Le quatrième chapitre est la discussion des résultats, tel qu'ils sont comparés et commentés en termes de :

Déplacement inter étage et relatif.

L'effort sismique et tranchant.

La période fondamentale.

En dernière partie conclusion et perspectives sont exposées.

***Chapitre I : Généralités
sur les systèmes de
contreventement***

I.1. Introduction

De façon générale, le retour d'expérience met en évidence que les bâtiments et structures support qui ont été conçus et dimensionnés en adoptant les principes fondamentaux du génie parasismique (régularités en plan et élévation, présence de contreventements verticaux dans les deux directions horizontales et de diaphragmes, etc.) ainsi que les dispositions constructives des règlements parasismiques, qui assurent notamment ductilité et continuité du système de contreventement, résistent bien aux mouvements sismiques même lorsque les valeurs d'accélération et/ou les spectres de réponse du sol sont plus élevés que ceux pris en compte pour leur dimensionnement.

L'absence de certaines dispositions constructives ou le non-respect d'un des principes fondamentaux de conception conduit souvent à des dommages importants. Lorsque les désordres sont limités ou inexistant dans les éléments supportant les équipements et que leurs ancrages sont suffisants, les équipements peuvent rester opérationnels. [1]

I.2. Le rôle du système de contreventement

En génie civil, un contreventement est un système statique destiné à assurer la stabilité globale d'un ouvrage vis-à-vis des effets horizontaux issus des éventuelles actions sur celui-ci (par exemple : vent, séisme, choc, freinage, etc.). Il sert également à stabiliser localement certaines parties de l'ouvrage (poutres, poteaux) relativement aux phénomènes d'instabilité (flambage ou déversement).

Afin d'assurer la stabilité globale d'un bâtiment, il est nécessaire que celui-ci soit contreventé selon au moins 3 plans verticaux non colinéaires et un plan horizontal ; on distingue donc les contreventements verticaux (destinés à transmettre les efforts horizontaux dans les fondations) des contreventements horizontaux (destinés à s'opposer aux effets de



Figure I. 1: Bâtiment métallique avec système de contreventement en X

torsion dus à ces efforts).

Un contreventement peut être réalisé par des voiles (contreventements verticaux) ou des plaques (contreventements horizontaux) en béton armé, en maçonnerie, en bois ou en tôle ondulée; ou par des treillis en bois ou en acier. [1]

I.3. Principe

Pendant un séisme, une construction reçoit des charges horizontales qui, comme les charges verticales doivent être transmises jusqu'au sol d'assise de la construction. Pour ce faire deux approches sont possibles:

❖ Structures auto stables

Les descentes de charges horizontales passent par les mêmes éléments de structure que les charges verticales (murs, coques, treillistridimensionnels, portiques croisés...)

❖ Structures contreventées

Les descentes de charges horizontales passent par des dispositifs spécifiques (systèmes articulés+ contreventements...). Les structures contreventées sont, pour un grand nombre de partis architecturaux, moins coûteuses que les structures auto stables. Le contreventement d'une structure doit être horizontal et vertical. La qualité des liaisons entre la structure et les éléments de contreventement, et en général la qualité de leur mise en œuvre, conditionne leur efficacité. L'absence de contreventement et une concentration de contraintes trop élevée en tête de poteaux sont parmi les principaux facteurs de ruine en cas de séisme.



Figure I. 2: Effondrement total des constructions non ou mal contreventées [2].

I.4. Choix de contreventement

Le contreventement permet d'assurer une stabilité horizontale et verticale de la structure lors des secousses qui, rappelons-le, ont des composantes dans les trois directions. Le rôle du contreventement horizontal est de transmettre les actions latérales aux éléments verticaux appelés palées de stabilité.

Pour assurer le contreventement horizontal, les planchers et toitures faisant office de diaphragme rigide ne devraient pas être affaiblis par des percements trop grands ou mal placés pouvant nuire à leur résistance et leur rigidité. Les diaphragmes flexibles devraient être évités pour combattre le déversement des murs notamment en maçonnerie. [3]

Le contreventement vertical par palées devrait répondre à des critères spécifiques tels que:

- **Leur nombre:** au moins trois palées non parallèles et non concourantes par étage.
- **Leur disposition :** elles seront situées le plus symétriquement possible par rapport au centre de gravité des planchers et de préférence aux angles avec une largeur suffisante.
- **Leur distribution verticale :** être régulière ; les palées seront de préférence superposées afin de conférer aux différents niveaux, une rigidité comparable aussi bien en translation qu'en torsion.

I.5. Contreventement général des bâtiments en charpente métallique

Le contreventement en charpente métalliques s'effectue généralement par les trois principaux systèmes structuraux, à savoir :

- Les portiques auto stable (MRF ; Moment Résistant Frames),
- Les portiques avec triangulation centré (CBF ; Concentrically Braced Frame)
- Et avec triangulation excentré (EBF ; Eccentrically Braced Frae).

Ces systèmes de contreventement s'avèrent très important dans le cheminement des forces jusqu'aux fondations, qui sont imposées soit par les charges gravitaires, soit par les charges latérales, dont celles-ci sont provoquées généralement par le vent ou le séisme [2].

I.5.1. Contreventement triangulés

Treillis plans : La plupart des contreventements nécessaires à la stabilisation des structures métalliques de halles et de bâtiments sont réalisés par des barres de triangulation disposées entre les éléments porteurs (traverses ou sommiers, solives ou pannes, rangées de poteaux) de façon à constituer des poutres à treillis. Ces dernières ne peuvent reprendre que des forces situées dans leurs plan et, de préférence, agissant aux nœuds, car elles n'ont ni rigidité transversale (hors du plan), ni rigidité torsion elle. [1].

I.5.2. Treillis non plans

Contrairement à la plupart des contreventements de toiture qui sont des treillis isostatiques extérieurement, le contreventement qui se trouve dans les pans d'une toiture non plane sont en général hyperstatique de degré 3.

I.6. Contreventement en tôle profilée

Historiquement, l'effet diaphragme a été pris en compte pour la première fois dans les halles avec toiture à deux pans, dont la couverture était constituée de tôles profilées. Une telle toiture, soumise à des charges verticales, se comporte comme une structure plissée. En effet, la tôle profilée ayant une grande rigidité en cisaillement dans son propre plan, elle résiste à l'effort tranchant avec les pannes qui les supportent, à la manière de l'âme d'une poutre de grande hauteur. La panne faitière et la panne sablière agissent comme les membrures de cette poutre. Etant donné les diverses liaisons existant de toute façon entre les éléments (tôles et panne, pannes et traverses de cadres), l'effet diaphragme a toujours lieu, que l'ingénieur en tienne compte ou non. [1]

Dans les halles à toiture plate, seules les forces horizontales agissant dans le plan de la tôle profilée peuvent être reprises par l'effet diaphragme. Cet effet est si efficace qu'il est souvent possible de se passer à la fois de cadres-portiques et d'un contreventement de toiture traditionnel (triangle) grâce à la tôle profilée. On peut ainsi classer les structures stabilisées par la tôle profilée en deux groupes :

- Structures stabilisées par l'effet diaphragme seul (cadre articules)
- Structures stabilisées conjointement par l'effet diaphragme et par l'effet cadre (cadre rigide)

I.7. La classification des systèmes de contreventement selon le règlement parasismique Algérien (RPA99/2003) des structures en acier**❖ Ossature contreventée par portiques auto stables ductiles**

L'ossature complète (cadres inclus) reprend la totalité des charges verticales. Les portiques auto stables ductiles reprennent à eux seuls la totalité des charges horizontales.

❖ Ossature contreventée par portiques auto stables ordinaires

L'ossature complète reprend la totalité des charges verticales, reprennent à eux seuls la totalité des charges horizontales. La hauteur de tout bâtiment utilisant ce système pour le contreventement, doit être limité à 5 niveaux ou 17 m.

❖ Ossature contreventée par palées triangulées concentriques

L'ossature complète reprend la totalité des charges verticales et les palées reprennent la totalité des charges horizontales. La hauteur des bâtiments utilisant ce système pour le contreventement doit être limité à 10 niveaux ou 33m. Dans cette classe de contreventement, on distingue deux (02) sous classes, soit des palées en X et en V (les palées en K n'étant pas autorisées)

❖ Système d'ossature contreventée par palées triangulées en X

Dans ce système, pour un nœud d'une palée, les axes de la diagonale, de la poutre et du poteau convergent en un seul point situé sur le centre du nœud. Dans ce système, on considère que parmi toutes les diagonales d'une palée, seules celles tendues interviennent dans la résistance et le comportement dissipatif de cette palée vis-à-vis de l'action sismique.

❖ Système d'ossature contreventée par palées triangulées en V

Dans ce système, les poutres de chaque palée sont continuées et le point d'intersection des axes des diagonales de la palée se situe sur l'axe de la poutre. La résistance et la capacité de dissipation de la palée vis-à-vis de l'action sismique sont fournies par la participation conjointe des diagonales tendues et des diagonales comprimées.

❖ Ossature avec contreventements mixtes

Dans le cas de figure développé ici, les palées de contreventement doivent reprendre au plus 20% des sollicitations dues aux charges verticales. Un contreventement mixte est une combinaison de 2 types de contreventement choisis parmi certains de ceux définis précédemment. Il comprend des portiques ou des cadres auto stables ductiles couplés avec, soit des palées triangulées en X, soit des palées triangulées en V, ou se rapprochant du V (système en double béquille). L'ossature complète reprend la totalité des charges verticales. Les contreventements mixtes (cadres + palées) reprennent la totalité des charges horizontales globales. Les cadres et les palées doivent être calculés pour résister à l'effort horizontal qui sera partagé au prorata de leurs raideurs et en tenant compte de leur interaction mutuelle à tous les niveaux. Les cadres auto stables ductiles doivent pouvoir reprendre à eux seuls, au moins 25% des charges horizontales globales. [4]

❖ Système d'ossature contreventée par cadres ductiles et palées en X

Dans ce système, le contreventement mixte est une combinaison de cadres auto stables ductiles et de palées triangulées concentriques en X.

❖ Système d'ossature contreventée par cadres ductiles et palées en V

Dans ce système, le contreventement mixte est une combinaison de cadres auto stables ductiles et de palées triangulées concentriques en V.

I.8. La notion de coefficient de comportement R

Dans la vision de la génération actuelle des règlements parasismiques, la capacité des systèmes structuraux dissipatifs à résister aux actions sismiques dans le domaine inélastique est exprimée par le paramètre dit « facteur de comportement structural », en général noté q selon EC8 et R selon RPA et le code Américain UBC.

Ce facteur permet aussi d'obtenir le chargement sismique, à savoir le spectre de calcul en accélération et l'effort statique à la base (utilisés pour le dimensionnement de la structure) [5].

IL est défini comme le rapport entre la force latérale maximale élastique V_e et la force latérale inélastique de dimensionnement V_d .

Il est donné par l'expression suivante :

$$R = V_e / V_d \dots\dots\dots (I.1)$$

Le facteur de comportement qui est considéré comme l'ingrédient principal des analyses élastique sert donc à réduire l'effort tranchant élastique à la base à un effort tranchant de dimensionnement beaucoup plus faible que le premier. En effet, puisqu'un effort n'est que la multiplication d'une contrainte par une section, donc réduire l'effort veut dire réduire les sections.

❖ Paramètres de calcul du coefficient de comportement

Des résultats provenant d'un programme de recherche expérimentales dans l'université de Berkley en Californie ont été exploitées pour tracer des courbes Force - déplacement pour des ossatures métalliques contreventées, mais aussi pour faire des essais de formulation du coefficient de comportement.

Des relations effort tranchant à la base – déplacement en tête des bâtiments expérimentés ont été établies : un bâtiment métallique à contreventement triangulaire centré et un autre bâtiment métallique toujours, mais à contreventement triangulaire excentré [5].

Les courbes de capacité ont été établies en traçant le déplacement correspondant à l'effort tranchant maximal à la base pour chaque simulation et pour chaque modèle considéré. Sur la lumière de cette base de données, les chercheurs de Berkley ont proposé que le coefficient de comportement soit la multiplication de trois facteurs : tenant compte de la réserve de résistance, la ductilité et l'amortissement :

$$R = R_u \cdot R_s \cdot R_\varepsilon \dots\dots\dots (I.2)$$

R_u : est le facteur de ductilité

R_s : est le facteur de sur- résistance

R_ε : est le facteur de d'amortissement

N.B : le dernier facteur a été pris égal à l'unité car malgré l'aptitude qui possède à être utilisé dans l'estimation du déplacement des structures inélastique, il ne pourra pas être utilisé pour réduire proportionnellement la demande de résistance [6].

Plusieurs recherches sont venues compléter cette formulation du coefficient de comportement R. des études récentes y compris celles de l'ATC-34, soutiennent une nouvelle formulation de R. c'est une formulation dans laquelle R est exprimé comme le produit de trois facteurs, à savoir : un facteur qui compte de la ductilité, un autre qui exprime la réserve de résistance, et un troisième pour tenir compte de la redondance. Donc la nouvelle formule de R est exprimée comme suit :

$$R=R_u.R_s.R_R \dots \dots \dots (I.3)$$

R_R : le facteur de redondance.

❖ **Les valeurs de coefficient de comportement (R) selon le règlement parasismique algérien (RPA99 / 2003) des structures en acier**

La valeur unique de R est donnée par le tableau I.1 en fonction du système de contreventement. En cas d'utilisation de systèmes de contreventement différents dans les deux directions considérées il y a lieu d'adopter pour le coefficient R la valeur la plus petite [4].

Tableau I. 1: Valeurs du coefficient de comportement R pour les structures en acier.

| Type de structure | Valeur de R |
|---|-------------|
| Portiques auto stables ductiles | 6 |
| Portiques auto stables ordinaires | 4 |
| Ossature contreventée par palées triangulées en X | 4 |
| Ossature contreventée par palées triangulées en V | 3 |
| Mixte portique/palées triangulées en X | 5 |
| Mixte portique/palées triangulées en V | 4 |
| Portique en console vertical | 2 |

I.9. L'endommagement des structures métalliques durant les séismes

Nombreux rapports sur les dommages des structures contreventées par palées de stabilité durant divers tremblements de terre récents peuvent être trouvés dans la littérature. Les dommages typiques incluent le flambement des diagonales comprimées, la rupture des diagonales aux sections nettes faibles et à proximité des zones du flambement locale des diagonales à parois minces (faible élancement), et la rupture des assemblages boulonnés à l'extrémité des diagonales, ainsi que les ruptures des assemblages soudés au niveau des nœuds poutre-poteaux des portiques auto stable. [6]





❖ **Dommages des palées de contreventement**



La meilleure stratégie de conception est d'assurer que les déformations plastiques ne se produiront que dans les diagonales, et que les poteaux, les poutres, et les assemblages restent intacts, ce qui permet à la structure de bien résister aux séismes sans perdre de résistance.

Plusieurs exemples existent dans la littérature montre la mauvaise performance de certain comportement d'assemblage entre les diagonales et les éléments principaux (poutres et poteaux) lors d'un séisme.

Le tableau I.2 montre quelques exemples des dommages au niveau de ces éléments.

Tableau I. 2: Exemples des dommages au niveau des différents éléments des structures métallique.

| | |
|--|--|
|  |  |
| <p>Rupture au niveau de la diagonale de la section nette</p> | <p>Rupture des boulons par cisaillement</p> |
|  |  |
| <p>Voilement de la poutre sans appui latéral au niveau des palées de contreventement</p> | <p>Rupture fragile de la soudure des palées de contreventement</p> |

| | |
|---|--|
|  |  |
| Rupture fragile de la soudure des palées de contreventement | Flambement d'une diagonale d'un bâtiment en Californie |

I.10. Quelques travaux réalisés sur l'effet des systèmes de contreventement

❖ 1^{ère} étude

Dans ce travail un modèle d'un bâtiment métallique à trois étages à l'échelle réduite construit au laboratoire du département de génie civil de l'université Karadeniz Technical, a été choisi pour réaliser l'étude.

Une série d'essais de vibration ambiante a été réalisée sur les modèles de bâtiment considérés avec et sans contreventement en adoptant quatre types de contreventement à savoir : modèle en X, en Λ , en V, et en K. Des modélisations en éléments finis pour les différents cas ont été développées pour simuler leur comportement dynamique.

Les chercheurs ont conclu que la rigidité des bâtiments métalliques peut considérablement être augmentée par l'intégration de diagonales de contreventement et que l'influence de ces dernières sur le comportement des structures varie selon le type de configuration adoptée.

Et en plus pour une bonne conception de structures métalliques contreventées, il est très important d'intégrer des mesures expérimentales pour bien estimer leur comportement dynamique [7].

❖ 2^{ème} étude

Cet article analyse la réponse sismique de plusieurs bâtiments situés à Los Angeles et en Californie (2, 4, 8, 12, et 16 étages), en premier cas avec un contreventement centré dissipatif (CCD). Ensuite en été équipés de contreventements limitant le flambement (CLF) en faisant une comparaison entre les deux cas. Et en exécutant deux analyses : statique incrémentale et dynamique non linéaire avec une série de tremblement de terre à trois niveaux de risque différents. On constate que, les portiques à CCD présentent généralement moins de

dégâts sur la hauteur du bâtiment, de petits déplacements relatifs entre étages, et de petites déformations résiduelles latérales par rapport à l'autre système. En plus des pics d'accélération dans les étages ont été observés dans les cadres à CCD dus aux brusques transitions entre la réponse élastique et inélastique supposées dans l'analyse. De même une augmentation des charges sismiques de calcul est nécessaire pour la conception des portiques à CCD et CLF de faible hauteur afin d'améliorer leurs performances contre l'effondrement. [8]

❖ 3^{ème} étude

L'étude expose une méthode de réalisation simplifiée du système de contreventement à suspentes caractérisé par l'addition d'un tirant vertical entre les diagonales des contreventements en V renversé. Ce type de systèmes présente un problème de conception provenant de la force verticale générée par l'étage inférieur lorsque l'une des diagonales flambe. Cette force sera reprise par la poutre, ce qui lui attribue des dimensions assez importantes et génère un système structurel relativement inefficace. Cet effet indésirable peut être réduit par l'ajout d'éléments verticaux reliant les points d'intersection des diagonales à partir du premier étage. En introduisant ce concept, un meilleur comportement peut être atteint.

Les résultats obtenus montrent pour ce système un comportement plus ductile que celui obtenu par le système ordinaire. D'autre part, ce système réduit la tendance des contreventements à chevron pour la formation d'étages souples, et améliore la performance sismique sans avoir à prévoir des poutres très rigides dans les constructions étagées. Par ailleurs, il est à noter que ces résultats sont préliminaires et la procédure est en cours de développement. [9]

Chapitre II : Etude climatique

II.1. Introduction

L'effet du vent sur une construction est assez prépondérant et a une grande influence sur la stabilité de l'ouvrage. Pour cela, une étude approfondie doit être élaborée pour la détermination des différentes actions dues au vent et ceci dans toutes les directions possibles, Le calcul sera mené conformément au Règlement Neige et Vent 99. Ce document technique réglementaire (DTR) fournit les procédures et principes généraux pour la détermination des actions du vent sur l'ensemble d'une construction et sur ses différentes parties et s'applique aux constructions dont la hauteur est inférieure à 200m. Les actions du vent appliquées aux parois dépendent de :

- La direction.
- L'intensité.
- La région.
- Le site d'implantation de la structure et leur environnement.
- La forme géométrique et les ouvertures de la structure

II.2. Charges climatiques

II.2.1. Le calcul

Le calcul doit être effectué séparément pour les deux directions du vent, qui sont perpendiculaires aux parois de la construction (Figure II.1)

Pour des raisons de symétrie de notre bâtiment on va étudier une face pour chaque direction du vent.

- La direction V1 du vent : perpendiculaire à la façade principale.
- La direction V2 du vent : parallèle à la façade principale.

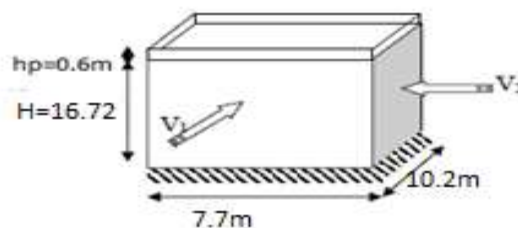


Figure II. 1: les deux directions principales du vent.

L'effet du vent sera évalué par le calcul de la force résultante R qui se décompose en deux forces (voir figure II.2).

Une force globale horizontale F_w qui correspond à la résultante des forces horizontales agissantes sur les parois verticales de la construction et de la composante horizontale appliquée à la toiture.

Une force de soulèvement F_u qui représente la composante verticale des forces appliqués à la toiture.

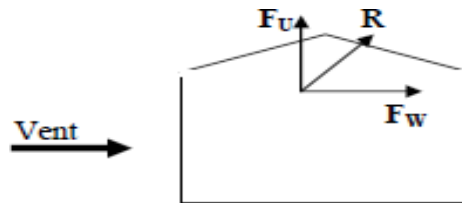


Figure II. 2: La force résultant R.

La force résultante R est donnée par la formule :

$$R = \Sigma (q_j \times S_j) + \Sigma F_{fij} \text{ (daN) (§2.1.2 RNV99) [1]}$$

Où :

- q_j : (daN/m²) est la pression du vent qui s'exerce sur un élément de surface j.
- S_j : (m²) est l'aire de l'élément de surface j.
- F_{fij} : (daN) désigne les forces de frottement éventuelles

II.2.2. Données relatives au site

- Catégorie du terrain 0 (tableau2.4 RNV2013 page 53)
- $C_T = 1$ pour $\varphi < 0.05$ (RNV2013 page54)
- Zone du vent I (tableau2.2 page50 RNV2013)
- $q_{réf} = 375 \text{ N/m}^2$ (tableau2.2 RNV2013 page 50)
- $K_T = 0,156$ (RNV2013)
- $Z_0 = 0.003\text{m}$ (RNV2013)
- $Z_{min} = 1 \text{ m}$ (RNV2013)
- $\xi = 0.38$ (RNV2013)

II.2.3 Détermination de la pression due au vent

La pression due au vent qui s'exerce sur un élément de surface j est donnée par :

$$Q_j = C_d \times W (z_j)$$

- $W (z_j) = q_{dyn} (z_j) \times (C_{pe} - C_{pi}) \times C_d$ (§.2.6 page 57 RNV2013) Si une face des parois est inférieure à la construction. L'autre extérieur
- C_d : le coefficient dynamique de la construction

- W (en N/m^2) : est la pression nette (appelée aussi pression) exercée sur l'élément de surface, calculée à la hauteur Z_j relative à l'élément de surface j
- q_{dyn} : est la pression dynamique du vent calculée à la hauteur z_j relative à l'élément de surface j .
- C_{pe} : est le coefficient de pression extérieure
- C_{pi} : est le coefficient de pression intérieure

II.2.4 Le coefficient dynamique C_d

$C_d=1$ selon (RNV 2013 page62)

Bâtiment à ossatures comparant des murs dont la hauteur est à la fois inférieur à 100m et à 4fois la dimension du bâtiment mesuré dans la direction perpendiculaire la direction du vent.

II.3. Détermination de la pression dynamique

Pour la vérification de la stabilité d'ensemble et pour le dimensionnement des éléments de la structure, la pression dynamique doit être calculée en subdivisant le maître – couple en éléments de surface j horizontaux, La construction sans plancher intermédiaire dont la hauteur est supérieure à 10m doivent être considérées comme étant constituées de n élément de surface de hauteur égale h_i , est donnée par la formule suivante :

$$q_{dyn}(z_j) = q_{réf} \times C_e(z_j)$$

$$q_{réf} = 375 N/m^2$$

C_e : Coefficient d'exposition au vent.

II.3.1. Détermination du coefficient d'exposition $C_e(Z)$

Dans le cas où la structure est peu sensible aux excitations dynamiques le coefficient d'exposition est donné par la formule ci-dessous :

$$C_e(z) = C_t(z)^2 \times C_r(z)^2 \left[1 + 7I_v(z) \right]$$

C_r : est le coefficient de rugosité (cf §2.4.4)

C_t : est le coefficient de topographie (cf §2.4.5)

I_v : est l'intensité de la turbulence (cf§.2.4.6)

Z (en m) est la hauteur considérée

II.3.2. Intensité de turbulence I_v (2.5 RNV 2013 page 57)

$$I_v = \frac{1}{C_t \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \text{ pour } Z > Z_{min}$$

$$I_v = \frac{1}{C_t \ln\left(\frac{Z_{min}}{z_0}\right)} \text{ pour } Z < Z_{min}$$

II.3.3. Coefficient de rugosité

$$C_r(z) = K_T \times L_n \left(\frac{z}{z_0} \right) \text{ pour } Z_{min} \leq Z \leq 200 \text{ m}$$

$$C_r(z) = K_T \times L_n \left(\frac{z_{min}}{z_0} \right) \text{ pour } Z \leq Z_{min} \text{ (2.3 RNV2013 page53)}$$

Les résultats sont représentés dans le tableau II.1

Tableau II. 1: Valeurs des pressions dynamiques.

| Niveau | H(m) | Z(m) | Cr | Ct | Ce | Iv | Qdyn(kn/m²) |
|-------------------|------|-------|------|----|------|------|-------------|
| Rdc | 2.8 | 1.4 | 0.96 | 1 | 1.95 | 0.16 | 731.25 |
| 1ère étage | 4.4 | 5.8 | 1.18 | 1 | 2.66 | 0.13 | 997.5 |
| 2ème étage | 3.4 | 9.2 | 1.25 | 1 | 2.88 | 0.12 | 1080 |
| 3ème étage | 3.06 | 12.26 | 1.29 | 1 | 3.06 | 0.12 | 1147.5 |
| 4ème étage | 3.06 | 15.32 | 1.33 | 1 | 3.25 | 0.12 | 1218.75 |

II.4. Direction du vent V1

❖ **Coefficient de pression extérieure C_{pe}**

Parois verticales : Pour le calcul des valeurs de C_{pe} on se réfère au (§.5.1 RNV2013 page 80) :

$$C_{pe} = C_{pe.1} \quad \text{si } S \leq 1 \text{ m}^2$$

$$C_{pe} = C_{pe.1} + (C_{pe.10} - C_{pe.1}) \times \log_{10}(S) \text{ si } 1 \text{ m}^2 < S < 10 \text{ m}^2$$

$$C_{pe} = C_{pe.10} \quad \text{si } S \geq 10 \text{ m}^2$$

b : la dimension perpendiculaire à la direction du vent V1 ; **b**=7.70m.

d : la dimension parallèle à la direction du vent V1 ; **d**=10.20 m.

$$e = \min [b ; 2h] = \min [7.70 ; (2 \times 16.72)].$$

$$e = 7.70 \text{ m}$$

$d > e$ la paroi est divisée en 3 zones de pression A, B, C, D et E (selon RNV2013 §5.1 page80) qui sont illustrées sur la figure II.3.

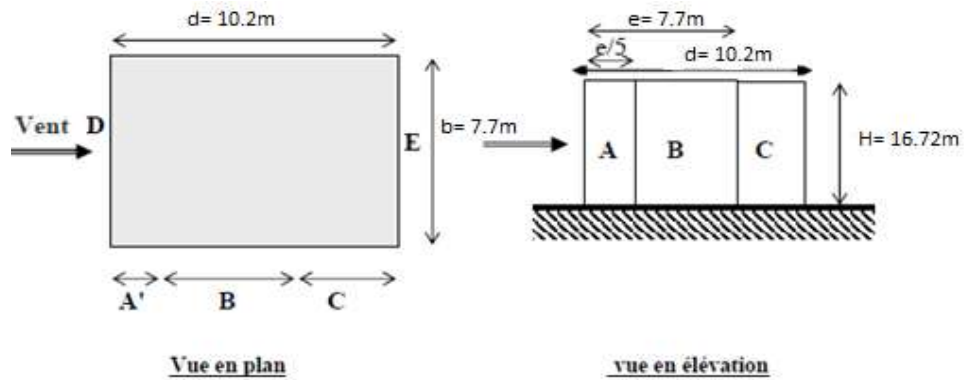


Figure II. 3:Légende pour les parois verticales direction V2.

❖ Les surfaces

$S_A : 11.85m^2 > 10m^2$

$S_B : 47.43m^2 > 10m^2$

$S_C : 19.25 m^2 > 10m^2$

$S_D ; S_E = 16.72 \times 7.7 = 128.74 m^2 > 10m^2$

| Paroi latérale | | | | | | Paroi au vent | | paroi sous le vent | |
|----------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|---------------|------------|--------------------|------------|
| A, A' | | B, B' | | C | | D | | E | |
| $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ |
| -1.0 | -1.3 | -0.8 | -1.0 | -0.5 | | +0.8 | 1.0 | -0.3 | |

Figure II. 4: C_{pe} pour les parois verticales de bâtiments.

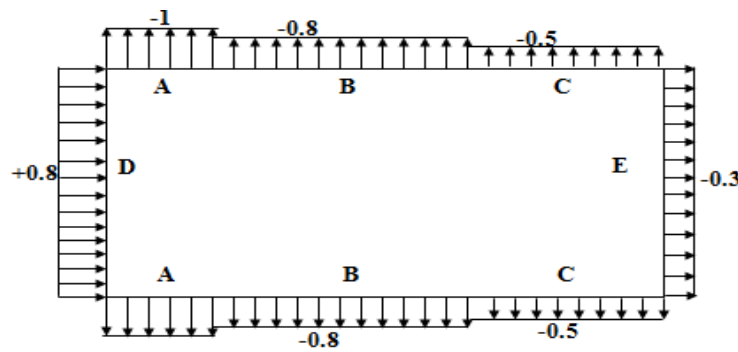


Figure II. 5: Valeurs de C_{pe} pour les parois verticales direction V2.

❖ Pour la toiture

- La hauteur de l'acrotère $h_p = 0.6m$.
- Les toitures plates sont celles dont la pente est inférieure ou égale à 4° .
- Selon (tableau 5.2 page 82 RNV 2013) les différentes zones de pression F, G, H et I sont représentées sur la figure
- $e = \text{Min} [b ; 2h] = 7.70m$

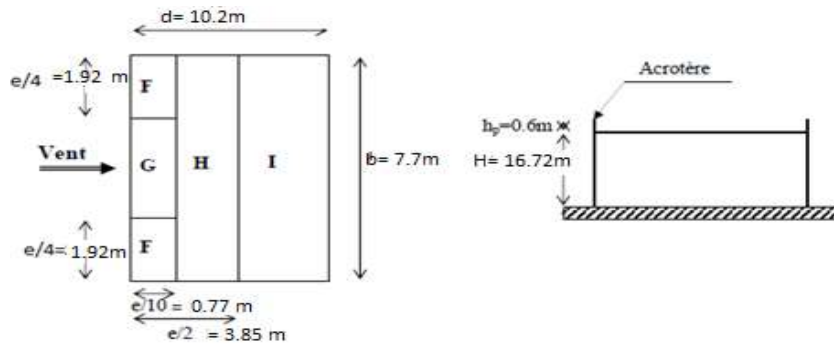


Figure II. 6: légende pour la terrasse direction V2.

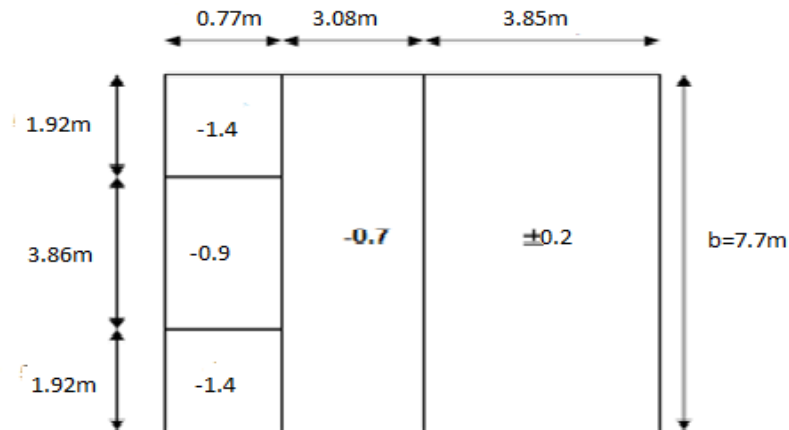


Figure II. 7: Valeurs de C_{pe} pour la toiture direction V2.

| | | Zones | | | | | | | |
|-------------------------------|---------------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| | | F | | G | | H | | I | |
| | | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ |
| arêtes vives (sans acrotères) | | -1.8 | -2.5 | -1.2 | -2.0 | -0.7 | -1.2 | ± 0.2 | |
| avec acrotères | $h_p/h = 0.025$ | -1.6 | -2.2 | -1.1 | -1.8 | -0.7 | -1.2 | ± 0.2 | |
| | $h_p/h = 0.05$ | -1.4 | -2.0 | -0.9 | -1.6 | -0.7 | -1.2 | ± 0.2 | |
| | $h_p/h = 0.10$ | -1.2 | -1.8 | -0.8 | -1.4 | -0.7 | -1.2 | ± 0.2 | |
| rives arrondies | $r/h = 0.05$ | -1.0 | -1.5 | -1.2 | -1.8 | -0.4 | | ± 0.2 | |
| | $r/h = 0.10$ | -0.7 | -1.2 | -0.8 | -1.4 | -0.3 | | ± 0.2 | |
| | $r/h = 0.20$ | -0.5 | -0.8 | -0.5 | -0.8 | -0.3 | | ± 0.2 | |
| brisis mansardés | $\alpha = 30^\circ$ | -1.0 | -1.5 | -1.0 | -1.5 | -0.3 | | ± 0.2 | |
| | $\alpha = 45^\circ$ | -1.2 | -1.8 | -1.3 | -1.9 | -0.4 | | ± 0.2 | |
| | $\alpha = 60^\circ$ | -1.3 | -1.9 | -1.3 | -1.9 | -0.5 | | ± 0.2 | |

Figure II. 8: Valeurs de C_{pe} de la toiture.

- $\frac{H_p}{h} = 0.035 \rightarrow$ Donc on prend $\frac{H_p}{h} = 0.05$ (avec acrotère)

❖ Coefficient de pression interne C_{pi}

Pour C_{pi} on prend les 3 cas général

1^{ER} CAS : toutes les ouvertures sont fermées $\mu_p = 0$

2^{IEME}CAS : une ouverture ouverte et l'autre fermée $\mu_p = 0,5$

3^{IEME}CAS : toutes les ouvertures sont ouvertes $\mu_p = 1$

D'après (Figure 5.14 page 97 RNV2013) le C_{pi} :

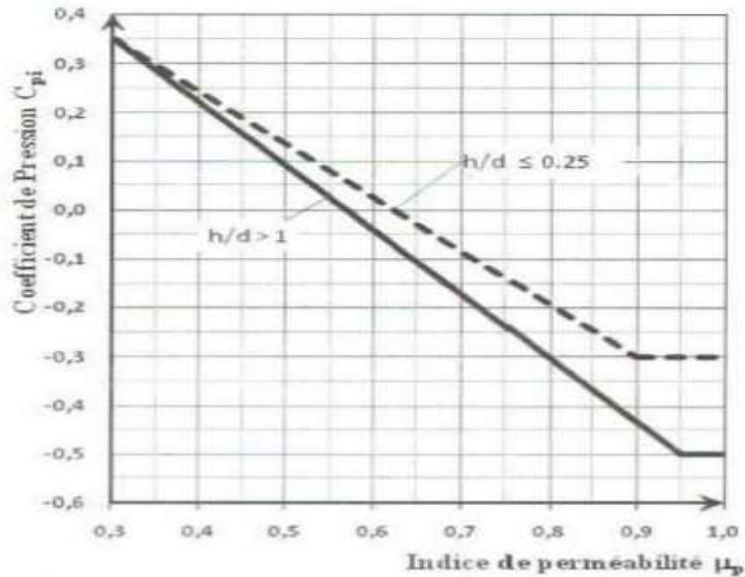


Figure II. 9: coefficients de pression inférieur C_{pi}

RDC : $\frac{h}{d} = 0.13 < 0.25$

Etage1 : $\frac{h}{d} = 0.54 \quad 0.25 \leq x \leq 1$

Etage2 : $\frac{h}{d} = 0.86 \quad 0.25 \leq x \leq 1$

Etage3 : $\frac{h}{d} = 1.15 < 1$

Etage4 : $\frac{h}{d} = 1.44 < 1$

❖ Détermination de pression de vent Q_j

$$Q_j = C_d \times Q_{dyn}(Z_j) \times (C_{pe} - C_{pi}) \quad (\S.2.6 \text{ page } 57 \text{ RNV2013})$$

• Pour les parois

Tableau II. 2: Les valeurs des pressions Q_j pour les parois verticales direction de vent V1.

| Niveau | ZONE | CD | Q _{dyn} | CPE | CPI 0 | CPI 05 | CPI 1 | Q _{J0} | Q _{J05} | Q _{J1} |
|------------|------|----|------------------|------|-------|--------|-------|-----------------|------------------|-----------------|
| RDC | A | 1 | 731,25 | -1 | 0,35 | 0,14 | -0,3 | -987,1875 | -833,625 | -511,875 |
| | B | 1 | 731,25 | -0,8 | 0,35 | 0,14 | -0,3 | -840,9375 | -687,375 | -365,625 |
| | C | 1 | 731,25 | -0,5 | 0,35 | 0,14 | -0,3 | -621,5625 | -468 | -146,25 |
| | D | 1 | 731,25 | 0,8 | 0,35 | 0,14 | -0,3 | 329,0625 | 482,625 | 804,375 |
| | E | 1 | 731,25 | -0,3 | 0,35 | 0,14 | -0,3 | -475,3125 | -321,75 | 0 |
| 1ère étage | A | 1 | 997,5 | -1 | 0,35 | 0,12 | -0,39 | -1346,625 | -1117,2 | -608,475 |
| | B | 1 | 997,5 | -0,8 | 0,35 | 0,12 | -0,39 | -1147,125 | -917,7 | -408,975 |
| | C | 1 | 997,5 | -0,5 | 0,35 | 0,12 | -0,39 | -847,875 | -618,45 | -109,725 |
| | D | 1 | 997,5 | 0,8 | 0,35 | 0,12 | -0,39 | 448,875 | 678,3 | 1187,025 |
| | E | 1 | 997,5 | -0,3 | 0,35 | 0,12 | -0,39 | -648,375 | -418,95 | 89,775 |
| 2ème étage | A | 1 | 1080 | -1 | 0,35 | 0,11 | -0,47 | -1458 | -1198,8 | -572,4 |
| | B | 1 | 1080 | -0,8 | 0,35 | 0,11 | -0,47 | -1242 | -982,8 | -356,4 |
| | C | 1 | 1080 | -0,5 | 0,35 | 0,11 | -0,47 | -918 | -658,8 | -32,4 |
| | D | 1 | 1080 | 0,8 | 0,35 | 0,11 | -0,47 | 486 | 745,2 | 1371,6 |
| | E | 1 | 1080 | -0,3 | 0,35 | 0,11 | -0,47 | -702 | -442,8 | 183,6 |
| 3ème étage | A | 1 | 1147,75 | -1 | 0,35 | 0,1 | -0,5 | -1549,4625 | -1262,525 | -573,875 |
| | B | 1 | 1147,75 | -0,8 | 0,35 | 0,1 | -0,5 | -1319,9125 | -1032,975 | -344,325 |
| | C | 1 | 1147,75 | -0,5 | 0,35 | 0,1 | -0,5 | -975,5875 | -688,65 | 0 |
| | D | 1 | 1147,75 | 0,8 | 0,35 | 0,1 | -0,5 | 516,4875 | 803,425 | 1492,075 |
| | E | 1 | 1147,75 | -0,3 | 0,35 | 0,1 | -0,5 | -746,0375 | -459,1 | 229,55 |
| 4ème étage | A | 1 | 1218,75 | -1 | 0,35 | 0,1 | -0,5 | -1645,3125 | -1340,625 | -609,375 |
| | B | 1 | 1218,75 | -0,8 | 0,35 | 0,1 | -0,5 | -1401,5625 | -1096,875 | -365,625 |
| | C | 1 | 1218,75 | -0,5 | 0,35 | 0,1 | -0,5 | -1035,9375 | -731,25 | 0 |
| | D | 1 | 1218,75 | 0,8 | 0,35 | 0,1 | -0,5 | 548,4375 | 853,125 | 1584,375 |
| | E | 1 | 1218,75 | -0,3 | 0,35 | 0,1 | -0,5 | -792,1875 | -487,5 | 243,75 |

• Pour la toiture

Tableau II. 3: Les valeurs des pressions Q_j pour la toiture direction de vent V1.

| Niveau | ZONE | CD | Q _{dyn} | CPE | CPI 0 | CPI 05 | CPI 1 | Q _{j0} | Q _{j05} | Q _{j1} |
|---------|------|----|------------------|------|-------|--------|-------|-----------------|------------------|-----------------|
| Toiture | F | 1 | 1218,75 | -1,4 | 0,35 | 0,1 | -0,5 | -2132,8125 | -1828,125 | -1096,875 |
| | G | 1 | 1218,75 | -0,9 | 0,35 | 0,1 | -0,5 | -1523,4375 | -1218,75 | -487,5 |
| | H | 1 | 1218,75 | -0,7 | 0,35 | 0,1 | -0,5 | -1279,6875 | -975 | -243,75 |
| | I | 1 | 1218,75 | 0,2 | 0,35 | 0,1 | -0,5 | -182,8125 | 121,875 | 853,125 |
| | | 1 | 1218,75 | -0,2 | 0,35 | 0,1 | -0,5 | -670,3125 | -365,625 | 365,625 |

$$2(d*h) \leq 4(2b*h) \rightarrow 2(10.2*16.72) \leq 4(2*10.2*16.72) \quad (\text{condition vérifiée})$$

Donc on calcul pas la force résultante R sur le bâtiment

✓ **Le Cas 01** : la pression de vent $Q_j=0$

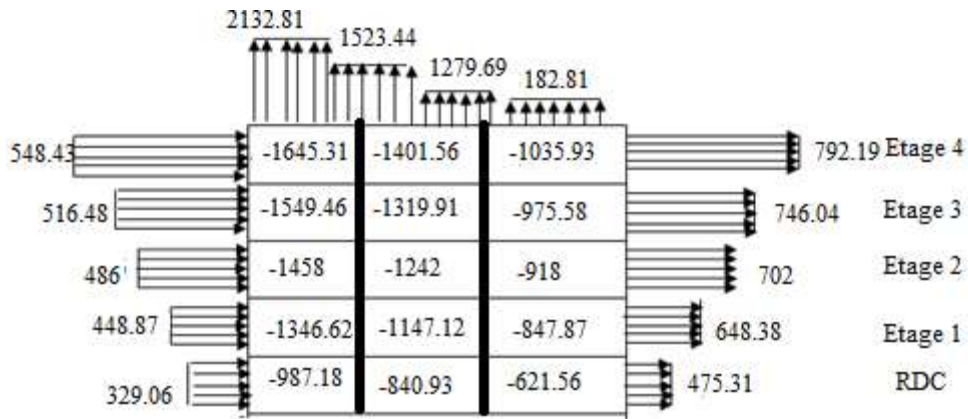


Figure II. 10: Pressions au niveau des différentes zones A, B, C, D, E, F, G, H, I (V1).

✓ **Le Cas 02** : la pression de vent $Q_j=0.5$

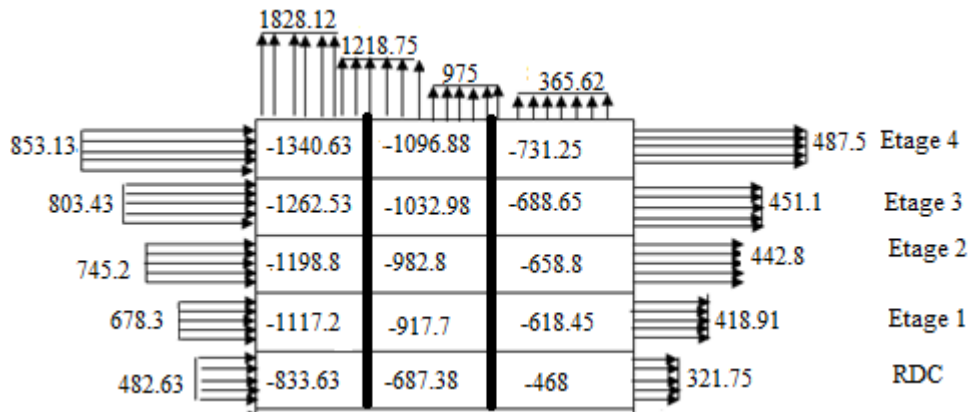


Figure II. 11: Pressions au niveau des zones A, B, C, D, E, F, G, H, I (V1).

✓ **Le Cas 03** : la pression de vent $Q_j=1$

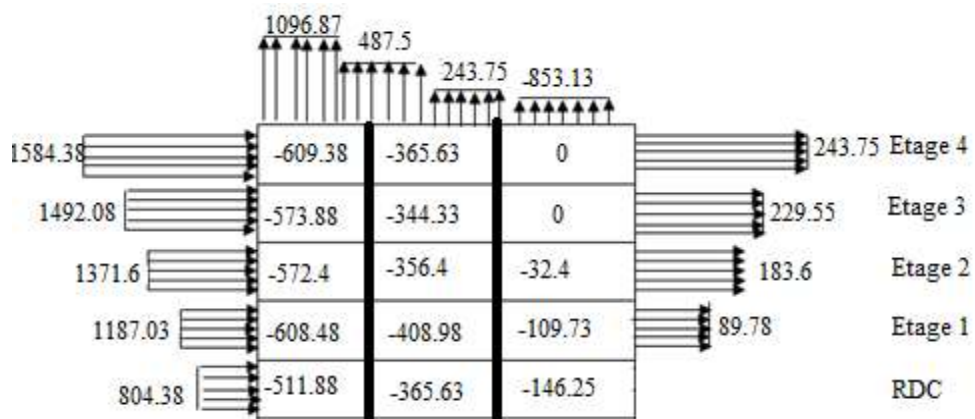


Figure II. 12: Pressions au niveau des zones A, B, C, D, E, F, G, H, I (V1).

II.5. Direction du V2 du vent

❖ Coefficient de pression extérieur C_{pe}

• Parois verticales

$e = \min [b ; 2h] = \min [10.2 ; (2 \cdot 16.72)]$.

$e = 10.2\text{m}$

Donc $d < e$ la paroi est divisée en 2 zones de pression A', B', D et E (selon RNV2013§5.1 page80) qui sont illustrées sur la figure II.13.

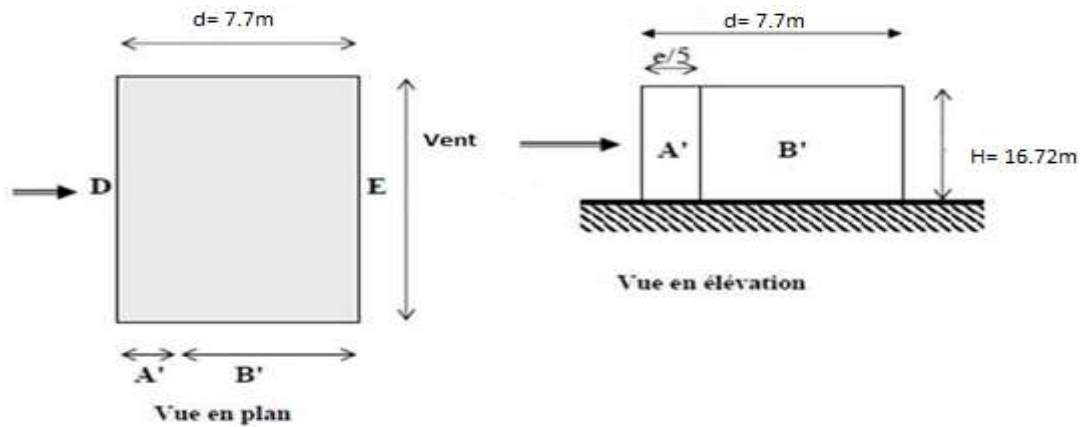


Figure II. 13: légende pour les parois verticales direction V2.

• Les surfaces

$S_A = 20.80 \text{ m}^2 > 10\text{m}^2$

$S_B = 57.73 \text{ m}^2 > 10\text{m}^2$

$S_E; S_D = 170.54 \text{ m}^2 > 10\text{m}^2$

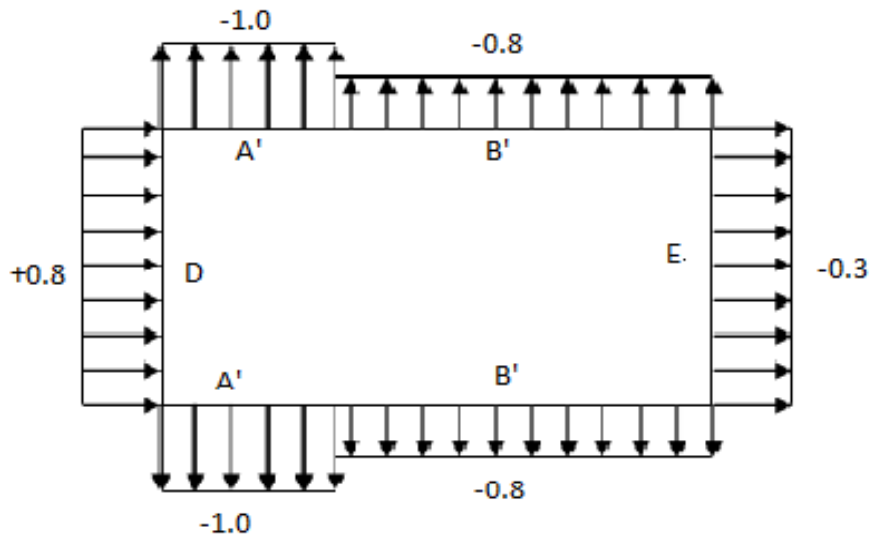


Figure II. 14: Valeurs de C_{pe} pour les parois verticales direction V2.

Donc on prend $C_{pe} \cdot 10$

• La toiture

La hauteur de l'acrotère $h = 0.6 \text{ m}$

$\frac{h_p}{h} = 0.035 \rightarrow$ Donc on prend $\frac{H_p}{h} = 0.05$ (avec acrotère)

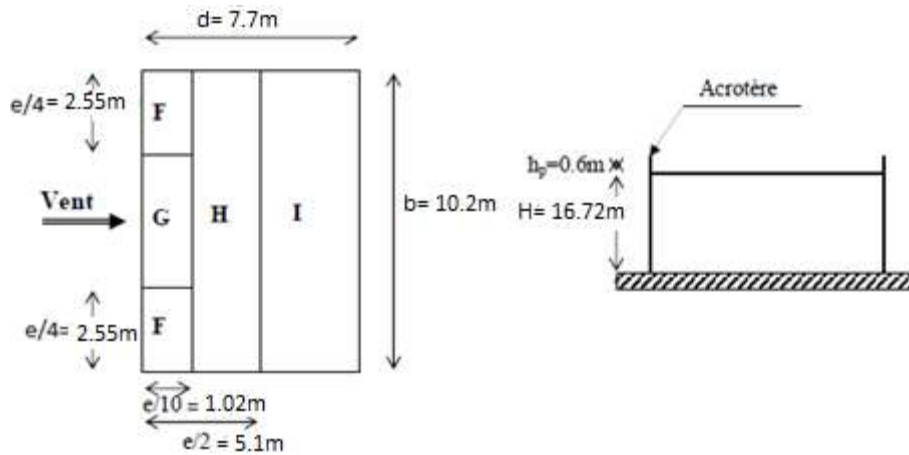


Figure II. 15: légende pour la terrasse direction V2.

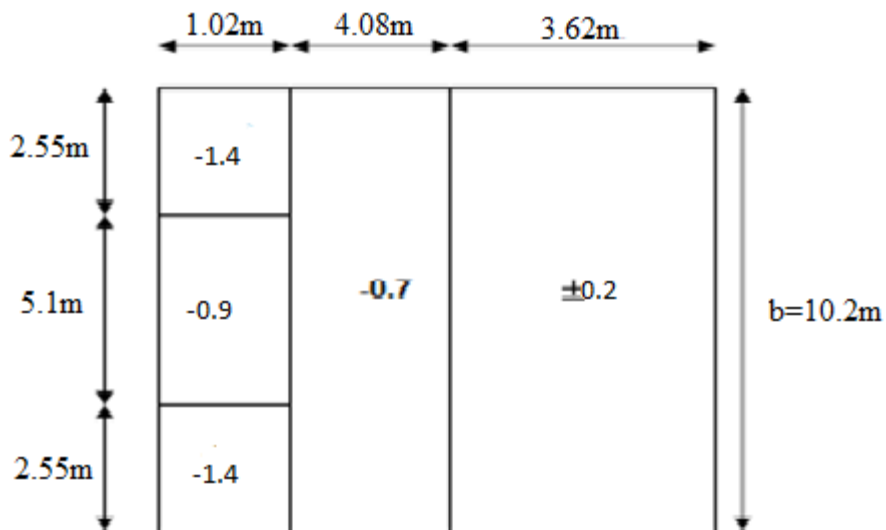


Figure II. 16: Valeur de C_{pe} pour la toiture direction V2.

Figure II.16 : Valeur de C_{pe} pour la toiture direction V2

❖ Coefficient de pression interne C_{pi}

D'après (Figure 5.14 page 97 RNV2013) le C_{pi} :

RDC : $\frac{h}{d} = 0.17 < 0.25$

Etage1 : $\frac{h}{d} = 0.71 \quad 0.25 \leq x \leq 1$

Etage2 : $\frac{h}{d}=1.13 > 1$

Etage3 : $\frac{h}{d}=1.51 > 1$

Etage4 : $\frac{h}{d}=1.89 > 1$

- Détermination de pression de vent Q_j

Les parois verticales

Tableau II. 4: Les valeurs des pressions Q_j pour les parois verticales direction de vent V2.

| Niveau | ZONE | CD | Qdyn | CPE | CPI 0 | CPI 05 | CPI 1 | Qj 0 | Qj 05 | Qj 1 |
|------------|------|----|---------|------|-------|--------|-------|------------|-----------|----------|
| RDC | A' | 1 | 731,25 | -1 | 0,35 | 0,14 | -0,3 | -987,1875 | -833,625 | -511,875 |
| | B' | 1 | 731,25 | -0,8 | 0,35 | 0,14 | -0,3 | -840,9375 | -687,375 | -365,625 |
| | D | 1 | 731,25 | 0,8 | 0,35 | 0,14 | -0,3 | 329,0625 | 482,625 | 804,375 |
| | E | 1 | 731,25 | -0,3 | 0,35 | 0,14 | -0,3 | -475,3125 | -321,75 | 0 |
| 1ere Etage | A' | 1 | 997,5 | -1 | 0,35 | 0,11 | -0,44 | -1346,625 | -1107,225 | -558,6 |
| | B' | 1 | 997,5 | -0,8 | 0,35 | 0,11 | -0,44 | -1147,125 | -907,725 | -359,1 |
| | D | 1 | 997,5 | 0,8 | 0,35 | 0,11 | -0,44 | 448,875 | 688,275 | 1236,9 |
| | E | 1 | 997,5 | -0,3 | 0,35 | 0,11 | -0,44 | -648,375 | -408,975 | 139,65 |
| 2eme Etage | A' | 1 | 1080 | -1 | 0,35 | 0,14 | -0,5 | -1458 | -1231,2 | -540 |
| | B' | 1 | 1080 | -0,8 | 0,35 | 0,14 | -0,5 | -1242 | -1015,2 | -324 |
| | D | 1 | 1080 | 0,8 | 0,35 | 0,14 | -0,5 | 486 | 712,8 | 1404 |
| | E | 1 | 1080 | -0,3 | 0,35 | 0,14 | -0,5 | -702 | -475,2 | 216 |
| 3eme Etage | A' | 1 | 1147,5 | -1 | 0,35 | 0,14 | -0,5 | -1549,125 | -1308,15 | -573,75 |
| | B' | 1 | 1147,5 | -0,8 | 0,35 | 0,14 | -0,5 | -1319,625 | -1078,65 | -344,25 |
| | D | 1 | 1147,5 | 0,8 | 0,35 | 0,14 | -0,5 | 516,375 | 757,35 | 1491,75 |
| | E | 1 | 1147,5 | -0,3 | 0,35 | 0,14 | -0,5 | -745,875 | -504,9 | 229,5 |
| 4eme Etage | A' | 1 | 1218,75 | -1 | 0,35 | 0,14 | -0,5 | -1645,3125 | -1389,375 | -609,375 |
| | B' | 1 | 1218,75 | -0,8 | 0,35 | 0,14 | -0,5 | -1401,5625 | -1145,625 | -365,625 |
| | D | 1 | 1218,75 | 0,8 | 0,35 | 0,14 | -0,5 | 548,4375 | 804,375 | 1584,375 |
| | E | 1 | 1218,75 | -0,3 | 0,35 | 0,14 | -0,5 | -792,1875 | -536,25 | 243,75 |

Le Cas 01: la pression de vent $Q_j=0$

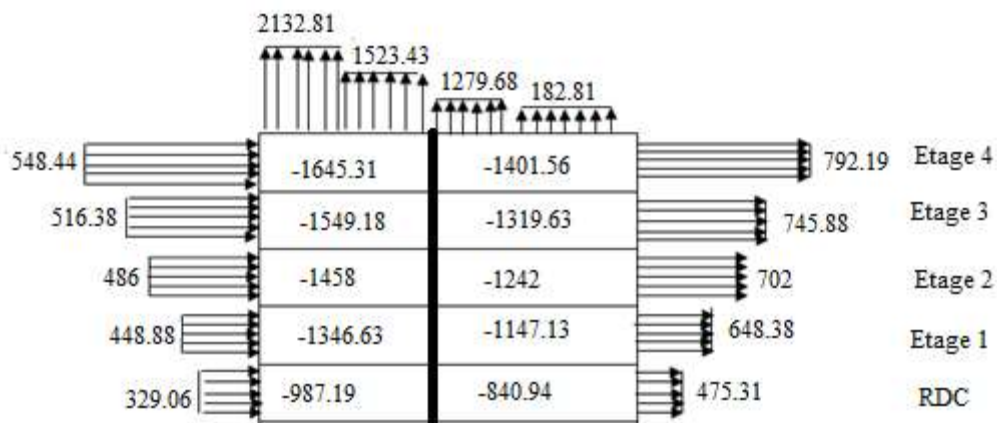


Figure II. 17: Pressions au niveau des différentes zones A', B', D, E, F, G, H, I(V2).

Le Cas 02 : la pression de vent $Q_j=0.5$

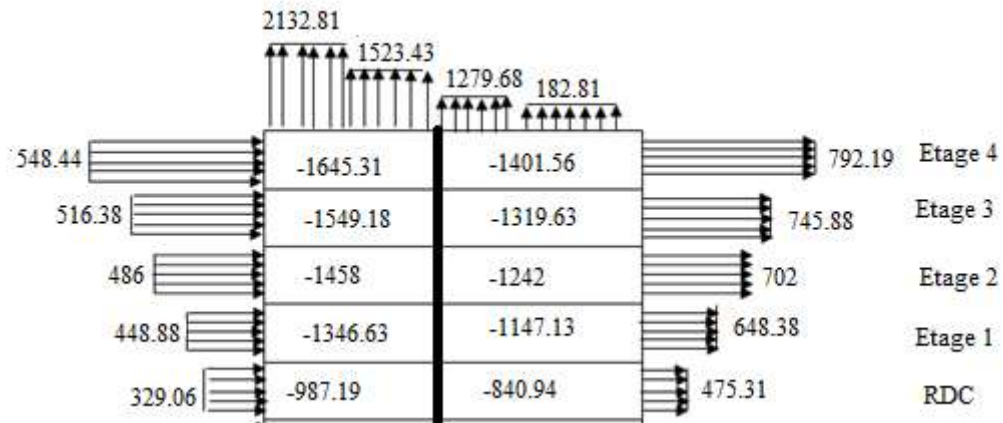


Figure II. 18: Pressions au niveau des différentes zones A', B', D, E, F, G, H, I(V2).

Le Cas 03 : la pression de vent $Q_j=1$

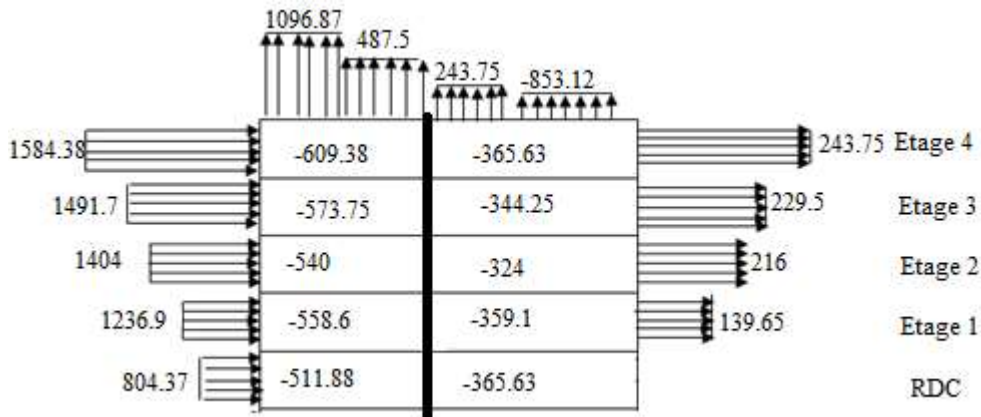


Figure II. 19: Pressions au niveau des différentes zones A', B', D, E, F, G, H, I(V2).

❖ Pour la toiture

Tableau II. 5: Les valeurs des pressions Q_j pour la toiture direction de vent V1.

| Niveau | ZONE | CD | Qdyn | CPE | CPI 0 | CPI 05 | CPI 1 | Qj 0 | Qj 05 | Qj 1 |
|---------|------|----|---------|------|-------|--------|-------|------------|-----------|-----------|
| Toiture | F | 1 | 1218,75 | -1,4 | 0,35 | 0,1 | -0,5 | -2132,8125 | -1828,125 | -1096,875 |
| | G | 1 | 1218,75 | -0,9 | 0,35 | 0,1 | -0,5 | -1523,4375 | -1218,75 | -487,5 |
| | H | 1 | 1218,75 | -0,7 | 0,35 | 0,1 | -0,5 | -1279,6875 | -975 | -243,75 |
| | I | 1 | 1218,75 | 0,2 | 0,35 | 0,1 | -0,5 | -182,8125 | 121,875 | 853,125 |
| | | 1 | 1218,75 | -0,2 | 0,35 | 0,1 | -0,5 | -670,3125 | -365,625 | 365,625 |

$2(d \times h) \leq 4(2 \times b \times h) \rightarrow 2(7.7 \times 16.72) \leq 4(2 \times 7.7 \times 16.72)$ (condition vérifiée)

Donc on calcul pas la force résultante R dans le bâtiment

II.6. Effet de la neige**II.6.1. Charge de neige sur les toitures**

La charge caractéristique de neige S par unité de surface en projection horizontale de toitures ou de toute autre surface soumise à l'accumulation de la neige s'obtient par la formule suivante:

$$S = \mu \cdot S_K \text{ [KN/m}^2\text{]}$$

S_K : est la charge de la neige sur le sol

μ : est un coefficient d'ajustement des charges, fonction de la forme de la toiture, Notre bâtiment situé à la wilaya d'Alger (CASBAH) c'est-à-dire en zone de neige B

- $\mu = 0,8$
- $S_K = ((0,04 \times H) + 10) / 100$
- H : l'altitude par rapport au niveau de la mer en (m) $H = 118\text{m}$
- $S_K = ((0,04 \times 118) + 10) / 100 = 14 \text{ kg/m}^2$

$$S = \mu S_K = 0,8 \times 14 = 11,2 \text{ KN/m}^2$$

II.7. Effet de la variation de température

On doit tenir compte des effets de la dilatation thermique chaque fois qu'ils risquent d'engendrer des efforts anormaux dans les éléments de la charpente métallique est de produire des désordres dans les appuis et dans les éléments exposés à l'air libre (variation plus élevée de gradient thermique)

Pour notre structure ; on n'a pas pris en compte l'effet de la température pour les justifications suivantes :

- la longueur minimale pour laquelle on doit tenir compte l'effet thermique est de 50m, et celle de notre cas est de : 16,72m

La zone d'implantation (CASBAH) a une faible variation de la température.

Chapitre III : Etude de cas, effet des systèmes de contreventement

III.1. Présentation du projet

Notre projet de fin d'études consiste à dimensionner et à étudier un bâtiment R+4 en charpente métallique avec deux sous-sols.

L'ouvrage est situé dans la wilaya d'Alger, cette zone est considérée comme une zone de forte sismicité (zone III).

III.2. Données géométriques du projet

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| Sens longitudinal, longueur..... | $L = 10,20\text{m}$ |
| Sens transversal, largeur | $l = 7.70\text{m}$ |
| Hauteur RDC | $h_{\text{RDC}} = 2,8\text{m}$ |
| Hauteur 1 ^{er} étage | $h_1 = 4,40\text{m}$ |
| Hauteur 2 ^{ème} étage | $h_2 = 3,40\text{m}$ |
| Hauteur 3 ^{ème} étage | $h_3 = 3,06\text{m}$ |
| Hauteur 4 ^{ème} étage | $h_4 = 3,06\text{m}$ |
| Hauteur totale au-dessus de sol | $h_T = 16,72\text{ m}$ |

- Les différents plans de la structure sont représentés dans l'annexe A.

III.3. Localisation et données concernant le site

La contrainte admissible du sol est de $\sigma_{\text{sol}} = 1,5\text{ bars}$

Altitude est de 118 m

Le site est meuble S3

III.4. Composition de l'ouvrage

Ossature : partie d'une structure, comprenant un ensemble d'éléments structuraux directement assemblés et dimensionnés pour agir ensemble afin de résister aux charges. La structure est constituée des poteaux en HEA, poutres en IPE et contreventé par des palées triangulées.

Plancher : Plancher mixte avec dalle collaborant coulée sur un bac d'acier TN40. Et une pente faible 1.5% pour l'écoulement des eaux pluviales pour le plancher terrasse.

Escalier : Nous avons un seul type d'escalier (escalier droit constitué d'un palier de repos et de deux volées).

Acrotère : la terrasse est entourée par un acrotère en béton armé d'une hauteur de 60,00 cm

III.5. Assemblages

Les assemblages des éléments de la structure étudiée sont réalisés par des assemblages boulonnés et soudés :

❖ Assemblage boulonné

Le boulonnage est une méthode d'assemblage mécanique démontable. Les boulons servant à créer une liaison de continuité entre élément ou à assurer la transmission intégrale des efforts d'une partie à l'autre d'une construction.

Les valeurs nominales de la résistance limite d'élasticité « f_{by} » ainsi que celle de la résistance à la traction « f_{bu} » des différentes classes de boulons sont indiquées dans le tableau suivant :

Tableau III. 1: Les valeurs nominales des résistances.

| Classe | 4.6 | 4.8 | 5.6 | 5.8 | 6.6 | 6.8 | 8.8 | 10.9 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| F_{by} (MPa) | 240 | 302 | 300 | 400 | 360 | 480 | 640 | 900 |
| F_{uy} (MPa) | 400 | 400 | 500 | 500 | 600 | 600 | 800 | 1000 |

❖ Assemblage soudé

Le soudage est une technique d'assemblage permettant d'assurer la continuité métallique entre les pièces soudées.

III.6. Matériaux utilisés

❖ L'acier

Les caractéristiques mécaniques des différentes nuances d'acier sont les suivantes :

Module d'élasticité longitudinal : $E = 210000 \text{ N/mm}^2$

Module de glissement : $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$

Coefficient de contraction latéral (poisson) : $\nu = 0,3$

Masse volumique : $\rho = 7850 \text{ Kg/m}^3$

La nuance choisie pour la réalisation de cet ouvrage est l'acier S235 caractérisé par :

Limite d'élasticité : $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$

Limite ultime : $f_u = 430 \text{ N/mm}^2$

Tableau III. 2: Limite élastique f_y (MPa) en fonction de l'épaisseur nominale.

| Nuance d'acier | Epaisseur(mm) | | | |
|-------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| | $t \leq 40$ mm | | $40 \text{ mm} < t \leq 100$ mm | |
| | f_y (N/mm ²) | f_u (N/mm ²) | f_y (N/mm ²) | f_u (N/mm ²) |
| Fe360 | 235 | 360 | 215 | 340 |
| Fe430 | 275 | 430 | 255 | 410 |
| Fe510 | 355 | 510 | 355 | 490 |

❖ **Béton**

C'est un matériau économique qui résiste bien à la compression. On utilise un béton dosé à 350Kg/m³ de ciment CPJ32, 5 pour les éléments de planchers et fondations.

Les hypothèses de calcul sont :

- Les sections droites restent planes.
- Il n'Ya aucun glissement entre l'acier et le béton.
- La résistance à la traction du béton est négligée.

Les caractéristiques physiques et mécaniques sont :

- Pour les planchers, la classe du béton est **C25/30**
- Masse volumique : $\rho = 2500 \text{ Kg/m}^3$
- La résistance à la compression à 28 jours : $f_{c28} = 25 \text{ N/mm}^2$
- La résistance à la traction à 28 jours : $f_{t28} = 0,06f_{c28} + 0,6 = 2,1 \text{ N/mm}^2$
- Coefficient de retrait : $\varepsilon = 2 \times 10^{-4}$

III.7. Réglemets techniques

Les règlements techniques utilisés dans cette étude sont :

- **RPA99** : Règlement Parasismique Algériennes version 2003
- **RNV2013** : Règles définissant les effets de la neige et du vent
- **BAEL** : Béton armé aux états limites
- **DTR C2.2** : Charges et structures
- **D.T.R.B.C.2.2 Eurocode03** (règles de conception et de calcul des structures en acier "CCM 97")
- **Euro code 4** (conception et dimensionnement des structures mixtes acier-béton).

III.8. Définition d'états limite de calcul

C'est un état dont lequel une condition de sécurité pour l'ouvrage ou l'un des ses éléments est strictement vérifiée au-delà de cet état, on distingue deux états limites.

- Etats limites ultimes
- Etats limitent de service

III.9. Réglemets techniques

Le système de contreventement adopté, est défini par palées triangulées centrées en X, en V et mixte. Les différents cas de la structure sont conçus et dimensionnés conformément aux dispositions des règles de constructions métalliques de l'Eurocode EC3.

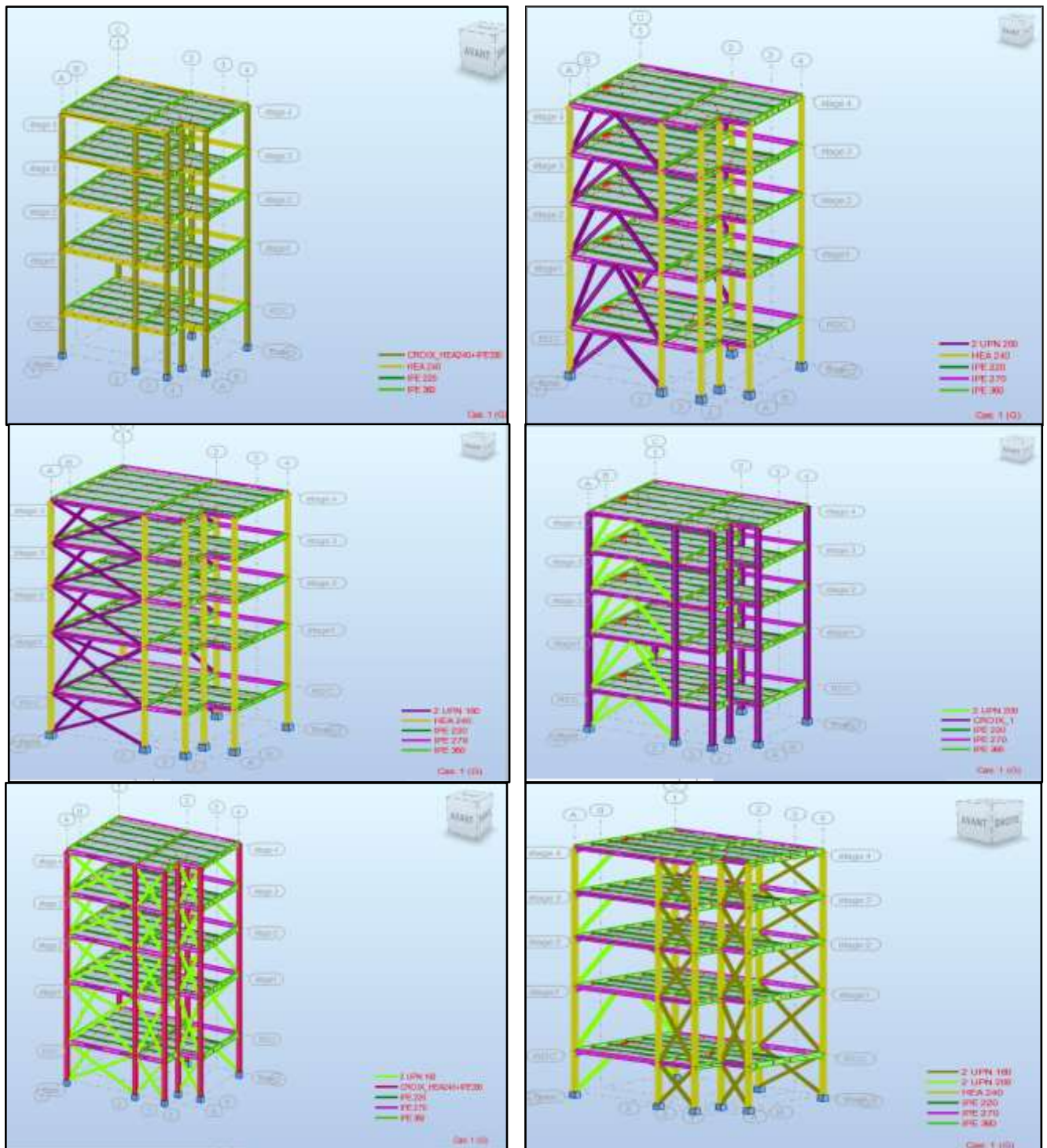


Figure III. 1: Vue en en 3D des modèles de systèmes de contreventement considérés pour les différents cas de la structure.

III.10. Présentation des actions sismiques

La structure considérée a été ainsi soumise au chargement sismique. Les analyses sont effectuées grâce au logiciel Robot Structural. Les actions sismiques sont basées sur les deux méthodes d'analyses indiquées dans le RPA 2003.

III.11. Méthode statique équivalente

Selon cette méthode, la force sismique horizontale totale à la base de la structure V est exprimée selon le RPA par la formule suivante :

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

La structure étudiée est supposée implantée dans **la zone III**, zone classée comme de forte sismicité.

Les valeurs des coefficients sont résumées dans le tableau III.3 pour un site meuble et un groupe d'usage 2. Les valeurs de R sont consignées dans le tableau III.4. Les charges permanentes G et d'exploitation Q sont regroupées dans le tableau III.5 et II.6. En plus les dimensions des différents éléments et des poteaux de la structure sont données dans les tableaux III.7 et III.8.

Tableau III. 3: Les différentes valeurs des coefficients R.

| Coefficients | Q | D | A | ξ |
|--------------|--|-----|------|-------|
| Valeurs | 1.2 | 2.5 | 0.25 | 5% |
| Site S3 | $T_1 = 0.15 \text{ sec}, T_2 = 0.50 \text{ sec}$ | | | |

Tableau III. 4: Les valeurs de coefficient de comportement.

| | Coefficient R |
|---|---------------|
| Portique auto stable ductile | 6 |
| Ossature en portique contreventée par palées triangulées en X | 4 |
| Ossature en portique contreventée par palées triangulées en V | 3 |
| Ossature en portique contreventée par palées triangulées en V inverse | 3 |
| Ossature en portique/palées triangulées en X | 5 |

Tableau III. 5: Les charges d'exploitation de la structure.

| | Plancher terrasse inaccessible | Plancher étage courant à usage d'habitation | Acrotère | Escalier |
|--------|--------------------------------|---|----------|----------|
| Q (KN) | 1 | 1,5 | 2,5 | 2,5 |

Tableau III. 6: Les charges permanentes.

| | Plancher terrasse inaccessible | Plancher étage courant | Acrotère (KN/ml) | Escalier | Murs extérieurs |
|------------------------|--------------------------------|------------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|
| G (KN/m ²) | 5,45 | 5,28 | 1,72 | Palier : 1,45 Volée : 0,81 | 2,8 |

N.B 1 : les différentes valeurs des coefficients sont calculées en respectant les conditions de l'RPA 99 / version 2003, ainsi que les valeurs des charges ont été déduites à partir des différents documents techniques réglementaire; charges permanentes et charges d'exploitation DTR.

N.B 2 : les différentes dimensions des éléments ont été calculé en respectant les conditions de l' RPA 99 / version 2003, les différents documents technique réglementaire DTR.BC.2.44 (C M97).

Tableau III. 7: Les charges permanentes.

| Eléments | | Dimensions | | Schéma |
|----------------------|----------------------|---|-----------|--------|
| Plancher collaborant | | <p>Tôle TN40</p> <p>Dalle B.A e=8cm</p> <p>Connecteurs = 8</p> <p>Diamètre d = 19 mm</p> <p>Hauteur h = 100mm</p> | | |
| Poutres | Principale | IPE360 | | |
| | Secondaire (Solives) | IPE220 | | |
| Escaliers | | Marches | L 17x30x1 | |
| | | Limon | IPE 200 | |
| | | Poutre palière | IPE220 | |
| Poteaux | HEA240 | | | |

Tableau III. 8: Les dimensions des profilés des systèmes de contreventement.

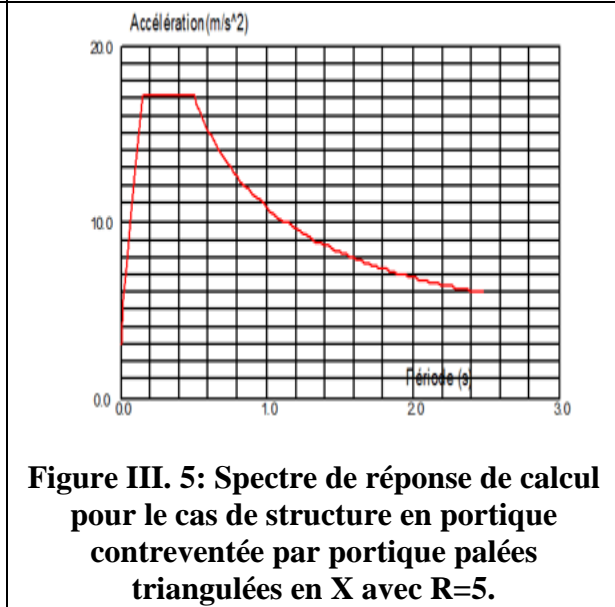
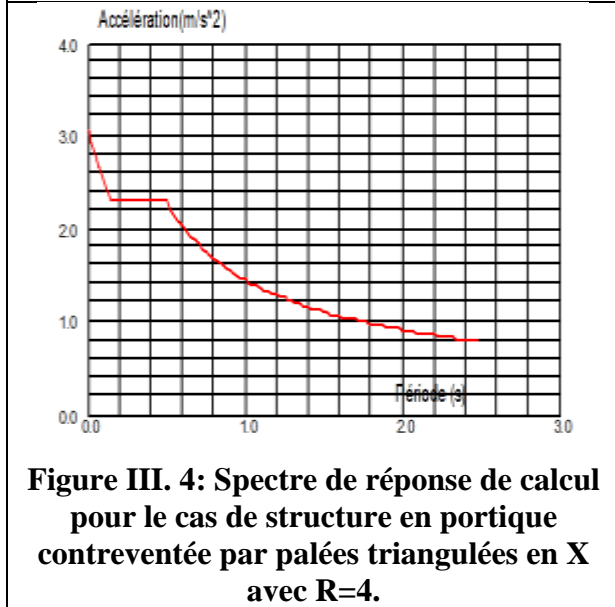
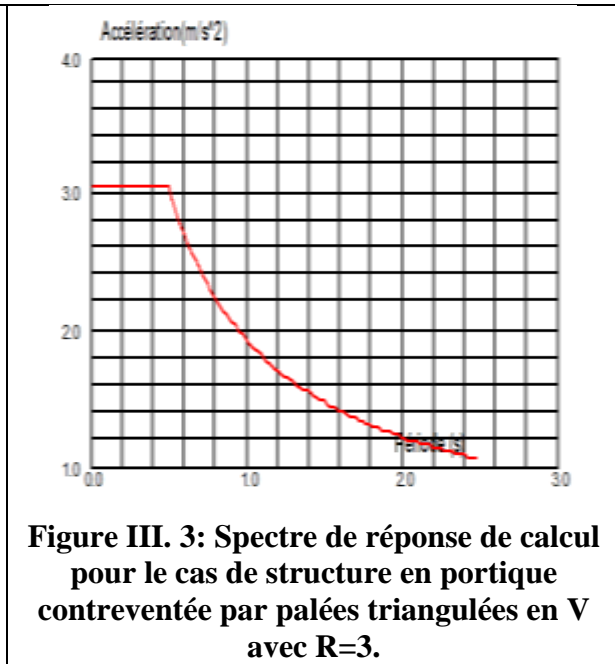
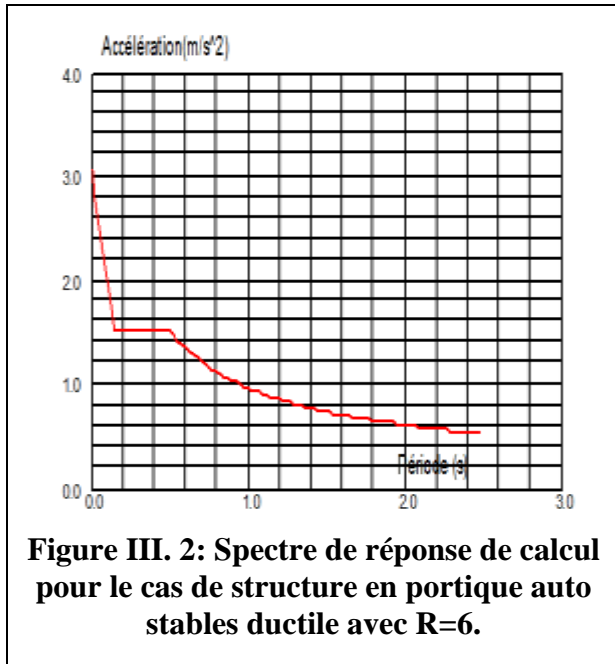
| Type de contreventement | Palée de contreventement | |
|-------------------------------------|--------------------------|--|
| Contreventement en V inversé centré | Double UPN200 | |
| Contreventement en X | Double UPN160 | |

III.12. Méthode d'analyse modale spectrale

Selon cette méthode, les efforts sismiques sont déduits à partir d'un spectre de réponse élastique normalise du code RPA en considérant les mêmes coefficients définis dans la méthode statique équivalente.

III.12.1. Les spectres de réponse de calcul utilisés

Les spectres de réponse de calcul utilisés pour les différents systèmes de contreventement sont présentés sur les figures ci-dessous.



III.13. Résultats

III.13.1. Calcul du poids total de la structure W(t)

$W = \sum W_i$ Avec : $W_i = G + \beta \times Q$ formule (4.5page 30)

G : poids du aux charges permanentes est à celles des équipements fixes Solidaires de la structure.

Q: charge d’exploitation.

β: Coefficient de pondération fonction de la nature et de la durée de la charge d’exploitation. Selon RPA tableau 4.5. On à un bâtiment d’habitation donc on prend :

β=0.2

Le poids de chaque niveau est donné par les tableaux suivants

Tableau III. 9: Les charges permanentes de chaque niveau.

| Niveaux | G(KN) |
|--------------|---------------|
| RDC | 489.74 |
| Etage 1 | 428.25 |
| Etage 2 | 429.89 |
| Etage 3 | 434.72 |
| Etage 4 | 427 |
| Somme | 2209.6 |

Tableau III. 10: Les charges d'exploitations de chaque niveau.

| Niveaux | Q(KN) |
|--------------|------------|
| RDC | 121.35 |
| Etage1 | 121.35 |
| Etage 2 | 121.35 |
| Etage 3 | 121.35 |
| Etage 4 | 74.74 |
| Somme | 560 |

Poids total : $W_i=2321.6\text{KN}$

III.13.2. La force sismique horizontale V à la base pour les différents cas de R

Tableau III. 11: la force sismique horizontale V à la base pour les différents cas de systèmes de contreventement.

| R | 6 | 3 | 4 | 5 |
|--------|-------|-------|-------|--------|
| V (KN) | 290,2 | 550,4 | 435,3 | 348,24 |

❖ La distribution de la résultante des forces sismique selon la hauteur

La résultante de la force sismique à la base est distribuée sur la hauteur de la structure selon la formule suivante :

$$V = F_t + \sum F_i \quad (\text{art 4.2.5 RPA99})$$

Avec :

$$F_t = 0.07T \times V \quad \text{si} \quad T \geq 0, \quad F_t = 0 \quad \text{si} \quad T \leq 0,7s$$

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

$$F_k = \frac{(V - F_t) W_i h_i}{\sum W_i h_i}$$

III.13.3. Distribution de la résultante des forces sismiques selon la hauteur

L'effort tranchant au niveau de l'étage k: $V_k = F_k + \sum_{i=k}^n F_i$ (art 4.2.6 RPA 99)

Le moment au niveau d l'étage k : $M_k = V_k \times h_{0k} + M_{k+1}$

➤ R=6 portique auto stable ductile

Tableau III. 12: l'effort tranchant et le moment fléchissant R=6.

| Niveau | W_i | h_i | $W_i h_i$ | F_k | V_k | M_k |
|---------|--------|-------|-----------|--------|--------|---------|
| RDC | 489.74 | 16.72 | 8188.45 | 103.67 | 103.67 | 290.28 |
| Etage 1 | 428.25 | 13.66 | 5849.90 | 74.07 | 177.74 | 1072.34 |
| Etage 2 | 429.89 | 10.6 | 4556.83 | 54.69 | 232.43 | 1862.60 |
| Etage 3 | 434.72 | 7.6 | 3129.98 | 39.63 | 272.06 | 2695.10 |
| Etage 4 | 427 | 2.8 | 1195.6 | 15.14 | 290.2 | 3573.93 |
| Somme | | | 22920.76 | | | |

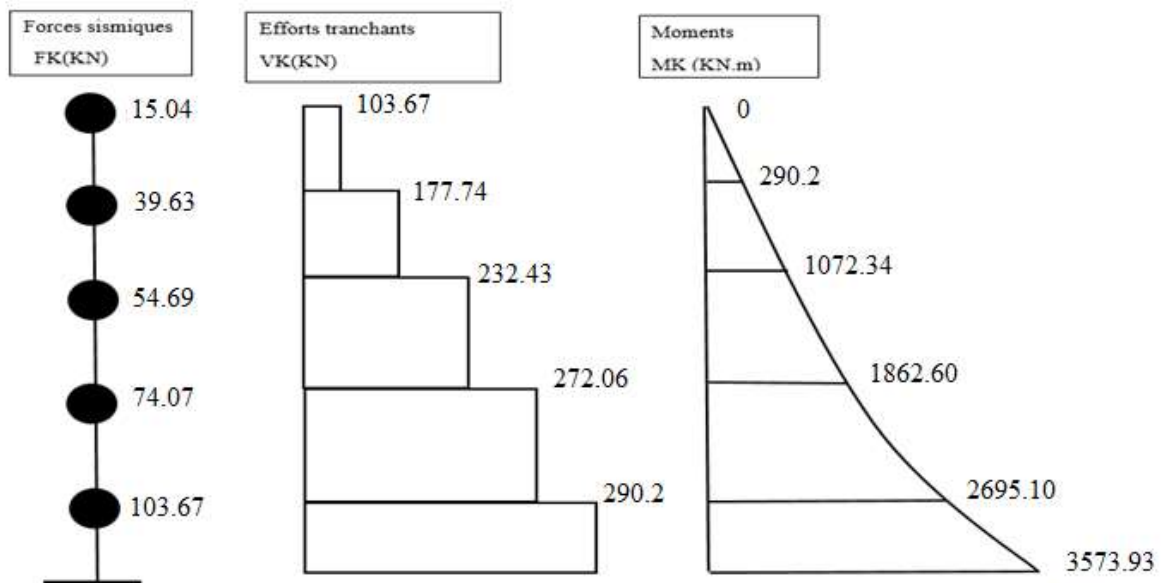


Figure III. 6: La distribution de la résultante des forces sismiques suivant la hauteur pour R=6.

❖ R=3 ossature contreventée par palées triangulées en V

Tableau III. 13: l'effort tranchant et le moment fléchissant R=3.

| Niveau | W_i | h_i | $W_i h_i$ | F_k | V_k | M_k |
|---------|--------|-------|-----------|--------|--------|---------|
| RDC | 489.74 | 16.72 | 8188.45 | 207.35 | 207.35 | 634.49 |
| Etage 1 | 428.25 | 13.66 | 5849.90 | 148.13 | 355.48 | 1722.26 |
| Etage 2 | 429.89 | 10.6 | 4556.83 | 115.39 | 470.87 | 3323.22 |
| Etage 3 | 434.72 | 7.6 | 3129.98 | 79.26 | 550.13 | 5743.79 |
| Etage 4 | 427 | 2.8 | 1195.6 | 30.28 | 580.41 | 7368.94 |
| Somme | | | 22920.76 | | | |

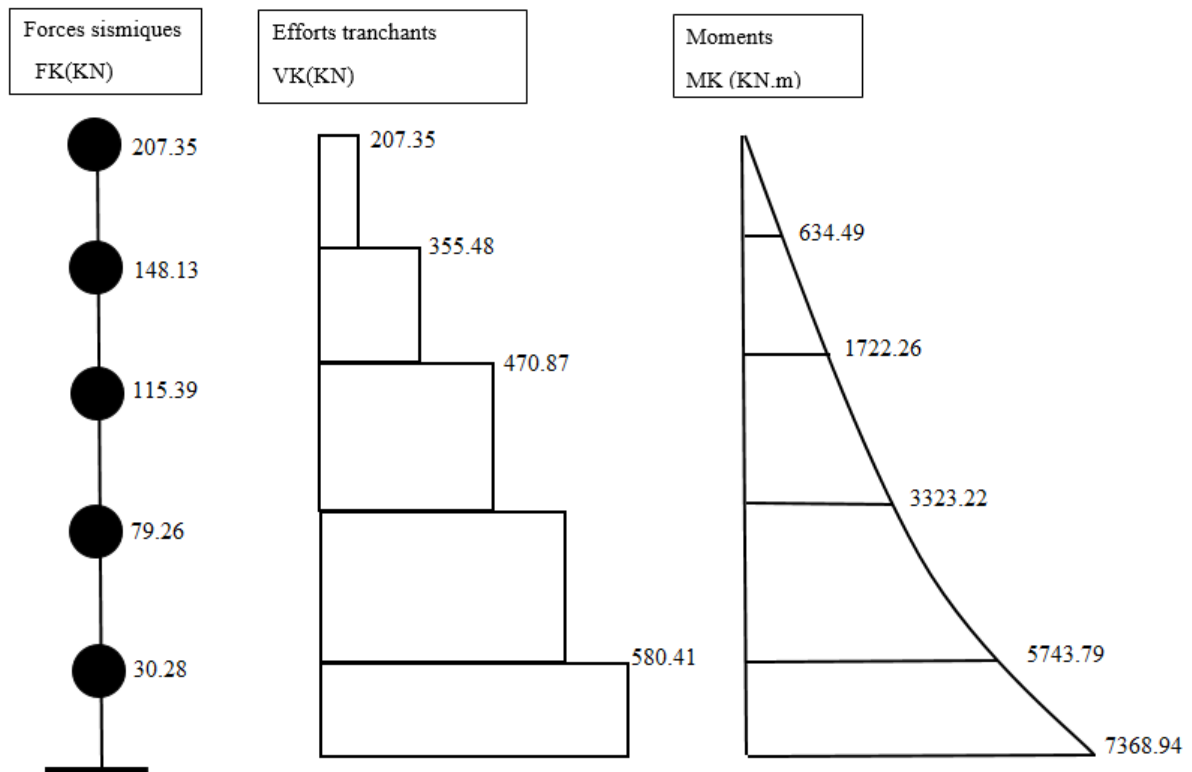


Figure III. 7: La distribution de la résultante des forces sismiques suivant la hauteur pour R=3.

❖ R=4 ossature contreventée par palées triangulée en X, mixte portique/ palées triangulées en V

Tableau III. 14: l'effort tranchant et le moment fléchissant R=4.

| Niveau | W_i | h_i | $W_i h_i$ | F_k | V_k | M_k |
|---------|--------|-------|-----------|--------|--------|---------|
| RDC | 489.74 | 16.72 | 8188.45 | 155.51 | 155.51 | 475.86 |
| Etage 1 | 428.25 | 13.66 | 5849.90 | 111.1 | 266.61 | 1291.69 |
| Etage 2 | 429.89 | 10.6 | 4556.83 | 86.54 | 353.15 | 2492.4 |
| Etage 3 | 434.72 | 7.6 | 3129.98 | 59.44 | 412.59 | 4307.8 |
| Etage 4 | 427 | 2.8 | 1195.6 | 22.71 | 435.3 | 5526.64 |
| Somme | | | 22920.76 | | | |

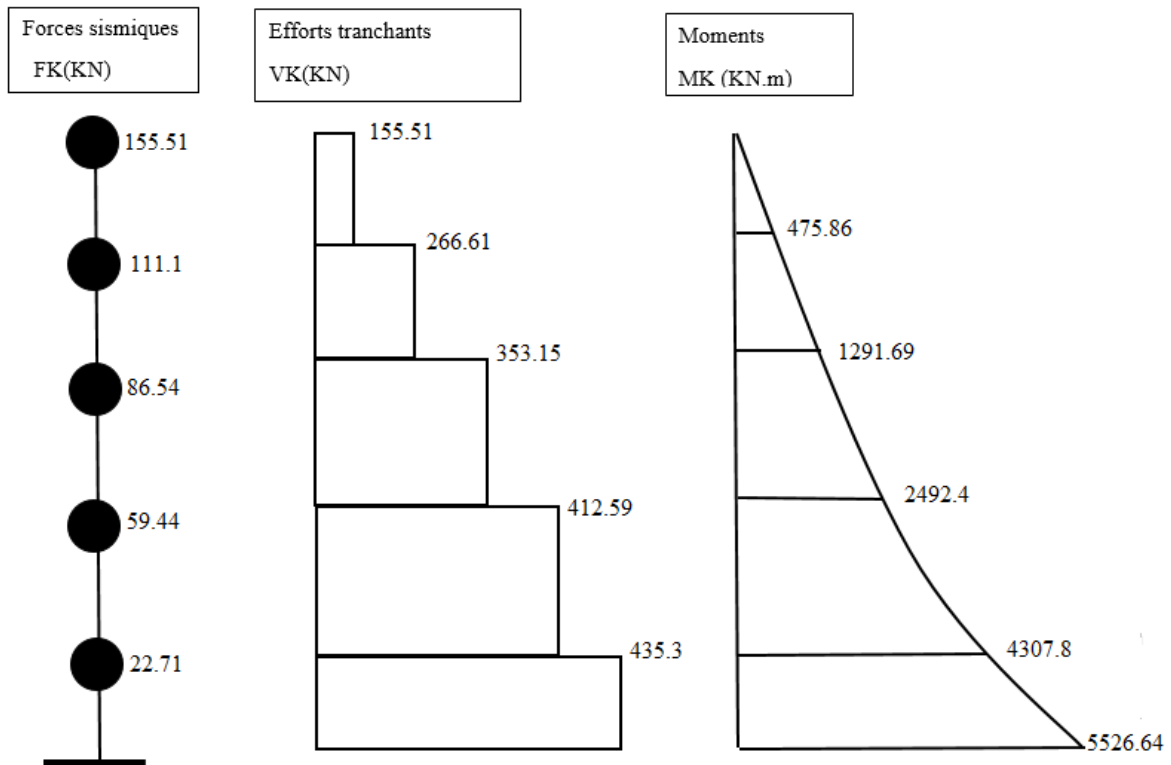


Figure III. 8: La distribution de la résultante des forces sismiques suivant la hauteur pour R=4.

❖ R= 5 mixte portique/ palées triangulées en X

Tableau III. 15: l'effort tranchant et le moment fléchissant R=5.

| Niveau | W_i | h_i | $W_i h_i$ | F_k | V_k | M_k |
|---------|--------|-------|-----------|--------|--------|---------|
| RDC | 489.74 | 16.72 | 8188.45 | 124.41 | 124.41 | 380.69 |
| Etage 1 | 428.25 | 13.66 | 5849.90 | 88.88 | 213.29 | 1033.36 |
| Etage 2 | 429.89 | 10.6 | 4556.83 | 69.23 | 282.52 | 1993.93 |
| Etage 3 | 434.72 | 7.6 | 3129.98 | 47.55 | 330.07 | 3446.24 |
| Etage 4 | 427 | 2.8 | 1195.6 | 18.17 | 348.24 | 4421.31 |
| Somme | | | 22920.76 | | | |

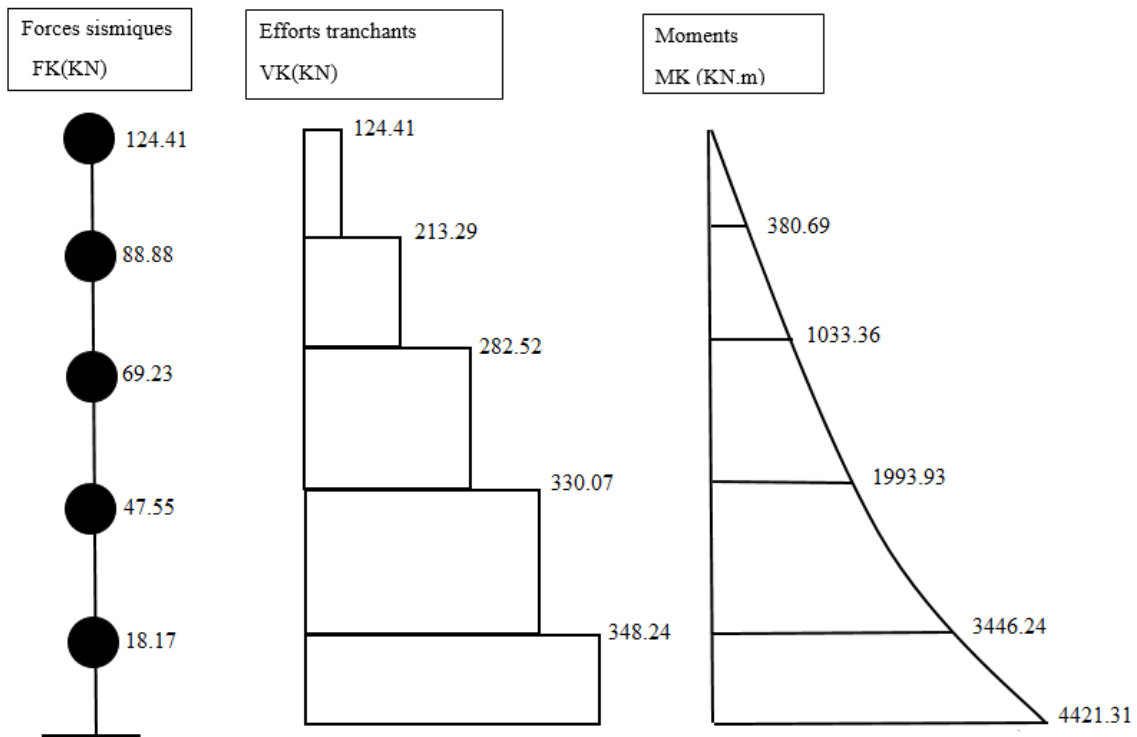


Figure III. 9: La distribution de la résultante des forces sismiques suivant la hauteur pour R=5.

III.14. Calcul et vérification de la structure

❖ Le Cas de R=6 Portique auto stable ductile

Tableau III. 16: La période et le coefficient de participation massique R= 6.

• Analyse des modes sismiques

| Cas/Mode | Période [sec] | Masses Cumulées UX [%] | Masses Cumulées UY [%] | Masses Cumulées UZ [%] | Masse Modale UX [%] | Masse Modale UY [%] | Masse Modale UZ [%] | Tot.mas.UX [kg] | Tot.mas.UY [kg] | Tot.mas.UZ [kg] |
|----------|---------------|------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 6/ 1 | 0,81 | 0,20 | 80,83 | 0,0 | 0,20 | 80,83 | 0,0 | 220568,70 | 220568,70 | 0,0 |
| 6/ 2 | 0,58 | 78,91 | 81,39 | 0,0 | 78,71 | 0,56 | 0,0 | 220568,70 | 220568,70 | 0,0 |
| 6/ 3 | 0,45 | 82,95 | 83,04 | 0,0 | 4,04 | 1,65 | 0,0 | 220568,70 | 220568,70 | 0,0 |
| 6/ 4 | 0,23 | 82,97 | 87,91 | 0,0 | 0,02 | 4,87 | 0,0 | 220568,70 | 220568,70 | 0,0 |
| 6/ 5 | 0,16 | 87,74 | 87,94 | 0,0 | 4,78 | 0,04 | 0,0 | 220568,70 | 220568,70 | 0,0 |
| 6/ 6 | 0,14 | 87,75 | 94,54 | 0,0 | 0,00 | 6,60 | 0,0 | 220568,70 | 220568,70 | 0,0 |
| 6/ 7 | 0,13 | 87,84 | 98,46 | 0,0 | 0,09 | 3,92 | 0,0 | 220568,70 | 220568,70 | 0,0 |
| 6/ 8 | 0,12 | 88,06 | 98,54 | 0,0 | 0,22 | 0,08 | 0,0 | 220568,70 | 220568,70 | 0,0 |
| 6/ 9 | 0,10 | 94,61 | 98,58 | 0,0 | 6,55 | 0,04 | 0,0 | 220568,70 | 220568,70 | 0,0 |
| 6/ 10 | 0,10 | 94,61 | 98,59 | 0,0 | 0,00 | 0,01 | 0,0 | 220568,70 | 220568,70 | 0,0 |

• Période

$$T_{Robot} < T_{calculé} \times 30\% \Rightarrow 0.81 > 0.413 \times 30\% \quad (\text{Condition Non Vérifiée})$$

• Les masses modales

Les 2 premiers modes sont vérifiés \Rightarrow il ne y'a pas de torsion (Condition vérifiée)

• Les masses modales cumulées

La participation massique pour le 9ème mode

Le sens X : 94.61 %

Le sens Y : 98.58 % (Condition vérifiée)

• Résultante des forces sismiques

• Direction X

Tableau III. 17: La variation de l'effort sismique suivant X pour R= 6.

| Noeud/Cas/Mode | FX [kN] | FY [kN] | FZ [kN] | MX [kNm] | MY [kNm] | MZ [kNm] |
|----------------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| 1/ 7/ CQC | 37,59 | 4,45 | 141,03 | 6,22 | 52,89 | 0,00 |
| 3/ 7/ CQC | 25,50 | 4,45 | 132,94 | 6,22 | 35,96 | 0,00 |
| 5/ 7/ CQC | 37,60 | 2,54 | 12,89 | 3,56 | 52,89 | 0,00 |
| 7/ 7/ CQC | 37,60 | 7,00 | 88,39 | 9,81 | 52,89 | 0,00 |
| 9/ 7/ CQC | 25,50 | 5,00 | 53,77 | 7,02 | 35,96 | 0,00 |
| 11/ 7/ CQC | 25,51 | 2,54 | 6,27 | 3,56 | 35,96 | 0,00 |
| 13/ 7/ CQC | 28,29 | 7,00 | 94,06 | 9,81 | 39,87 | 0,00 |
| 15/ 7/ CQC | 28,29 | 5,00 | 51,44 | 7,02 | 39,87 | 0,00 |

- Direction Y

Tableau III. 18: La variation de l'effort sismique suivant Y pour R= 6.

| Noeud/Cas/Mode | FX [kN] | FY [kN] | FZ [kN] | MX [kNm] | MY [kNm] | MZ [kNm] |
|----------------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| 1/ 8/ CQC | 11,90 | 32,66 | 89,94 | 45,86 | 16,68 | 0,00 |
| 3/ 8/ CQC | 8,02 | 32,66 | 89,01 | 45,86 | 11,22 | 0,00 |
| 5/ 8/ CQC | 11,90 | 25,46 | 98,93 | 35,78 | 16,68 | 0,00 |
| 7/ 8/ CQC | 11,90 | 20,20 | 106,60 | 28,41 | 16,68 | 0,00 |
| 9/ 8/ CQC | 8,02 | 22,44 | 74,46 | 31,55 | 11,22 | 0,00 |
| 11/ 8/ CQC | 8,02 | 25,46 | 78,53 | 35,78 | 11,22 | 0,00 |
| 13/ 8/ CQC | 3,70 | 20,20 | 26,25 | 28,41 | 5,19 | 0,00 |
| 15/ 8/ CQC | 3,70 | 22,44 | 28,56 | 31,55 | 5,19 | 0,00 |

La résultante des forces sismiques à la base V_t :

- **EX ; $V_d = 247.21 \text{ KN} > 80\% V_s = 232.16 \text{ KN}$ (Condition Vérifiée)**
- **EY ; $V_d = 202.75 \text{ KN} < 80\% V_s = 232.16 \text{ KN}$ (Condition Non Vérifiée)**
- **Vérification des déplacements relatifs**

Le déplacement horizontal à chaque niveau "k" de la structure est calculé comme suit :

$$\delta_k = R \delta_{ek}$$

δ_{ek} : déplacement dû aux forces sismiques F_i (y compris l'effet de torsion)

R : coefficient de comportement

Le déplacement relatif au niveau "k" par rapport au niveau "k-1" est égal à :

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

- Direction X

Tableau III. 19: Les déplacements suivant X pour R= 6.

| Cas/Etage | UX [cm] | UY [cm] | dr UX [cm] | dr UY [cm] | d UX | d UY | Max UX [cm] | Max UY [cm] | Min UX [cm] | Min UY [cm] |
|-----------|---------|---------|------------|------------|------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 7/ 1 | 1,1 | 0,2 | 1,1 | 0,2 | 0,00 | 0,00 | 1,3 | 0,5 | 0,0 | 0,0 |
| 7/ 2 | 5,0 | 1,0 | 3,9 | 0,8 | 0,01 | 0,00 | 6,2 | 2,3 | 0,9 | 0,2 |
| 7/ 3 | 6,6 | 1,3 | 1,6 | 0,3 | 0,00 | 0,00 | 8,1 | 3,0 | 4,0 | 0,6 |
| 7/ 4 | 7,4 | 1,5 | 0,9 | 0,2 | 0,00 | 0,00 | 9,1 | 3,4 | 5,3 | 0,7 |
| 7/ 5 | 8,1 | 1,7 | 0,7 | 0,2 | 0,00 | 0,00 | 9,8 | 3,7 | 6,0 | 0,7 |

- Direction Y

Tableau III. 20: Les déplacements suivant Y pour R= 6.

| Cas/Etage | UX [cm] | UY [cm] | dr UX [cm] | dr UY [cm] | d UX | d UY | Max UX [cm] | Max UY [cm] | Min UX [cm] | Min UY [cm] |
|-----------|---------|---------|------------|------------|------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 8/ 1 | 0,2 | 1,8 | 0,2 | 1,8 | 0,00 | 0,01 | 0,4 | 2,1 | 0,0 | 0,0 |
| 8/ 2 | 0,9 | 8,2 | 0,7 | 6,4 | 0,00 | 0,01 | 1,9 | 9,9 | 0,1 | 1,3 |
| 8/ 3 | 1,2 | 10,7 | 0,3 | 2,5 | 0,00 | 0,01 | 2,5 | 12,9 | 0,6 | 6,1 |
| 8/ 4 | 1,3 | 12,0 | 0,1 | 1,3 | 0,00 | 0,00 | 2,8 | 14,5 | 0,7 | 8,0 |
| 8/ 5 | 1,5 | 12,6 | 0,2 | 0,5 | 0,00 | 0,00 | 3,0 | 15,4 | 0,8 | 9,1 |

Tableau III. 21: Le déplacement relatif pour R= 6.

| Niveau | Déplacement. | | δ_k | | Déplacement. Relatif. | | Déplacement. Admis. | OBS. |
|-------------------|---------------------|---------------------|------------|-------|-----------------------|-------|---------------------|------------|
| | U _x [cm] | U _y [cm] | AXE X | AXE y | AXE X | AXE y | 0.01 x H [cm] | |
| Plancher Etage 04 | 8.1 | 12.6 | 0.7 | 0.6 | 2.14 | 1.83 | 3,06 | CV |
| Plancher Etage 03 | 7.4 | 12.0 | 0.8 | 1.3 | 2.44 | 2.44 | 3,06 | CV |
| Plancher Etage 02 | 6.6 | 10.7 | 1.6 | 2.5 | 5.44 | 8.5 | 3,4 | CNV |
| Plancher Etage 01 | 5.0 | 8.2 | 3.9 | 6.4 | 17.1 | 28.6 | 4,4 | CNV |
| Plancher RDC | 1.1 | 1.8 | 1.1 | 1.8 | 3.08 | 5.04 | 2,8 | CNV |

❖ R=3 ossature contreventée par palées triangulée en V

Tableau III. 22: La période et le coefficient de participation massique R= 3.

| Cas/Mode | Période [sec] | Masses Cumulées UX [%] | Masses Cumulées UY [%] | Masses Cumulées UZ [%] | Masse Modale UX [%] | Masse Modale UY [%] | Masse Modale UZ [%] | Tot.mas.UX [kg] | Tot.mas.UY [kg] | Tot.mas.UZ [kg] |
|----------|---------------|------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 6/ 1 | 0,39 | 0,00 | 72,88 | 0,0 | 0,00 | 72,88 | 0,0 | 218976,47 | 218976,47 | 0,0 |
| 6/ 2 | 0,25 | 80,96 | 72,89 | 0,0 | 80,96 | 0,01 | 0,0 | 218976,47 | 218976,47 | 0,0 |
| 6/ 3 | 0,15 | 81,06 | 79,29 | 0,0 | 0,10 | 6,40 | 0,0 | 218976,47 | 218976,47 | 0,0 |
| 6/ 4 | 0,12 | 81,06 | 90,46 | 0,0 | 0,00 | 11,17 | 0,0 | 218976,47 | 218976,47 | 0,0 |
| 6/ 5 | 0,08 | 91,67 | 90,47 | 0,0 | 10,60 | 0,01 | 0,0 | 218976,47 | 218976,47 | 0,0 |
| 6/ 6 | 0,07 | 91,67 | 95,46 | 0,0 | 0,00 | 4,99 | 0,0 | 218976,47 | 218976,47 | 0,0 |
| 6/ 7 | 0,06 | 91,67 | 97,59 | 0,0 | 0,00 | 2,13 | 0,0 | 218976,47 | 218976,47 | 0,0 |
| 6/ 8 | 0,05 | 91,69 | 97,67 | 0,0 | 0,02 | 0,08 | 0,0 | 218976,47 | 218976,47 | 0,0 |
| 6/ 9 | 0,05 | 92,79 | 98,48 | 0,0 | 1,10 | 0,80 | 0,0 | 218976,47 | 218976,47 | 0,0 |

- Période

$$T_{Robot} < T_{calculé} \times 30\% \Rightarrow 0,39 < 0,413 \times 30\% \quad (\text{Condition Vérifiée})$$

- Les masses modales

Les 2 premiers modes sont vérifiés \Rightarrow il ne y'a pas de torsion (Condition vérifiée)

- Les masses modales cumulées

La participation massique pour le 5ème mode

Le sens X : 91.67 %

Le sens Y : 90.47 % (Condition vérifiée)

- Résultante des forces sismiques

- Direction X

Tableau III. 23: La variation de l'effort sismique suivant X pour R= 3.

| Noeud/Cas/Mode | FX [kN] | FY [kN] | FZ [kN] | MX [kNm] | MY [kNm] | MZ [kNm] |
|----------------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| 1/ 7/ CQC | 138,84 | 52,58 | 395,74 | 0,85 | 5,02 | 0,17 |
| 3/ 7/ CQC | 134,43 | 59,18 | 419,40 | 0,52 | 4,82 | 0,15 |
| 5/ 7/ CQC | 135,82 | 0,14 | 140,46 | 0,17 | 4,88 | 0,02 |
| 7/ 7/ CQC | 2,53 | 0,36 | 194,99 | 0,48 | 3,69 | 0,00 |
| 9/ 7/ CQC | 2,43 | 0,27 | 93,20 | 0,35 | 3,55 | 0,00 |
| 11/ 7/ CQC | 130,78 | 0,16 | 112,97 | 0,20 | 4,70 | 0,02 |
| 13/ 7/ CQC | 2,46 | 0,36 | 177,94 | 0,48 | 3,58 | 0,00 |
| 15/ 7/ CQC | 2,46 | 0,27 | 99,15 | 0,35 | 3,58 | 0,00 |

• Direction Y

Tableau III. 24: La variation de l'effort sismique suivant Y pour R= 6.

| Noeud/Cas/Mode | FX [kN] | FY [kN] | FZ [kN] | MX [kNm] | MY [kNm] | MZ [kNm] |
|----------------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| 1/ 8/ CQC | 125,71 | 187,19 | 459,68 | 12,34 | 4,81 | 0,42 |
| 3/ 8/ CQC | 123,86 | 181,76 | 429,79 | 12,40 | 4,71 | 0,42 |
| 5/ 8/ CQC | 119,28 | 18,27 | 122,97 | 26,12 | 4,83 | 0,56 |
| 7/ 8/ CQC | 2,55 | 25,91 | 236,06 | 36,80 | 3,56 | 0,00 |
| 9/ 8/ CQC | 2,49 | 22,45 | 175,80 | 31,95 | 3,49 | 0,00 |
| 11/ 8/ CQC | 118,40 | 18,26 | 80,23 | 26,11 | 4,72 | 0,55 |
| 13/ 8/ CQC | 1,18 | 25,91 | 66,09 | 36,80 | 1,66 | 0,00 |
| 15/ 8/ CQC | 1,18 | 22,45 | 69,80 | 31,95 | 1,66 | 0,00 |

La résultante des forces sismiques à la base V_t :

- EX ; $V_d = 549.75KN > 80\% V_s = 464.32KN$ (Condition Vérifiée)
- EY ; $V_d = 494.63KN < 80\% V_s = 464.32KN$ (Condition Vérifiée)
- Vérification des déplacements relatifs
- Direction X

Tableau III. 25: Les déplacements suivant X pour R= 3.

| Cas/Etage | UX [cm] | UY [cm] | dr UX [cm] | dr UY [cm] | d UX | d UY | Max UX [cm] | Max UY [cm] | Min UX [cm] | Min UY [cm] |
|-----------|---------|---------|------------|------------|------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 7/ 1 | 0,3 | 0,0 | 0,3 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 7/ 2 | 0,9 | 0,0 | 0,6 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 0,9 | 0,0 | 0,3 | 0,0 |
| 7/ 3 | 1,3 | 0,0 | 0,4 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 1,3 | 0,0 | 0,9 | 0,0 |
| 7/ 4 | 1,6 | 0,0 | 0,3 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 1,6 | 0,1 | 1,3 | 0,0 |
| 7/ 5 | 1,9 | 0,0 | 0,3 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 1,9 | 0,1 | 1,6 | 0,0 |

• Direction Y

Tableau III. 26: Les déplacements suivant Y pour R= 3.

| Cas/Etage | UX [cm] | UY [cm] | dr UX [cm] | dr UY [cm] | d UX | d UY | Max UX [cm] | Max UY [cm] | Min UX [cm] | Min UY [cm] |
|-----------|---------|---------|------------|------------|------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 8/ 1 | 0,1 | 0,6 | 0,1 | 0,6 | 0,00 | 0,00 | 0,2 | 0,9 | 0,0 | 0,0 |
| 8/ 2 | 0,4 | 1,9 | 0,3 | 1,4 | 0,00 | 0,00 | 0,8 | 3,1 | 0,0 | 0,3 |
| 8/ 3 | 0,5 | 2,7 | 0,1 | 0,8 | 0,00 | 0,00 | 1,1 | 4,3 | 0,0 | 1,0 |
| 8/ 4 | 0,6 | 3,3 | 0,1 | 0,6 | 0,00 | 0,00 | 1,3 | 5,1 | 0,0 | 1,5 |
| 8/ 5 | 0,7 | 3,9 | 0,1 | 0,6 | 0,00 | 0,00 | 1,4 | 5,7 | 0,0 | 1,9 |

Tableau III. 27: Le déplacement relatif pour R= 3.

| Niveau | Déplacement. | | δk | | Déplacement. Relatif. | | Déplacement. Admis. | OBS. |
|-------------------|---------------|---------------|------------|-------|-----------------------|-------|---------------------|------|
| | U_x [cm] | U_y [cm] | AXE X | AXE y | AXE X | AXE y | 0.01 x H [cm] | |
| Plancher Etage 04 | 0.3 | 0.6 | 0.6 | 1.3 | 1.8 | 3.9 | 3,06 | CNV |
| Plancher Etage 03 | 0.9 | 1.9 | 0.4 | 0.8 | 1.2 | 2.4 | 3,06 | CV |
| Plancher Etage 02 | 1.3 | 2.7 | 0.3 | 0.6 | 0.3 | 1.2 | 3,4 | CV |
| Plancher Etage 01 | 1.6 | 3.3 | 0.3 | 0.6 | 0.9 | 1.2 | 4,4 | CV |
| Plancher RDC | 1.9 | 3.9 | 0.5 | 0.8 | 1.5 | 2.4 | 2,8 | CV |

❖ R=4 ossature contreventée par palées triangulée en X

- Analyse des modes sismiques

Tableau III. 28: La période et le coefficient de participation massique pour R= 4 (palée en X).

| Cas/Mode | Période [sec] | Masses Cumulées UX [%] | Masses Cumulées UY [%] | Masses Cumulées UZ [%] | Masse Modale UX [%] | Masse Modale UY [%] | Masse Modale UZ [%] | Tot.mas.UX [kg] | Tot.mas.UY [kg] | Tot.mas.UZ [kg] |
|----------|---------------|------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 6/ 1 | 0,41 | 0,00 | 76,72 | 0,0 | 0,00 | 76,72 | 0,0 | 220130,74 | 220130,74 | 0,0 |
| 6/ 2 | 0,27 | 80,84 | 76,72 | 0,0 | 80,84 | 0,00 | 0,0 | 220130,74 | 220130,74 | 0,0 |
| 6/ 3 | 0,16 | 80,95 | 81,22 | 0,0 | 0,11 | 4,50 | 0,0 | 220130,74 | 220130,74 | 0,0 |
| 6/ 4 | 0,13 | 80,95 | 92,29 | 0,0 | 0,00 | 11,07 | 0,0 | 220130,74 | 220130,74 | 0,0 |
| 6/ 5 | 0,08 | 93,82 | 92,30 | 0,0 | 12,87 | 0,02 | 0,0 | 220130,74 | 220130,74 | 0,0 |
| 6/ 6 | 0,08 | 93,83 | 96,59 | 0,0 | 0,01 | 4,28 | 0,0 | 220130,74 | 220130,74 | 0,0 |
| 6/ 7 | 0,06 | 93,83 | 98,36 | 0,0 | 0,00 | 1,77 | 0,0 | 220130,74 | 220130,74 | 0,0 |
| 6/ 8 | 0,05 | 93,85 | 98,67 | 0,0 | 0,02 | 0,31 | 0,0 | 220130,74 | 220130,74 | 0,0 |
| 6/ 9 | 0,05 | 93,93 | 99,08 | 0,0 | 0,07 | 0,40 | 0,0 | 220130,74 | 220130,74 | 0,0 |
| 6/ 10 | 0,05 | 98,05 | 99,08 | 0,0 | 4,13 | 0,01 | 0,0 | 220130,74 | 220130,74 | 0,0 |

- Période

$$T_{Robot} < T_{calculé} \times 30\% \Rightarrow 0.41 < 0.413 \times 30\% \quad \text{(Condition Vérifiée)}$$

- Les masses modales

Les 2 premiers modes sont vérifiés \Rightarrow il ne y'a pas de torsion (Condition vérifiée)

- Les masses modales cumulées :

La participation massique pour le 5^{ème} mode

Le sens X : 93.82 %

Le sens Y : 92.30 % (Condition vérifiée)

- Résultante des forces sismiques
 - Direction X

Tableau III. 29: La variation de l'effort sismique suivant X pour R= 4 (palée en X).

| Noeud/Cas/Mode | FX [kN] | FY [kN] | FZ [kN] | MX [kNm] | MY [kNm] | MZ [kNm] |
|----------------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| 1/ 7/ CQC | 115,57 | 13,84 | 275,64 | 0,44 | 3,89 | 0,06 |
| 3/ 7/ CQC | 111,87 | 17,31 | 291,97 | 0,28 | 3,68 | 0,06 |
| 5/ 7/ CQC | 93,52 | 0,16 | 47,22 | 0,20 | 4,05 | 0,00 |
| 7/ 7/ CQC | 2,56 | 0,42 | 170,45 | 0,56 | 3,72 | 0,00 |
| 9/ 7/ CQC | 2,43 | 0,30 | 81,49 | 0,40 | 3,54 | 0,00 |
| 11/ 7/ CQC | 86,35 | 0,16 | 27,59 | 0,21 | 3,87 | 0,00 |
| 13/ 7/ CQC | 2,46 | 0,42 | 158,00 | 0,56 | 3,58 | 0,00 |
| 15/ 7/ CQC | 2,46 | 0,30 | 85,84 | 0,40 | 3,58 | 0,00 |

- Direction Y

Tableau III. 30: La variation de l'effort sismique suivant Y pour R= 4 (palée en X).

| Noeud/Cas/Mode | FX [kN] | FY [kN] | FZ [kN] | MX [kNm] | MY [kNm] | MZ [kNm] |
|----------------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| 1/ 8/ CQC | 96,94 | 135,13 | 271,70 | 15,03 | 2,64 | 0,23 |
| 3/ 8/ CQC | 93,62 | 133,83 | 250,24 | 15,04 | 2,67 | 0,23 |
| 5/ 8/ CQC | 58,70 | 18,14 | 166,51 | 25,84 | 2,96 | 0,17 |
| 7/ 8/ CQC | 1,90 | 24,11 | 199,77 | 34,20 | 2,66 | 0,00 |
| 9/ 8/ CQC | 1,90 | 21,50 | 148,15 | 30,55 | 2,67 | 0,00 |
| 11/ 8/ CQC | 61,49 | 18,14 | 125,84 | 25,84 | 2,95 | 0,17 |
| 13/ 8/ CQC | 0,91 | 24,11 | 55,33 | 34,20 | 1,28 | 0,00 |
| 15/ 8/ CQC | 0,91 | 21,50 | 58,65 | 30,55 | 1,28 | 0,00 |

La résultante des forces sismiques à la base V_t :

EX ; $V_d = 417.23\text{KN} > 80\% V_s = 348.24\text{KN}$ (Condition Vérifiée)

EY ; $V_d = 316.37\text{KN} < 80\% V_s = 348.24\text{KN}$ (Condition Vérifiée)

❖ Vérification des déplacements relatifs

• Direction X

Tableau III. 31: Les déplacements suivant X pour R= 4 (palée en X).

| Cas/Etage | UX [cm] | UY [cm] | dr UX [cm] | dr UY [cm] | d UX | d UY | Max UX [cm] | Max UY [cm] | Min UX [cm] | Min UY [cm] |
|-----------|---------|---------|------------|------------|------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 7/ 1 | 0,3 | 0,0 | 0,3 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 0,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 7/ 2 | 1,0 | 0,0 | 0,6 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 1,0 | 0,0 | 0,3 | 0,0 |
| 7/ 3 | 1,4 | 0,0 | 0,5 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 1,5 | 0,1 | 0,9 | 0,0 |
| 7/ 4 | 1,9 | 0,0 | 0,4 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 1,9 | 0,1 | 1,4 | 0,0 |
| 7/ 5 | 2,2 | 0,0 | 0,3 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 2,2 | 0,1 | 1,8 | 0,0 |

• Direction Y

Tableau III. 32: Les déplacements suivant Y pour R= 4 (palée en X).

| Cas/Etage | UX [cm] | UY [cm] | dr UX [cm] | dr UY [cm] | d UX | d UY | Max UX [cm] | Max UY [cm] | Min UX [cm] | Min UY [cm] |
|-----------|---------|---------|------------|------------|------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 8/ 1 | 0,1 | 0,8 | 0,1 | 0,8 | 0,00 | 0,00 | 0,2 | 1,1 | 0,0 | 0,0 |
| 8/ 2 | 0,3 | 2,2 | 0,2 | 1,5 | 0,00 | 0,00 | 0,7 | 3,3 | 0,0 | 0,5 |
| 8/ 3 | 0,5 | 3,2 | 0,1 | 1,0 | 0,00 | 0,00 | 1,0 | 4,7 | 0,0 | 1,4 |
| 8/ 4 | 0,5 | 4,0 | 0,1 | 0,7 | 0,00 | 0,00 | 1,2 | 5,7 | 0,0 | 2,1 |
| 8/ 5 | 0,6 | 4,7 | 0,1 | 0,7 | 0,00 | 0,00 | 1,3 | 6,4 | 0,0 | 2,6 |

• Le déplacement relatif

Tableau III. 33: Les déplacements relatifs pour R= 4 (palée en X).

| Niveau | Déplacement. | | δ_k | | Déplacement. Relatif. | | Déplacement. Admis. | OBS. |
|-------------------|---------------------|---------------------|------------|-------|-----------------------|-------|---------------------|------|
| | U _x [cm] | U _y [cm] | AXE X | AXE y | AXE X | AXE y | 0.01 x H [cm] | |
| Plancher Etage 04 | 0.3 | 0.8 | 0.7 | 1.4 | 2.8 | 5.6 | 3,06 | CNV |
| Plancher Etage 03 | 1 | 2.2 | 0.4 | 1 | 1.6 | 4 | 3,06 | CNV |
| Plancher Etage 02 | 1.4 | 3.2 | 0.5 | 0.8 | 2.0 | 3.2 | 3,4 | CNV |
| Plancher Etage 01 | 1.9 | 4.0 | 0.3 | 0.7 | 1.2 | 2.8 | 4,4 | CNV |
| Plancher RDC | 2.2 | 4.7 | 2.2 | 4.7 | 8.8 | 18.8 | 2,8 | CNV |

❖ R=4 mixte portique/ palées triangulées en V renversé

• Analyses modes sismique

Tableau III. 34: La période et le coefficient de participation massique pour R= 4 (palée en V renversé).

| Cas/Mode | Période [sec] | Masses Cumulées UX [%] | Masses Cumulées UY [%] | Masses Cumulées UZ [%] | Masse Modale UX [%] | Masse Modale UY [%] | Masse Modale UZ [%] | Tot.mas.UX [kg] | Tot.mas.UY [kg] | Tot.mas.UZ [kg] |
|----------|---------------|------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 6/ 1 | 0,37 | 0,01 | 72,87 | 0,0 | 0,01 | 72,87 | 0,0 | 225166,61 | 225166,61 | 0,0 |
| 6/ 2 | 0,23 | 81,42 | 72,92 | 0,0 | 81,41 | 0,04 | 0,0 | 225166,61 | 225166,61 | 0,0 |
| 6/ 3 | 0,14 | 81,55 | 81,26 | 0,0 | 0,12 | 8,34 | 0,0 | 225166,61 | 225166,61 | 0,0 |
| 6/ 4 | 0,11 | 81,55 | 90,18 | 0,0 | 0,00 | 8,92 | 0,0 | 225166,61 | 225166,61 | 0,0 |
| 6/ 5 | 0,07 | 90,79 | 90,24 | 0,0 | 9,24 | 0,05 | 0,0 | 225166,61 | 225166,61 | 0,0 |
| 6/ 6 | 0,07 | 90,82 | 95,18 | 0,0 | 0,04 | 4,95 | 0,0 | 225166,61 | 225166,61 | 0,0 |
| 6/ 7 | 0,06 | 90,82 | 97,29 | 0,0 | 0,00 | 2,10 | 0,0 | 225166,61 | 225166,61 | 0,0 |
| 6/ 8 | 0,05 | 90,83 | 97,36 | 0,0 | 0,01 | 0,08 | 0,0 | 225166,61 | 225166,61 | 0,0 |
| 6/ 9 | 0,04 | 91,01 | 98,13 | 0,0 | 0,18 | 0,77 | 0,0 | 225166,61 | 225166,61 | 0,0 |
| 6/ 10 | 0,04 | 96,62 | 98,16 | 0,0 | 5,61 | 0,03 | 0,0 | 225166,61 | 225166,61 | 0,0 |

• Période

$$T_{Robot} < T_{calculé} \times 30\% \Rightarrow 0.37 < 0.413 \times 30\% \quad (\text{Condition Vérifiée})$$

• Les masses modales

Les 2 premiers modes sont vérifiés \Rightarrow il ne y'a pas de torsion (Condition vérifiée)

• Les masses modales cumulées

La participation massique pour le 5ème mode

Le sens X : 90.79%

Le sens Y : 95.24% (Condition vérifiée)

❖ Résultante des forces sismiques

• Direction X

Tableau III. 35: La variation de l'effort sismique suivant X pour R= 4 (palée en V renversé).

| Noeud/Cas/Mode | FX [kN] | FY [kN] | FZ [kN] | MX [kNm] | MY [kNm] | MZ [kNm] |
|----------------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| 1/ 7/ CQC | 100,82 | 21,91 | 288,79 | 0,68 | 15,04 | 0,12 |
| 3/ 7/ CQC | 96,42 | 31,46 | 313,14 | 0,29 | 14,26 | 0,10 |
| 5/ 7/ CQC | 98,14 | 0,20 | 92,96 | 0,28 | 14,95 | 0,02 |
| 7/ 7/ CQC | 9,80 | 0,34 | 156,20 | 0,47 | 14,10 | 0,00 |
| 9/ 7/ CQC | 9,28 | 0,26 | 71,08 | 0,37 | 13,37 | 0,00 |
| 11/ 7/ CQC | 93,10 | 0,20 | 67,79 | 0,28 | 14,19 | 0,01 |
| 13/ 7/ CQC | 9,41 | 0,34 | 140,44 | 0,47 | 13,56 | 0,00 |
| 15/ 7/ CQC | 9,41 | 0,26 | 76,56 | 0,37 | 13,56 | 0,00 |

• Direction Y

Tableau III. 36: La variation de l'effort sismique suivant Y pour R= 4 (palée en V renversé).

| Noeud/Cas/Mode | FX [kN] | FY [kN] | FZ [kN] | MX [kNm] | MY [kNm] | MZ [kNm] |
|----------------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| 1/ 8/ CQC | 97,06 | 144,08 | 345,63 | 10,39 | 14,91 | 0,31 |
| 3/ 8/ CQC | 90,71 | 141,15 | 315,48 | 10,43 | 13,91 | 0,31 |
| 5/ 8/ CQC | 91,80 | 14,18 | 101,57 | 20,12 | 14,94 | 0,40 |
| 7/ 8/ CQC | 10,02 | 19,69 | 178,60 | 27,81 | 14,02 | 0,00 |
| 9/ 8/ CQC | 9,33 | 17,19 | 134,56 | 24,31 | 13,08 | 0,00 |
| 11/ 8/ CQC | 86,31 | 14,18 | 71,88 | 20,11 | 13,93 | 0,40 |
| 13/ 8/ CQC | 4,31 | 19,69 | 51,69 | 27,81 | 6,05 | 0,00 |
| 15/ 8/ CQC | 4,31 | 17,19 | 53,83 | 24,31 | 6,05 | 0,00 |

La résultante des forces sismiques à la base V_t :

EX ; $V_d = 426.37\text{KN} > 80\% V_s = 348.24 \text{ KN}$ (Condition Vérifiée)

EY ; $V_d = 393.85\text{KN} > 80\% V_s = 348.24 \text{ KN}$ (Condition Vérifiée)

❖ Vérification des déplacements relatifs

• Direction X

Tableau III. 37: Les déplacements suivant X pour R= 4 (palée en V renversé).

| Cas/Etage | UX [cm] | UY [cm] | dr UX [cm] | dr UY [cm] | d UX | d UY | Max UX [cm] | Max UY [cm] | Min UX [cm] | Min UY [cm] |
|-----------|---------|---------|------------|------------|------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 7/ 1 | 0,2 | 0,0 | 0,2 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 7/ 2 | 0,8 | 0,0 | 0,5 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 0,8 | 0,0 | 0,2 | 0,0 |
| 7/ 3 | 1,1 | 0,0 | 0,3 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 1,1 | 0,1 | 0,8 | 0,0 |
| 7/ 4 | 1,4 | 0,1 | 0,2 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 1,4 | 0,1 | 1,1 | 0,0 |
| 7/ 5 | 1,5 | 0,1 | 0,2 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 1,6 | 0,1 | 1,3 | 0,1 |

• Direction Y

Tableau III. 38: Les déplacements suivant Y pour R= 4 (palée en V renversé).

| Cas/Etage | UX [cm] | UY [cm] | dr UX [cm] | dr UY [cm] | d UX | d UY | Max UX [cm] | Max UY [cm] | Min UX [cm] | Min UY [cm] |
|-----------|---------|---------|------------|------------|------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 8/ 1 | 0,1 | 0,5 | 0,1 | 0,5 | 0,00 | 0,00 | 0,2 | 0,9 | 0,0 | 0,0 |
| 8/ 2 | 0,4 | 1,8 | 0,3 | 1,3 | 0,00 | 0,00 | 0,8 | 3,0 | 0,0 | 0,3 |
| 8/ 3 | 0,5 | 2,5 | 0,1 | 0,7 | 0,00 | 0,00 | 1,0 | 4,0 | 0,0 | 1,0 |
| 8/ 4 | 0,6 | 3,0 | 0,1 | 0,5 | 0,00 | 0,00 | 1,2 | 4,7 | 0,0 | 1,4 |
| 8/ 5 | 0,6 | 3,5 | 0,1 | 0,5 | 0,00 | 0,00 | 1,3 | 5,2 | 0,0 | 1,7 |

• Le déplacement relatif

Tableau III. 39: Les déplacements relatifs pour R= 4 (palée en V renversé).

| Niveau | Déplacement. | | δk | | Déplacement. Relatif. | | Déplacement. Admis. | OBS. |
|-------------------|---------------------|---------------------|------------|-------|-----------------------|-------|---------------------|------|
| | U _x [cm] | U _y [cm] | AXE X | AXE y | AXE X | AXE y | 0.01 x H [cm] | |
| Plancher Etage 04 | 0.2 | 0.5 | 0.6 | 1.3 | 2.4 | 5.2 | 3,06 | CV |
| Plancher Etage 03 | 0.8 | 1.8 | 0.3 | 0.7 | 1.2 | 2.8 | 3,06 | CV |
| Plancher Etage 02 | 1.1 | 2.5 | 0.3 | 0.5 | 1.2 | 2 | 3,4 | CNV |
| Plancher Etage 01 | 1.4 | 3 | 0.1 | 0.5 | 0.4 | 2 | 4,4 | CNV |
| Plancher RDC | 1.5 | 3.5 | 1.5 | 3.5 | 6 | 14 | 2,8 | CNV |

❖ R= 5 mixte portique/ palées triangulées en X

- Analyse des modes sismiques

Tableau III. 40: La période et le coefficient de participation massique pour R= 5.

| Cas/Mode | Période [sec] | Masses Cumulées UX [%] | Masses Cumulées UY [%] | Masses Cumulées UZ [%] | Masse Modale UX [%] | Masse Modale UY [%] | Masse Modale UZ [%] | Tot.mas.UX [kg] | Tot.mas.UY [kg] | Tot.mas.UZ [kg] |
|----------|---------------|------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 6/ 1 | 0,37 | 0,00 | 80,17 | 0,0 | 0,00 | 80,17 | 0,0 | 231419,30 | 231419,30 | 0,0 |
| 6/ 2 | 0,19 | 78,84 | 80,17 | 0,0 | 78,84 | 0,00 | 0,0 | 231419,30 | 231419,30 | 0,0 |
| 6/ 3 | 0,13 | 78,99 | 82,47 | 0,0 | 0,15 | 2,30 | 0,0 | 231419,30 | 231419,30 | 0,0 |
| 6/ 4 | 0,11 | 78,99 | 92,50 | 0,0 | 0,00 | 10,04 | 0,0 | 231419,30 | 231419,30 | 0,0 |
| 6/ 5 | 0,07 | 78,99 | 96,74 | 0,0 | 0,00 | 4,24 | 0,0 | 231419,30 | 231419,30 | 0,0 |
| 6/ 6 | 0,06 | 79,16 | 98,33 | 0,0 | 0,18 | 1,59 | 0,0 | 231419,30 | 231419,30 | 0,0 |
| 6/ 7 | 0,05 | 91,64 | 98,39 | 0,0 | 12,48 | 0,06 | 0,0 | 231419,30 | 231419,30 | 0,0 |
| 6/ 8 | 0,05 | 91,64 | 98,45 | 0,0 | 0,00 | 0,06 | 0,0 | 231419,30 | 231419,30 | 0,0 |
| 6/ 9 | 0,04 | 91,69 | 98,63 | 0,0 | 0,05 | 0,18 | 0,0 | 231419,30 | 231419,30 | 0,0 |
| 6/ 10 | 0,04 | 91,69 | 98,63 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 0,0 | 231419,30 | 231419,30 | 0,0 |

- Période

$$T_{Robot} < T_{calculé} \times 30\% \Rightarrow 0.37 < 0.413 \times 30\%$$

(Condition

Vérifiée)

- Les masses modales

Les 2 premiers modes sont vérifiés \Rightarrow il ne y'a pas de torsion

(Condition

vérifiée)

- Les masses modales cumulées

La participation massique pour le 7ème mode

Le sens X : 91.64 %

Le sens Y : 98.33 % (Condition vérifiée)

❖ **Résultante des forces sismiques**

- **Direction X**

Tableau III. 41: L'effort sismique suivant X pour R= 5.

| Noeud/Cas/Mode | FX [kN] | FY [kN] | FZ [kN] | MX [kNm] | MY [kNm] | MZ [kNm] |
|----------------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| 1/ 7/ CQC | 421,33 | 59,12 | 1885,55 | 2,48 | 67,66 | 0,17 |
| 3/ 7/ CQC | 365,38 | 81,05 | 2014,44 | 1,74 | 56,28 | 0,21 |
| 5/ 7/ CQC | 617,42 | 2,37 | 94,52 | 3,21 | 70,27 | 0,08 |
| 7/ 7/ CQC | 447,67 | 4,82 | 1471,17 | 6,63 | 68,19 | 0,05 |
| 9/ 7/ CQC | 312,39 | 3,79 | 836,94 | 5,18 | 58,73 | 0,07 |
| 11/ 7/ CQC | 472,40 | 2,41 | 332,95 | 3,27 | 60,31 | 0,08 |
| 13/ 7/ CQC | 364,32 | 4,92 | 1584,27 | 6,77 | 62,04 | 0,11 |
| 15/ 7/ CQC | 135,91 | 3,85 | 435,46 | 5,28 | 63,94 | 0,12 |

- **Direction Y**

Tableau III. 42: L'effort sismique suivant Y pour R= 5.

| Noeud/Cas/Mode | FX [kN] | FY [kN] | FZ [kN] | MX [kNm] | MY [kNm] | MZ [kNm] |
|----------------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| 1/ 8/ CQC | 47,76 | 127,35 | 213,32 | 14,64 | 6,61 | 0,17 |
| 3/ 8/ CQC | 42,46 | 126,65 | 192,60 | 14,64 | 6,05 | 0,17 |
| 5/ 8/ CQC | 79,75 | 13,85 | 182,93 | 19,61 | 6,77 | 0,14 |
| 7/ 8/ CQC | 27,21 | 16,49 | 157,45 | 23,30 | 6,86 | 0,26 |
| 9/ 8/ CQC | 18,03 | 15,52 | 103,05 | 21,94 | 6,49 | 0,39 |
| 11/ 8/ CQC | 71,47 | 14,04 | 159,77 | 19,89 | 6,35 | 0,26 |
| 13/ 8/ CQC | 6,97 | 16,84 | 32,88 | 23,79 | 3,00 | 0,45 |
| 15/ 8/ CQC | 17,82 | 15,67 | 65,92 | 22,18 | 2,91 | 0,46 |

La résultante des forces sismiques à la base V_t :

EX ; $V_d = 3136.85 \text{ KN} > 80\% V_s = 278.58 \text{ KN}$ (Condition Vérifiée)

EY ; $V_d = 346.22 \text{ KN} > 80\% V_s = 278.58 \text{ KN}$ (Condition Vérifiée)

❖ **Vérification des déplacements relatifs**

- **Direction X**

Tableau III. 43: Les déplacements suivant X pour R= 5.

| Cas/Etage | UX [cm] | UY [cm] | dr UX [cm] | dr UY [cm] | d UX | d UY | Max UX [cm] | Max UY [cm] | Min UX [cm] | Min UY [cm] |
|-----------|---------|---------|------------|------------|------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 7/ 1 | 1,4 | 0,1 | 1,4 | 0,1 | 0,00 | 0,00 | 1,5 | 0,2 | 0,0 | 0,0 |
| 7/ 2 | 4,4 | 0,1 | 3,0 | 0,0 | 0,01 | 0,00 | 4,5 | 0,3 | 1,3 | 0,1 |
| 7/ 3 | 6,7 | 0,2 | 2,3 | 0,1 | 0,01 | 0,00 | 6,9 | 0,3 | 4,3 | 0,1 |
| 7/ 4 | 8,6 | 0,3 | 1,9 | 0,1 | 0,01 | 0,00 | 8,9 | 0,5 | 6,5 | 0,1 |
| 7/ 5 | 10,3 | 0,3 | 1,7 | 0,0 | 0,01 | 0,00 | 10,6 | 0,6 | 8,4 | 0,1 |

- Direction Y

Tableau III. 44: Les déplacements suivant Y pour R= 5.

| Cas/Etage | UX [cm] | UY [cm] | dr UX [cm] | dr UY [cm] | d UX | d UY | Max UX [cm] | Max UY [cm] | Min UX [cm] | Min UY [cm] |
|-----------|---------|---------|------------|------------|------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 8/ 1 | 0,1 | 0,7 | 0,1 | 0,7 | 0,00 | 0,00 | 0,1 | 0,9 | 0,0 | 0,0 |
| 8/ 2 | 0,2 | 2,0 | 0,1 | 1,3 | 0,00 | 0,00 | 0,4 | 2,6 | 0,0 | 0,6 |
| 8/ 3 | 0,3 | 2,8 | 0,1 | 0,8 | 0,00 | 0,00 | 0,6 | 3,6 | 0,0 | 1,5 |
| 8/ 4 | 0,3 | 3,4 | 0,0 | 0,6 | 0,00 | 0,00 | 0,7 | 4,3 | 0,0 | 2,1 |
| 8/ 5 | 0,4 | 3,8 | 0,0 | 0,5 | 0,00 | 0,00 | 0,7 | 4,8 | 0,0 | 2,6 |

- Le déplacement relatif

Tableau III. 45: Les déplacements relatifs suivant pour R= 5.

| Niveau | Déplacement. | | δk | | Déplacement. Relatif. | | Déplacement. Admis. | OBS. |
|-------------------|---------------------|---------------------|------------|-------|-----------------------|-------|---------------------|------|
| | U _x [cm] | U _y [cm] | AXE X | AXE y | AXE X | AXE y | 0.01 x H [cm] | |
| Plancher Etage 04 | 10.3 | 3.8 | 1.7 | 0.4 | 8.8 | 2 | 3,06 | CNV |
| Plancher Etage 03 | 8.6 | 3.4 | 1.9 | 0.6 | 9.5 | 3 | 3,06 | CNV |
| Plancher Etage 02 | 6.7 | 2.8 | 2.3 | 0.8 | 11.5 | 4 | 3,4 | CNV |
| Plancher Etage 01 | 4.4 | 2.0 | 3.0 | 1.3 | 15 | 6.5 | 4,4 | CNV |
| Plancher RDC | 1.4 | 0.7 | 1.4 | 0.7 | 7 | 3.5 | 2,8 | CNV |

❖ R=3 ossature contreventée par palées triangulées en V et X

• Analyse des modes sismiques

Tableau III. 46: La période et les coefficients de participation massique pour R= 3 (X-V).

| Cas/Mode | Période [sec] | Masses Cumulées UX [%] | Masses Cumulées UY [%] | Masses Cumulées UZ [%] | Masse Modale UX [%] | Masse Modale UY [%] | Masse Modale UZ [%] | Tot.mas.UX [kg] | Tot.mas.UY [kg] | Tot.mas.UZ [kg] |
|----------|---------------|------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 6/ 1 | 0,39 | 0,03 | 71,81 | 0,0 | 0,03 | 71,81 | 0,0 | 219807,99 | 219807,99 | 0,0 |
| 6/ 2 | 0,25 | 80,22 | 71,83 | 0,0 | 80,19 | 0,01 | 0,0 | 219807,99 | 219807,99 | 0,0 |
| 6/ 3 | 0,15 | 80,28 | 79,37 | 0,0 | 0,06 | 7,54 | 0,0 | 219807,99 | 219807,99 | 0,0 |
| 6/ 4 | 0,12 | 80,30 | 89,94 | 0,0 | 0,01 | 10,58 | 0,0 | 219807,99 | 219807,99 | 0,0 |
| 6/ 5 | 0,07 | 90,71 | 90,07 | 0,0 | 10,42 | 0,12 | 0,0 | 219807,99 | 219807,99 | 0,0 |
| 6/ 6 | 0,07 | 91,11 | 94,75 | 0,0 | 0,39 | 4,68 | 0,0 | 219807,99 | 219807,99 | 0,0 |
| 6/ 7 | 0,06 | 91,25 | 96,94 | 0,0 | 0,14 | 2,20 | 0,0 | 219807,99 | 219807,99 | 0,0 |
| 6/ 8 | 0,05 | 91,25 | 97,01 | 0,0 | 0,00 | 0,06 | 0,0 | 219807,99 | 219807,99 | 0,0 |
| 6/ 9 | 0,05 | 91,27 | 98,10 | 0,0 | 0,02 | 1,09 | 0,0 | 219807,99 | 219807,99 | 0,0 |
| 6/ 10 | 0,04 | 96,86 | 98,11 | 0,0 | 5,59 | 0,01 | 0,0 | 219807,99 | 219807,99 | 0,0 |

• Période

$$T_{Robot} < T_{calculé} \times 30\% \Rightarrow 0,39 < 0,413 \times 30\% \quad (\text{Condition Vérifiée})$$

✚ Les masses modales :

Les 2 premiers modes sont vérifiés \Rightarrow il ne y'a pas de torsion (Condition vérifiée)

• Les masses modales cumulées

La participation massique pour le 5ème mode

Le sens X : 90.71 %

Le sens Y : 90.07 % (Condition vérifiée)

❖ Résultante des forces sismiques

• Direction X

Tableau III. 47: Les déplacements relatifs suivant pour R= 3 (X-V).

| Noeud/Cas/Mode | FX [kN] | FY [kN] | FZ [kN] | MX [kNm] | MY [kNm] | MZ [kNm] |
|----------------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| 1/ 7/ CQC | 2,84 | 61,59 | 304,82 | 0,97 | 4,13 | 0,29 |
| 3/ 7/ CQC | 2,26 | 64,57 | 328,78 | 0,79 | 3,34 | 0,27 |
| 5/ 7/ CQC | 104,64 | 1,21 | 68,21 | 1,67 | 4,48 | 0,04 |
| 7/ 7/ CQC | 132,44 | 2,12 | 272,32 | 2,94 | 4,25 | 0,03 |
| 9/ 7/ CQC | 88,57 | 1,75 | 179,38 | 2,42 | 4,00 | 0,04 |
| 11/ 7/ CQC | 75,64 | 1,23 | 107,86 | 1,70 | 4,10 | 0,05 |
| 13/ 7/ CQC | 100,86 | 2,17 | 317,22 | 3,01 | 4,38 | 0,06 |
| 15/ 7/ CQC | 39,34 | 1,78 | 42,85 | 2,47 | 4,89 | 0,07 |

• Direction Y

Tableau III. 48: Les déplacements relatifs suivant pour R= 3 (X-V).

| Noeud/Cas/Mode | FX [kN] | FY [kN] | FZ [kN] | MX [kNm] | MY [kNm] | MZ [kNm] |
|----------------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| 1/ 8/ CQC | 2,96 | 180,45 | 316,64 | 11,48 | 4,10 | 0,12 |
| 3/ 8/ CQC | 2,59 | 176,02 | 294,82 | 11,48 | 3,61 | 0,07 |
| 5/ 8/ CQC | 158,91 | 18,60 | 309,86 | 26,53 | 4,15 | 0,54 |
| 7/ 8/ CQC | 95,10 | 27,19 | 175,20 | 38,51 | 4,68 | 0,46 |
| 9/ 8/ CQC | 64,87 | 23,79 | 88,88 | 33,76 | 4,81 | 0,66 |
| 11/ 8/ CQC | 130,64 | 18,91 | 296,03 | 26,99 | 4,26 | 0,72 |
| 13/ 8/ CQC | 24,15 | 27,86 | 20,66 | 39,46 | 2,28 | 0,84 |
| 15/ 8/ CQC | 45,29 | 24,14 | 114,16 | 34,32 | 2,10 | 0,89 |

La résultante des forces sismiques à la base V_t :

EX ; $V_d = 546.60KN > 80\% V_s = 464.32KN$ (Condition Vérifiée)

EY; $V_d = 525.18KN < 80\% V_s = 464.32KN$ (Condition Vérifiée)

❖ Vérification des déplacements relatifs

• Direction X

Tableau III. 49: Les déplacements suivant X pour R= 3 (X-V).

| Cas/Etage | UX [cm] | UY [cm] | dr UX [cm] | dr UY [cm] | d UX | d UY | Max UX [cm] | Max UY [cm] | Min UX [cm] | Min UY [cm] |
|-----------|---------|---------|------------|------------|------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 7/ 1 | 0,3 | 0,0 | 0,3 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 0,3 | 0,1 | 0,0 | 0,0 |
| 7/ 2 | 0,9 | 0,0 | 0,6 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 0,9 | 0,1 | 0,2 | 0,0 |
| 7/ 3 | 1,3 | 0,1 | 0,4 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 1,3 | 0,1 | 0,9 | 0,0 |
| 7/ 4 | 1,6 | 0,1 | 0,3 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 1,7 | 0,1 | 1,3 | 0,0 |
| 7/ 5 | 1,9 | 0,1 | 0,3 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 1,9 | 0,1 | 1,6 | 0,0 |

• Direction Y

Tableau III. 50: Les déplacements relatifs Y pour R= 3 (X-V).

| Cas/Etage | UX [cm] | UY [cm] | dr UX [cm] | dr UY [cm] | d UX | d UY | Max UX [cm] | Max UY [cm] | Min UX [cm] | Min UY [cm] |
|-----------|---------|---------|------------|------------|------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 8/ 1 | 0,1 | 0,6 | 0,1 | 0,6 | 0,00 | 0,00 | 0,3 | 0,9 | 0,0 | 0,0 |
| 8/ 2 | 0,4 | 2,0 | 0,3 | 1,4 | 0,00 | 0,00 | 0,9 | 3,2 | 0,0 | 0,3 |
| 8/ 3 | 0,6 | 2,8 | 0,1 | 0,8 | 0,00 | 0,00 | 1,2 | 4,4 | 0,0 | 0,9 |
| 8/ 4 | 0,7 | 3,3 | 0,1 | 0,6 | 0,00 | 0,00 | 1,4 | 5,3 | 0,0 | 1,4 |
| 8/ 5 | 0,7 | 3,8 | 0,1 | 0,5 | 0,00 | 0,00 | 1,5 | 5,8 | 0,0 | 1,7 |

Tableau III. 51: Les déplacements relatifs pour R= 3 (X-V).

| Niveau | Déplacement. | | δk | | Déplacement. Relatif. | | Déplacement. Admis. | OBS. |
|-------------------|---------------|---------------|------------|-------|-----------------------|-------|---------------------|-----------|
| | U_x [cm] | U_y [cm] | AXE X | AXE y | AXE X | AXE y | 0.01 x H [cm] | |
| Plancher Etage 04 | 1.9 | 3.8 | 0.3 | 0.5 | 0.9 | 1.5 | 3,06 | CV |
| Plancher Etage 03 | 1.6 | 3.3 | 0.3 | 0.5 | 0.9 | 1.5 | 3,06 | CV |
| Plancher Etage 02 | 1.3 | 2.8 | 0.4 | 0.8 | 1.2 | 2.4 | 3,4 | CV |
| Plancher Etage 01 | 0.9 | 2.0 | 0.6 | 1.4 | 1.8 | 4.2 | 4,4 | CV |
| Plancher RDC | 0.3 | 0.6 | 0.3 | 0.6 | 0.9 | 1.8 | 2,8 | CV |

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1. Introduction

Les résultats obtenus dans cette étude en termes de périodes fondamentales, de déplacements, d'efforts tranchants et sismiques pour les différents systèmes de contreventement considérés sont présentés.

IV.2. Périodes propres

Selon les figures IV.1, IV.2 on constate que :

- La période fondamentale du portique auto stable est plus importante que celles des autres portiques.
- Une diminution comprise entre 47 et 62% de la période fondamentale des systèmes concentriques : en X, V inversé, portique-V, portique-X et mixte X-V par rapport a celle du portique sans palés triangulés.

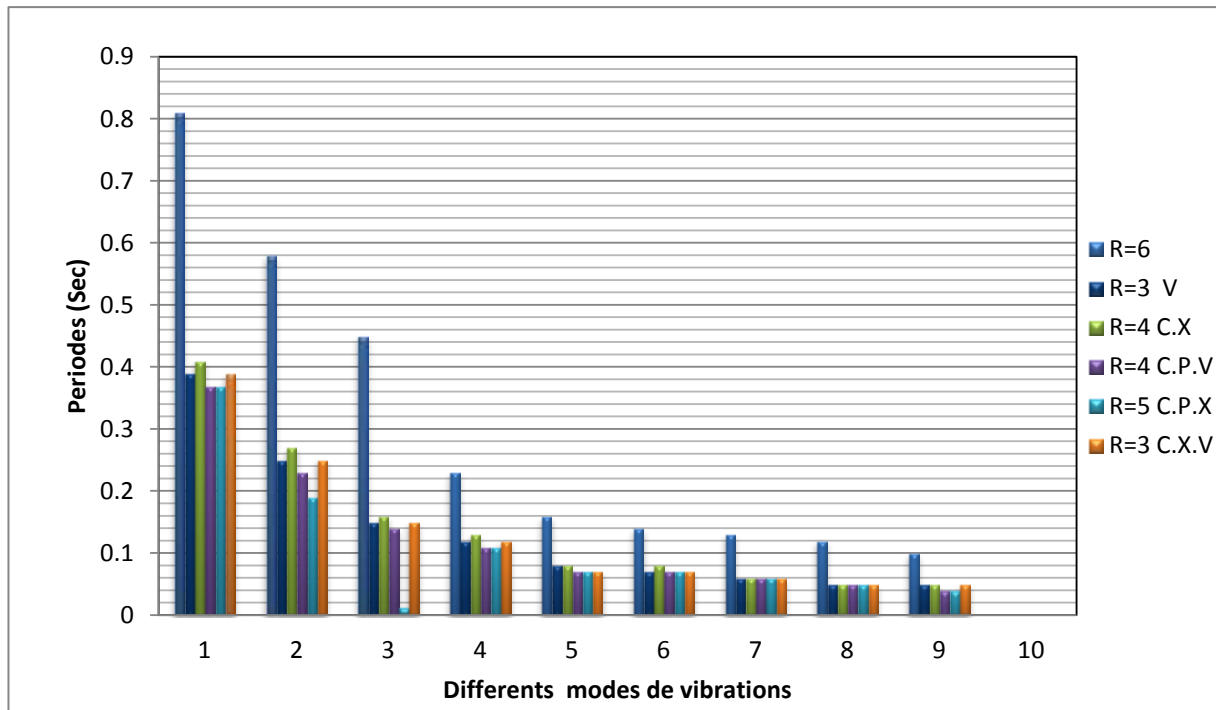


Figure IV. 1: La variation des périodes différents modes en fonction des systèmes de contreventement.

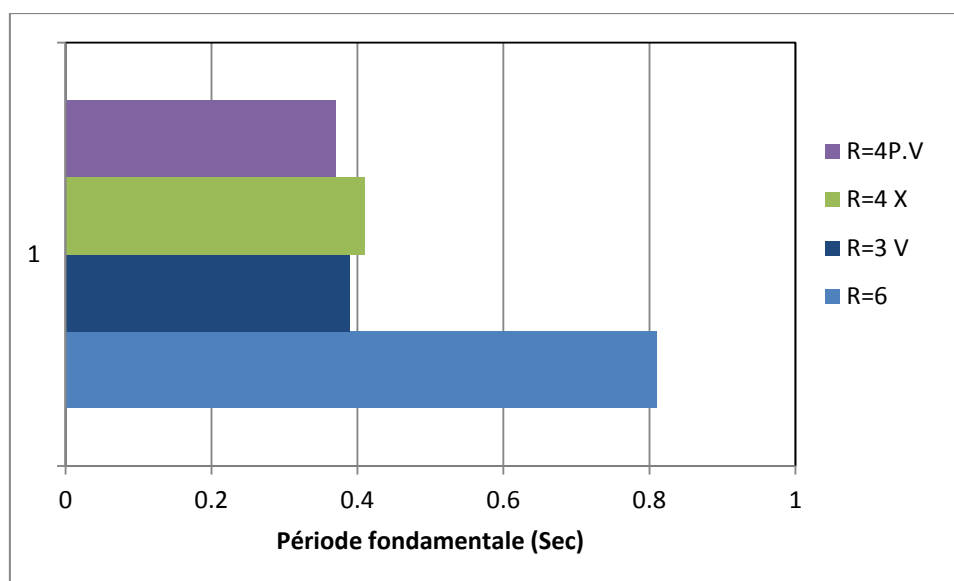


Figure IV. 2: La période fondamentale relative aux différents modes de vibration des structures étudiées.

IV.3. Efforts tranchants

La réponse des structures en termes d'effort tranchant sous l'effet de la charge sismique définie par le spectre de réponse, est représentée sur les figures III.6, III.7, III.8, III.9 (chapitre III) a des efforts de cisaillement différents, en raison de la dissimilitude du chargement sismique appliqué aux structures considérées.

On constate que la structure avec contreventement centré en V inversé présentent un effort de cisaillement plus élevé à chaque étage, par rapport aux autres systèmes.

Bien que la structure avec contreventement en V inversé soit soumise à la même charge sismique que celle de la structure avec les autres systèmes de contreventement, les efforts tranchants sont différents. Cette différence est bien apparente dans le cas des efforts obtenus par la méthode d'analyse modale spectrale.

D'autre part, le portique auto stable est caractérisé par une réponse assez faible par rapport à celle observée dans le contreventement en X, V inversé, portique-V, portique-X et mixte X-V, malgré que leurs actions sismiques soient identiques.

La variation de l'effort de tranchant d'un cas à l'autre, due principalement à la variation de la valeur du coefficient de comportement structural adopté par les règlements parasismique. Les structures les plus ductiles en zones sismiques, sont généralement caractérisées par un coefficient de comportement élevé, par conséquent, plus la ductilité globale de la structure augmente, plus que son coefficient augmente, ce qui diminue l'action sismique adopté par le règlement.

IV.4. Les déplacements latéraux inter-étage

Les déplacements latéraux de chaque étage des différents systèmes de contreventement obtenus sont illustrés sur les figures IV.3 et IV.4 suivant les deux directions X et Y où l'on constate que les déplacements latéraux maximaux du portique auto stable, sont en général, plus importants que ceux des autres portiques comportant des palées triangulées. Par ailleurs, en note que cette différence est significative aux étages supérieurs. Et d'autre part, toutes les structures contreventées sont caractérisées par un déplacement latéral assez faible, à l'exception de celle avec contreventement mixte en X-V, qui présente une déformation considérable aux étages supérieurs par rapport aux autres systèmes. Contrairement au portique auto stable, les contreventements portique/ V montrent des déplacements latéraux les plus faibles par rapport à ceux des autres structures. Les remarques indiquées ci-dessus mettent en évidence que les contreventements en palées triangulées ont tendance à faire augmenter la rigidité latérale de la structure vis-à-vis des charges sismiques horizontales, ce qui a pour conséquence de limiter ses déplacements.

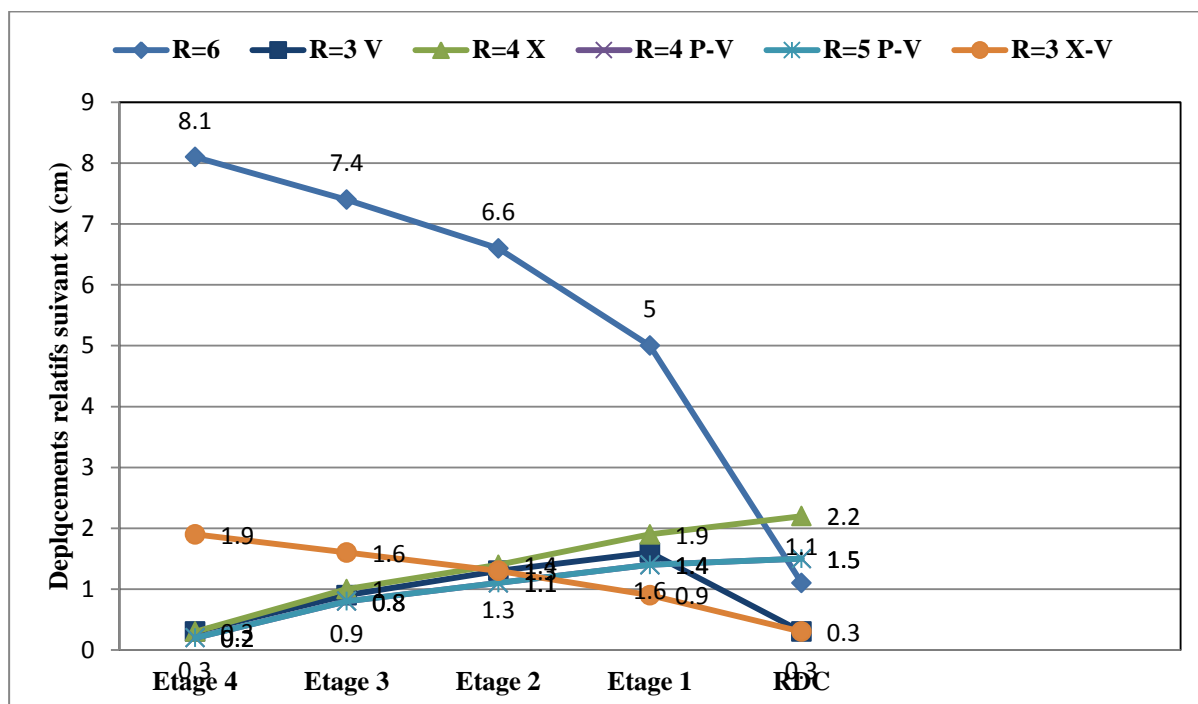


Figure IV. 3: Déplacements latéraux à chaque étage suivant l'axe xx.

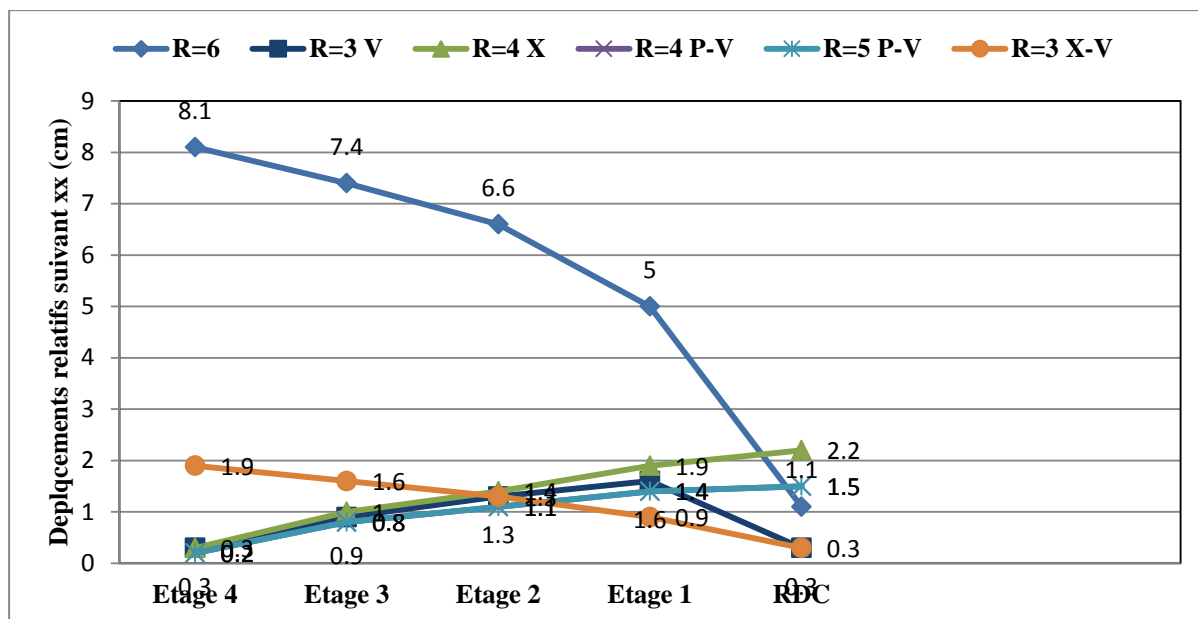


Figure IV. 4: Déplacements latéraux à chaque étage suivant l'axe yy.

IV.5. Les déplacements relatifs

L'analyse des structures en termes de déplacement relatif, est illustrée sur les figures IV.5, IV.6.

Ces figures montrent clairement, une déformation significative entre étage du portique auto stable, notamment au niveau des étages intermédiaires, et particulièrement le 1^{er} étage. Par contre les structures contreventées par palées triangulées sont caractérisées par un déplacement entre étages assez faibles. Parmi ces structures qui présentent presque le même déplacement relatif, celle avec contreventement centrée en V, mixte X/V présente un déplacement relatif plus faible.

A la lumière de ces constatations, on note que la partie intermédiaire du portique auto stable peut être affecté par des dommages, en raison de leur flexibilité importante, particulièrement dans les bâtiments élancés.

A travers ces résultats, il est à noter que l'utilisation des palées de contreventement montre clairement leur avantage sur le comportement des structures en termes de déplacement entre étages.

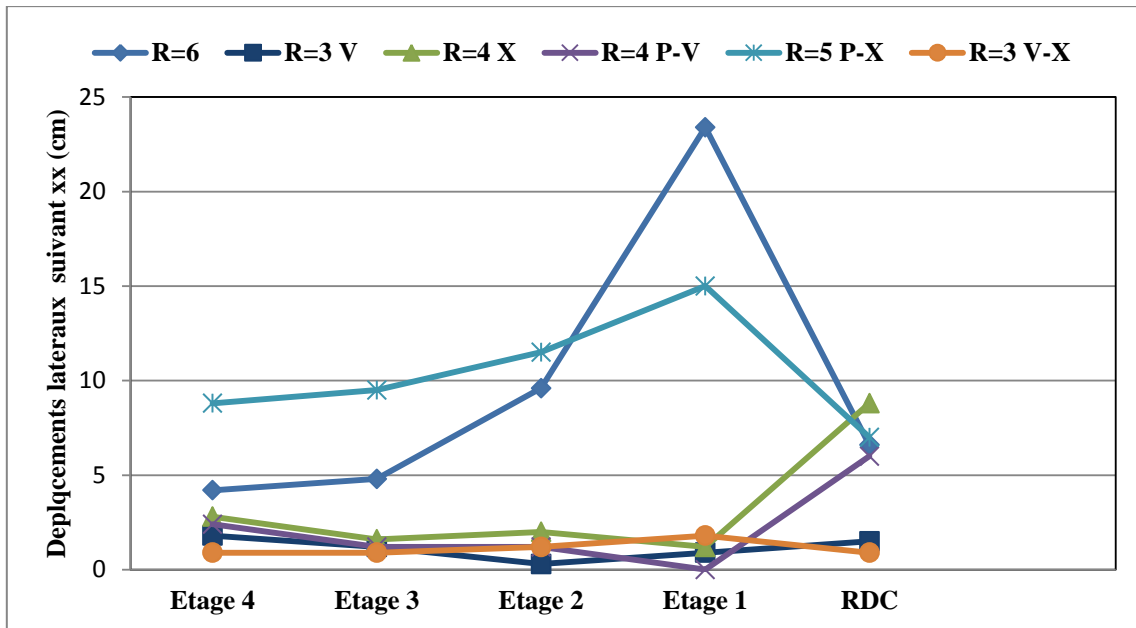


Figure IV. 5: Les déplacements relatifs des différents étages suivant X.

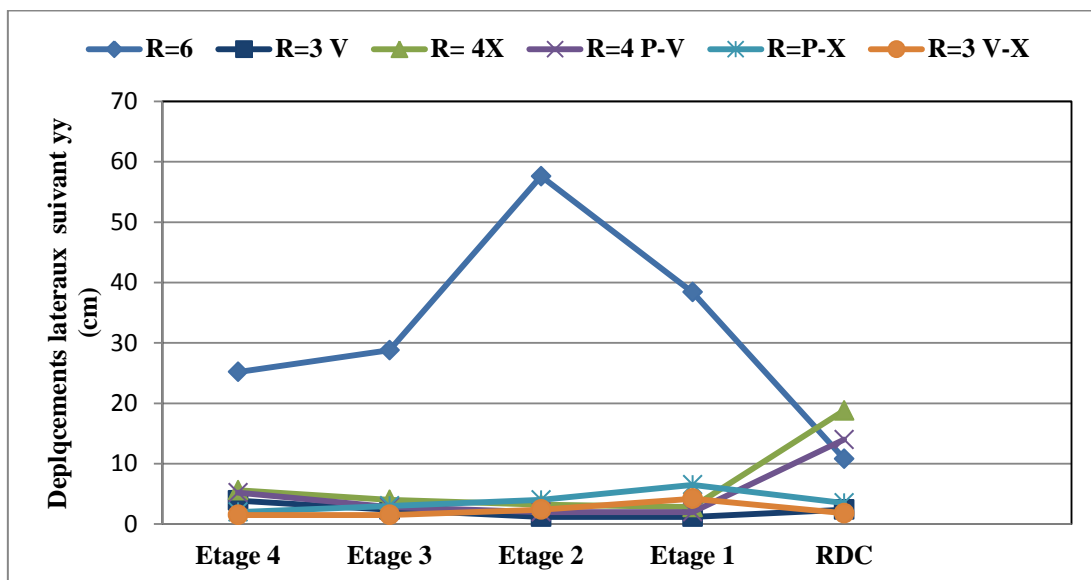


Figure IV. 6: Les déplacements relatifs des différents étages Δ_x suivant Y.

IV.6. Conclusion

Dans ce chapitre on a essayé d'évaluer la réponse sismique de la structures métallique contreventée par des palés triangulés et cela avec différents systèmes de contreventement.

D'où on peut conclure que :

La structures auto stable est plus souple sous l'effet des actions sismique ce qui conduit à des déformations en terme de déplacement latéral et relatif très considérable par rapport à celui des systèmes de contreventement en X, V inversé, portique-V, portique-X et mixte X-V.

La rigidité latérale est observé pour les structures avec contreventement centré en X – V et en V inversé par rapport au système de contreventement portique-V, portique-X et X.

Le critère de l'effort tranchant et sismique montre que les structures avec triangulations centré en V inversé X et mixte X-V ont des efforts très élevés par rapport aux structures avec un contreventement en X et cela à cause de leur faible coefficient de comportement.

***Conclusion générale et
perspectives***

Conclusion générale et perspectives

Le travail présenté dans ce mémoire a été consacré à l'étude de l'effet des systèmes de contreventement sur la réponse sismique de la structures en charpente métallique, à savoir , les portiques auto stable, les ossatures avec triangulations centrées en X, V inversé, portique/X, portique/V et mixte X-V.

Les objectifs déclarés étaient d'évaluer le comportement de la structure avec différents systèmes de contreventement vis-à-vis des actions sismiques, notamment celles définies dans le règlement parasismique algérien (RPA2003), à savoir la méthode statique équivalente par effort tranchant à la base et dynamique par spectre de réponse élastique.

A la lumière des résultats obtenus, on peut tirer les conclusions suivantes :

- La structures auto stable est plus souple sous l'effet des actions sismique ce qui conduit à des déformations en terme de déplacement latéral et relatif très considérable par rapport à celui des autres structures avec contreventement en X, V inversé, portique/X, portique/V et mixte X-V.
- La rigidité latérale est observée pour les structures avec contreventement centré en X et en mixte X-V inversé par rapport au système de contreventement V inversé, portique/X, portique/V.
- Le critère de l'effort tranchant et sismique montre que la structures avec triangulations centré en V inversé a des efforts très élevés par rapport a la structure avec un contreventement en X, portique/X, portique/V et mixte X-V et cela à cause de leur faible coefficient de comportement.
- Sur le plan économique, les configurations en X et en V inversé s'avèrent les moins onéreuses. La configuration en portique/X, portique/V et mixte X-V exige de plus grandes sections pour atteindre, sur le plan performance, celles en X et en V inversé.

En éventualité l'étude de nouveaux systèmes de contreventement plus performants visant à minimiser les effets nuisibles des séismes sur les constructions métallique est plus importante, ainsi de tenir en compte d'une étude dynamique temporelle afin de bien apprécier le comportement des structures métallique avec différents cas de systèmes de contreventement.

***Références
bibliographiques***

Références bibliographiques

- [1] Manfred A. Hirt et Michel Crinel, charpentes métalliques. Conception et dimensionnement des halles et bâtiments ; traite de génie civil de l'école polytechnique fédérale de Lausanne Volume 11. 2001
- [2] MR.SAADI MOHAMED – Département Génie civil –Université de Batna2.Cours en charpente métallique master 2 ; chapitre 1 conception et calcul des systèmes de contreventement d'ossatures métalliques.
- [3] T. Branci et Larabat Ziane . Algérie équipement n^o 54 octobre 2014. Évaluation de la réponse sismique des structures métalliques contreventées par des palées triangulées.
- [4] Règlement parasismique algérien (RPA 99, version 2003). Centre nationale de génie parasismique appliquée, Algérie.
- [5] Tedjditi A; évaluation des coefficients de comportement des structures par une approche semi-globale, 2017, *mémoire de master en génie civil option structure*.
- [6] EN 1998-1:2004 «Eurocode 8 : Calcul des structures pour leur résistance aux séismes — Partie 1.
- [7] Temel Türker, Alemdar Bayraktar, 2010, Experimental and numerical investigation of brace Configuration effects on steel structures, *Journal of Constructional Steel Research* 67 (854–865)
- [8] Tremblay R, Lacerte M, Christopoulos C, 2008, Seismic Response of Multistory Buildings with Self-Centering Energy Dissipative Steel Braces, *American Society of Civil Engineers, Reston, VA, ETATS-UNIS, vol. 134, No1, pages 108-120*.
- [9] Roberto T. LEON, and Chuang-Sheng YANG, Special Inverted-V-braced frames with suspended zipper struts.

Annexes

Annexes

Annexes