

Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques



**Thèse de Doctorat de l'Université UTCB**

**DES CONTRIBUTIONS SUR LE RENFORCEMENT DES BÂTIMENTS EXISTANTS PAR L'UTILISATION  
DES SOLUTIONS AVEC DES ÉLÉMENTS MÉTALLIQUES**

---

**Sommaire**

**DOCTORANTE:  
ING. NAIMA EZZAKI**

**RESPONSABLE SCIENTIFIQUE:  
PROF.HAB.DR. OANA LUCA**

Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques

***Remerciements :***

Merci à Prof Oana Luca, pour ses qualités d'encadrant, à la fois scientifiques et humaines, pour la patience dont elle a su faire preuve pendant ces nombreuses années où j'ai souvent douté. elle s'est beaucoup investi dans ces travaux, a été à l'origine de nombreuses idées, et ce sont véritablement les fruits d'un travail commun qui sont présentés dans ce mémoire.

Je remercie aussi Prof Daniel Stoica, pour sa patience également, et son soutien. pour m'avoir continuellement stimulé par son enthousiasme sans bornes et sa passion du travail en équipe. Nul doute que je n'aurais pu venir à bout de ma thèse sans les encouragements et le soutien (et aussi la bonne humeur, et d'Intuilab, qui m'ont accompagné à la fin de mon calvaire et m'ont aidé lors de mes répétitions de soutenance. Merci à mes proches pour avoir longtemps supporté mon irritabilité lorsqu'il fallait aborder le délicat sujet de l'avancement de ma thèse : mes parents et mes frère mes soeurset mes amis (Sylvie, dr Ahmed, Brun).

Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques

**Table des matières thèse**

|                                                                                                                            |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Liste des figures.....</b>                                                                                              | <b>2</b>   |
| <b>Liste des tables.....</b>                                                                                               | <b>4</b>   |
| <b>Préface.....</b>                                                                                                        | <b>7</b>   |
| <b>Chapitre 1: Présentation de l'état actuel du problème analysé en Roumanie et dans le monde.....</b>                     | <b>8</b>   |
| 1.1. Regard général sur les documents liés au renforcement contre les actions sismiques.....                               | 8          |
| 1.2. Le renforcement avec systèmes de contreventements métalliques.....                                                    | 11         |
| 1.3. Exemples de renforcement avec des systèmes de contreventements.....                                                   | 13         |
| <b>Chapitre 2: La présentation de la méthodologie des travaux.....</b>                                                     | <b>19</b>  |
| 2.1. Caractéristiques initiales des structures étudiées.....                                                               | 19         |
| 2.2. Application des contraintes sismiques P100 sur les lignes de résistance.....                                          | 32         |
| 2.3. Renforcement avec les systèmes de contreventement métalliques.....                                                    | 36         |
| <b>Chapitre 3: Présentation du contenu des analyses / des travaux de recherche effectués et les résultats obtenus.....</b> | <b>39</b>  |
| 3.1 Aspects de la période propre fondamentale.....                                                                         | 39         |
| 3.2 Aspects du niveau des déplacements relatifs.....                                                                       | 41         |
| 3.3 Aspects des efforts tranchants et moments fléchissant de la base.....                                                  | 44         |
| 3.4 Aspect des efforts maximums dans les éléments.....                                                                     | 46         |
| 3.5 Systèmes de performance et des modèles de contreventement .....                                                        | 51         |
| 3.5.1 Ligne de résistance à quatre niveaux.....                                                                            | 51         |
| 3.5.2 Ligne de résistance à neuf niveaux.....                                                                              | 66         |
| 3.5.3 Ligne de résistance à quinze niveaux.....                                                                            | 68         |
| <b>CHAPITRE4 : Aspects de la verification des conclusion des modeles de calcul spatial (3D)...</b>                         | <b>76</b>  |
| 4.1. Sur le comportement global des bâtiments.....                                                                         | 76         |
| 4.2. Sur les murs porteurs en béton armé.....                                                                              | 98         |
| 4.3. conclusions .....                                                                                                     | 124        |
| <b>Chapitre 5: Présentation des conclusions.....</b>                                                                       | <b>126</b> |
| <b>Annexe.....</b>                                                                                                         | <b>129</b> |
| <b>Bibliographie.....</b>                                                                                                  | <b>132</b> |

Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques

## Préface

Cet ouvrage souhaite mettre en évidence par la méthode de l'étude comparative l'efficacité de certains systèmes de contreventement métalliques utilisés pour réduire les vulnérabilités sismiques pour les bâtiments existants ayant une structure duale en béton armé.

Ayant comme but la simplification des calculs, l'analyse a été réduite à l'étude du comportement de certaines lignes de résistance centrales correspondant aux certains bâtiments ayant la même distribution des éléments en plan, avec quatre, neuf et quinze niveaux.

Pour obtenir des caractéristiques des éléments, semblables aux celles des éléments des bâtiments existants, les structures ont été premièrement chargées avec des forces sismiques correspondant au code P13.

La deuxième étape a été l'application des structures dimensionnées antérieurement, des sollicitations sismiques en respectant le code P100-3:2019 (Code d'évaluation et conception des travaux de renforcement pour les bâtiments existants, vulnérables de point de vue sismique) et en corrélation avec le code P100-1:2013 (Des prescriptions de conception pour les bâtiments) obtenant ainsi les manques des structures existantes envers les exigences de ces normes.

On a voulu corriger ces manques de résistance et rigidité par l'introduction des systèmes de contreventement centrés, en forme de X. On a utilisé huit modèles de distribution des contreventements qui ont été introduits dans les structures avec quatre, neuf et quinze niveaux. On a deux types de systèmes de contreventements utilisés comme méthodes de renforcement : des contreventements directs, fixés dans les nœuds des cadres en béton armé et des contreventements indirects formés des cadres métalliques ayant des contreventements internes et externes.

Le rôle des parois est d'apporter de la rigidité à la structure, et pas de résistance parce que celles-ci sont considérées être conçues dans une période quand le dimensionnement ne prévoyait pas d'armature comme celle demandée aujourd'hui. Les bulbes des bouts des parois seront considérés des poteaux indépendants.

On a réalisé un calcul structurel dans le domaine linéaire élastique à l'aide du programme ETABS (Non linéaire Version 9.7.4. ; V18).

Les modèles structurels ont été analysés du point de vue du changement des propres caractéristiques par renforcement (la propre période fondamentale), du point de vue des déplacements relatifs de niveau et des efforts maximaux dans les éléments structurels.

On a analysé aussi les performances structurelles des lignes de résistance consolidées avec des systèmes de contreventements métalliques utilisant des sections de type double -T limitées de point de vue technico-économique.

Les lignes de résistance ont été soumises à des actions sismiques utilisant la méthode statique équivalente pour la zone sismique avec les caractéristiques la période de coin  $T_c=1,6s$  et l'accélération du terrain  $a_g=0,30g$ .

Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques

## CHAPITRE 1

### LA PRESENTATION DE L'ETUDE ACTUELLE DU PROBLEME ANALYSE EN ROUMANIE ET AU MONDE

#### 1.1. Regard général sur les documents liés au renforcement contre les actions sismiques

Au moment actuel on trouve dans la littérature de spécialité de nombreuses études théoriques et des tests expérimentaux sur les systèmes de renforcement des éléments structuraux ou des sous-structures. Les tests de laboratoire sont valables pour l'étude des techniques d'intervention, mais ils présentent des limitations dues aux difficultés pour reproduire correctement les conditions pour s'appuyer, pour quantifier l'effet de l'utilisation d'un modèle à une échelle plus petite, mais aussi pour introduire les défauts des bâtiments existants (des tolérances dans la construction, exécution défectueuse, la corrosion des barres d'armature mais aussi la détérioration du béton). Ces difficultés font de l'opportunité d'exécuter des tests qui supposent obtenir du collapsus pour les bâtiments existants une chance unique et irréversible pour améliorer les connaissances sur l'analyse et la conception des méthodes de renforcement, opportunité qui est apparue au cadre du projet ILVA-IDEM réalisé dans la localité Bagnoli, Napoli, Italie entre 2000-2005. (1)

Au niveau international il existe, en dessus des études et des tests, aussi des législations qui réglementent le renforcement des bâtiments existants, comme suit :

- FEMA 273-NEHRP Des lignes directrices pour la réhabilitation sismique des bâtiments
- Le projet du Code de la Nouvelle-Zélande NZDC-L 'évaluation et l'amélioration des performances structurelles à l'égard du risque au tremblement de terre des bâtiments
- Le rapport SERC-L' élaboration des lignes directrices pour l'évaluation de la résistance et de la performance des bâtiments existants et des recommandations pour les schémas de renforcements pour assurer la résistance au tremblement de terre
- UNIDO Vol. 4-L'évaluation de la résistance et des détériorations post-séisme des bâtiments dans des conditions sismiques
- Eurocode 8-Des prescriptions de conception pour la résistance au tremblement de terre. La partie 1-4 : Des règles générales pour le renforcement et la réparation des bâtiments

En Roumanie Eurocode 8 est transposé par l'intermédiaire de la norme « P100-3/Code d'évaluation et conception des travaux de renforcement pour les bâtiments existants, vulnérables de point de vue sismique ».

Le renforcement des structures aux actions sismiques peut être caractérisé par quelques pas importants. Comme premier pas pour le renforcement, on évaluera les caractéristiques de base et la capacité de résistance aux actions sismiques des bâtiments existants. Puis on décide les objectifs de performance et le niveau de hasard sismique correspondant.

On doit réaliser une évaluation détaillée des bâtiments existants pour déterminer la nature et la grandeur des déficits qui peuvent causer un comportement inadéquat aux actions sismiques. Cette évaluation aidera aussi à l'établissement de la nécessité des modifications locales ou globales. Le succès du renforcement dépend du choix de la technique de renforcement qui est déterminée par le matériel et le système structurel du bâtiment existant. Par la suite, la conception et l'analyse nécessite un haut degré d'expérience et finesse en comparaison à celui nécessaire pour la réalisation d'un nouveau bâtiment. Toutes les documentations sur le renforcement structurel contiennent des schémas généraux de réhabilitation, mais elles n'offrent pas de procédures et de détails spécifiques de conception. Cependant quelques-unes offrent des instructions pour les techniques communes de renforcement comme le chemisage, l'ajout des parois de cisaillement et des cadres de contreventement.

## Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques

### CHAPITRE 2

#### LA PRESENTATION DE LA METHODOLOGIE DES TRAVAUX

##### 2.1. Les caractéristiques initiales des structures étudiées

Les systèmes structurels des bâtiments existants ont sept ouvertures, sept travées de six mètres chacune et une distribution des éléments (des poutres, des poteaux et des parois en béton armé) en plan comme dans le schéma de la figure 2.1. La hauteur de niveau est de trois mètres.

On a choisi pour être étudiée la ligne de résistance correspondant à l'axe F, présentée en élévation dans la figure 2.2

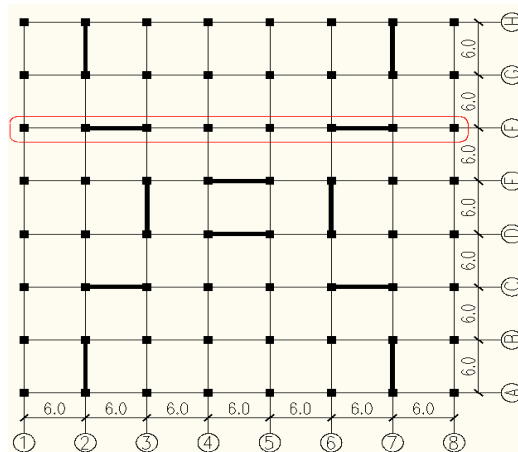


Fig.2.1 Le schéma de la distribution en plan des éléments structurels

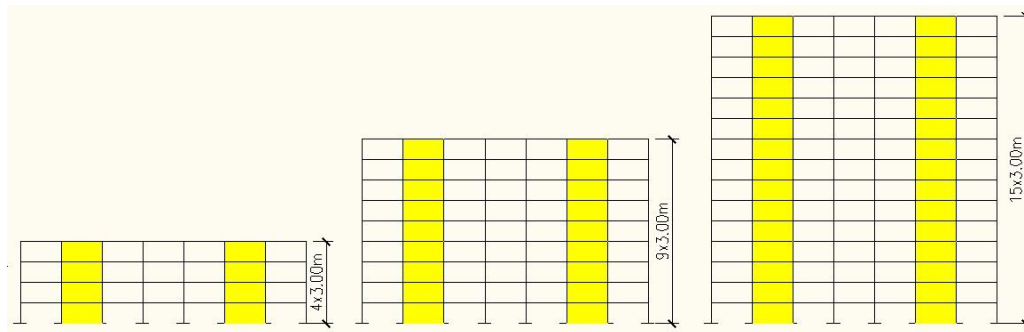


Fig.2.2 L'élévation de l'axe F pour la structure avec 4, 9 et 15 niveaux

Pour reconstituer les liaisons des lignes de résistance, comme si elles n'avaient pas été séparées au bâtiment, celles-ci ont été chargées de point de vue de la gravitation avec des charges

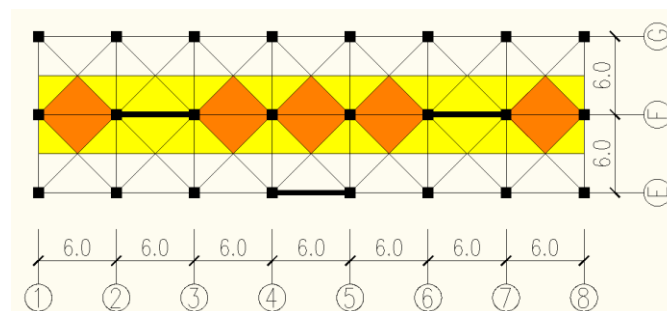


Figure 2.3 Vue du plan de charges gravitationnelles associé des éléments de ligne de résistance

## Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques

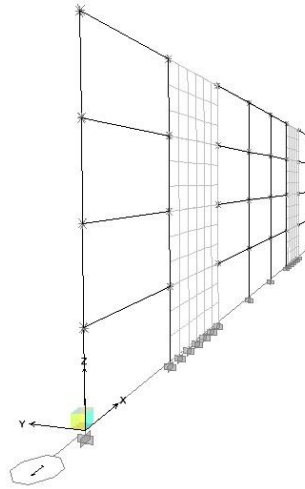


Figure 2.4 Ligne de résistance à structure sur 4 niveaux, vue 3D

L'évaluation des forces axiales qui correspondent à des montants et des poutres pour introduire la charge correspondante au programme ETABS:

Détermination de la force axiale  $N_1$  (poteaux marginaux):

|                      |        |         |          |
|----------------------|--------|---------|----------|
| Nr. bâtiment niveaux | 4      | 9       | 15       |
| $N_1^{total}$ (kN)   | 363,06 | 816,885 | 1361,475 |

Détermination de la force axiale  $N_2$  (parois):

|                      |         |         |         |
|----------------------|---------|---------|---------|
| Nr. bâtiment niveaux | 4       | 9       | 15      |
| $N_2^{total}$ (kN)   | 1818,36 | 4091,31 | 6818,85 |

Détermination de l'effort axial  $N_3$  poteaux centraux):

|                      |        |         |         |
|----------------------|--------|---------|---------|
| Nr. bâtiment niveaux | 4      | 9       | 15      |
| $N_3^{total}$ (kN)   | 636,12 | 1432,27 | 2385,45 |

les forces de compression axiale sur le niveau approprié d'éléments verticaux de la structure sont présentés sur la figure 2.5.

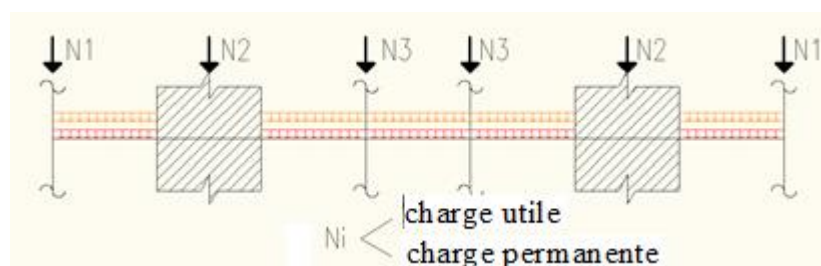


Fig.2.5 Forces axiales par niveau correspondant aux éléments verticaux

Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques

Tous les éléments de structure ont été pré-dimensionnés, conformément aux normes existant lors des codes de type P13, à la fois du point de vue des profilés en béton mais également en tant qu'armatures.

Le résultat était:

- Dans tous les bâtiments, les poutres sont de 25x60 cm;
- Pour les bâtiments à 4 niveaux - piliers de 50x50 cm;
- Pour les bâtiments à 9 niveaux - piliers de 80x80 cm;
- Pour les bâtiments de 15 niveaux - piliers de 100x100 cm;

Dimensionnement du mur:

- Pour le bâtiment à 4 niveaux, choisissez  $t = 15$  cm;
- Pour le bâtiment à 9 niveaux, choisissez  $t = 20$  cm;
- Pour le bâtiment à 15 niveaux, choisissez  $t = 25$  cm.

On considère que les cœurs des murs sont renforcés uniquement au dernier niveau et au rez-de-chaussée avec deux filets noués  $\phi 8 / 20/20$ , les cœurs aux niveaux intermédiaires ne sont pas pourvus de renfort.

Dimensionnement du ferrailage longitudinal en poutres:

- Bâtiment de 4 niveaux - 3  $\Phi 14$  vers le bas et 3  $\Phi 18$  vers le haut
- Bâtiment de 9 niveaux - 3  $\Phi 14$  vers le bas et 3  $\Phi 18$  vers le haut
- Bâtiment de 15 niveaux - 3  $\Phi 14$  vers le bas et 3  $\Phi 20$  vers le haut

Dimensionnement du ferrailage longitudinal en poteaux:

- Bâtiment de 4 étages - 8  $\Phi 22$
- Bâtiment de 9 niveaux - 8  $\Phi 25 + 4 \Phi 28$
- Bâtiment de 15 niveaux - 16  $\Phi 30$

Les moments capables pour tous les éléments des structures ont été déterminés. La figure suivante montre les moments de flexion maximum et les moments capables dans les poutres et les piliers des structures existantes.

### Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques

|         | Bâtiment avec: | 4 niveaux | 9 niveaux | 15 niveaux |
|---------|----------------|-----------|-----------|------------|
| poutres | Med+,max       | 67.44     | 57.26     | 69.07      |
|         | Mrd+           | 74.81     | 74.81     | 74.81      |
|         | Med-,max       | 87.94     | 92.86     | 137.93     |
|         | Mrd-           | 123.67    | 123.67    | 152.7      |
| poteaux | Med,max        | 8.34      | 58.64     | 272.34     |
|         | Mrd            | 435       | 1331.6    | 3371.9     |

Figure 2.6 Moments maximum réels et moments capables dans les poutres et les poteaux pour les structures existantes soumises à une action sismique, représentées par

Les sections des poteaux et des poutres et leurs armatures sont illustrées à la figure 2.7.

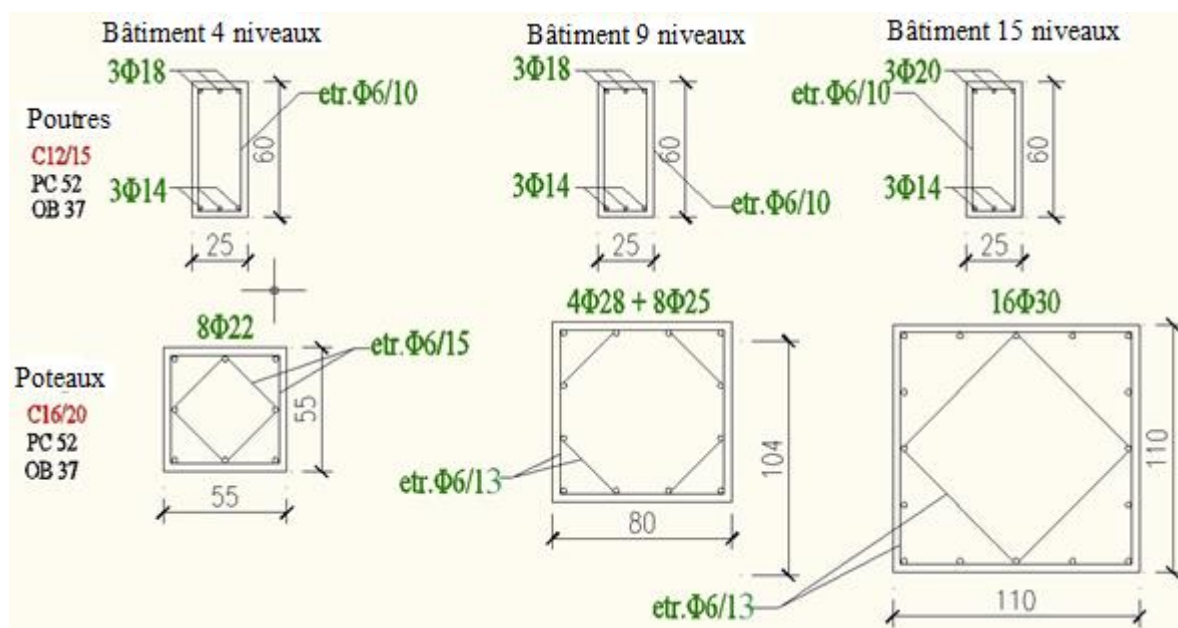


Figure 2.7 les dimensions des éléments du bâtiment existant

## 2.2. Application de contraintes sismiques P100 sur les lignes de résistance

Les structures dimensionnées seront nécessaires aux charges sismiques en fonction des besoins actuels. La force sismique statique équivalente est calculée avec l'expression de P100-1: 2013.

$$c_b = \frac{1 \times 2,50 \times 0,30 \times 0,85}{2,5} = 0,255$$

La période propre fondamentale de la ligne de résistance à 4 niveaux est  $T_1 = 0,1668 \text{ sec}$

La période propre fondamentale de la ligne de résistance à 9 niveaux est  $T_1 = 0,4597 \text{ sec}$

La période propre fondamentale de la ligne de résistance à 15 niveaux est  $T_1 = 0,9027 \text{ sec}$

Les déplacements de niveau relatifs (story drifts) et les efforts tranchants ont été modifiés en appliquant les forces sismiques avec le coefficient de base  $c_b$  4,5 fois supérieur à celui correspondant à la norme P13, selon les tableaux suivants.

Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques

**Table 2.1** Déplacements relatifs de niveau pour les lignes de résistance sismique représentées par les coefficients de base  $c_b = 0,05$ ; respectivement  $c_b = 0,255$

| Déplacement relatifs de niveau<br>La structure à 4 niveaux |             | Déplacement relatifs de niveau<br>La structure à 9 niveaux |             | Déplacement relatifs de niveau<br>La structure à 15 niveaux |             | Numéro de niveau |
|------------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------------------------------------------|-------------|------------------|
| $c_b=0,05$                                                 | $c_b=0,255$ | $c_b=0,05$                                                 | $c_b=0,255$ | $c_b=0,05$                                                  | $c_b=0,255$ |                  |
| 0.0000344                                                  | 0.000154    | 0.000071                                                   | 0.000318    | 0.000105                                                    | 0.000473    | 1                |
| 0.0000496                                                  | 0.000223    | 0.000128                                                   | 0.000575    | 0.000215                                                    | 0.000961    | 2                |
| 0.0000544                                                  | 0.000244    | 0.000170                                                   | 0.000763    | 0.000299                                                    | 0.001339    | 3                |
| 0.0000539                                                  | 0.000242    | 0.000200                                                   | 0.000898    | 0.000370                                                    | 0.001659    | 4                |
|                                                            |             | 0.000220                                                   | 0.000986    | 0.000430                                                    | 0.001926    | 5                |
|                                                            |             | 0.000230                                                   | 0.001032    | 0.000478                                                    | 0.002141    | 6                |
|                                                            |             | 0.000233                                                   | 0.001044    | 0.000515                                                    | 0.002309    | 7                |
|                                                            |             | 0.000233                                                   | 0.001041    | 0.000543                                                    | 0.002432    | 8                |
|                                                            |             | 0.000229                                                   | 0.001020    | 0.000562                                                    | 0.002517    | 9                |
|                                                            |             |                                                            |             | 0.000573                                                    | 0.002566    | 10               |
|                                                            |             |                                                            |             | 0.000577                                                    | 0.002585    | 11               |
|                                                            |             |                                                            |             | 0.000577                                                    | 0.002586    | 12               |
|                                                            |             |                                                            |             | 0.000575                                                    | 0.002574    | 13               |
|                                                            |             |                                                            |             | 0.000569                                                    | 0.002547    | 14               |
|                                                            |             |                                                            |             | 0.000560                                                    | 0.002506    | 15               |

**Table 2.2** Les efforts tranchants de niveau pour les lignes de résistance sismique représentées par les coefficients de base  $c_b = 0,05$ ; respectivement  $c_b = 0,255$

| L'effort tranchant de niveau<br>La structure à 4 niveaux |             | L'effort tranchant de niveau<br>La structure à 9 niveaux |             | L'effort tranchant de niveau<br>La structure à 15 niveaux |             | Numéro de niveau |
|----------------------------------------------------------|-------------|----------------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------------|-------------|------------------|
| $c_b=0,05$                                               | $c_b=0,255$ | $c_b=0,05$                                               | $c_b=0,255$ | $c_b=0,05$                                                | $c_b=0,255$ |                  |
| 487.76                                                   | 2185.18     | 1209.59                                                  | 5418.98     | 2300.06                                                   | 10304.26    | 1                |
| 437.7                                                    | 1960.94     | 1182.14                                                  | 5296.01     | 2280.52                                                   | 10216.71    | 2                |
| 337.6                                                    | 1512.45     | 1127.25                                                  | 5050.06     | 2241.43                                                   | 10041.62    | 3                |
| 187.43                                                   | 839.71      | 1044.9                                                   | 4681.15     | 2182.81                                                   | 9778.97     | 4                |
|                                                          |             | 935.1                                                    | 4189.26     | 2104.64                                                   | 9428.78     | 5                |
|                                                          |             | 797.86                                                   | 3574.4      | 2006.93                                                   | 8991.04     | 6                |
|                                                          |             | 633.16                                                   | 2836.56     | 1889.68                                                   | 8465.75     | 7                |
|                                                          |             | 441.02                                                   | 1975.76     | 1752.88                                                   | 7852.91     | 8                |
|                                                          |             | 221.42                                                   | 991.98      | 1596.55                                                   | 7152.52     | 9                |
|                                                          |             |                                                          |             | 1420.67                                                   | 6364.59     | 10               |
|                                                          |             |                                                          |             | 1225.25                                                   | 5489.11     | 11               |
|                                                          |             |                                                          |             | 1010.28                                                   | 4526.08     | 12               |
|                                                          |             |                                                          |             | 775.78                                                    | 3475.5      | 13               |
|                                                          |             |                                                          |             | 521.73                                                    | 2337.37     | 14               |
|                                                          |             |                                                          |             | 248.15                                                    | 1111.69     | 15               |

Les valeurs de déplacement relatifs et de l'effort tranchant de niveau et de manière multiplicative pour la structure avec  $c_b = 0,255$  avec des valeurs approximativement égales à 4,5.

La différence entre les moments effectifs et les moments capables conformément aux nouvelles exigences est mis en évidence dans le tableau 2.3.

### Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques

**Table 2.3** Les moments effectifs maximaux et capables correspondant aux charges sismiques représentées par les coefficients sismiques  $cb = 0,05$  et  $cb = 0,255$ , des éléments de la structure

| Les elements | coefficient de base | Momente capable et effectifs | valeurs Structure à 4 niveaux | valeurs Structure à 9 niveaux | valeurs Structure à 15 niveaux |
|--------------|---------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| poutres      | cb=0,05             | Mrd+                         | 74.81                         | 74.81                         | 74.81                          |
|              | cb=0,255            | Med+,max                     | 67.44                         | 99                            | 297                            |
|              | cb=0,05             | Mrd-                         | 123.67                        | 123.67                        | 152.7                          |
|              | cb=0,255            | Med-,max                     | 87.94                         | 186                           | 367                            |
| poteaux      | cb=0,05             | Mrd                          | 435                           | 1331.6                        | 3371.9                         |
|              | cb=0,255            | Med,max                      | 68                            | 427                           | 1673                           |

La différence entre les efforts tranchants capables et les efforts tranchants effectifs conformément aux nouvelles exigences est mis en évidence dans le tableau 2.4.

**Table 2.4** Les efforts tranchants effectifs maximaux et capables correspondant aux charges sismiques représentées par les coefficients sismiques  $cb = 0,05$  et  $cb = 0,255$ , des éléments de la structure

| Les elements | coefficient de base | efforts tranchant capable et effectif | valeurs Structure à 4 niveaux | valeurs Structure à 9 niveaux | valeurs Structure à 15 niveaux |
|--------------|---------------------|---------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| poutres      | cb=0.05             | Vrd                                   | 121                           | 121                           | 121                            |
|              | cb=0.255            | Ved,max                               | 103                           | 118                           | 200                            |
| poteaux      | cb=0.05             | Vrd                                   | 125                           | 126                           | 298                            |
|              | cb=0.255            | Ved,max                               | 79                            | 427                           | 923                            |

L'analyse de tableaux que la résistance de ligne associée aux bâtiments de quatre niveaux, les exigences de la nouvelle demande sont couvertes par les résistances des éléments.

Les lignes de résistance liées aux deux autres bâtiments, qu'en raison de la hauteur, les contraintes sismiques produisent des contraintes plus importantes que celles correspondant aux charges gravitationnelles, l'élasticité des éléments est dépassée. des résistances de nœuds sont dépassées pour toutes les lignes de résistance. Une augmentation de l'effort tranchant de 4,5 fois la valeur de base, a été distribuée dans les éléments de structure par 2-3 fois plus élevé par rapport au départ pour les moments fléchissant et les efforts tranchants dans les poutres et poteaux, et jusqu'à 8 ou pour des moments fléchissant dans les poteaux. En termes des déplacements relatifs du niveau, bien plus élevé, est encore en dessous des valeurs admissibles. Leurs valeurs sont indiquées dans les tableaux ci-dessous.

**Table 2.5** Les déplacements relatifs du niveau dans le calcul élastique et de l'état limite ultime pour les lignes de résistance à l'action par une force sismique représentées par  $cb = 0,255$

| déplacements relatifs du niveau<br>Structure à 4 niveaux |          | déplacements relatifs du niveau<br>Structure à 9 niveaux |          | déplacements relatifs du niveau<br>Structure à 15 niveaux |         | DrAdm |
|----------------------------------------------------------|----------|----------------------------------------------------------|----------|-----------------------------------------------------------|---------|-------|
| Depl.rel.niv                                             | DELU     | Depl.rel.niv                                             | DELU     | Depl.rel.niv                                              | DELU    |       |
| 0.000154                                                 | 0.00077  | 0.000318                                                 | 0.00159  | 0.000473                                                  | 0.00196 | 0.025 |
| 0.000223                                                 | 0.001115 | 0.000575                                                 | 0.002875 | 0.000961                                                  | 0.00398 | 0.025 |
| 0.000244                                                 | 0.00122  | 0.000763                                                 | 0.003815 | 0.001339                                                  | 0.00554 | 0.025 |
| 0.000242                                                 | 0.00121  | 0.000898                                                 | 0.00449  | 0.001659                                                  | 0.00687 | 0.025 |
|                                                          |          | 0.000986                                                 | 0.00493  | 0.001926                                                  | 0.00797 | 0.025 |
|                                                          |          | 0.001032                                                 | 0.00516  | 0.002141                                                  | 0.00886 | 0.025 |
|                                                          |          | 0.001044                                                 | 0.00522  | 0.002309                                                  | 0.00956 | 0.025 |
|                                                          |          | 0.001041                                                 | 0.005205 | 0.002432                                                  | 0.01007 | 0.025 |
|                                                          |          | 0.001020                                                 | 0.0051   | 0.002517                                                  | 0.01042 | 0.025 |
|                                                          |          |                                                          |          | 0.002566                                                  | 0.01062 | 0.025 |
|                                                          |          |                                                          |          | 0.002585                                                  | 0.0107  | 0.025 |
|                                                          |          |                                                          |          | 0.002586                                                  | 0.01071 | 0.025 |
|                                                          |          |                                                          |          | 0.002574                                                  | 0.01066 | 0.025 |
|                                                          |          |                                                          |          | 0.002547                                                  | 0.01054 | 0.025 |
|                                                          |          |                                                          |          | 0.002506                                                  | 0.01037 | 0.025 |

### Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques

**Table 2.6** Les déplacements relatifs du niveau dans le calcul élastique et de l'état limite de service pour les lignes de résistance à l'action par une force sismique représentées par  $c_b = 0,224$

| déplacements relatifs du niveau<br>Structure à 4 niveaux |          | déplacements relatifs du niveau<br>Structure à 9 niveaux |          | déplacements relatifs du niveau<br>Structure à 15 niveaux |          | DrAdm |
|----------------------------------------------------------|----------|----------------------------------------------------------|----------|-----------------------------------------------------------|----------|-------|
| Depl.rel.niv.                                            | DELS     | Depl.rel.niv.                                            | DELS     | Depl.rel.niv.                                             | DELS     |       |
| 0.000154                                                 | 0.000219 | 0.000318                                                 | 0.000932 | 0.000473                                                  | 0.002315 | 0.008 |
| 0.000223                                                 | 0.00022  | 0.000575                                                 | 0.000951 | 0.000961                                                  | 0.002352 | 0.008 |
| 0.000244                                                 | 0.000202 | 0.000763                                                 | 0.000953 | 0.001339                                                  | 0.002378 | 0.008 |
| 0.000242                                                 | 0.00014  | 0.000898                                                 | 0.000943 | 0.001659                                                  | 0.002389 | 0.008 |
|                                                          |          | 0.000986                                                 | 0.0009   | 0.001926                                                  | 0.002389 | 0.008 |
|                                                          |          | 0.001032                                                 | 0.00082  | 0.002141                                                  | 0.002371 | 0.008 |
|                                                          |          | 0.001044                                                 | 0.000697 | 0.002309                                                  | 0.002325 | 0.008 |
|                                                          |          | 0.001041                                                 | 0.000526 | 0.002432                                                  | 0.002248 | 0.008 |
|                                                          |          | 0.001020                                                 | 0.000291 | 0.002517                                                  | 0.002134 | 0.008 |
|                                                          |          |                                                          |          | 0.002566                                                  | 0.001979 | 0.008 |
|                                                          |          |                                                          |          | 0.002585                                                  | 0.00178  | 0.008 |
|                                                          |          |                                                          |          | 0.002586                                                  | 0.001534 | 0.008 |
|                                                          |          |                                                          |          | 0.002574                                                  | 0.001238 | 0.008 |
|                                                          |          |                                                          |          | 0.002547                                                  | 0.000889 | 0.008 |
|                                                          |          |                                                          |          | 0.002506                                                  | 0.000437 | 0.008 |

### 2.3. Renforcement avec les systèmes de contreventement métalliques:

Il ressort de l'analyse faite dans le sous-chapitre précédent que les lignes de résistance présentent un déficit de résistance et ne nécessitent pas nécessairement l'amélioration de la rigidité. Le renforcement de la ligne de résistance associée au bâtiment à quatre niveaux est justifié par l'obtention d'une charge moindre sur les nœuds, de sorte que leur résistance soit suffisante.

Le renforcement de la ligne de résistance associée aux bâtiments neuf et quinze niveaux se justifie d'une part par la faiblesse de leur résistance et d'autre part par une amélioration de leur rigidité, car la réduction des déformations implique également un risque des dommages.

La réhabilitation a été réalisée par trois types de systèmes de contreventement. La première fois a été utilisé directement système de contreventement, le transfert se fait par les efforts de nœuds cadres renforcés par des diagonales en acier (ci-après le système). Ensuite, utilisé indirectement système de contreventement, qui est de deux types, internes et externes. Dans ces cas, le transfert des efforts est effectué par le contact entre les éléments horizontaux et verticaux du béton et du métal. Système de renforcement interne est représenté par un cadre d'entretoisement métallique placé à l'intérieur du cadre en béton armé (Système b). Système de contreventement extérieur est réalisé en fixant un cadre tendue sur le cadre en béton armé (Système C).

Les trois types de systèmes de contreventement sont représentés schématiquement sur les figures suivantes.

Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques

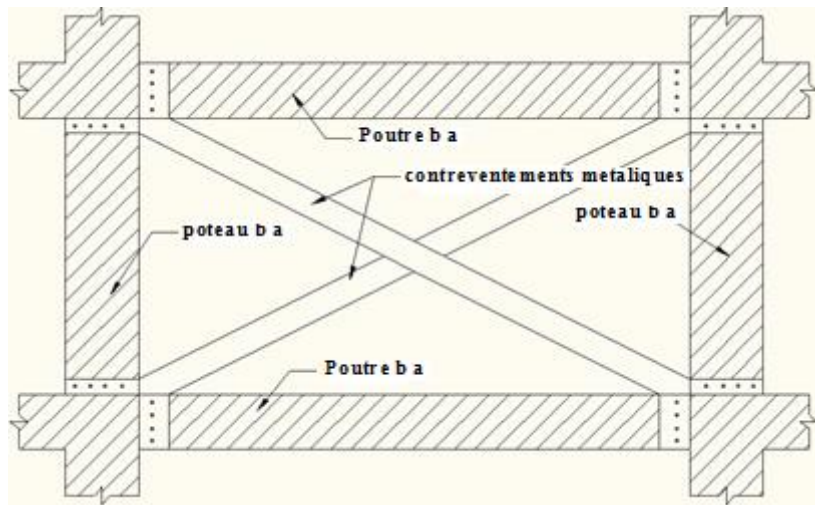


Figure 2.8 Schéma du "a" système de contreventement

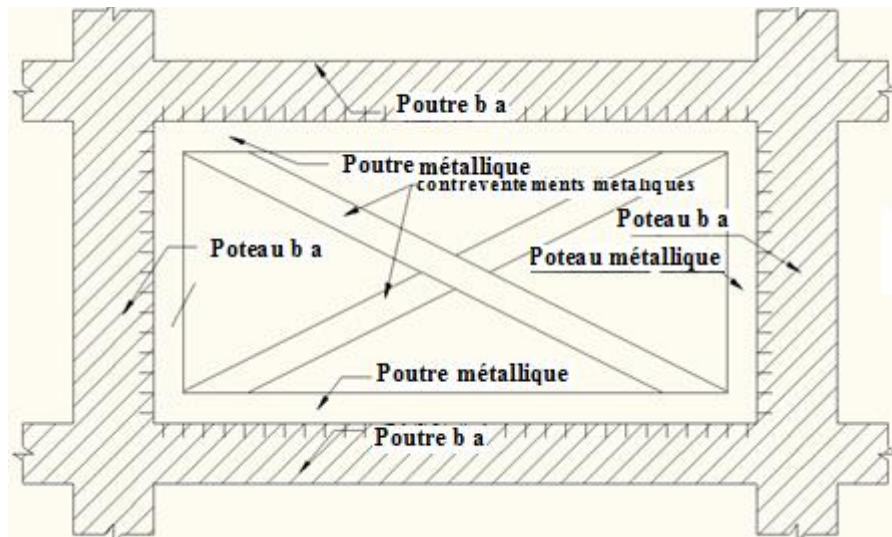


Figure 2.9 Schéma du "b" système de contreventement

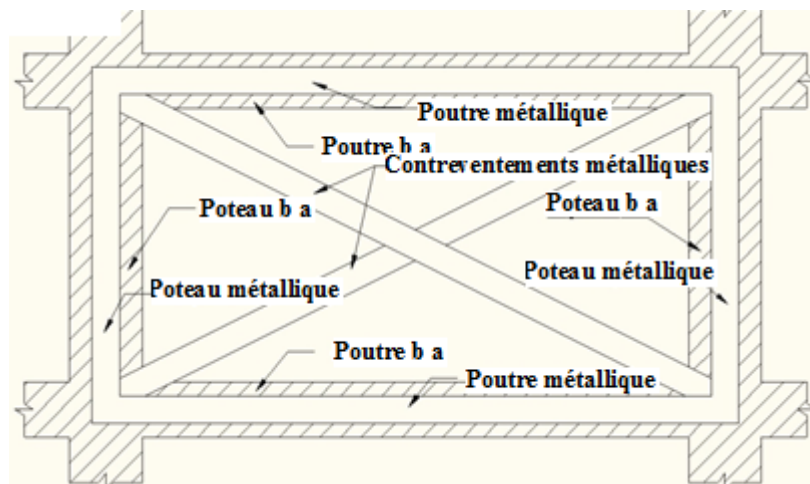


Figure 2.10 Schéma du "b" système de contreventement

Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques

Il y avait huit modèles impliqués contreventement systèmes pour chacun des trois types de contreventement.

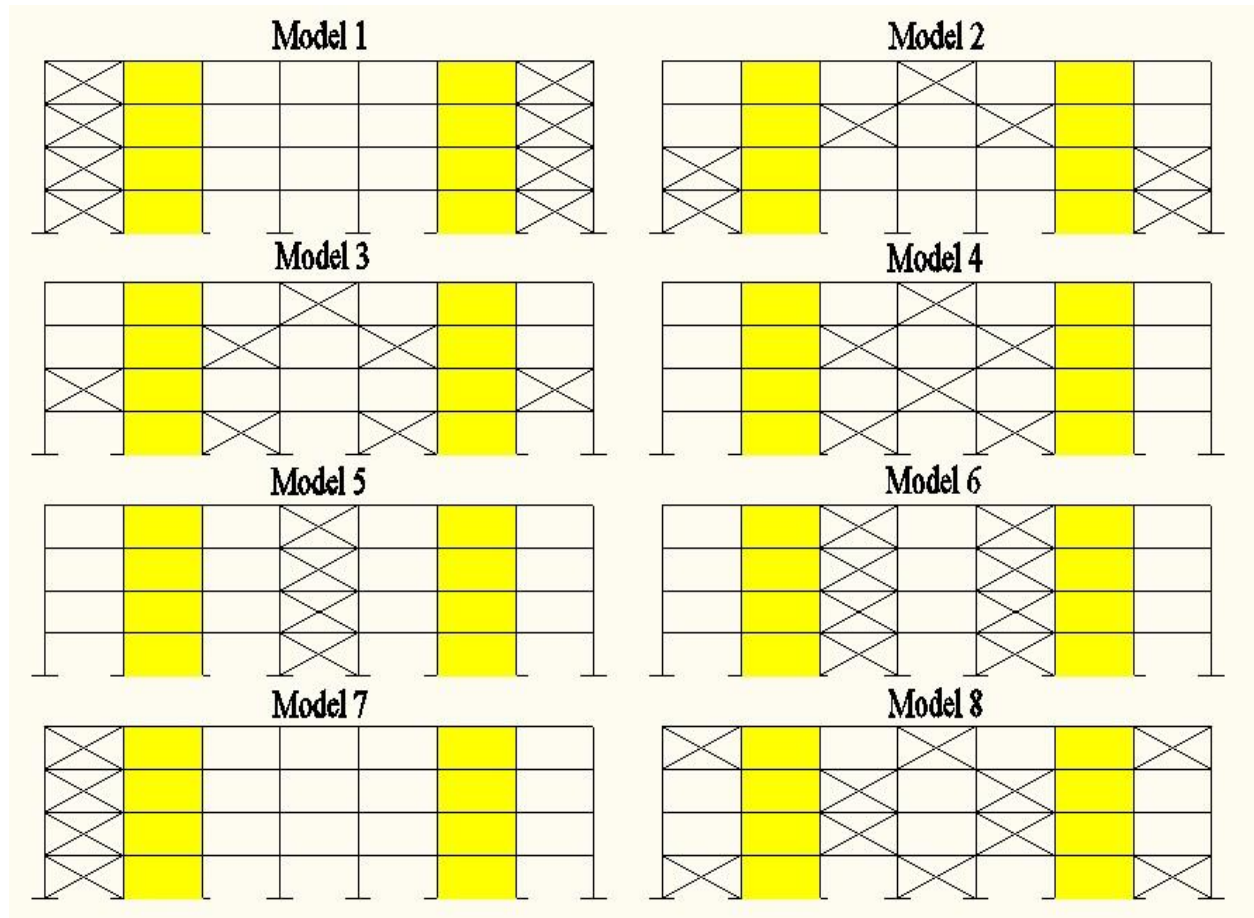


Figure 2.11 Modèles emplacement de contreventements en élévation

Le même emplacement est répété pour les niveaux supérieurs des lignes de résistance à neuf et quinze niveaux.

A noter que le nombre de cadre entretoises pour serrer l'élévation d'une résistance de ligne varie d'un modèle à l'autre.

Modèle 1 - nombre des entretoises: 8;

Modèle 2 - nombre des entretoises: 7;

Modèle 3 - nombre des entretoises: 7;

Modèle 4 - nombre des entretoises: 6;

Modèle 5 - nombre des entretoises: 4;

Modèle 6 - nombre des entretoises: 8;

Modèle 7 - nombre des entretoises: 4;

Modèle 8 - nombre des entretoises: 10;

## Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques

### CHAPITRE 3

#### PRESENTATION DE L'ANALYSE DE CONTENU/TRAVAUX DE RECHERCHE EFFECTUES ET LES RESULTATS OBTENU

##### 3.1 Aspects de la période propre fondamentale

Les caractéristiques de la structure et le mode de transmission des efforts est modifié par adjonction des entretoises métalliques. Dans le cas de l'activité sismique en Roumanie, il est avantageux de disposer d'une petite période propre de la structure, aussi éloignée des périodes de coin ( $T_c = 1,6s$ ;  $T_c = 1s$ ) des spectres de réponse dans les zones où les valeurs maximales de l'accélération du sol sont élevées.

Système

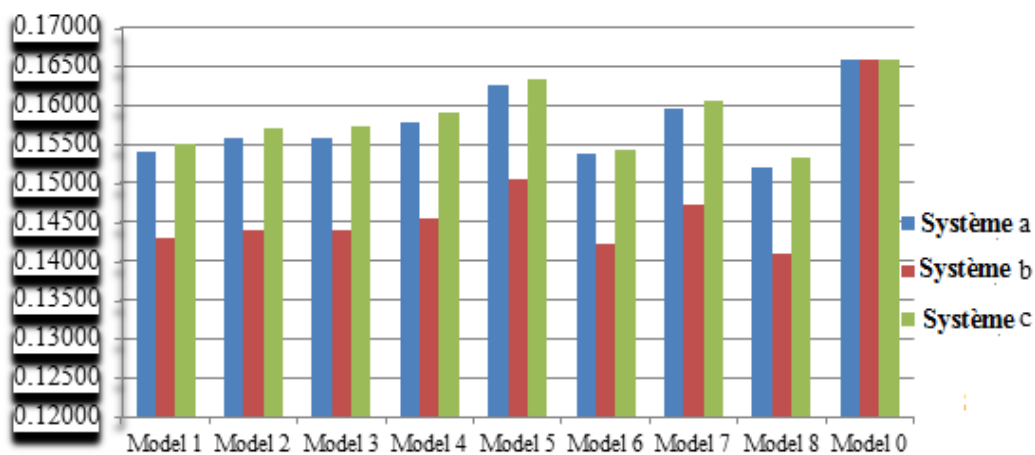


Figure 3.1 La période propres fondamentales T1 avec 9 niveaux de résistance par la section HE180A système de contreventement, exprimé en secondes

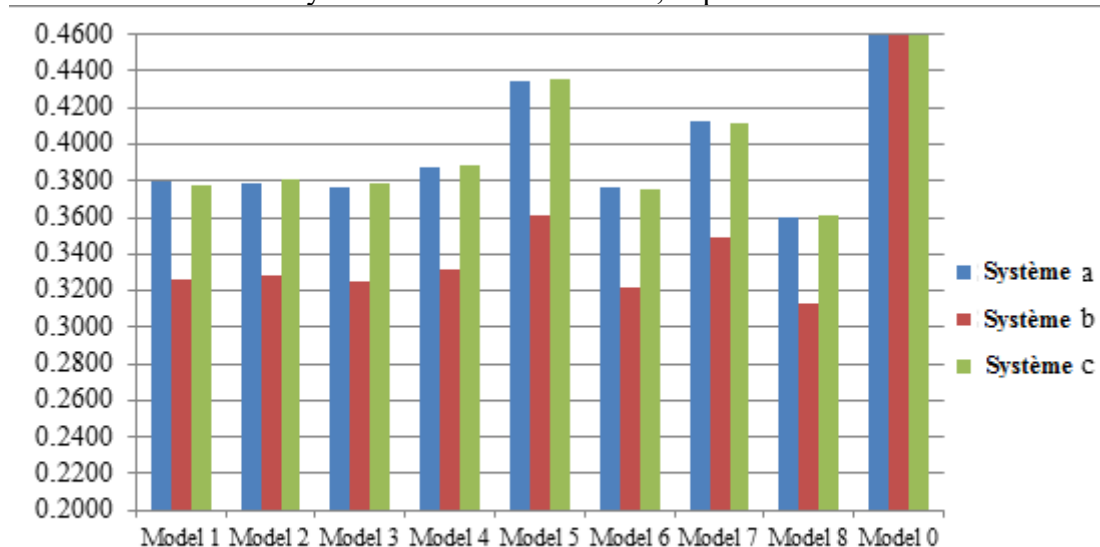


Figure 3.2 La période propres fondamentales T1 avec 4 niveaux de résistance par la section HE180A système de contreventement, exprimé en secondes

### Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques

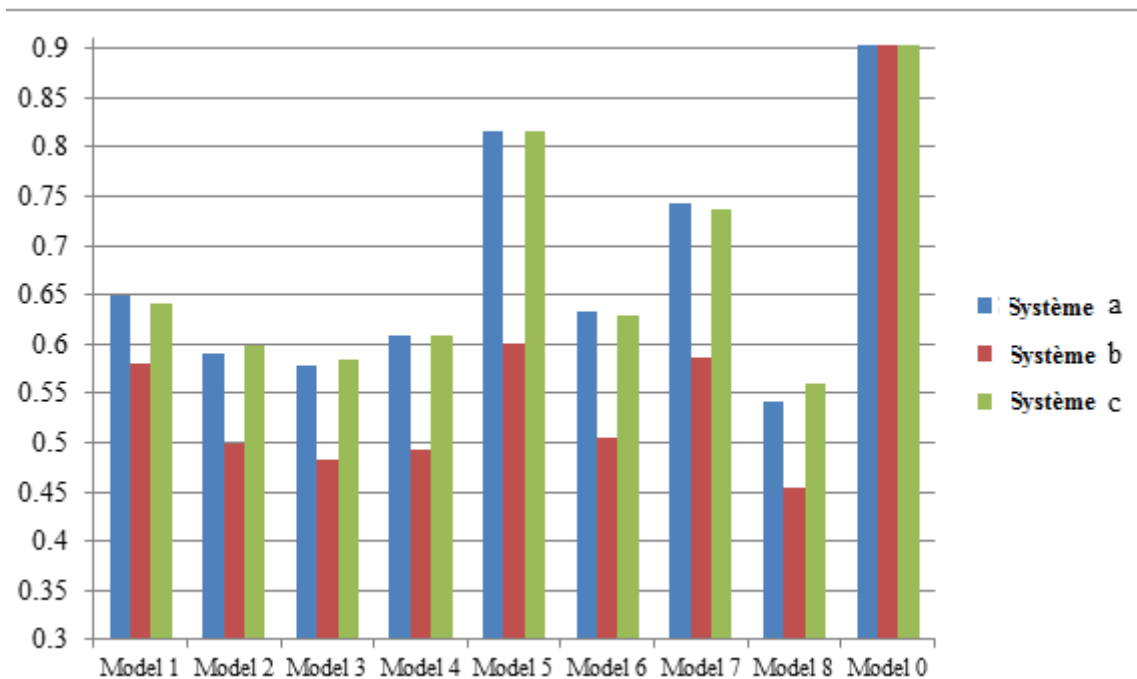


Figure 3.3 La période propres fondamentales T1 avec 15 niveaux de résistance par la section HE300A système de contreventement, exprimé en secondes

La ligne de résistance associée à la structure à 4 niveaux avant consolidation est caractérisée par une période propre fondamentale de 0,1658 s. Renforcé avec système de contreventement directement (système a) décroît fondamentales propres de la période de 2..8%. En consolidant le système de renforcement interne indirectement système (b) la réduction de la période fondamentale est 9..15% et, indirectement, avec le système de contreventement extérieur (System c) 2..7% pour la section HE120A.

La ligne de résistance associée à la structure à 9 niveaux avant consolidation est caractérisée par une période propre fondamentale de 0,4597sec. Renforcé avec système de contreventement directement (système a) décroît fondamentales propres de la période de 5..22%. En consolidant le système de renforcement interne indirectement système (b) la réduction de la période fondamentale est 21..32%, indirectement, avec le système de contreventement extérieur (System c) 5..22% Pour la section HE180A.

La ligne de résistance associée à la structure à 15 niveaux avant consolidation est caractérisée par une période propre fondamentale de 0,9027sec. Renforcé avec système de contreventement directement (système a) décroît fondamentales propres de la période de 10..40%. En consolidant le système de renforcement interne indirectement système (b) la réduction de la période fondamentale est 34..50%, indirectement, avec le système de contreventement extérieur (System c) 10..38% pour la section HE300A.

Cependant, les graphiques résultants le système « b » de contreventement qui est plus efficace dans la réduction de la période fondamentale que les deux autres systèmes dont les influences produire des résultats similaires.

La réduction de la période fondamentale est augmentée lorsque le nombre d'augmentations des niveaux. En utilisant modèle 8 règlement des cadres contreventements est réalisée la plus grande

### Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques

réduction de la période fondamentale. Les réductions les plus faibles sont obtenues par consolidation selon les modèles 5 et 7.

**Table 3.1** Classement des types de modèles d'emplacement des systèmes de contreventement en ce qui concerne l'efficacité dans la réduction de la période fondamentale propre des structures

|   | Structure à 4 niveaux | Structure à 9 niveaux | Structure à 15 niveaux | classement |
|---|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------|
| 1 | Model 8               | Model 8               | Model 8                | Model 8    |
| 2 | Model 6               | Model 6               | Model 3                | Model 6    |
| 3 | Model 1               | Model 1;2;3           | Model 2;4              | Model 3    |
| 4 | Model 2;3             | Model 1;2;3           | Model 4;2              | Model 2    |
| 5 | Model 2;3             | Model 1;2;3           | Model 1                | Model 1    |
| 6 | Model 4               | Model 4               | Model 6                | Model 4    |
| 7 | Model 7               | Model 7               | Model 7                | Model 7    |
| 8 | Model 5               | Model 5               | Model 5                | Model 5    |

### 3.2 Aspects du niveau des déplacements relatifs

Dans ce sous-chapitre, nous analyserons dans quelle mesure les déplacements de niveau relatifs sont réduits grâce au renforcement avec des entretoises métalliques. Une structure flexible et une bonne ductilité permet l'aspect de grandes déformations structurelles, ce qui favorise le travail des éléments dans le domaine non linéaire et la survenue de déformations restes dans la structure à la suite de mouvements sismiques. Idéalement, une structure rigide fonctionnera dans le domaine élastique lors d'un mouvement sismique, ce qui réduira le besoin de réparations des composants endommagés à la suite des tremblements de terre. Il est également nécessaire de renforcer les structures existantes car leur ductilité est généralement faible. Sur la base de ces considérations, il permet de suivre les modèles et les systèmes de contreventement plus efficaces pour réduire le niveau des déplacements relatifs. Il sera ensuite rechercher et comparer les déplacements relatifs élastiques des niveaux maximum des étages de lignes de résistance pour chaque modèle du système et l'emplacement contreventement. Les déplacements de niveau relatifs correspondant aux ELU et ELS sont inférieurs aux valeurs admissibles pour chaque cas.

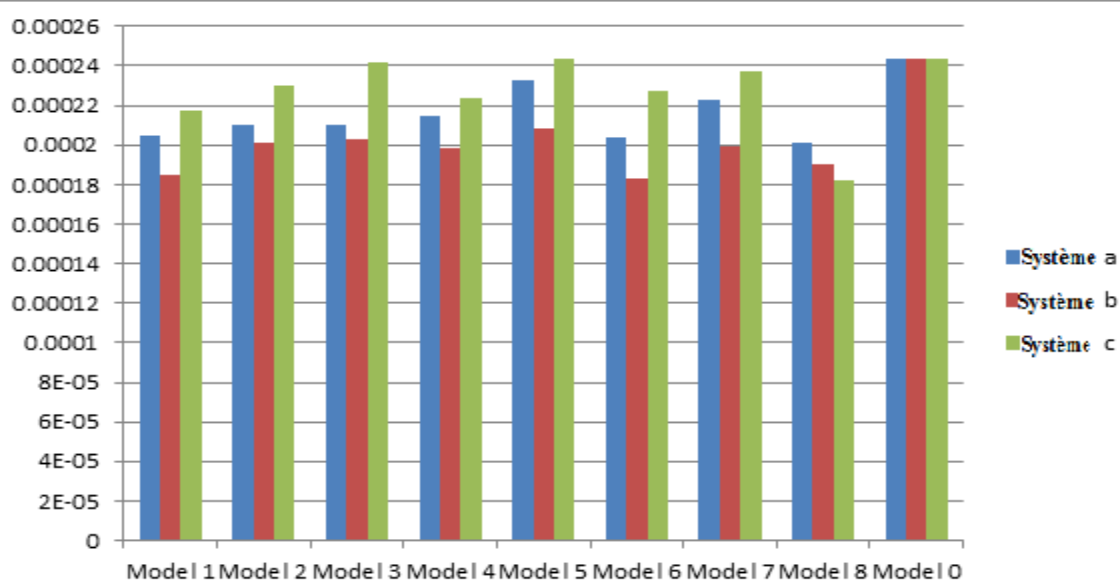


Figure 3.4 Le déplacement relatif élastique du niveau de la ligne de résistance en 4 niveaux en fonction de système de contreventement sur la section HE120A

### Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques

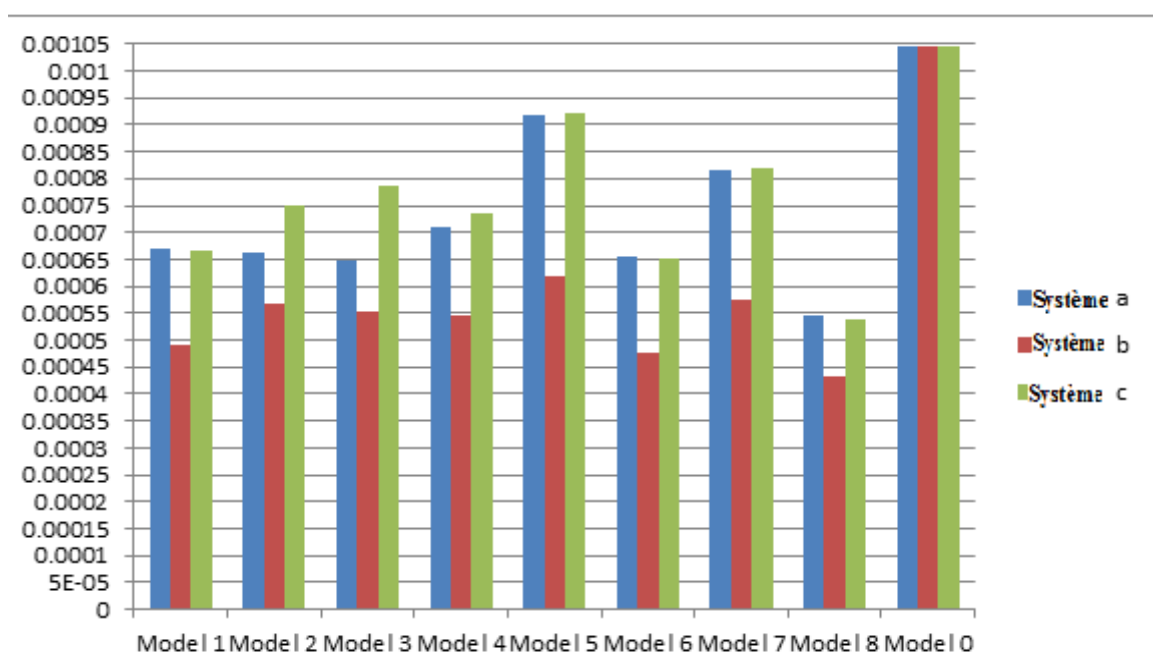


Figure 3.5 Le déplacement relatif élastique du niveau de la ligne de résistance en 9 niveaux en fonction de système de contreventement sur la section HE180A

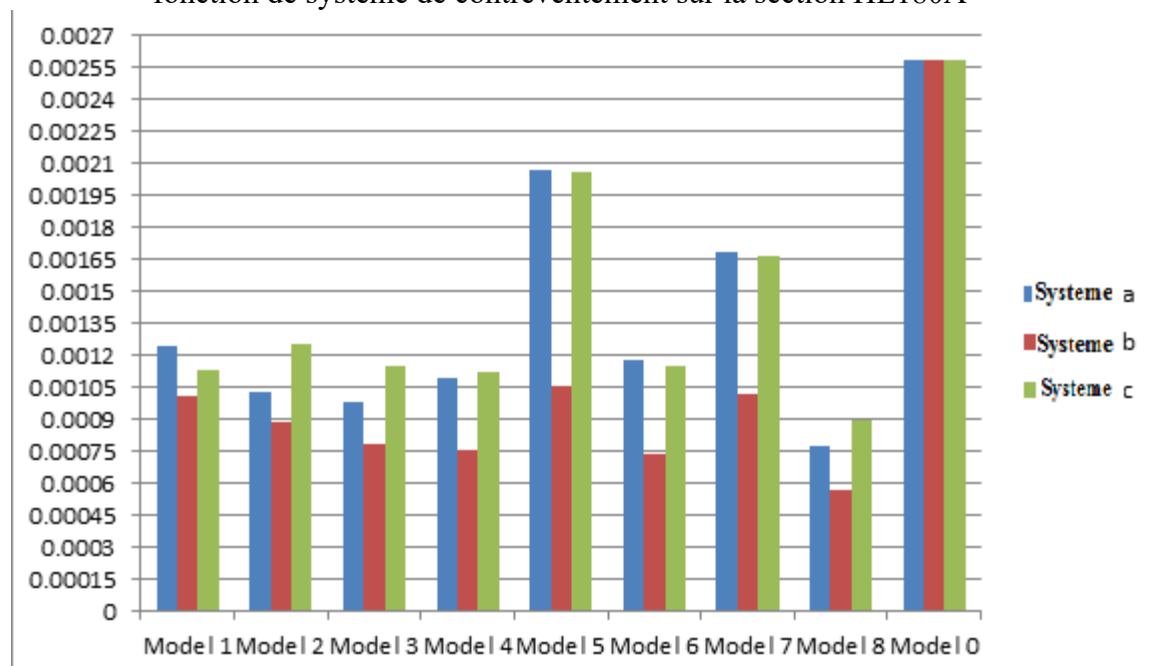


Figure 3.6 Le déplacement relatif élastique du niveau de la ligne de résistance en 15niveaux en fonction de système de contreventement sur la section HE300A

La ligne de résistance associée à la structure à 4 niveaux avant la consolidation présente le déplacement élastique relatif maximal est égal à 0,000244%. Amélioré directement au système de contreventement (système a), le déplacement relatif élastique maximal diminue avec 5..18%. En consolidant avec le système de renforcement interne indirect (Système b) la réduction du drift maximale est 15..25%, et indirectement le système de contreventement extérieur (Système c) avec 0..15%.

### Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques

La ligne de résistance associée à la structure à 9 niveaux avant la consolidation présente le déplacement élastique relatif maximal est égal à 0,001044. Amélioré directement au système de contreventement (système a), le déplacement relatif élastique maximal diminue avec 12..43%. En consolidant avec le système de renforcement interne indirect (Système b) la réduction du drift maximale est 40..55%, et indirectement le système de contreventement extérieur (Système c) avec 12..42%.

La ligne de résistance associée à la structure à 15 niveaux avant la consolidation présente le déplacement élastique relatif maximal est égal à 0,002586%. Amélioré directement au système de contreventement (système a), le déplacement relatif élastique maximal diminue avec 20..68%. En consolidant avec le système de renforcement interne indirect (Système b) la réduction du drift maximale est 60..75%, et indirectement le système de contreventement extérieur (Système c) avec 12..42%.

Cependant, les graphiques résultants le système b de contreventement qui est plus efficace dans la réduction du drift que les deux autres systèmes dont les influences produire des résultats similaires.

Classement des modèles d'emplacement de contreventement selon la réduction de capacité drift d'est représentée dans le tableau suivant

**Table 3.2** Classement des types de modèles d'emplacement des systèmes de contreventement en ce qui concerne l'efficacité dans la réduction de déplacement relatif du niveau des structures.

|   | Structure à 4 niveaux | Structure à 9 niveaux | Structure à 15 niveaux | classement  |
|---|-----------------------|-----------------------|------------------------|-------------|
| 1 | le modèle 8,6         | le modèle 8,6         | le modèle 8            | le modèle 8 |
| 2 | le modèle 1,6         | le modèle 1,3,6       | le modèle 3,4,6        | le modèle 6 |
| 3 | le modèle 1,4,8       | le modèle 1,6,8       | le modèle 1,2,4        | le modèle 1 |
| 4 | le modèle 2,3,4,6     | le modèle 4,2         | le modèle 3,4          | le modèle 3 |
| 5 | le modèle 2,3,7       | le modèle 1,2,3       | le modèle 2,6          | le modèle 4 |
| 6 | le modèle 1,2,4,7     | le modèle 2,3,4       | le modèle 1,2          | le modèle 2 |
| 7 | le modèle 3,7         | le modèle 7           | le modèle 7            | le modèle 7 |
| 8 | le modèle 5           | le modèle 5           | le modèle 1,5          | le modèle 5 |

Les modèles les plus efficaces pour améliorer les structures de contreventement rigidité sont des modèles 8, 6 et 1. Il en résulte que la disposition linéaire de contreventement sur toute la hauteur de la structure, ainsi que leur disposition non ordonnée, mais en nombre suffisant et pour couvrir toutes les ouvertures, sont les solutions les plus efficaces à cet effet. Les modèles 2, 3 et 4 ont des résultats intermédiaires, tandis que les modèles 5 et 7 ont les résultats les plus faibles. Cela est en grande partie en raison du nombre insuffisant de cadres contreventement. On peut constater que l'emplacement des lignes de brèches dans l'ouverture latérale est plus avantageux que son emplacement dans l'ouverture centrale dans le cas des modèles 5 et 7, et dans le cas des modèles 1 et 6, il s'avère qu'une position plus centrale est plus avantageuse.

## Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques

### 3.3 Aspects des efforts tranchants et moments fléchissant de la base

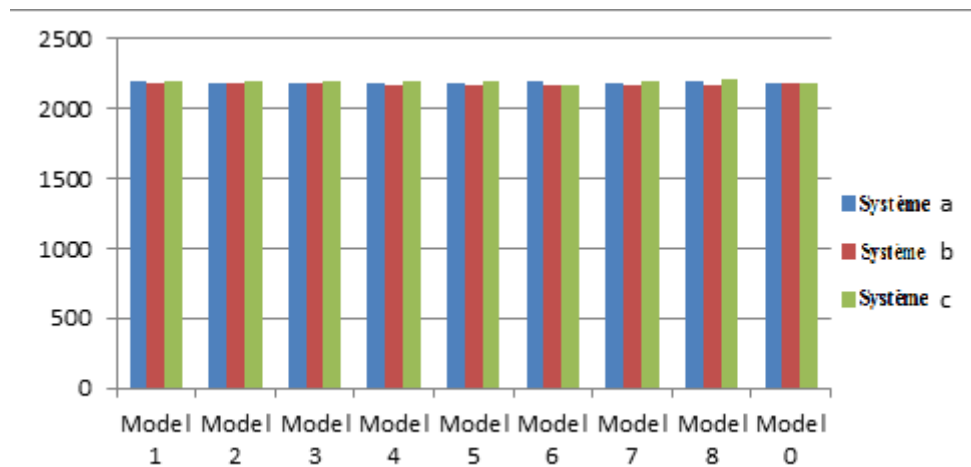


Figure 3.7 La résistance au cisaillement des lignes de base 4 niveaux en fonction de système de contreventement sur la section HE120A (kN)

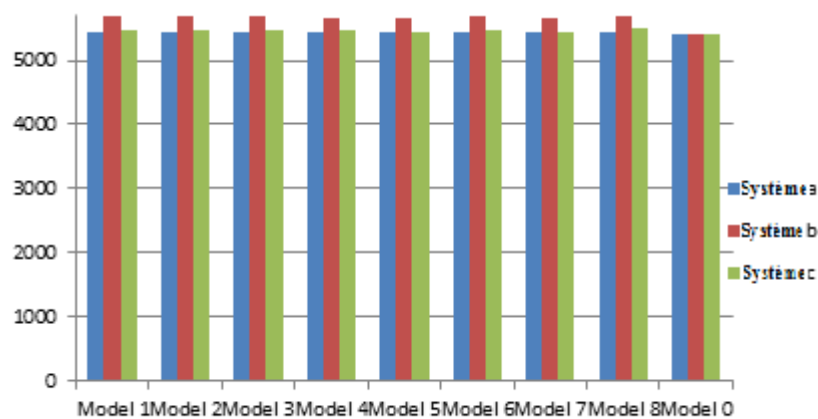


Figure 3.8 La résistance au cisaillement des lignes de base 9 niveaux en fonction de système de contreventement sur la section HE180A (kN)

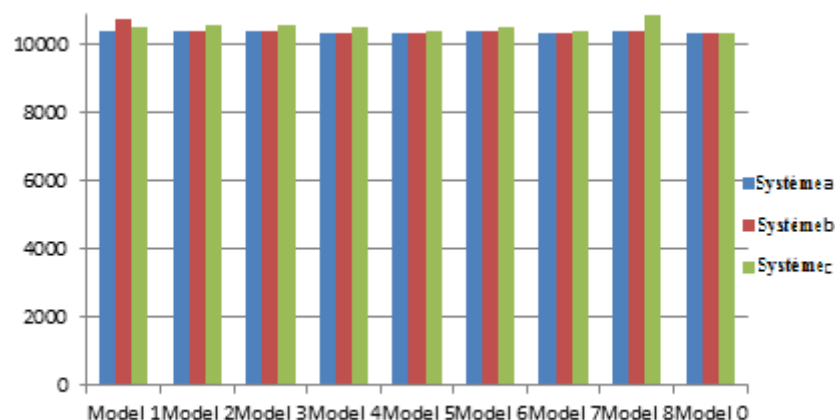


Figure 3.9 La résistance au cisaillement des lignes de base 15 niveaux en fonction de système de contreventement sur la section HE300A (kN)

Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques

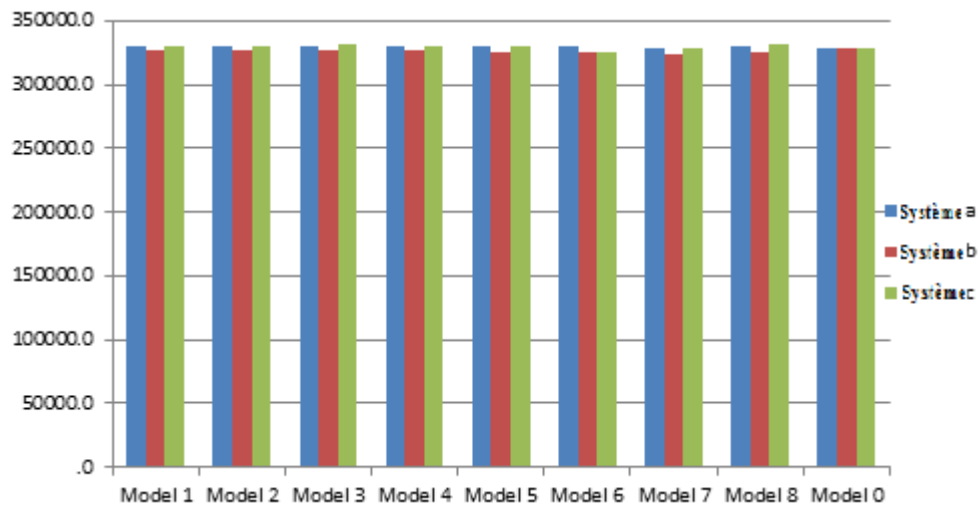


Figure 3.10 Le moment fléchissant à la base des lignes de résistance 4 niveaux en fonction de système de contreventement sur la section HE120A (KNM)

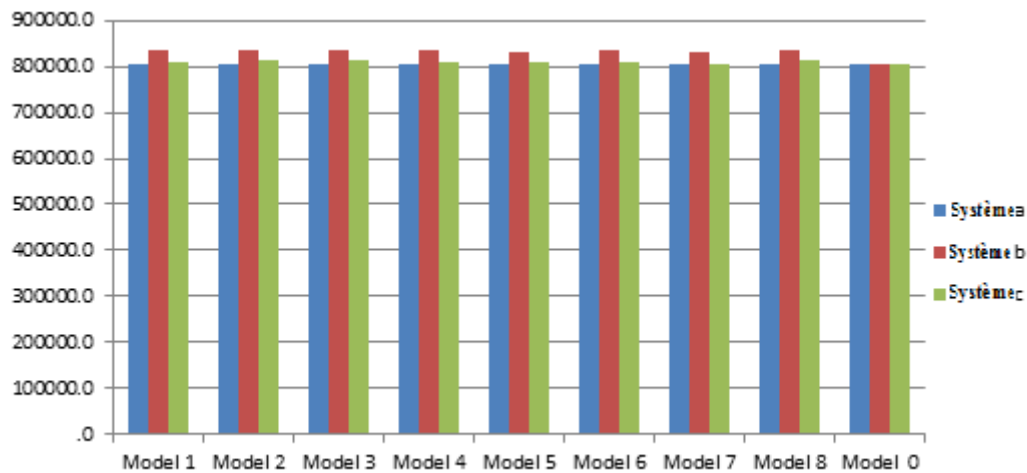


Figure 3.11 Le moment fléchissant à la base des lignes de résistance 9 niveaux en fonction de système de contreventement sur la section HE180A (KNM)

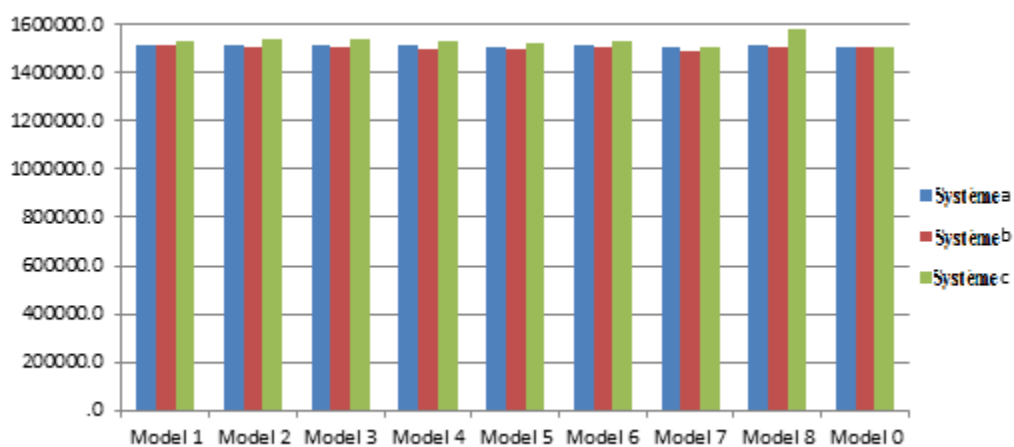


Figure 3.12 Le moment fléchissant à la base des lignes de résistance 15 niveaux en fonction de système de contreventement sur la section HE300A (KNM)

### Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques

Après la consolidation des systèmes de contreventement métalliques, les lignes ne montrent pas une augmentation significative de la résistance (augmentation jusqu'à 5%) des forces tranchantes et des moments fléchissant de la base effectifs, bien qu'ils aient une bonne rigidité.

#### **3.4 Aspect d'efforts maximum dans les éléments**

Dans ce sous-chapitre, nous analysons l'efficacité des systèmes de contreventement pour réduire les efforts de composantes de la résistance des lignes, que les efforts des poutres et des poteaux.

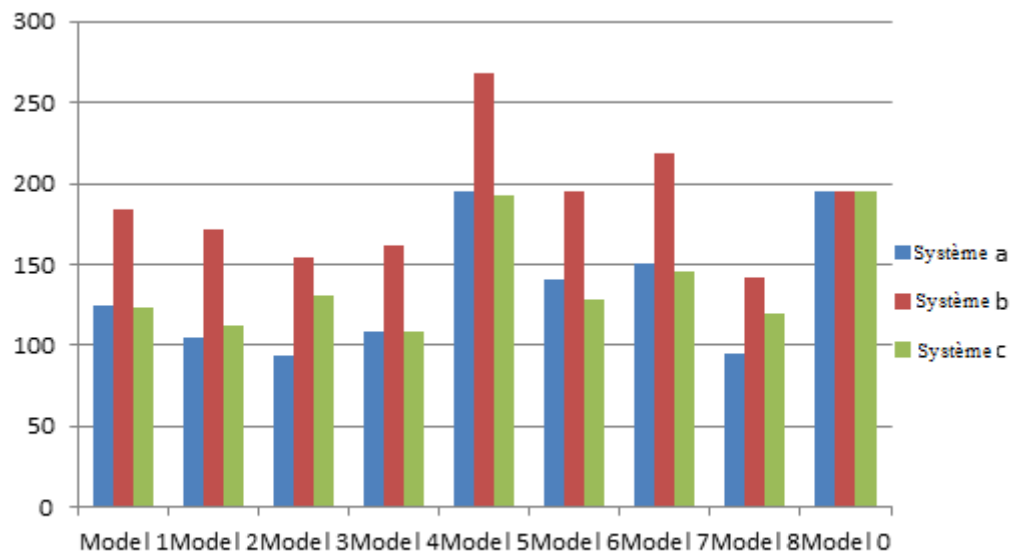


Figure 3.13 le moment fléchissant maximum dans des poutres de résistance à 9 niveaux en fonction du système de contreventement

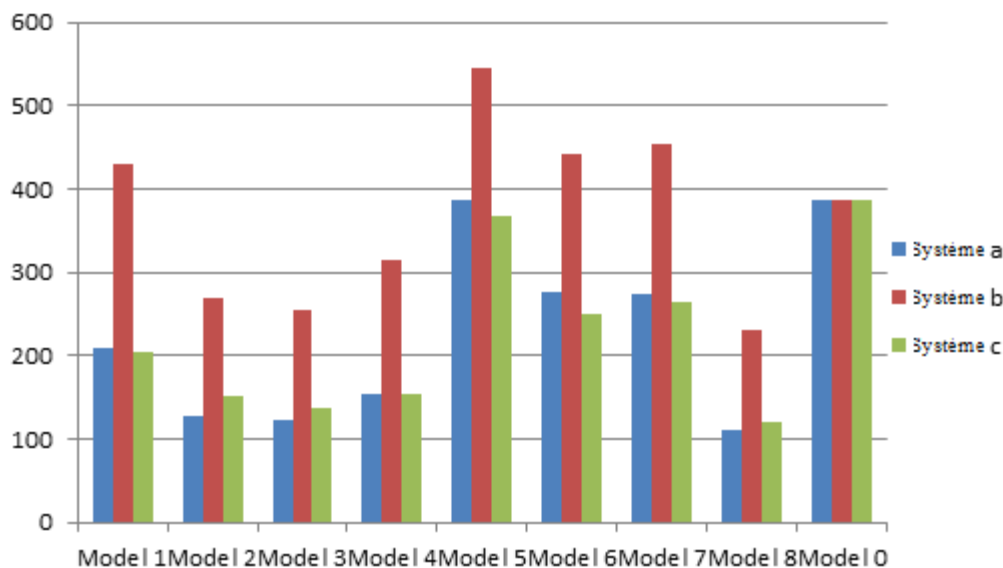


Figure 3.14 le moment fléchissant maximum dans des poutres de résistance à 15 niveaux en fonction du système de contreventement

Une première observation à faire est que par le renforcement du système « b » moments fléchissant des poutres sont beaucoup plus élevés que les temps obtenus par le renforcement du système « a »

### Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques

ou « c ». Pour certains modèles (1, 5, 6, 7) des moments fléchissant sont plus élevés que ceux de la ligne de résistance non consolidée. C'est l'inverse de la médaille du fait qu'avec l'aide du Système b de contreventement, une très bonne rigidité des structures a été obtenue. Les meilleurs résultats pour réduire les moments fléchissant dans les poutres ont été obtenus pour les modèles 3 et 8, cependant, les modèles 1, 2, 4 donne de bons résultats. Les modèles 6 et 7 ne sont pas efficaces pour réduire les moments fléchissant dans les poutres et modèle 5 n'a pratiquement aucune influence sur les efforts. Les moments fléchissant des poutres sont réduits avec des valeurs allant jusqu'à 50% pour les lignes de résistance à 9 niveaux et 70% pour les lignes à 15 niveaux (systèmes "a" et "c") par rapport aux moments fléchissant initiaux. Dans le cas du système "b", les moments ont augmenté avec des valeurs allant jusqu'à 30% par rapport aux moments initiaux.

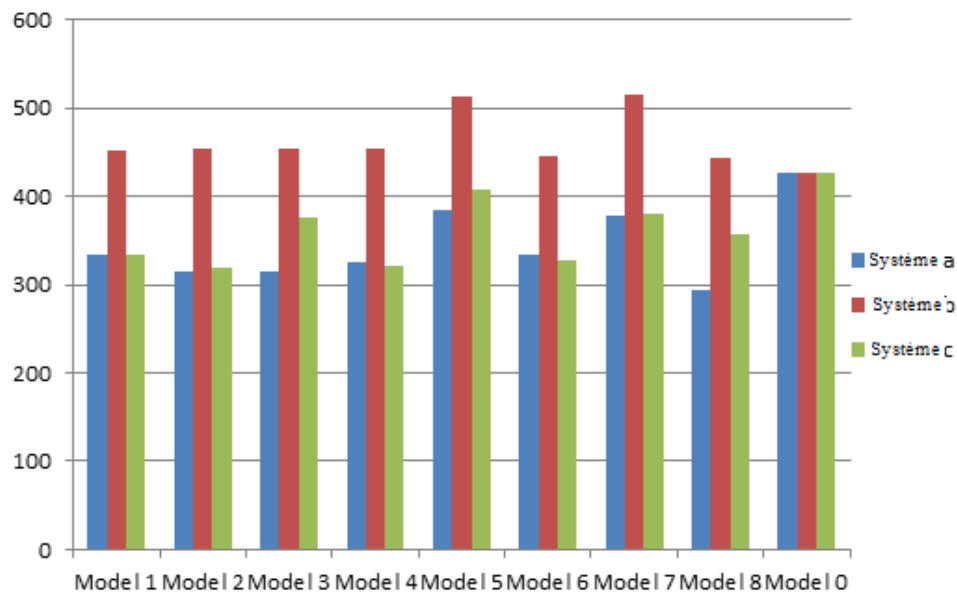


Figure 3.15 le moment fléchissant maximum dans des poteaux de résistance à 9 niveaux en fonction du système de contreventement

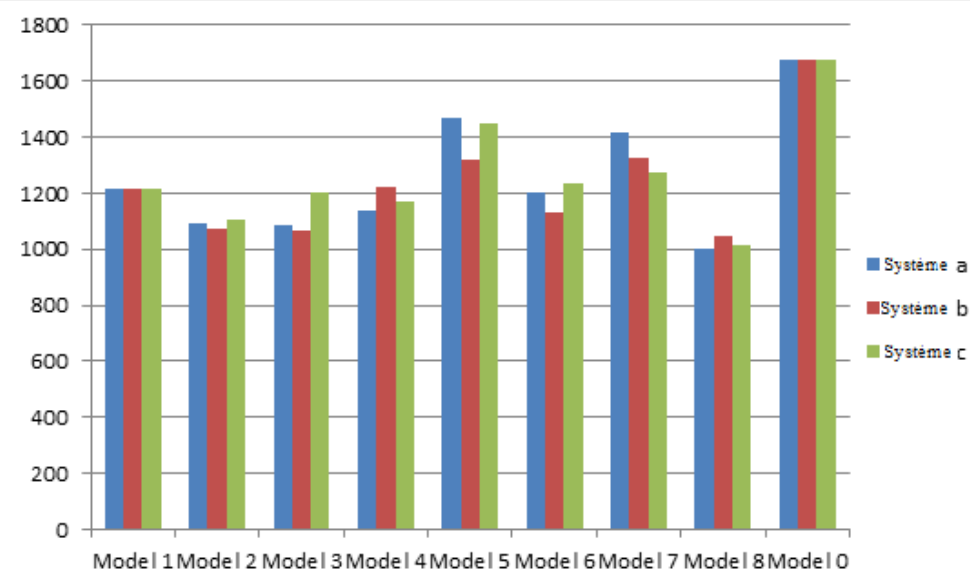


Figure 3.16 le moment fléchissant maximum dans des poteaux de résistance à 15 niveaux en fonction du système de contreventement

### Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques

En ce qui concerne les moments fléchissant dans les poteaux, l'influence des systèmes de contreventement est moins visible que dans les poutres. La situation est différente en fonction du nombre de niveaux. Pour les lignes de résistance à 9 niveaux, les moments fléchissant dans les poteaux sont réduits ou amplifiés comme les moments de poutre. Les lignes de résistance à 15 niveaux montrent une coopération favorable entre le nouveau et l'ancien système structural, de sorte que tous les moments sont réduits par la consolidation, quel que soit le système ou le modèle de réalisation de contreventement. Les moments dans les poteaux ont été réduits de valeurs allant jusqu'à 30 à 40% (systèmes "a" et "c") ou augmentés jusqu'à 15% (système "b" à 9 niveaux).

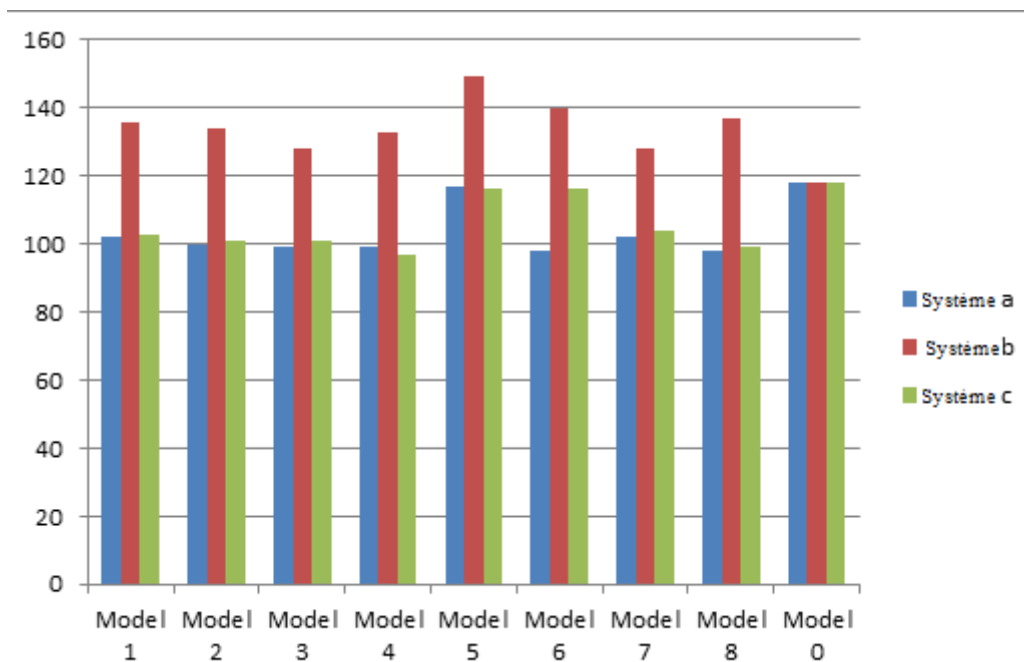


Figure 3.17 Les efforts tranchants maximaux dans des poutres de résistance à 9 niveaux en fonction du système de contreventement

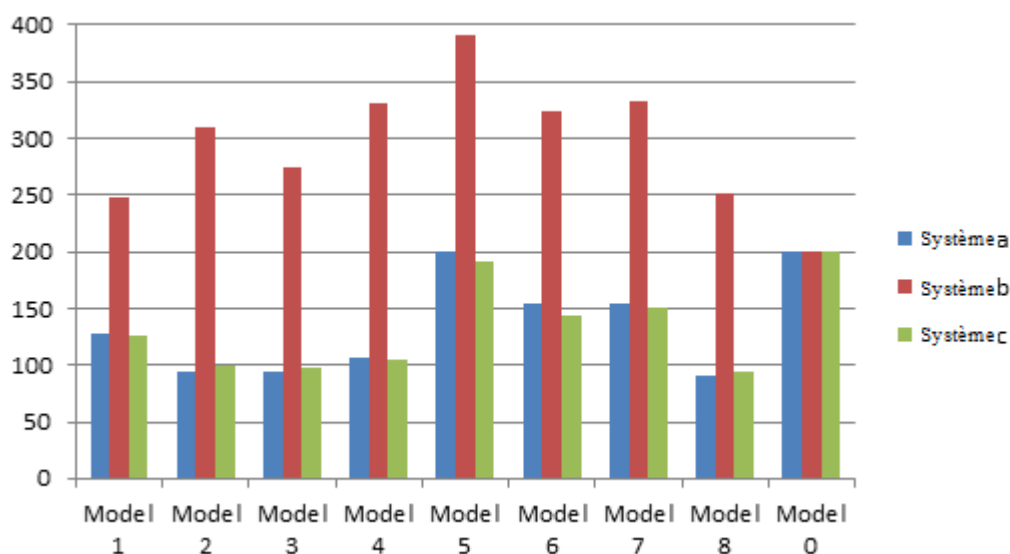


Figure 3.18 Les efforts tranchants maximaux dans des poutres de résistance à 15 niveaux en fonction du système de contreventement

### Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques

En ce qui concerne les efforts tranchants des poutres, pour le système B, l'augmentation des efforts tranchants est accentuée par l'augmentation du nombre de niveaux. Le transfert des efforts dans le cas de contraventions a et c Les systèmes sont bénéfiques pour les efforts tranchants des poutres qui ont diminué jusqu'à 50% des valeurs initiales. Les schémas 2, 3, 4 et 8 avec les entretoises de placement non-linéaires sont plus efficaces pour réduire l'effort avec un caractère sensible à ces structures. Les valeurs avec lesquelles les efforts tranchants sont réduites (systèmes "a" et "c") sont approximativement les mêmes que celles avec lesquelles elles sont amplifiées (système "b"), à savoir 15% aux lignes de résistance à 9 niveaux et 40% à 15 niveaux.

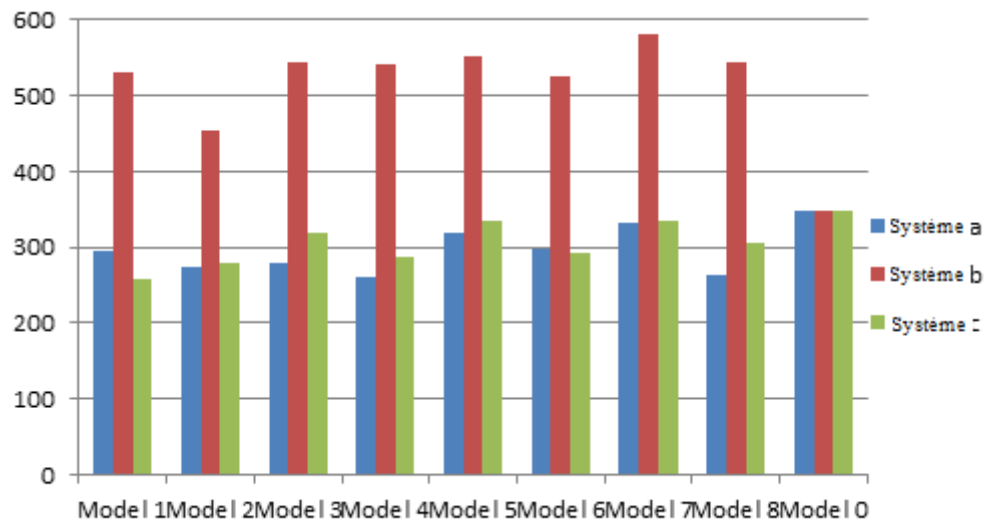


Figure 3.19 Les efforts tranchants maximaux dans des poteaux de résistance à 9 niveaux en fonction du système de contreventement

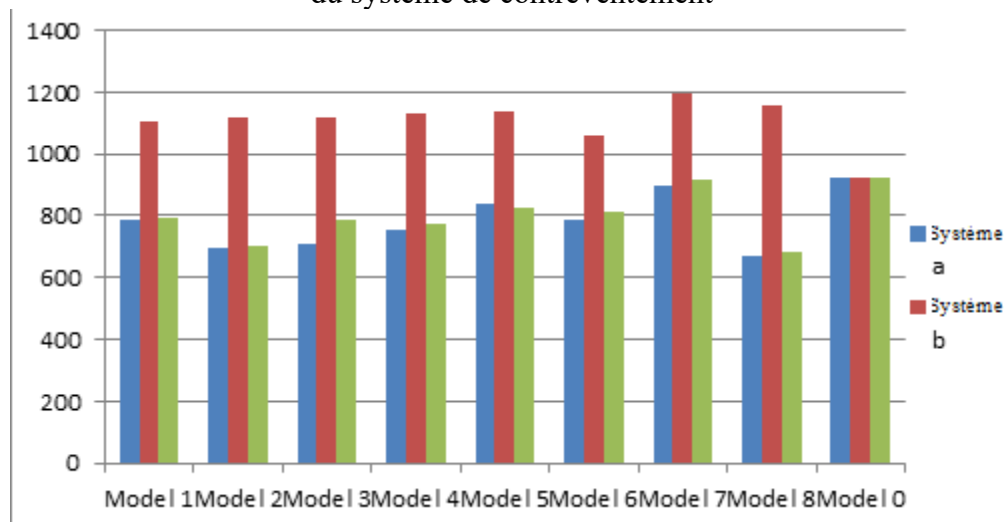


Figure 3.20 Les efforts tranchants maximaux dans des poteaux de résistance à 15 niveaux en fonction du système de contreventement

Les efforts tranchants des poteaux telles que les efforts tranchants des poutres augmentent dans le cas du système à poutres en B, quel que soit le type de modèle. En ce qui concerne les deux autres systèmes, mais réduit les efforts tranchants ne sont pas de grandes différences entre les modèles.

### Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques

Cependant, le modèle 8 être le plus efficace dans ce cas. Dans le cas des lignes de résistance à 9 niveaux, elles sont plus chargées que sur les lignes à 15 niveaux, les augmentations maximales des efforts tranchants atteignant 40% des valeurs initiales et 20% à 15 niveaux. Les systèmes "a" et "c" semblent avoir une influence constante avec des réductions de 15 à 20% par rapport aux valeurs initiales.

#### **3.5 Systèmes de performance et des modèles de contreventement**

Le but de ce sous-chapitre est de savoir la performance qui peut être atteint en renforçant les entretoises métalliques, avec la volonté de réduire les efforts des éléments de façon à couvrir par les capacités existantes pour résister aux éléments. Ce sera étudié en utilisant des sections en double T pour les pièces métalliques, les sections qui ont les dimensions maximales (hauteur) dimensions latéraux des poteaux.

Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques

## CHAPITRE 4

Aspects de la vérification des conclusions des modèles de calcul spatial (3D)

### 4.1. Sur le comportement global des bâtiments

Dans les chapitres précédents, afin d'obtenir des réponses structurelles concernant les rigidités aux déplacements latéraux et les capacités de résistance des structures doubles en béton armé, pour les bâtiments existants, ainsi que la possibilité d'utiliser des systèmes structurels métalliques pour réduire les risques sismiques et leur sécurité structurelle, des modèles de calcul structurel plan (2D), judicieusement et soigneusement choisis et équivalents, ont été utilisés pour plus de clarté et de concision.

Dans ce chapitre, nous avons voulu vérifier sur des modèles réels, spatiaux (3D) les conclusions précédemment tirées, pour l'un des modèles (motifs) de contreventement métallique, avec les dimensions des composants de la structure existante décrits ci-dessus. Par la même occasion, les murs de structure en béton armé ont également été vérifiés, étant donné que les éléments de structure de colonnes et les poutres ont déjà été vérifiés.

Les calculs ont été réalisés pour les 3 régimes de hauteur choisis (4, 9 et 15 niveaux) tant pour les structures des bâtiments existants que pour les bâtiments avec des propositions d'intervention avec contreventement métallique. Des comparaisons ont été faites entre les réponses structurelles obtenues à la fois au niveau des périodes fondamentales des vibrations et des déplacements, des rotations relatives et les efforts de section telles que des forces axiales, des forces de cisaillement et les moments de flexion. Les tailles considérées dans la modélisation et le calcul coïncidaient avec celles supposées dans les calculs plans précédents. Dans le plan on constate qu'il y a 6 murs porteurs en béton armé, dont, par symétrie, il a été décidé d'être détaillé et vérifié par le calcul 2 (L1 et L3 sur le longitudinal, respectivement T1 et T2 sur le transversal) selon la figure 4.1.

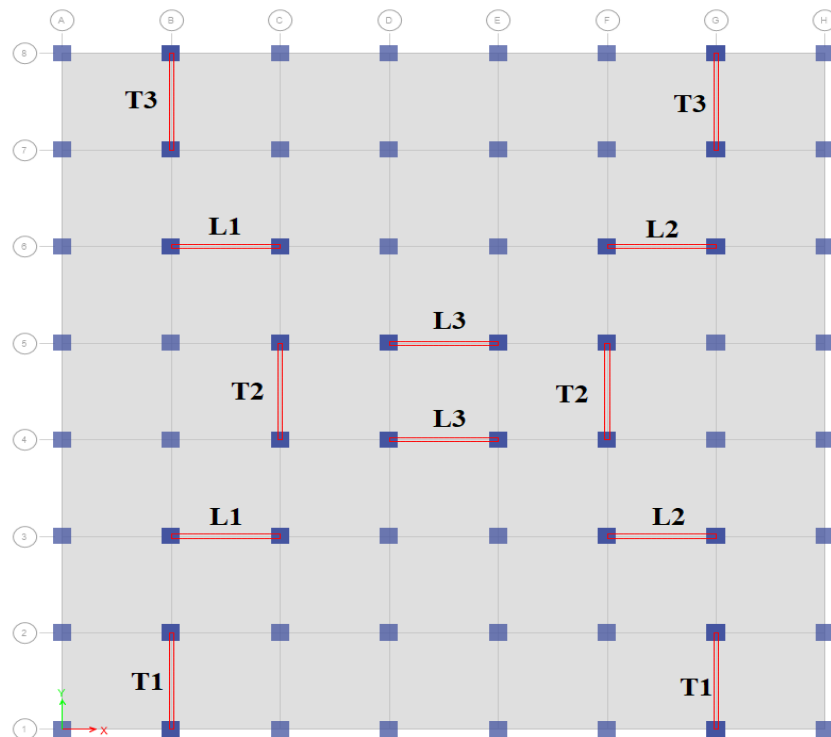


Figure 4.1. - Schéma concernant les positions des murs porteurs et leur numérotation

Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques

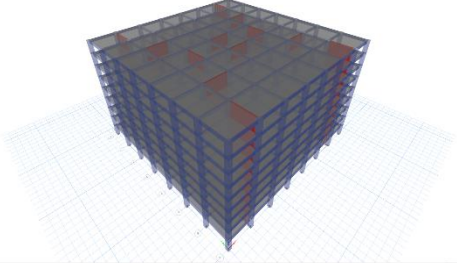
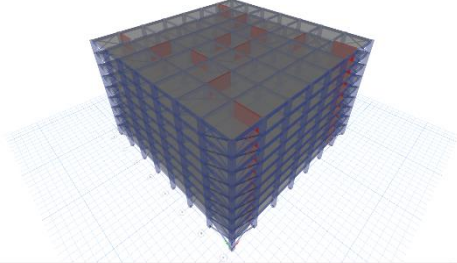
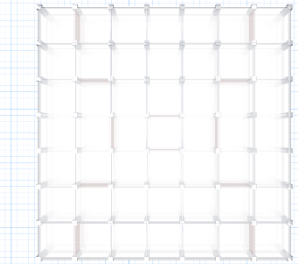
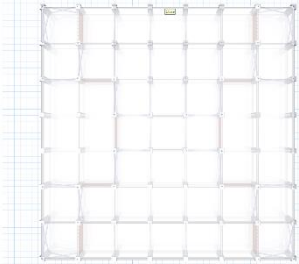
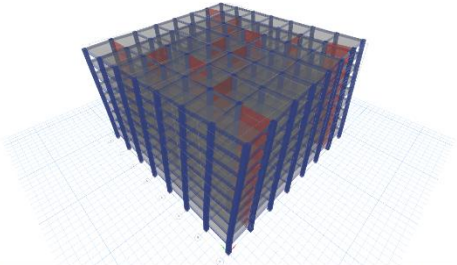
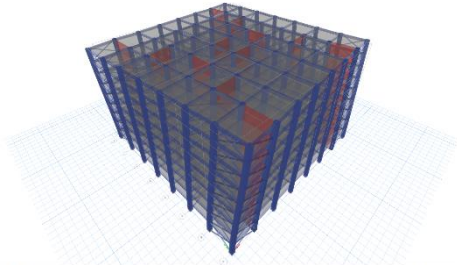
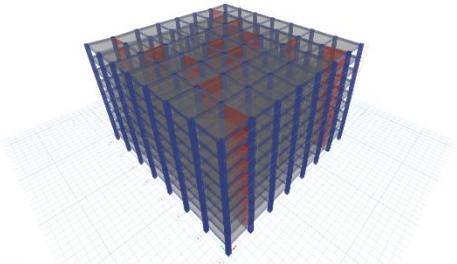
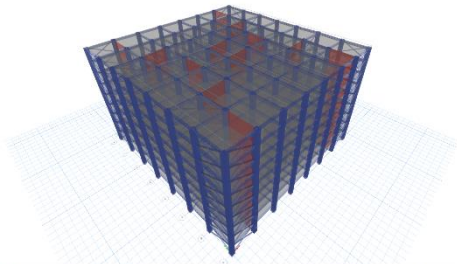
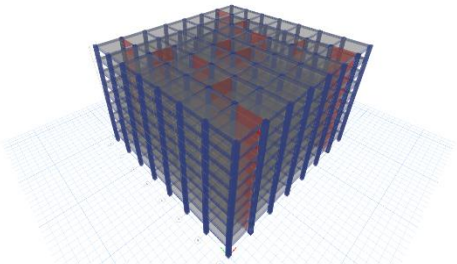
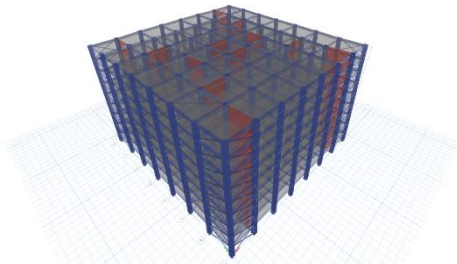
| Tableau 4.1. - Les réponses au niveau du système structurel pour le bâtiment à 4 niveaux  |                   |           |                               |           |         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----------|-------------------------------|-----------|---------|
| Caractéristique                                                                           | Bâtiment existant |           | Bâtiment avec contreventement |           | Δ [%]   |
|                                                                                           | Non normalisé     | Normalisé | Non normalisé                 | Normalisé |         |
| T1 (sec)                                                                                  | 0.265             |           | 0.231                         |           | 12.51%  |
| T2 (sec)                                                                                  | 0.240             |           | 0.210                         |           |         |
| T3 (sec)                                                                                  | 0.238             |           | 0.209                         |           |         |
| ux (mm)                                                                                   | 5.960             | 14.900    | 4.920                         | 12.300    | 22.36%  |
| uy (mm)                                                                                   | 6.030             | 15.075    | 4.950                         | 12.375    |         |
| θx (‰)                                                                                    | 0.573             | 1.433     | 0.420                         | 1.050     |         |
| θy (‰)                                                                                    | 0.581             | 1.453     | 0.422                         | 1.055     |         |
| effort tranchant (kN)                                                                     | 14774             |           | 14833                         |           | 0.40%   |
| Tableau 4.2. - Les réponses au niveau du système structurel pour le bâtiment à 9 niveaux  |                   |           |                               |           |         |
| T1 (sec)                                                                                  | 0.651             |           | 0.510                         |           | 23.86%  |
| T2 (sec)                                                                                  | 0.610             |           | 0.456                         |           |         |
| T3 (sec)                                                                                  | 0.604             |           | 0.455                         |           |         |
| ux (mm)                                                                                   | 44.170            | 110.425   | 24.060                        | 60.150    | 144.41% |
| uy (mm)                                                                                   | 45.150            | 112.875   | 23.960                        | 59.900    |         |
| θx (‰)                                                                                    | 1.974             | 4.935     | 10.610                        | 26.525    |         |
| θy (‰)                                                                                    | 2.021             | 5.053     | 1.057                         | 2.643     |         |
| effort tranchant (kN)                                                                     | 37675             |           | 37925                         |           | 0.66%   |
| Tableau 4.3. - Les réponses au niveau du système structurel pour le bâtiment à 15 niveaux |                   |           |                               |           |         |
| T1 (sec)                                                                                  | 1.232             |           | 0.812                         |           | 39.47%  |
| T2 (sec)                                                                                  | 1.188             |           | 0.689                         |           |         |
| T3 (sec)                                                                                  | 1.172             |           | 0.676                         |           |         |
| ux (mm)                                                                                   | 174.040           | 435.100   | 55.540                        | 138.850   | 69.10%  |
| uy (mm)                                                                                   | 179.510           | 448.775   | 52.930                        | 132.325   |         |
| θx (‰)                                                                                    | 4.714             | 11.785    | 1.517                         | 3.793     |         |
| θy (‰)                                                                                    | 4.872             | 12.180    | 1.462                         | 3.655     |         |
| effort tranchant (kN)                                                                     | 69816             |           | 70867                         |           | 1.51%   |

| <b>Tableau 4.4. – Différences de pourcentage moyen constaté après les calculs effectués</b> |                                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Les caractéristiques                                                                        | Différents environnements $\Delta_{med}$ [%] |
| Périodes fondamentales                                                                      | 25.28                                        |
| Rotations au niveau relatif                                                                 | 78.62                                        |
| les efforts tranchants                                                                      | 0.86                                         |

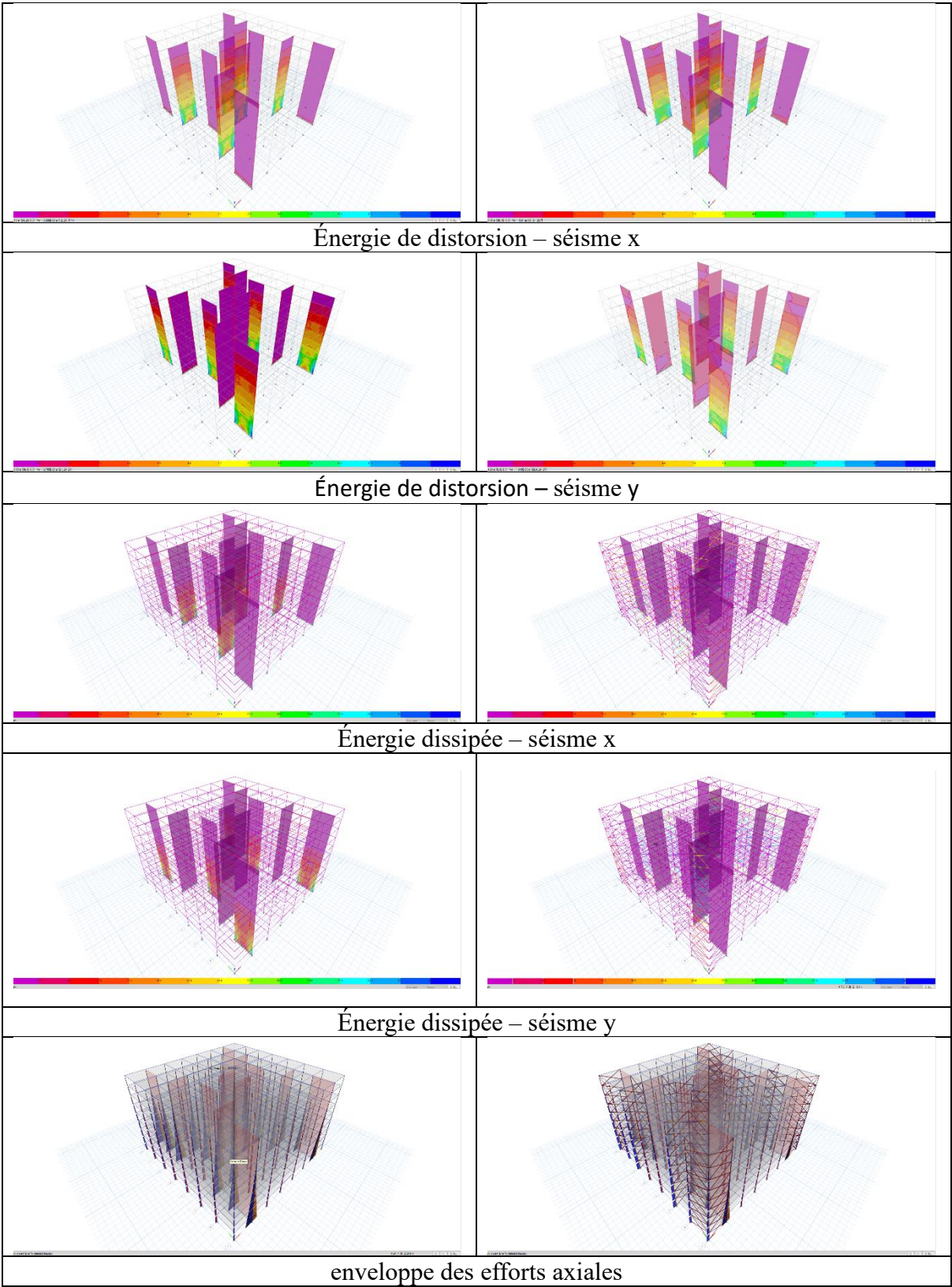
- Dans les tableaux 4.1, 4.2, 4.3 et 4.4 sont présentés séparément mais aussi en moyenne, les réponses structurelles obtenues. Par conséquent, on constate qu'en moyenne, les réponses au niveau structurel se sont améliorées pour chacun des 3 régimes de hauteur, comme suit:
- Les raideurs relatives de niveau se sont améliorées conduisant à la fois à des périodes fondamentales de vibration d'environ 25,28% plus faibles pour la structure avec interventions que celle initiale mais aussi à des rotations relatives de niveau inférieur d'environ 78,62% pour la structure avec des interventions à celle initiale;
- Les efforts tranchants de base, en ajoutant des contreventements, dus aux masses supplémentaires apportées, ont légèrement augmenté, d'environ 0,86% (moins de 1%).

En résumé, les réponses structurelles du bâtiment de 9 niveaux sont présentées au hasard.

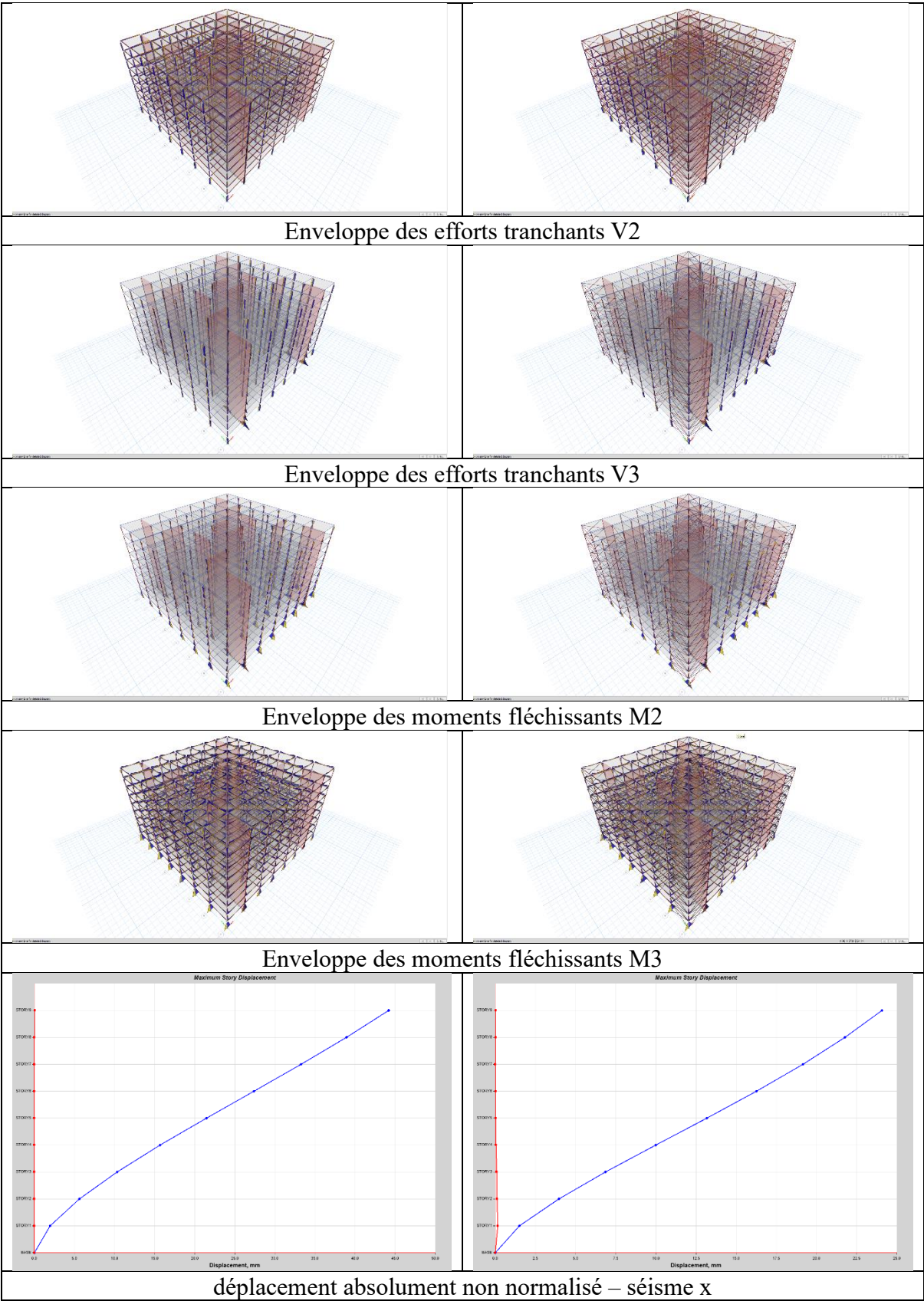
Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques

| <b>Tableau 4.6 - Réponses structurales pour le bâtiment à 9 niveaux</b>             |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Modèle 3D bâtiment initialement existant</b>                                     | <b>Modèle 3D bâtiment existant avec consolidation</b>                                |
|    |    |
| <b>Modèle Vue 1</b>                                                                 |                                                                                      |
|    |    |
| <b>Modèle Vue 2</b>                                                                 |                                                                                      |
|  |  |
| <b>Modul 1 de vibration</b>                                                         |                                                                                      |
|  |  |
| <b>Modul 2 de vibration</b>                                                         |                                                                                      |
|  |  |
| <b>Modul 3 de vibration</b>                                                         |                                                                                      |

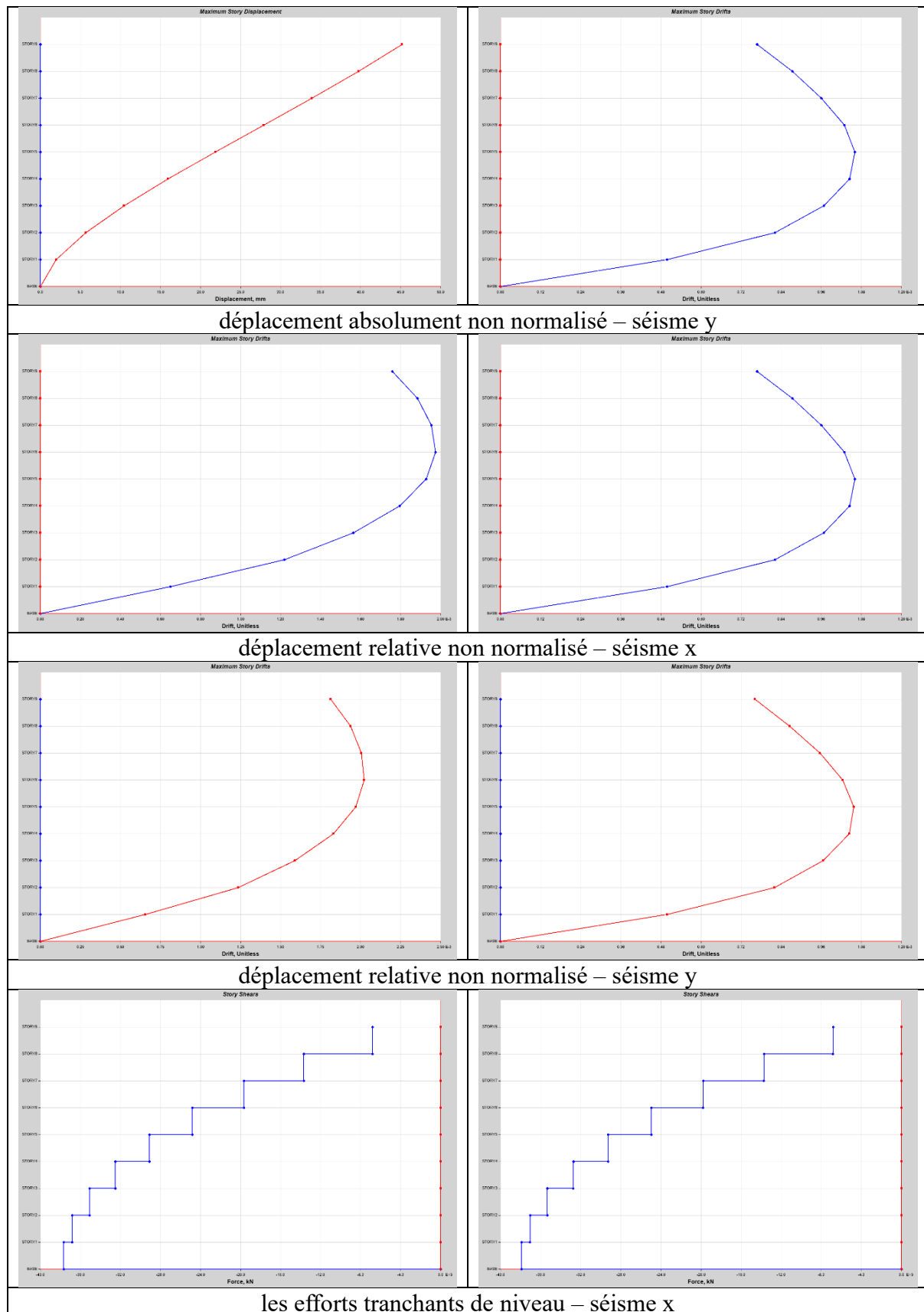
Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques



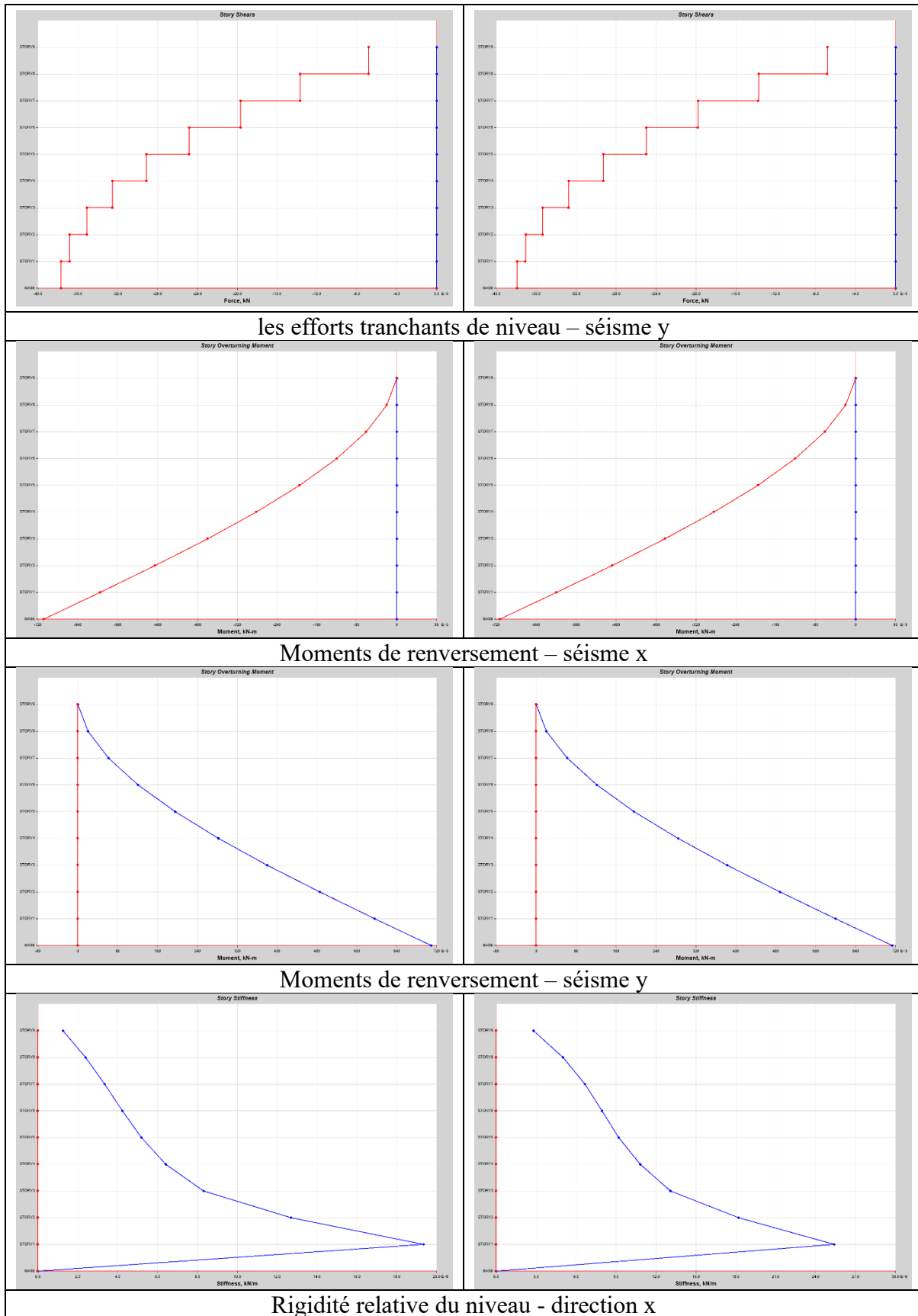
Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques



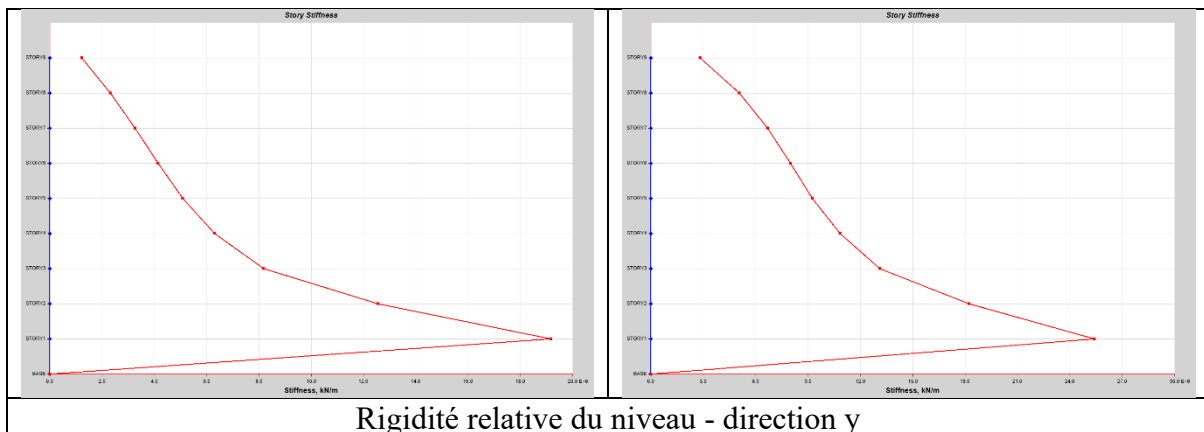
## Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques



## Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques



## Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques



A la suite des consultations des réponses obtenues au niveau des systèmes structuraux, partiellement représentée dans les tableaux 4.5, 4.6 et 4.7, il y a une nette amélioration du comportement des structures pour les bâtiments existants après les interventions de sécurité structurelle basée sur contreventement métallique, tel que décrit et mis en place dans chapitres précédents.

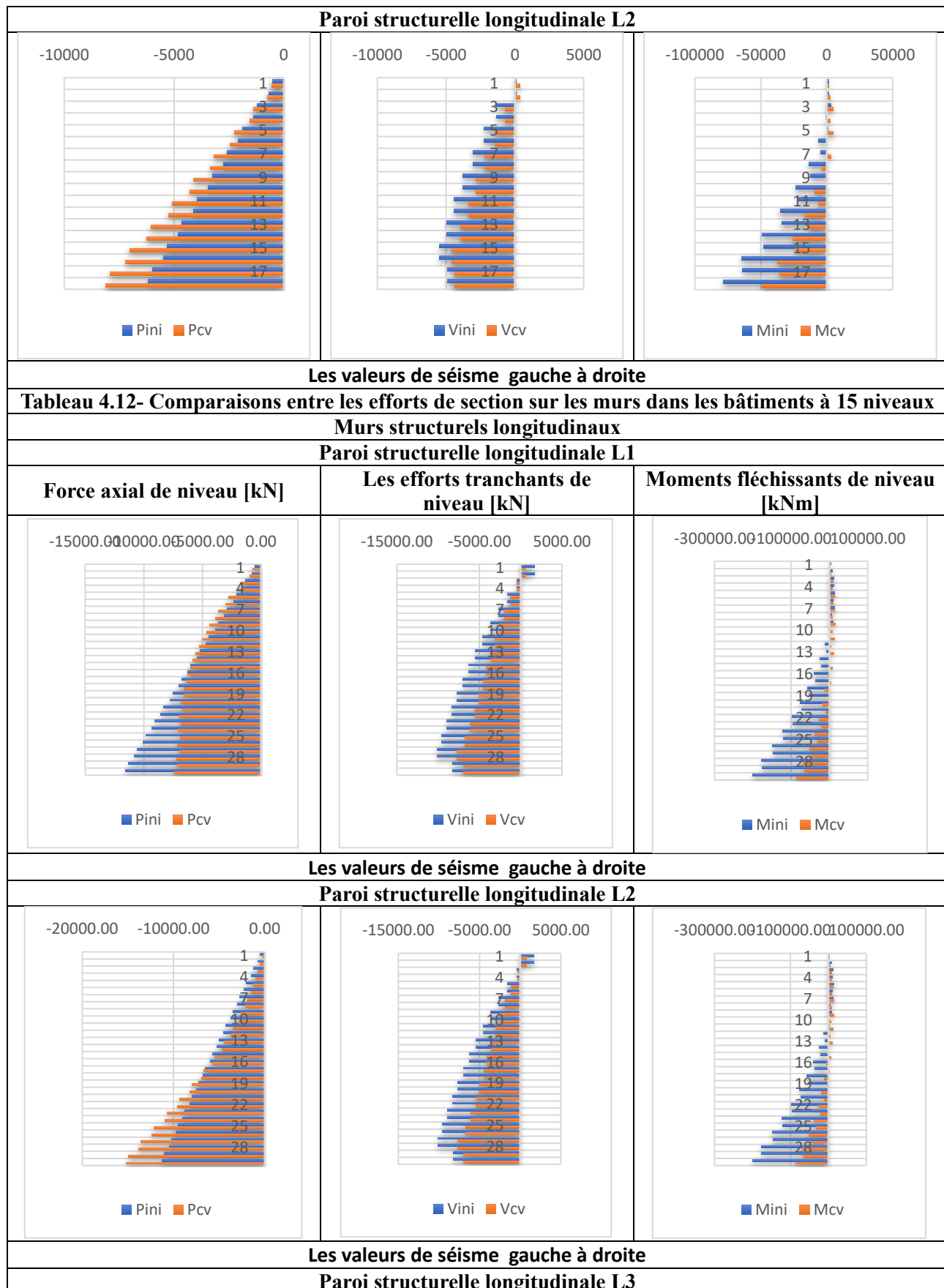
### 4.2. Sur les murs porteurs en béton armé

Les tableaux 4.8-4.13 sont présentés sous forme graphique les différences des efforts de section des efforts axiaux, des efforts tranchants et des moments de flexion pour les cas typiques de murs porteurs mentionnés ci-dessus, dans le sens longitudinal et transversal (en considérant qu'il existe 2 types différent des murs en termes de position et de comportement, sur chacune des deux directions principales du bâtiment (longitudinale et transversale).

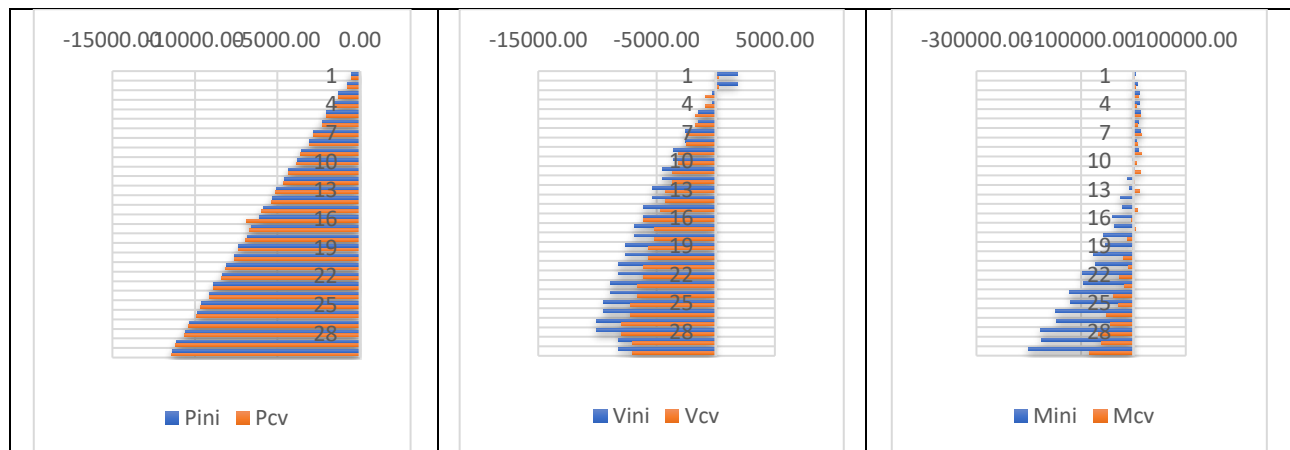
Dans le tableau 4.14 sont présentés graphiquement les efforts différents sur les murs structuraux existants du bâtiment avec contreventement par rapport à la situation initiale, exprimés en pourcentages, et dans le tableau 4.15 sont présentés en pratique les différences moyennes en pourcentage.

| Tableau 4.10 - Comparaisons entre les efforts de section sur les murs dans les bâtiments de 9 niveaux                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Murs structuraux longitudinaux                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Mur structurel longitudinale L1                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Force axial de niveau [kN]                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Les efforts tranchants de niveau[kN]                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Moments fléchissants de niveau [kNm]                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>-10000</span> <span>-5000</span> <span>0</span> </div> <div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center;"> <span style="color: blue;">■</span> Pini           <span style="color: orange;">■</span> Pcv         </div> | <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>-10000</span> <span>-5000</span> <span>0</span> <span>5000</span> </div> <div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center;"> <span style="color: blue;">■</span> Vini           <span style="color: orange;">■</span> Vcv         </div> | <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>-100000</span> <span>-50000</span> <span>0</span> <span>50000</span> </div> <div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center;"> <span style="color: blue;">■</span> Mini           <span style="color: orange;">■</span> Mcv         </div> |
| Les valeurs de séisme gauche à droite                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

# Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques



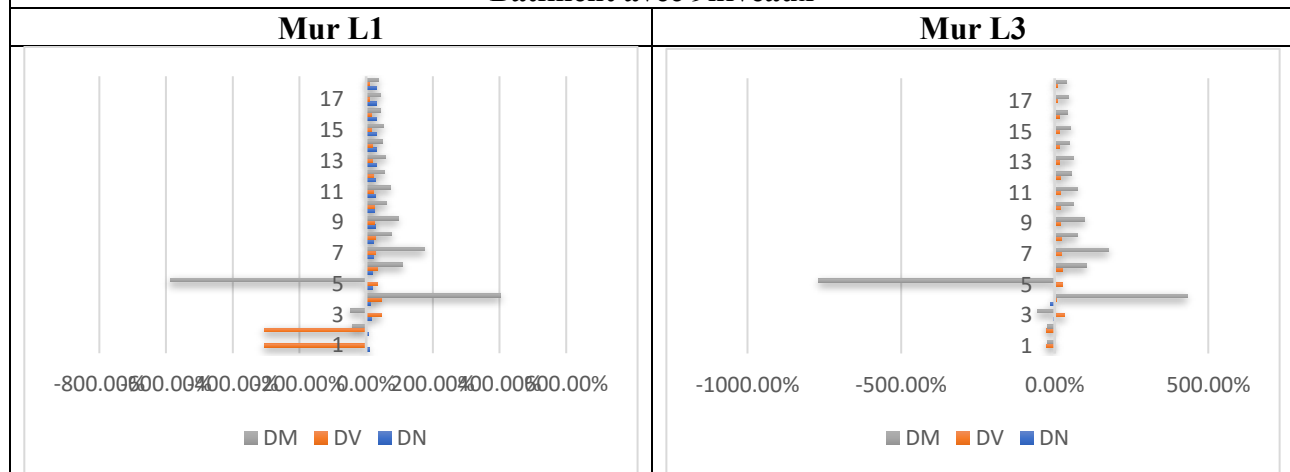
### Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques



Les valeurs de séisme gauche à droite

**Tableau 4.14 Les différents efforts sur les murs structuraux du bâtiment avec contreventement par rapport à la situation initiale, exprimée en [%]**

**Batiment avec 9niveaux**



**Tableau 4.15 - Différences moyennes exprimées en [%]**

| direction longitudinale des parois structurales |            |            |            |            |            |            |
|-------------------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Régime de la hauteur                            | Mur L1; L2 |            |            | Mur L3     |            |            |
|                                                 | $\Delta N$ | $\Delta V$ | $\Delta M$ | $\Delta N$ | $\Delta V$ | $\Delta M$ |
| 4                                               | 8.95       | 19.21      | 39.54      | 0.11       | 16.31      | 44.76      |
| 9                                               | 23.76      | 56.61      | 111.66     | 1.34       | 19.10      | 123.81     |
| 15                                              | 2.83       | 31.51      | 104.08     | 1.23       | 35.61      | 106.28     |
| Direction transversale des murs structurales    |            |            |            |            |            |            |
| Régime de la hauteu                             | Mur T1; T3 |            |            | Mur T2     |            |            |
|                                                 | $\Delta N$ | $\Delta V$ | $\Delta M$ | $\Delta N$ | $\Delta V$ | $\Delta M$ |
| 4                                               | 10.39      | 24.63      | 37.92      | 0.91       | 25.06      | 37.78      |
| 9                                               | 42.93      | 37.03      | 175.23     | 0.44       | 32.13      | 150.91     |
| 15                                              | 105.56     | 58.36      | 164.64     | 1.48       | 58.64      | 164.74     |

Dans les calculs sur modèles spatiaux (3D), il y a une similitude parfaite avec les conclusions tirées

### Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques

des études planaires pour les lignes de résistance choisies comme modèles plans (2D) pour les éléments structuraux constitutifs et implicitement pour les murs porteurs en b.a.:

- Pour les parois marginales, il y a des augmentations ou des diminutions supplémentaires des forces axiales, en fonction de la direction de l'action sismique;
- Pour les parois centrales, les différences de forces axiales sont généralement inférieures à 1,5%, du fait de la symétrie;
- Au lieu de cela, sur tous les murs, quelle que soit la position symétrique dans le plan du bâtiment, il y a des réductions moyennes significatives des efforts tranchants (entre 19,10 et 58,64%) et des moments de flexion dans les murs porteurs (entre 37,78 et 164,74%).

La vérification des murs porteurs existants a été réalisée avec le programme de calcul Sekon®, réalisé au Département des constructions civiles, de l'ingénierie urbaine et de la technologie de l'UTCB. Les résultats sont présentés dans les tableaux suivants (tableaux du 4.16-4.27).

Suite aux vérifications effectuées pour chaque type de mur, pour les deux directions du séisme depuis la direction dans laquelle elles sont disposées, pour chaque régime de hauteur, il en est résulté que les mesures visant à réduire le risque sismique et à sécuriser l'introduction de contreventements, en conformément aux conclusions présentées dans les chapitres précédents et dans leur achèvement, ils sont efficaces pour les structures existantes de ces bâtiments, y compris les murs atteignant pour travailler conformément aux exigences théoriques et selon les codes en vigueur.

Pour les murs, les dimensions et les renforts de la figure 4.2 ont été acceptés.

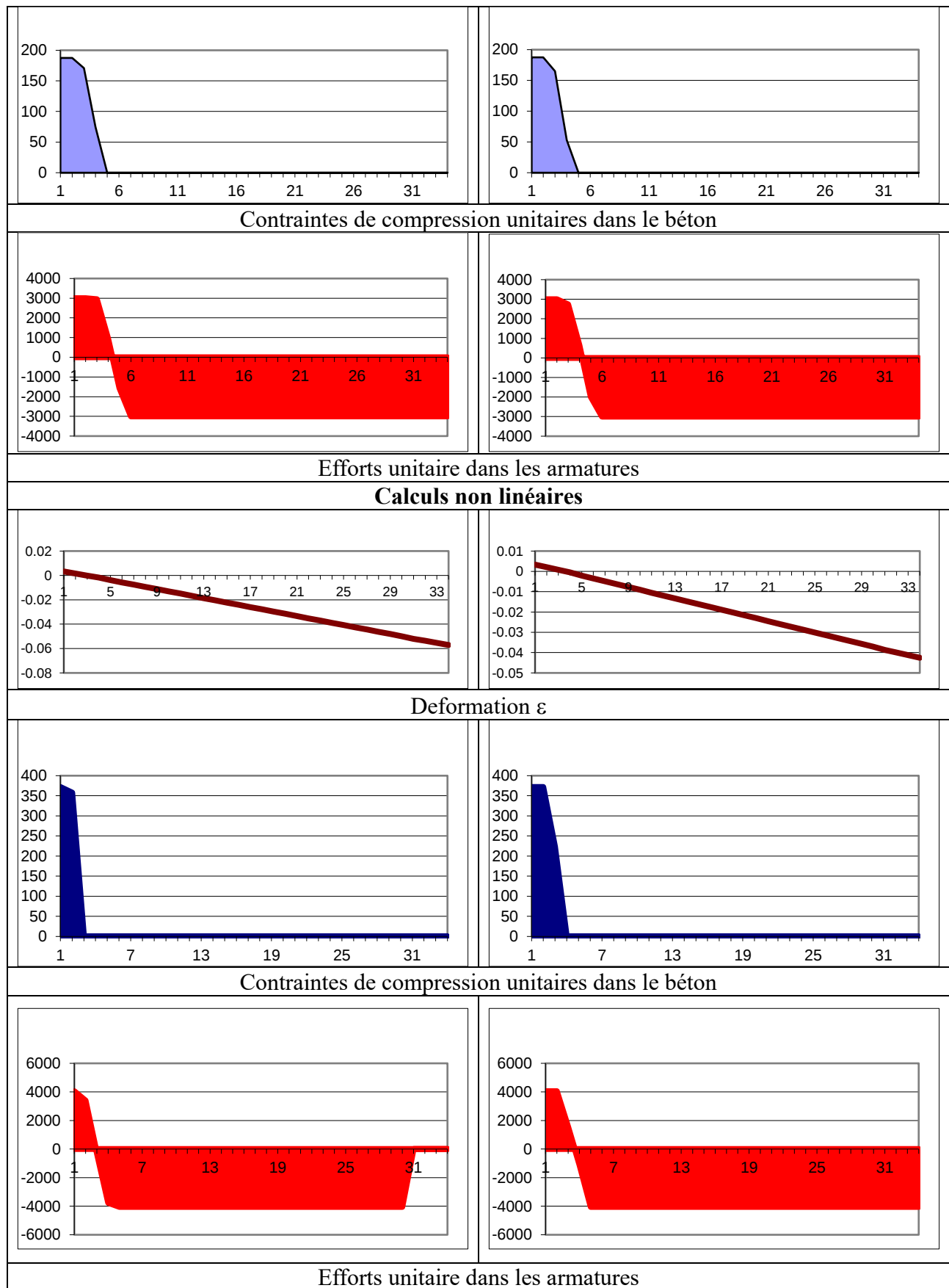
|  |        |        |         |         |
|--|--------|--------|---------|---------|
|  | Régime | d (cm) | Φ1 (mm) | Φ2 (mm) |
|  | 4      | 15     | 16      | 8       |
|  | 9      | 20     | 20      | 10      |
|  | 15     | 25     | 25      | 12      |

Figure 4.2 - Dimensions et armature longitudinale des murs en béton armé

Le résumé montre à titre d'exemple un mur pour le bâtiment de 9 niveaux.

| Tableau 4.17 – vérification mur L1 |                        |
|------------------------------------|------------------------|
| Batiment avec 9 niveaux            |                        |
| séisme gauche - droite             | séisme droite - gauche |
| Calculs linéaires                  |                        |
|                                    |                        |
| Déformation $\epsilon$             |                        |

Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques



## Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques

### 4.3. conclusions

- Suite aux calculs effectués sur des modèles spatiaux (3D) - pour l'une des études de cas développées par des calculs planaires (2D) sur des lignes de résistance judicieusement choisies dans les chapitres précédents, afin d'obtenir des réponses structurelles claires et cohérentes - ils ont montré une étroite corrélation de résultats avec les conclusions précédemment tirées.
- Au niveau des raideurs relatives aux déplacements horizontaux, traduits en (voir tableau 4.4):
  - périodes fondamentales de vibration - on constate qu'elles diminuent en moyenne d'environ 25,28%;
  - les rotations de niveau relatif - on constate qu'elles diminuent en moyenne d'environ 78,62%.

Dans les calculs sur modèles spatiaux (3D), il y a une similitude parfaite avec les conclusions tirées des études planaires pour les lignes de résistance choisies comme modèles plans (2D) pour les éléments structurels constitutifs et implicitement pour les murs porteurs en b.a.:

- Pour les parois marginales, il y a des augmentations ou des diminutions supplémentaires des forces axiales, en fonction de la direction de l'action sismique;
- Pour les parois centrales, les différences de forces axiales sont généralement inférieures à 1,5%, en raison de la symétrie, cependant, sur tous les murs, quelle que soit la position symétrique dans le plan du bâtiment, il y a des réductions moyennes significatives des efforts de cisaillement (entre 19,10 et 58,64%) et des moments de flexion dans les murs porteurs (entre 37,78 et 164,74%).

A partir des vérifications effectuées pour tous les types de murs porteurs (du point de vue de la position dans le plan de la structure de résistance), des deux directions principales du bâtiment (longitudinale et transversale), dans les deux sens du séisme depuis la direction dans laquelle elles sont disposées, pour chaque régime de hauteur, il a été constaté que les mesures visant à réduire le risque sismique et à sécuriser l'introduction de contreventements, conformément aux conclusions présentées dans les chapitres précédents et en plus de celles-ci, sont efficaces pour les structures existantes de ces bâtiments, y compris les murs atteignant travailler selon les exigences théoriques et selon les codes en vigueur.

Dans le programme de calcul Sekon sont introduits: les dimensions des sections en béton des murs porteurs, les positions de toutes les armatures, les efforts de section tels que les efforts axiaux, les efforts de cisaillement et les moments de flexion.

Obtenu: les longueurs des zones comprimées et les efforts capables à la fois pour le comportement linéaire et pour le cas de comportement non linéaire. De toutes les théories modernes, basées sur des observations post-séisme, des tests de laboratoire effectués en laboratoire et des calculs numériques, nous pouvons indiquer un lien étroit entre la ductilité capable et le rapport entre la hauteur de la section transversale du mur (longueur du mur) et la hauteur de sa zone comprimée. , dans chaque section de calcul, pour les calculs non linéaires.

Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques**CHAPITRE 5****PRESENTATION DES CONCLUSIONS**

Lorsqu'on souhaite réduire les vulnérabilités sismiques des bâtiments existants en béton armé à structure duale, par l'ajout des contreventements métalliques, il est important d'analyser la structure existante et de trouver les points faibles de celle-ci. Le bâtiment peut avoir des déficiences en ce qui concerne la rigidité et/ou la résistance. Les différents systèmes de contreventement ou de positionnement des contreventements en élévation offrent des résultats différents en ce qui concerne l'amélioration des résistances et de la rigidité et c'est pourquoi les contreventements peuvent remplacer les défauts du bâtiment ou peuvent accentuer ces défauts.

En ce qui concerne cette étude, les structures ont présenté des défauts de résistance. Les déplacements relatifs de niveau ont des valeurs en dessous des valeurs admises. Cette chose est due à l'existence des parois qui accordent de la rigidité aux lignes de résistance. D'autre part, à cause de la rigidité les parois se comportent comme des concentrateurs d'efforts, accentuant le manque de résistance des éléments composants de la ligne de résistance.

Le long de l'ouvrage ont existé deux lignes de comparaison. D'une part ont été comparés les résultats offerts par les systèmes de contreventements « a », « b » et « c », et d'autre part ont été comparés les modèles d'emplacement des contreventements 1-8.

La rigidité des lignes de résistance peut être caractérisée par la propre période fondamentale et par les déplacements relatifs de niveau. Le système « b » de contreventement a eu les meilleurs résultats en ce qui concerne la réduction des propres périodes et des déplacements relatifs de niveau. Les systèmes « a » et « c » ont eu des influences semblables, avec de petites différences : Le système « a » a réduit plus que le Système « c » les propres périodes, et le Système « c » a réduit plus les déplacements relatifs de niveau.

Ayant en vue les moments fléchissant et les efforts tranchants des poutres et des poteaux les Systèmes « a » et « c » ont été les plus efficaces pour les réduire. Le système « b » a eu une influence beaucoup plus petite pour réduire les efforts, et dans certains cas les efforts résultés ont été plus grands que ceux de la structure non renforcée, en particulier les efforts tranchants ont présenté des valeurs plus grandes que celles initiales.

En conclusion les Systèmes type « a » et « c » peuvent avoir une utilisation plus large parce qu'ils produisent des améliorations en ce qui concerne la résistance et aussi la rigidité, pendant que l'utilisation d'un Système type « b » implique une attention plus grande parce que bien qu'il offre des résultats très bons pour la rigidité, il produit des croissances des efforts des éléments en béton armé.

Après la comparaison des modèles d'emplacement des contreventements en élévation a résulté le fait que le modèle 8 a été le plus efficace pour réduire les efforts mais aussi pour améliorer la rigidité. Par la suite on peut conclure que l'utilisation d'un plus grand nombre de cadres de contreventements remplacés en désordre dans toutes les ouvertures de la ligne de résistance offre de très bons résultats quel que soit le type du défaut de la structure existante. Les modèles 1 et 6 ont eu de bons résultats pour améliorer la rigidité, et les modèles 2,3,4 ont eu de bons résultats pour réduire les efforts. Ainsi un emplacement linéaire des cadres de contreventement dans les ouvertures centrales mais aussi dans celles latérales est efficace pour la rigidité, et un emplacement désordonné des cadres de contreventement permet plutôt la diminution des efforts. Pour réduire les efforts la présence des cadres de contreventement dans toutes les ouvertures est importante, information donnée par le fait que le modèle 4 a eu des résultats plus faibles que les modèles 2 et 3.

Les modèles 5 et 7 ont eu les plus faibles performances pour améliorer la résistance et la rigidité des structures. Ceux-ci contiennent le plus petit nombre de cadres de contreventement et sont

### Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques

remplacés de manière linéaire dans chaque ouverture, leur influence sur la ligne de résistance étant dans la majorité des cas trop petite ou même nulle. Après leur comparaison a résulté le fait que le modèle 7 a eu des résultats meilleurs en ce qui concerne la résistance et la rigidité, cela dû à l'emplacement des cadres de contreventement près de la paroi, leur ensemble offrant une rigidité meilleure que si les contreventements auraient été liés aux parois. Les efforts tranchants des poteaux ont été aussi plus grands au cas du modèle 7.

En suivant les performances des systèmes et des modèles de contreventement analysés dans le but de réduire les efforts jusqu'à des valeurs situées sous les valeurs des capacités des poutres, des poteaux et des nœuds a résulté le fait que le respect de la vérification de la capacité des nœuds a été un grand défi.

Pour les lignes de résistance à quatre niveaux, la vérification de la diagonale comprimée en béton du nœud a été respectée au cas des modèles 3,4,5,6 et 8 pour tous les types de systèmes de contreventement, avec la remarque qu'au cas du Système « b » les efforts tranchants des poteaux sont arrivés à des valeurs plus grandes que leurs capacités aux efforts tranchants. La résistance des nœuds était le seul défaut des lignes de résistance à quatre niveaux. La vérification des étriers du nœud n'a pas été respectée généralement quel que fût le nombre des niveaux, parce que le nombre des étriers du nœud a été insuffisant. Dans certains cas cette vérification a été respectée parce que le besoin de résistance dépend de la force axiale dans les poteaux.

Au cas des lignes de résistance à neuf niveaux la vérification de la diagonale comprimée du nœud a été respectée seulement pour la combinaison modèle 8-Système « c ». Les lignes de résistance renforcées avec les systèmes « a » et « c » ont réduit les efforts dans les poteaux et les poutres en dessous des valeurs des résistances, à l'exception de l'effort tranchant maximal dans les poteaux. Pour le Système « c »- les modèles 5 et 7 et les moments fléchissant maximaux dans les poutres ont dépassé les capacités au courbement. Au cas du système « b » on a atteint le but seulement pour les moments fléchissant dans les poteaux et dans les poutres pour certains modèles. Pour le modèle 7 on a dépassé la capacité à la compression des poteaux près des parois.

La capacité à la compression des poteaux a été dépassée les poteaux-bulbes des lignes de résistance à quinze niveaux pour les modèles 1, 5, 6 et 7. En utilisant les modèles 2, 3, 4 et 8 les moments fléchissant et les efforts tranchants dans les poutres ont été réduits sous les valeurs des résistances afférentes.

Pour les structures ayant un grand régime de hauteur on doit respecter généralement des procédures combinées de renforcement, comme par exemple des systèmes de contreventement et des chemisages, des parois de remplissage ou des parois de cisaillement.

Comme directions de recherche futures on peut aborder des thèmes qui impliquent l'analyse de l'efficacité de la collaboration entre les systèmes de contreventement et un autre système de renforcement.

- Suite aux calculs effectués sur des modèles spatiaux (3D) - pour l'une des études de cas développées par des calculs planaires (2D) sur des lignes de résistance judicieusement choisies dans les chapitres précédents, afin d'obtenir des réponses structurelles claires et cohérentes - ils ont montré une étroite corrélation de résultats avec les conclusions précédemment tirées.
- Au niveau des raideurs relatives aux déplacements horizontaux, traduits en (voir tableau 4.4):
  - périodes fondamentales de vibration - on constate qu'elles diminuent en moyenne d'environ 25,28%;

### Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques

- les rotations de niveau relatif - on constate qu'elles diminuent en moyenne d'environ 78,62%.

Dans les calculs sur modèles spatiaux (3D), il y a une similitude parfaite avec les conclusions tirées des études planaires pour les lignes de résistance choisies comme modèles plans (2D) pour les éléments structurels constitutifs et implicitement pour les murs porteurs en b.a.:

- Pour les parois marginales, il y a des augmentations ou des diminutions supplémentaires des forces axiales, en fonction de la direction de l'action sismique;
- Pour les parois centrales, les différences de forces axiales sont généralement inférieures à 1,5%, en raison de la symétrie, cependant, sur tous les murs, quelle que soit la position symétrique dans le plan du bâtiment, il y a des réductions moyennes significatives des efforts de cisaillement (entre 19,10 et 58,64%) et des moments de flexion dans les murs porteurs (entre 37,78 et 164,74%).

A partir des vérifications effectuées pour tous les types de murs porteurs (du point de vue de la position dans le plan de la structure de résistance), des deux directions principales du bâtiment (longitudinale et transversale), dans les deux sens du séisme depuis la direction dans laquelle elles sont disposées, pour chaque régime de hauteur, il a été constaté que les mesures visant à réduire le risque sismique et à sécuriser l'introduction de contreventements, conformément aux conclusions présentées dans les chapitres précédents et en plus de celles-ci, sont efficaces pour les structures existantes de ces bâtiments, y compris les murs atteignant travailler selon les exigences théoriques et selon les codes en vigueur.

De toutes les théories modernes, basées sur des observations post-séisme, des tests de laboratoire effectués en laboratoire et des calculs numériques, nous pouvons indiquer un lien étroit entre la ductilité capable et le rapport entre la hauteur de la section transversale du mur (longueur du mur) et la hauteur de sa zone comprimée. , dans chaque section de calcul, pour les calculs non linéaires.

| <b>Mur / variante</b> | <b>L1</b> | <b>L2</b> | <b>T1</b> | <b>T2</b> |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>4 niveaux</b>      | 27.5      | 27.5      | 27.5      | 26.4      |
| <b>9 niveaux</b>      | 17.4      | 15.4      | 14.1      | 15.4      |
| <b>15 niveaux</b>     | 10        | 11.4      | 8.6       | 11.4      |

On observe donc que les ductilités capables sont comprises entre 8,6 et 27,5, valeurs compatibles avec ce que l'on sait des murs porteurs en béton armé.

Des contributions sur le renforcement des bâtiments existants par l'utilisation des solutions avec des éléments métalliques

## BIBLIOGRAPHIE SELECTIVE

- [1] Mario D’Aniello – Steel Dissipative Bracing Systems for Seismic Retrofitting of Existing Structures: Theory and Testing
- [2] Dr. Durgesh C Rai, Department of Civil Engineering Indian Institute of Technology Kanpur, Kanpur - Review of Documents on Seismic Strengthening of Existing Buildings
- [3] Elizabeth A. Jones, James O. Jirsa – Seismic Strengthening of a reinforced concrete frame using structural steel bracing
- [4] M.A. Youssef, H. Ghaffarzadeh, M. Nehdi - Seismic performance of RC frames with concentric internal steel bracing
- [5] Viswanath K.G, Prakash K.B., Anant Desai - Seismic Analysis of Steel Braced Reinforced Concrete Frames
- [6] Marc Eric Badoux – Seismic retrofitting of seismic reinforced concrete structures with steel bracing systems
- [8] P100-3:2019 Cod de proiectare seismica - Partea a III-a - Prevederi pentru evaluarea seismica a cladirilor existente
- [9] P100-1:2013 Cod de proiectare seismica – Partea I – Prevederi de proiectare pentru clădiri
- [10] SR EN 1993-1-1 Eurocod 3: Proiectarea structurilor de oțel. Partea 1-1: Reguli generale și reguli pentru clădiri
- [11] CR 0-2012 - Cod de proiectare. Bazele proiectării construcțiilor
- [12] CR 1-1-3/2012 - Cod de proiectare. Evaluarea acțiunii zăpezii asupra construcțiilor
- [13] CR 1-1-4/2012 - Cod de proiectare. Evaluarea acțiunii vântului asupra construcțiilor
- [14] SR EN 1992-1-1:2004/NB:2008 - Proiectarea structurilor din beton. Reguli generale si reguli pentru cladiri. Anexa nationala
- [15] SR EN 1993-1-1:2006/NA:2008 - Proiectarea structurilor de otel. Reguli generale si reguli pentru cladiri. Anexa nationala
- [16] CR2-1-1.1-2013 - Cod de proiectare a constructiilor cu pereti structurali de beton armat
- [17] NE 012-1-2007 - Cod de practică pentru executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat - Partea 1: Producerea betonului
- [18] SR EN 1991-1-1:2004/NA:2006 - Acțiuni asupra structurilor. Acțiuni generale - Greutăți specifice, greutate proprii, încărcări utile pentru clădiri. Anexa nationala
- [19] SR EN 1993-1-3:2008/NB:2008 - Proiectarea structurilor de otel. Reguli generale – Reguli suplimentare pentru elemente structurale si table formate la rece. Anexa nationala
- [20] SR EN 1993-1-8:2006/NB:2008 - Proiectarea structurilor de otel. Proiectarea imbinarilor. Anexa nationala
- [21] Ezzaki N., Stoica D., Rece L., Modrea A - Reducing the seismic vulnerability for RC buildings by using steel bracing elements – Romanian Journal of Transport Infrastructure - DOI: <https://doi.org/10.2478/rjti-2019-0005> - Published online: 12 Nov 2019
- [22] Rece L., Ezzaki N., Stoica D., Jeflea V. - The use of tuned mass dampers for reducing structural vulnerabilities during the side movements of buildings with reinforced concrete frames - Romanian Journal of Transport Infrastructure 2019 - DOI: <https://doi.org/10.2478/rjti-2019-0004> - Published online: 12 Nov 2019
- [23] Ezzaki N., Stoica D., Rece L., Legendi A., - The use of damper systems in buildings with reinforced concrete structures - [CBU International Conference Proceedings ...](#); Prague, Vol. 7, (2019). DOI:10.12955/cbup.v7.1474