

Structure anti-sismique pour un bâtiment public à Haïti

Juan Manuel Orquín Casas*
Israel López Campillo

*Universidad Politécnica de Madrid y Secingroup
juanmanuel.orquin@upm.es

Anti-seismic structure for a public building at Haiti

Résumé

Cet article propose une conception originale de la structure d'un bâtiment public pour qu'il résiste de façon optimale aux sollicitations extrêmes de vents et séismes typiques de nombreux pays en voie de développement. La conception tient en compte et s'ajuste aux matériaux, main d'œuvre et budget propres à ces pays. Concrètement, l'édifice objet de l'étude est un collège situé à Port-au-Prince, capitale de Haïti, qui, comme l'on s'en souviendra a été le théâtre d'un fort séisme le 10 janvier 2010. La structure propose un système optimum par rapport aux efforts sismiques grâce à des panneaux de rigidification, utilisant pour cela les matériaux de construction en parpaing, peu onéreux et disponibles à Haïti.

Mots clefs: Conception de structure antisismique, logements sociaux, Haïti.

Abstract

This article proposes a structural design of a building of public nature, in order that it resists the extreme typical solicitations of wind and earthquake of many underdeveloped countries, using the materials from these places. The proposed building is a school placed in Port-au-Prince, the capital of Haiti, which as we can remember, suffered a big earthquake on January 10, 2010. An ideal structural system is proposed against seismic forces with rigiditation cores using the enclosures with blocks of perforated concrete, cheap and common elements in Haiti.

Key words: Seismic design of structures, Housing of social interest, Haiti.

1. Description du bâtiment proposé

Le bâtiment proposé est un édifice de trois étages, de trois mètres de haut chacun, d'une longueur de 36 mètres pour

20 mètres de large. À chaque étage se distribuent six salles de classe de grande superficie, ainsi que deux blocs sanitaires.

Le toit à deux versants est conçu pour récupérer les eaux de pluie, ce qui permet d'avoir un apport d'eau potable indépendant du réseau général en cas de coupure.

2. Schéma de la structure

La structure consiste en un système de portique en poutres et poteaux, habituel dans la construction, également dans les pays développés (voir photographie 1). Si

l'immeuble a peu de hauteur comme c'est le cas, il n'est en général pas nécessaire de renforcer la structure avec des panneaux de rigidification. Le protocole habituel d'étude du comportement du bâtiment soumis à des efforts extérieurs se limite à l'analyse de la structure, sans tenir compte de l'effet des murs, portes et fenêtres, cloisons, cage d'ascenseurs, etc...

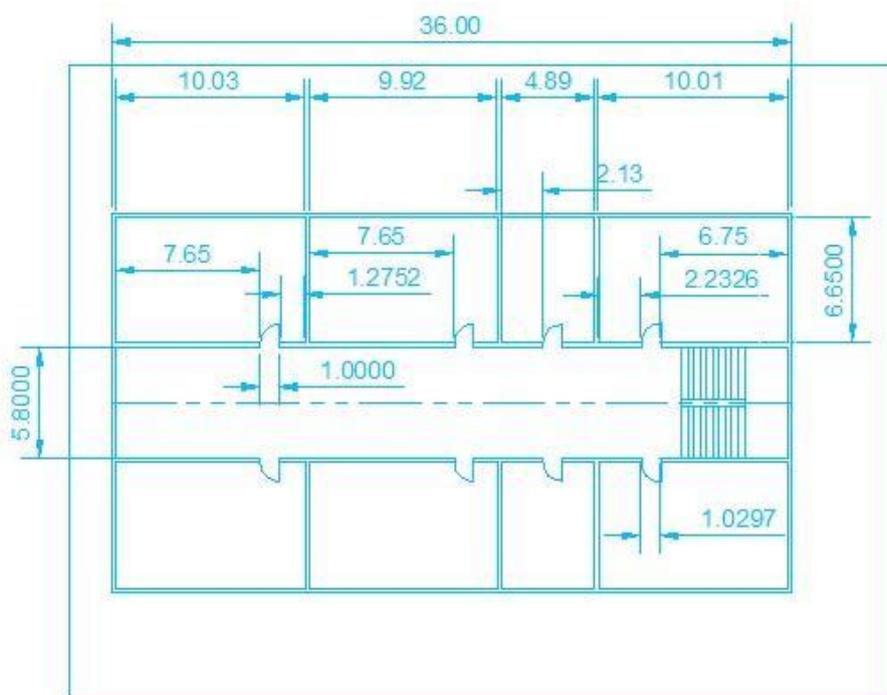
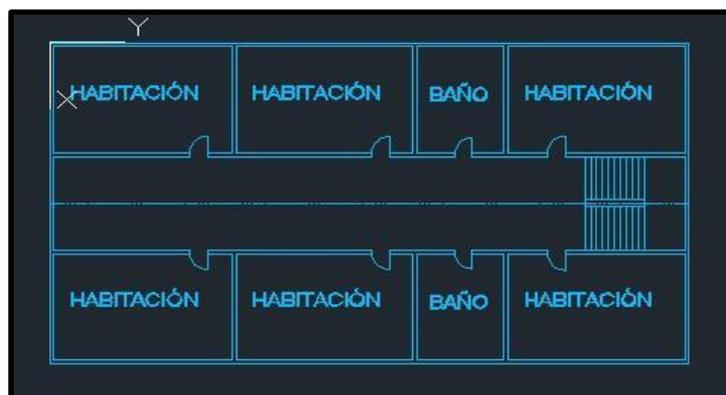
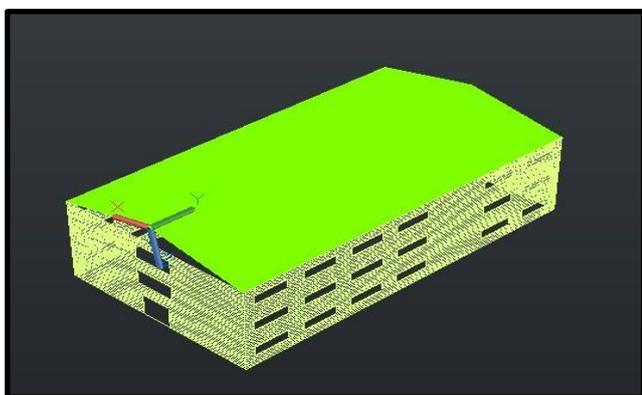


Figure 1. De haut en bas: Vue isométrique, distribution et plan architectural du bâtiment proposé.

Néanmoins, il est possible d'utiliser les murs de l'immeuble comme panneaux permettant de rigidifier la structure en poutres et poteaux. Ainsi, cette étude traite de considérer le rôle des éléments de construction des murs comme outil de rigidification. Le parpaing creux est considéré dans ce travail, étant un élément peu onéreux et habituel à Haïti dans la construction des bâtiments publics, comme sur la photographie 1 correspondant à la construction d'une école dans ce pays. La photographie 2

montre un élément de parpaing creux utilisé dans cet ouvrage.

L'apport dans la conception de la structure de cet article consiste à utiliser certaines zones du bâtiment comme panneaux de rigidification, réduisant considérablement la fonction résistante des charges sismiques sur les poutres et les poteaux. Cette idée tient en compte le peu de formation technique de la main d'œuvre disponible à Haïti et permet d'éviter les doutes et les erreurs lors de l'exécution de l'ouvrage, tout en assurant sa résistance.



Photographie 1. Exécution de la structure d'un collège à Haïti. Année 2010.



Photographie 2. Bloc de parpaing creux utilisé dans la construction ci-dessus.

Le choix du bloc de parpaing comme élément de construction est justifié pour son faible prix et ses qualités: facilite la construction, bonne résistance à la compression, bon isolant thermique et acoustique, bon comportement en cas d'incendie (inerte et isolant)... Avant tout, le parpaing est très répandu à Haïti et la main d'œuvre est habituée à cet élément de construction, ce qui simplifie l'ouvrage.

3. Comportement de la structure

Comme il a été commenté dans la section précédente, le protocole habituel d'étude du comportement du bâtiment soumis à des efforts extérieurs (poids du bâtiment, vents, séisme) se limite à l'analyse de la structure, sans tenir compte de l'effet des murs, portes et fenêtres, cloisons, cage d'ascenseurs, etc... Cette pratique se justifie dans de nombreux cas en argumentant que les effets négatifs sont pris en compte (poids principalement) mais leur contribution à la résistance de l'immeuble ne l'est pas, consistant en une approche plutôt conservatrice.

Pourtant, cette approche n'est généralement pas adéquate. D'abord parce qu'elle omet de tenir compte de la rigidité fournie par ces éléments, ce qui modifie totalement la répartition des efforts sur la structure. Le calcul rigoureux des efforts grâce à un programme informatique sophistiqué n'est pas très logique si finalement l'on veut disposer dans ce bâtiment des éléments qui modifieront totalement la répartition de la rigidité et, par conséquent, des efforts. Ensuite, parce que la contribution à la rigidité de la structure et à la résistance du bâtiment ne sont pas tenues en compte, même quand elle est bien supérieure à celle de la structure en portique.

Pour l'immeuble proposé dans cet article, les panneaux de rigidification consisteront en des blocs de parpaings creux remplis de béton dans la masse. Les zones signalées dans la figure suivante (Figure 2) ont été choisies comme panneaux de rigidification, où il ne pourra pas bien sûr avoir d'ouverture pour disposer une fenêtre.

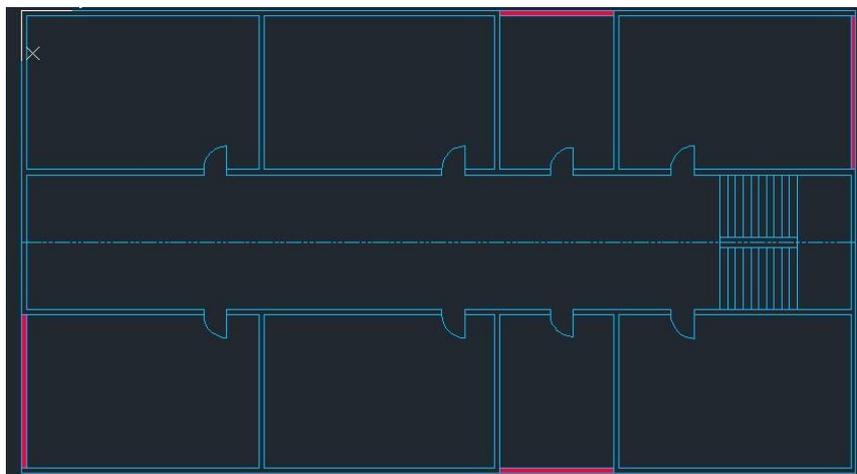


Figure 2. Panneaux de rigidification proposés, signalé en couleur magenta.

Un calcul élémentaire permet de constater que le parpaing choisi a une capacité largement suffisante pour supporter les sollicitations gravitationnelles de l'ensemble de l'édifice, bien inférieures aux sollicitations produites par un séisme dans les étages inférieurs. Un mur en parpaing remplis de béton de dimension $3 \times 3,5 \times 0,13 \text{ m}^3$ a une rigidité dans son plan médian $K_m = 2\ 300 \text{ kN/mm}$. Les calculs correspondant à la rigidité du portique principal de l'édifice formé par trois poutres horizontales et quatre poteaux (voir Figure 3) en béton armé de section $0,3 \times 0,3 \text{ m}^2$ donnent $K_p = 300 \text{ kN/mm}$ dans le même plan.

Ainsi, un seul pan de mur en parpaing rempli de béton apporte plus de rigidité à la structure que le portique en lui-même. En réalité, ce sont les murs qui, souvent, apportent toute la rigidité et la résistance du bâtiment face à des charges horizontales alignées avec le mur. D'ailleurs, un schéma fréquent de

construction consiste en une succession de portiques parallèles entre lesquels l'on dispose des dalles soutenues par des poutrelles métalliques tendues perpendiculairement entre les portiques. Dans ce cas de figure, les poutrelles ne font que s'appuyer sur le portique (sans union) et les valeurs de résistance aux charges horizontales dans la direction des poutrelles (ou de l'armatures unidirectionnelle des dalles) ne sont pas fiables... Le portique employé pour la structure de l'école dans cet article est la présentée en figure 3.

Les poutres du portique principal ont pour dimension $30 \times 40 \text{ cm}$ pour des poteaux de $30 \times 30 \text{ cm}$, de même que pour le reste de la structure. Il est possible de modéliser le pan de mur en béton comme une bielle comprimée située dans la diagonale du pan, de la même largeur que les poteaux et d'une grosseur correspondant à un quart de la diagonale, comme illustré dans la figure 4.

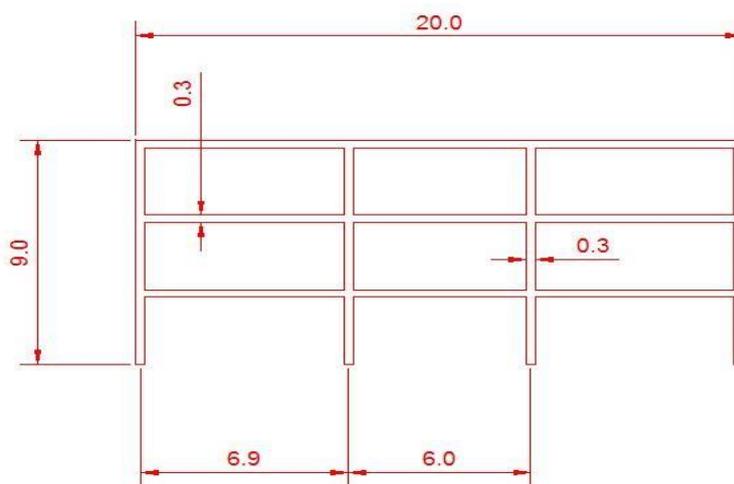


Figure 3. Schéma de la structure en portique.

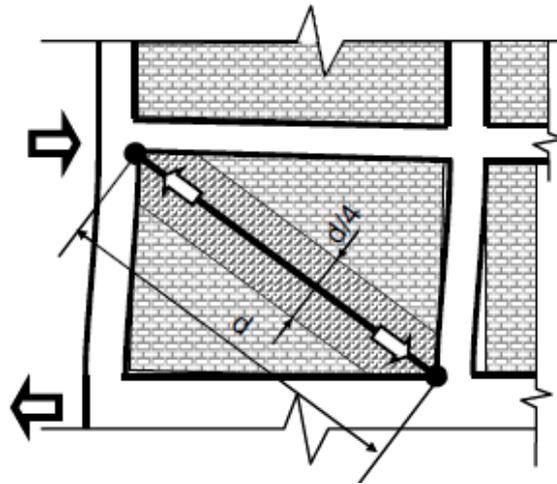


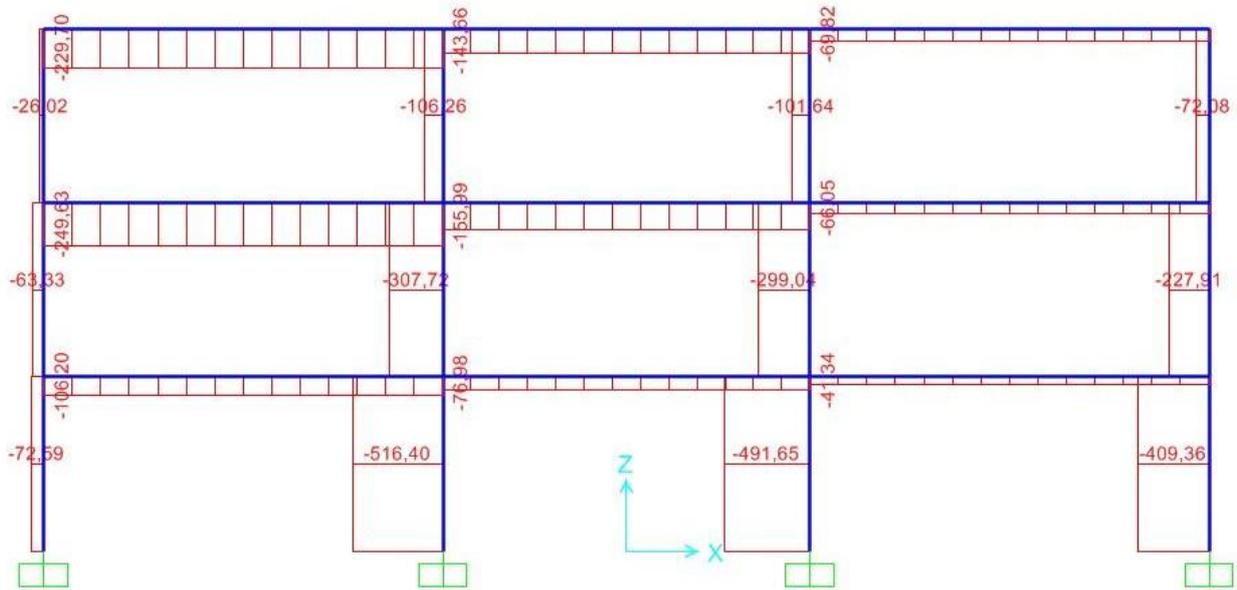
Figure 4. Schéma de la structure du pan de mur en parpaing-béton et modelisation.

4. Comparaison structurelle entre un système de portique simple en poutre et poteaux et système muni de pans de mur rigidifiants

En terme d'actions permanentes (gravitationnelles) il a été considéré un poids propre de 1 kN/m^2 pour les cloisons et 3 kN/m^2 pour les planchers fabriqués en dalles unidirectionnelles. Quant aux actions variables: 3 kN/m^2 et 1 kN/m^2 pour les surcharges d'utilisation sur planchers et toiture, respectivement. Il a également été pris en compte des efforts variables dus aux vents ($0,8 \text{ kN/m}^2$ de sur-pression, et $-0,4 \text{ kN/m}^2$ de suction). En outre, l'action accidentelle d'un éventuel séisme (refletée dans la table de

la figure 6) a été modélisée grâce au programme de calcul SAP2000, considérant ou non la contribution de pan de mur rigidifiants pour pouvoir comparer. Les forces statiques équivalentes aux efforts sismiques on été obtenues par une méthode simplifiée proposée dans la norme espagnole NCSE, bien que la valeur locale de l'accélération sismique ait été tirée de la référence bibliographique [1]. La carte d'accélération sismique de la dite référence est présentée en figure 5.

- Efforts de traction/compression



- Moments de flexion

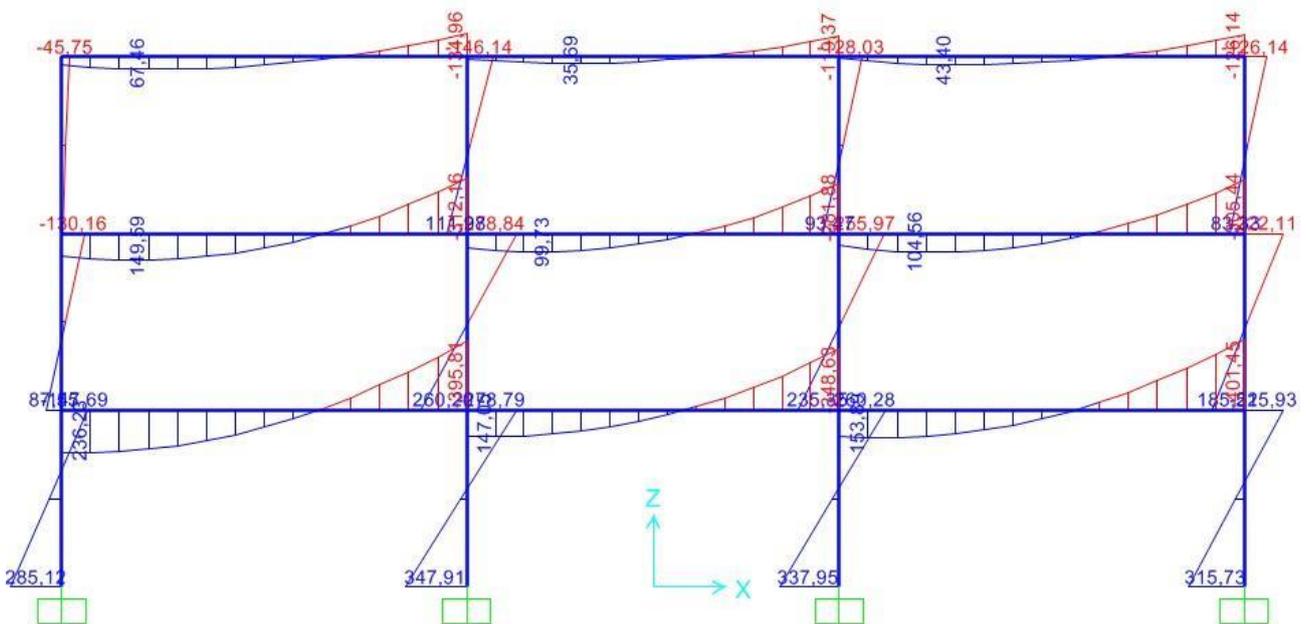
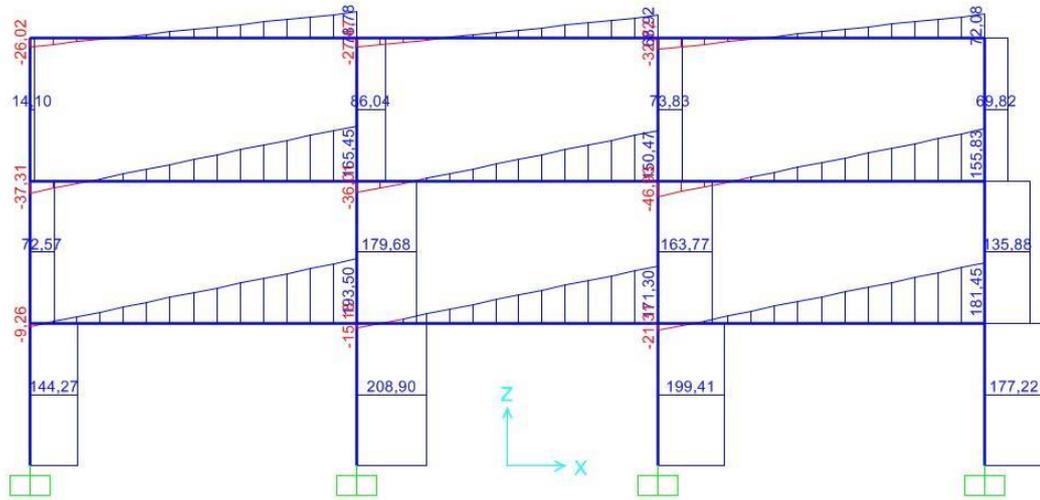


Figure 7. Diagrammes des efforts de compression et moments de flexion.

- Efforts de cisaillement



- Déplacements

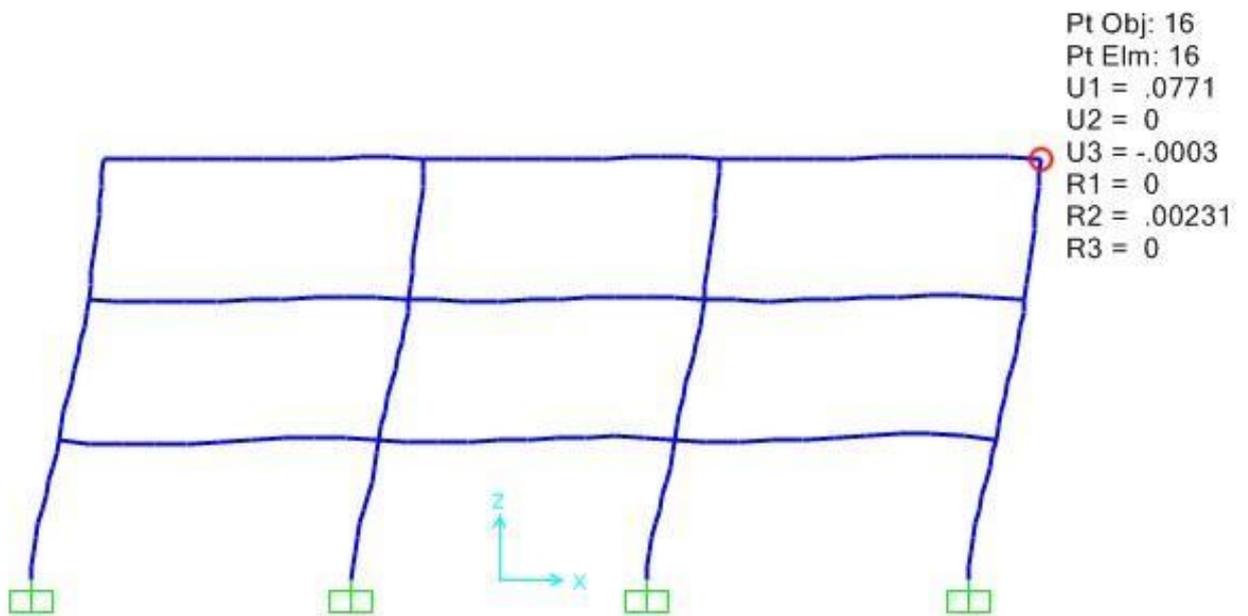


Figure 8: Diagramme des efforts de cisaillement et déformation.

Les figures suivantes présentent les mêmes diagrammes d'efforts, en considérant maintenant l'effet des panneaux de rigidification. De même

qu'auparavant, les efforts sismiques équivalents ont été pris en compte, tout comme les charges permanentes et variables.

- Efforts de compression

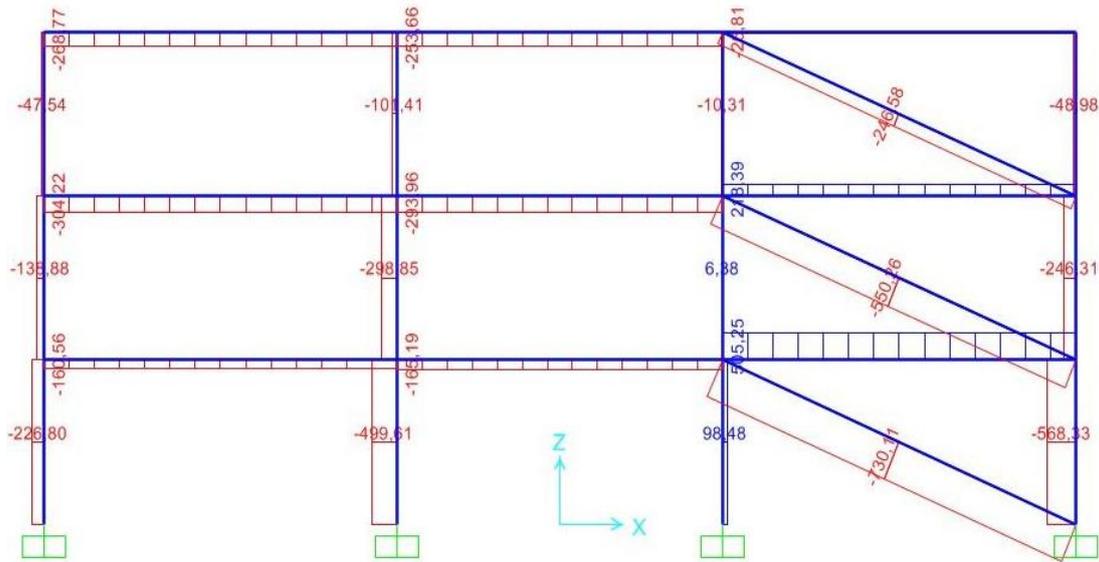
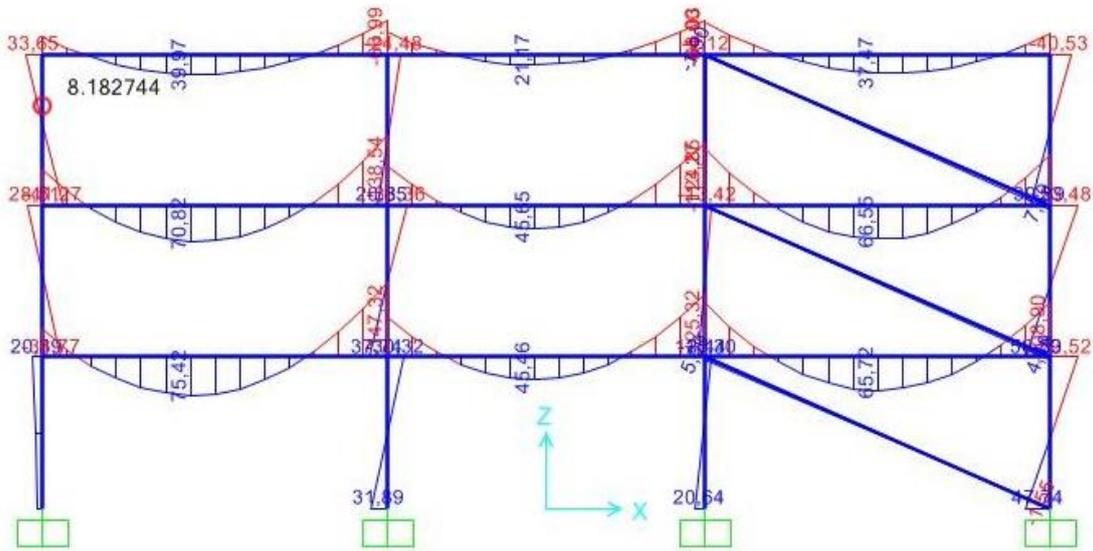


Figure 9. Diagramme des efforts de compression.

Comme l'on peut constater dans ce cas, la force maximale de compression est de 730 kN, supportée par les pans de mur en parpaing creux rempli de béton. Cette force de compression résulte en des tensions bien inférieures ($1,5 \text{ kN/mm}^2$) à ce que peut supporter le béton coulé dans le parpaing (25 N/mm^2).

- Moment de flexion



- Cisaillement

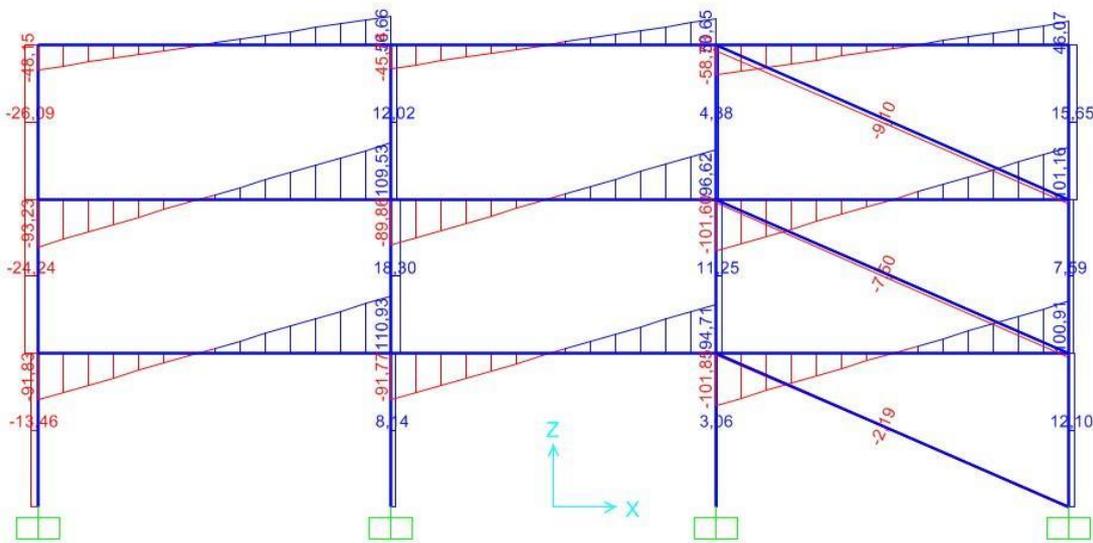


Figure 10. Diagramme des efforts de cisaillement et moment de flexion.

- Déformation

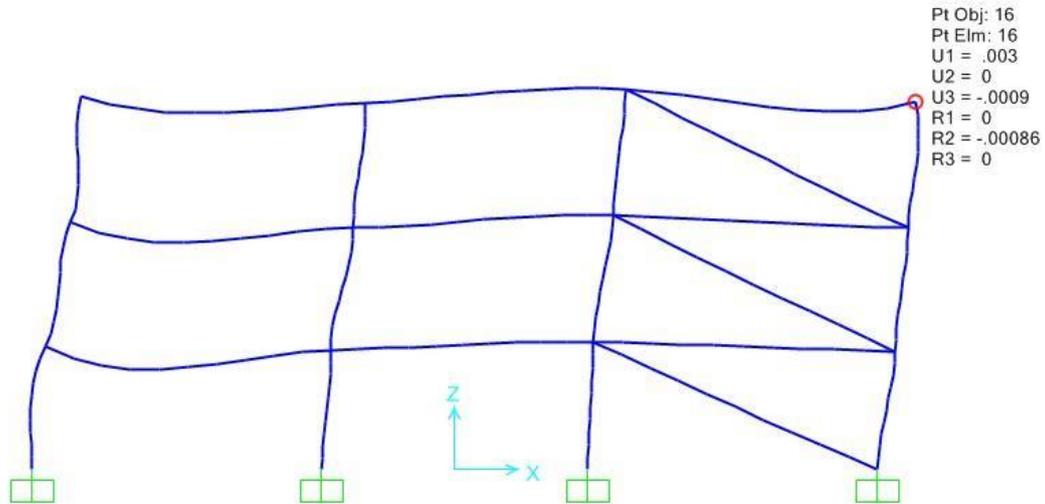


Figure 11. Déformation de la structure.

Dans l'ensemble, on peut observer une réduction importante des efforts et de la déformation, comme montré dans la table suivante de la figure 12.

	Moment flexion max. [KNm]	Cisaillement max. [KN]	Compression max [KN]	Déplacement max [m]
Sans rigidification	350	210	520	0,08
Avec rigidification	75	110	500	0,03
Reduction %	78,6	47,6	3,9	62,5

Figure 12. Table comparative des résultats obtenus.

5. Conclusions

Cet article propose une solution simple pour rigidifier la structure de portique en poutre et poteaux d'un collège public à Haïti. Il est proposé de rigidifier l'immeuble grâce à des pans de mur en parpaing creux remplis de béton. La solution proposée est efficace et constitue

un bon modèle structurel quant à son comportement face à des sollicitations accidentelles comme de forts vents ou un séisme. La solution est d'autant plus attractive qu'elle est simple à mettre en oeuvre et très économique, tous deux facteurs importants pour un pays comme Haïti.

REFERENCES

- Ministerio de la Vivienda. Código Técnico de la Edificación. Documento Básico Seguridad Estructural: Acciones en la edificación. Abril 2009.
- AENOR. UNE-EN 1996-1-1:2011.
Eurocódigo 6: Proyecto de Estructuras de Fábrica Parte 1-1: Reglas generales para estructuras de fábrica armada y sin armar". 2011.
- AENOR. UNE-EN 1998-1:2011.
Eurocódigo 8: Proyecto de estructuras sismorresistentes. Parte 1: Reglas generales, acciones sísmicas y reglas para edificación.2011.
- AENOR. UNE-EN 1998-3:2012. Eurocódigo 8: Proyecto de estructuras sismorresistentes. Parte 3: Evaluación y adecuación sísmica de edificios. 2012.
- Ramón Álvarez Cabal, Eduardo Díaz-Pavón Cuaresma, Raúl Rodríguez Escribano. El Terremoto de Lorca. Efectos en los edificios. Intemac y Consorcio de Compensación de Seguros. Madrid, 2013.
- Coordinación científico técnica: UPM y ONEN. Evaluación de la peligrosidad y el riesgo sísmico en Haití y aplicación al diseño sismorresistente. Madrid, 2012.
- Ramos Gutiérrez, S. Modelización de fachadas ante sollicitaciones sísmicas. Proyecto de fin de Carrera. Universidad de Politécnica de Madrid. 2012.
- Fernández-Ordóñez, J., Fernández Gómez. Industrialización para la construcción de viviendas. Viviendas asequibles realizadas con prefabricados de hormigón. Informes de la Construcción, Vol. 61, 514, 71-79, abril-junio 2009. ISSN: 0020-0883. eISSN: 1988-3234.
DOI: 10.3989/ic.09.003
- Borelly, Hernán. Prefabricación en concreto reforzado en la construcción de vivienda de desarrollo progresivo. Diseño y tecnología para un mejor hábitat popular. Simesa, Medellín 1988