



## **L'influence Sismique et Énergétique du Joint en Polystyrène dans les Constructions en Algérie**

B. Djebbar\*, H. Maaden, N. Boualla

*Département de génie civil, université des Sciences et de la Technologie d'Oran U.S.T.O.  
M.B. BP. 1505 El M'Naouer - Oran, Algérie.*

\*Auteur correspondant : [bad0579@yahoo.fr](mailto:bad0579@yahoo.fr)

**Résumé.** La construction parasismique est un domaine complexe. Il demande de prendre en compte une somme de facteurs à gérer simultanément : l'historique du lieu, le ou les types de séismes, la destination finale de l'ouvrage à projeter et à exécuter, la nature des sols, la typologie de la construction, le choix des matériaux, la partie architecturale etc. L'entrechoquement se produit entre deux bâtiments mitoyens ou entre deux blocs d'un même bâtiment séparé par un joint sismique de trop faible largeur. Les solutions permettant de prévenir ce phénomène sont radicalement opposées.

En Algérie, l'isolant thermique le plus répandu c'est le « polystyrène », c'est un matériau léger mais rigide, doté d'une très bonne résistance mécanique et thermique. Dans ce contexte, nous allons voir dans notre étude l'influence du polystyrène dans les joints lors de l'entrechoquement entre les bâtiments adjacents lors des séismes, ainsi que son efficacité dans l'isolation thermique et l'influence de son épaisseur sur la consommation énergétique en périodes estivale et hivernale.

**Mots-Clés.** Polystyrène, Joint sismique et thermique, Sollicitations sismiques, Déplacement, Rigidité, Entrechoquement.

### **INTRODUCTION**

Les dommages lors du séisme, dans le cas où nous avons une seule structure, ne sont pas aussi importants que ceux où nous avons plusieurs structures adjacentes. Cela est dû en grande partie à l'entrechoquement.

L'entrechoquement entre les structures adjacentes se produit principalement lorsqu'on a une différence significative dans la masse, et la rigidité. Il se produit si l'espace entre les bâtiments n'est pas suffisant pour permettre la vibration libre. Chaque fois qu'un impact se produit, les bâtiments sont soumis à des forces d'impacts instantanés qui n'étaient pas prises en compte lors de la conception de la structure. Ces forces d'impacts produisent une très forte amplitude, une accélération locale de courte durée qui pourrait induire des dommages aux éléments structuraux ou aux composants mécaniques et électriques des bâtiments.

L'isolant thermique le plus utilisé dans notre pays c'est le « polystyrène », constitué de cellules fermées, remplies d'air, il est de ce fait un matériau isolant très performant léger et rigide, doté d'une très bonne résistance mécanique et thermique, le polystyrène se situe parmi les matériaux isolants les plus performants et permet d'abaisser la consommation de chauffage.

## MODÉLISATION DES STRUCTURES ADJACENTES À UN SEUL DEGRÉ DE LIBERTÉ

La modélisation la plus simple pour étudier l'effet du séisme en tenant compte de l'entrechoquement entre plusieurs structures adjacentes est montrée dans la figure 1.

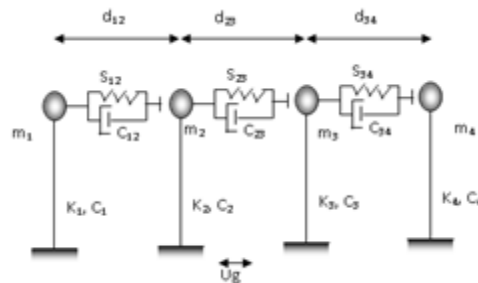


Fig. 1. Modélisation de plusieurs structures adjacentes.

Où :  $m_i$  : masse de la structure  $i$  ;  $K_i$  : rigidité de la structure  $i$  ;  $C_i$  : amortissement de la structure  $i$  ;  $S_{ij}$  : rigidité d'impact entre la structure  $i$  et la structure adjacente  $j$  ;  $C_{ij}$  : amortissement d'impact entre la structure  $i$  et la structure adjacente  $j$  ;  $d_{ij}$  : distance entre la structure  $i$  et la structure adjacente  $j$  ; chaque structure est modélisée comme un système à seul degré de liberté : (1.D.D.L) avec comme caractéristiques : Masse  $m_i$ , constante d'amortissement  $C_i$ , rigidité initiale  $K_i$ ,

L'entrechoquement est simulé au moyen d'éléments d'impacts viscoélastiques linéaires (ressorts - amortisseurs) qui sont présentés entre les masses et agissent seulement quand les masses sont en contact. Ces éléments sont caractérisés par les constantes de ressort linéaires  $S_{ij}$  et les constantes d'amortisseur  $C_{ij}$ .

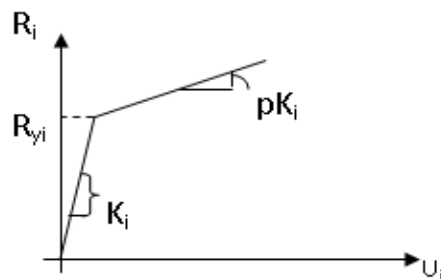


Fig 2. Force de résistance en fonction du déplacement (Filiatrault et al., 1993).

## MÉTHODES ET RÉSULTATS

La mise en équation générale de plusieurs structures adjacentes s'écrit :

$$m_i \ddot{u}_i + c_i \dot{u}_i + R_i - F_{i-1,i} + F_{i,i+1} = -m_i \ddot{U} \quad (1)$$

Où :

$R_i$  est la force de résistance de la structure considérée, elle est fonction du déplacement relatif  $u_i$  de la structure.  $F_{i-1,i}$  et  $F_{i,i+1}$  sont les forces d'impact dues à l'entrechoquement de la masse  $i$  avec les masses  $i-1$  et  $i+1$  respectivement. Si nous appelons :

$$\delta_i = u_i - u_{i+1} - d_{i,i+1} \quad (2)$$

Où :

$d_{i,i+1}$  est la distance entre les systèmes  $i$  et  $i+1$ , la condition pour que les masses  $i$  et  $i+1$  soient en contact est  $\delta_i > 0$ . Ainsi, les expressions pour les forces  $F_{i-1,i}$  et  $F_{i,i+1}$  sont :

Pour  $\delta_{i-1} \leq 0$  :

$$F_{i-1,i} = 0$$

$$F_{i-1,i} = S_{i-1,i} \delta_{i-1} + C_{i-1,i} \dot{\delta}_{i-1} \quad (3)$$

Pour  $\delta_i \leq 0$  :

$$F_{i,i+1} = 0$$

$$F_{i,i+1} = S_{i,i+1} \delta_i + C_{i,i+1} \dot{\delta}_i$$

Sous forme matricielle le système des équations peut alors être écrit comme suit (Stavros, 1988) :

$$[M]\{\ddot{U}\} + [C]\{\dot{U}\} + \{R\} + [S]\{U\} + \{D\} = -\ddot{u}_g \{m\} \quad (4)$$

Dans ces matrices,  $c_{i,i+1}$  et  $s_{i,i+1}$  sont égales à zéro si les masses  $m_i$  et  $m_{i+1}$  ne sont pas en contact, par exemple si  $\delta_i \leq 0$  équation (40).

$$R_i = -K_{i-1} u_{i-1} + (K_{i-1} + K_i) u_i - K_i u_{i+1} \quad (5)$$

Où :  $K_i$  la rigidité de la structure  $i$  ;

$\delta_i$  Distance qui sépare deux structures adjacentes lors de leur déformation (Stavros, 1988).

En égalisant les déperditions d'énergie pendant l'impact, l'expression résultante est (Stavros, 1988) :

$$C_{ij} = 2 \cdot \xi_{ij} \sqrt{\left( S_{ij} \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \right)} \quad (6)$$

$$\xi_{ij} = \frac{-\ln e}{\sqrt{\pi^2 + (\ln e)^2}}$$

Où :  $S_{ij}$  = raideur du ressort d'impact ;  $\ln e$  = logarithme naturel du coefficient de restitution « e » ;  $C_{ij}$  = amortissement d'impact ;  $\xi_{ij}$  = constantes d'amortissement de la structure  $i$  ou  $j$ .

## BILAN THERMIQUE DE LA ZONE

Le bilan convectif du local s'écrit en traduisant le fait que les variations de la température d'air soient dues à la somme du flux convectif relatif à l'entrée d'air neuf des flux convectifs échangés entre les parois et l'air du local, ainsi que d'autres apports convectifs internes (Maaden ,2006) :

$$\sum_{i=1}^{Ns} S_i h_{c,i} (T_{Si} - T_i) + \dot{m}_a C_a (T_a - T_i) + A_p = \rho_a C_a V \frac{dT_i}{dt} \quad (7)$$

Où :  $\dot{m}_a$  : débit d'air entrant dans la zone [Kg/s] ;  $C_a$  : chaleur spécifique de l'air [J Kg/K] ;  $\rho_a$  : masse volumique de l'air (supposée constante) [Kg/m<sup>3</sup>] ;  $V$  : volume de zone [m<sup>3</sup>] ;  $A_p$  : apports internes convectifs [W] ;  $T_a$  : température de l'air entrant dans la zone [K].

Dans le cas où une puissance convective serait fournie au local afin de maintenir la température de consigne  $T_c$ , on obtient l'écriture suivante qui permet de calculer cette puissance  $P_{conv}$ .

$$\sum_{i=1}^{Ns} S_i h_{c,i} (T_{Si} - T_c) + \dot{m}_a C_a (T_a - T_c) + A_p + P_{conv} = 0 \quad (\text{Maaden ,2006}) \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^{Ns} S_i h_{c,i} (T_{Si} - T_c) + \dot{m}_a C_a (T_a - T_c) + A_p + P_{conv} = 0 \quad (9)$$

Pour étudier le comportement des structures adjacentes sous sollicitations sismiques, nous avons pris comme exemple le tremblement de terre de Santa Monica, le 17 Janvier 1994.

## INFLUENCE DE LA DIMENSION DU JOINT

Tableau. 1. Caractéristiques Des Structures Considérées.

Caractéristiques de la structure	Valeurs			
	Série01	Série02	Série03	Série04
Masse (tonnes)	36	36	36	36
Raideur (KN/m)	Poteaux (20x20) cm	Poteaux (20x20) cm	Poteaux (20x20) cm	Poteaux (20x20) cm
	18.00	18.00	18.00	18.00
Amortissement $\xi$	5%	5%	5%	5%
Raideur du ressort d'impact	50 x rigidité la plus élevée des deux systèmes.	50 x rigidité la plus élevée des deux systèmes.	50 x rigidités la plus élevée des deux systèmes.	50 x rigidités la plus élevée des deux systèmes.
Coeff. De restitution	0.60	0.60	0.60	0.60

a) Joint sismique de 2 cm sans polystyrène :

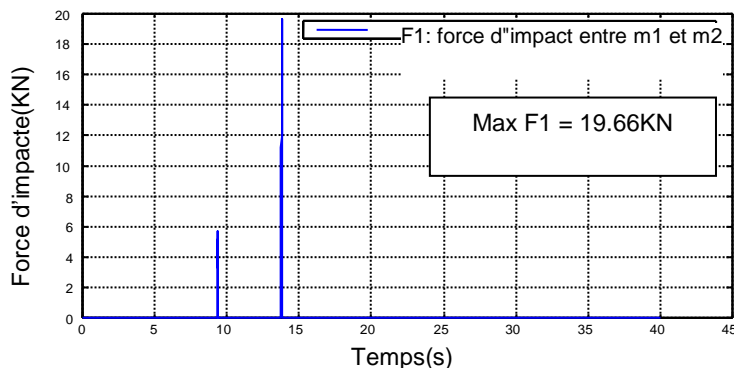


Fig 3. Évolution de la force d'impact entre la 1<sup>ère</sup> et la 2<sup>ème</sup>

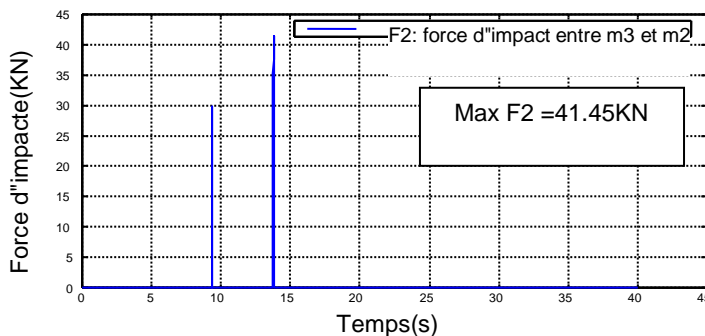


Fig 4.Évolution de la force d'impact entre la 2<sup>ème</sup> et la 3<sup>ème</sup>

La dimension du joint de 2 cm entre les structures n'évite pas l'entrechoquement sous le séisme de Santa Monica. Les deux structures d'extrémités présentent des déplacements supérieurs aux autres, elles sont de l'ordre de 5 cm (Fig.3). L'impact est de deux chocs entre les structures, la force d'impact maximal est entre la 3<sup>ème</sup> et la 4<sup>ème</sup> structure ; là où les déplacements sont importants ; et est égale à 43.69KN (Fig.5).

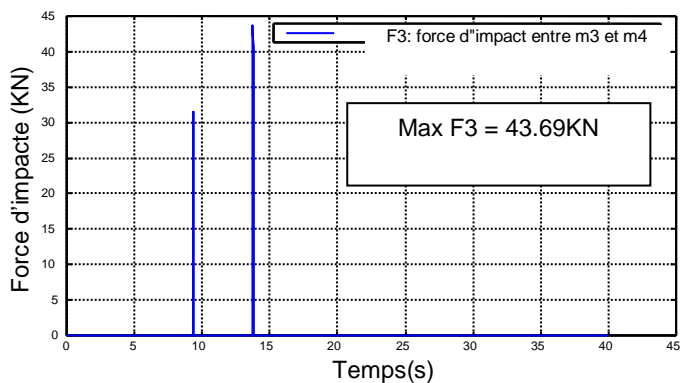


Fig 5.Évolution de la force d'impact entre la 3<sup>ème</sup> et la 4<sup>ème</sup> structure.

b) Joint sismique de 2 cm rempli avec du polystyrène

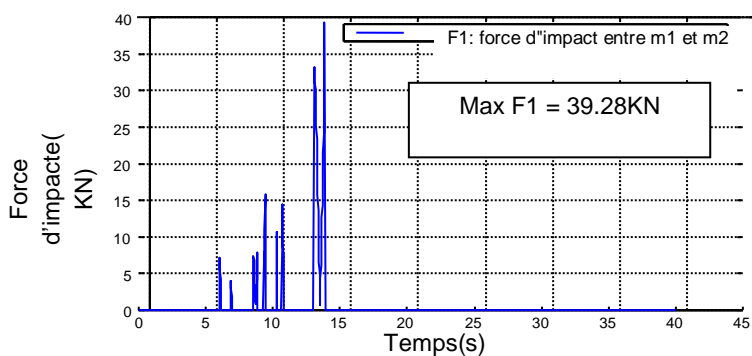


Fig 6.Évolution de la force d'impact entre la 1<sup>ère</sup> et la 2<sup>ème</sup> structure.

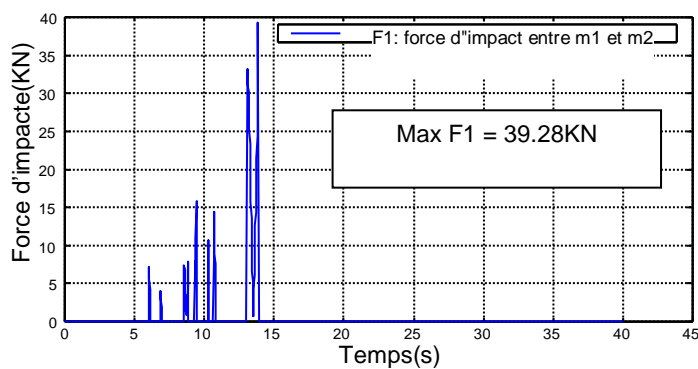


Fig 7.Évolution de la force d'impact entre la 2<sup>ème</sup> et la 3<sup>ème</sup> structure.

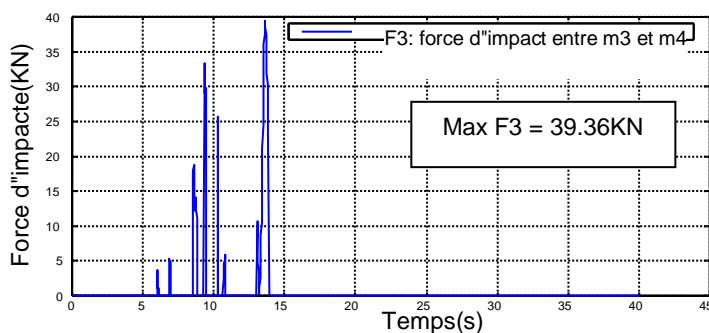


Fig 8.Évolution de la force d'impact entre la 3<sup>ème</sup> et la 4<sup>ème</sup> structure.

## ÉTUDE THERMIQUE

Description du local étudié :

La structure étudiée est une mono-zone dont la structure est composée de poteaux/poutres. L'enveloppe est constituée (Tableau 2) comme suit :

- les murs extérieurs sont des parois doubles en briques creuses avec lame d'air.
- la toiture est une dalle à corps creux.
- le plancher bas sur terre-plein est une dalle en béton.
- le fenêtrage est à simple vitrage d'une épaisseur de 4 mm, d'une conductance hors résistances superficielles égale à 5 W/m<sup>2</sup> K et de facteur solaire égal à 0.85 avec un cadre en bois ; le rapport de la surface vitrée à la surface habitable est de 1/5.
- La lame d'air est de 0.044 h m<sup>2</sup> °C/ kJ de résistance.

Tableau. 2. Constitution Et Caractéristiques Thermiques De 'Enveloppe Du Local Étudié (Maaden , 2006).

Paroi	Matériau	$\lambda$ (W/m °C)	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	Cp (KJ/Kg °C)	e (cm)
Murs extérieurs	Enduit ciment	1.15	1800	1	1
	Brique	1.75	2300	0.92	10
	Polystyrène	0.04	30	1.25	4
	Air	/	/	0.92	10
	Brique	1.75	2300	1	1
	Enduit ciment	1.15	1800	0.92	10
Plancher bas	Béton	1.75	2300	0.67	3.0
	Polystyrène	0.04	30	1.25	2.0
	Béton	1.75	2300	0.92	10
	Étanchéité supérieure	0.04	200	0.92	4.0
Plancher haut	Polystyrène	0.04	30	1.25	2.0
	Dalle de compression	1.75	2300	0.92	4.0
	Corps creux en ciment	1.14	1850	0.92	16
	Enduit en ciment	1.15	1800	1	1.5

Les simulations ont été conduites comme suit :

- le chauffage est mis en route lorsque la température intérieure passe en dessous de 18°C.
- en période d'été le climatiseur est mis en route lorsque la température intérieure est supérieure à 25°C.
- l'infiltration est fixée à 0.5 volume par heure.
- les gains internes ont été introduits pour correspondre à un taux d'occupation égal à 2 personnes assises, un micro-ordinateur avec moniteur couleur (230W) et un éclairage artificiel (10 W/m<sup>2</sup>).

## L'INFLUENCE DE L'ÉPAISSEUR DE L'ISOLANT

L'épaisseur de l'isolant a certainement un rôle non négligeable sur les performances thermiques du local. Pour la même constitution de l'enveloppe, on a considéré trois valeurs différentes de l'épaisseur de l'isolant. On a constaté à partir de la figure 9 le raccourcissement de la période de chauffage pour une épaisseur d'isolant égale à 8 cm, elle s'étale sur 4 mois (décembre-mars) par rapport aux deux autres épaisseurs (2 et 4 cm) dont la durée de chauffage est allongée de deux mois de plus (novembre-avril).

La figure 10 montre que l'augmentation de l'épaisseur de l'isolant entraîne une réduction des besoins de chauffage, donc une décroissance des pertes. La diminution des besoins est de l'ordre

de 22% en passant de 2 à 4 cm d'isolant, de 6% en passant de 4 à 8 cm et de 28% si on passe de 2 à 8 cm. On note qu'en arrivant à un certain niveau d'épaisseur, l'écart des besoins est peu considérable.

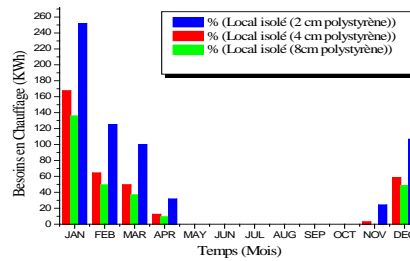


Fig 9. L'influence de l'épaisseur de l'isolant sur les besoins mensuels de chauffage (Oran. 1996) (Annabi, 2005).

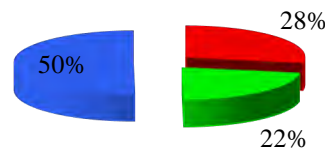


Fig 10. L'influence de l'épaisseur de l'isolant sur les besoins annuels de chauffage (Oran. 1996) (Annabi, 2005).

Les figures 10 et 11 représentent la répartition des besoins en rafraîchissement pour les différentes épaisseurs citées ci-dessus (2, 4 et 8 cm). On constate que la période de rafraîchissement est assez courte par rapport à la période de chauffage, elle est pratiquement la même pour les trois variantes et l'écart des besoins n'est pas aussi important que pour le chauffage, il est de l'ordre de 4% quand on passe de 2 à 4cm, de 3% si on augmente l'épaisseur de 4 à 8% et de 7% si on passe de 2 à 8cm.

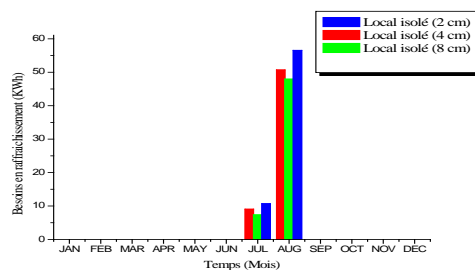


Fig 11. L'influence de l'épaisseur de l'isolant sur les besoins mensuels de rafraîchissement (Oran. 1996) (Annabi, 2005).

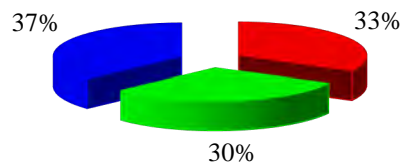


Fig 12. L'influence de l'épaisseur de l'isolant sur les besoins annuels de rafraîchissement (Oran. 1996) (Annabi, 2005).

Remarque : les simulations pour les besoins en chauffage et rafraîchissement, on a utilisé le logiciel TRNSYS 15.

### CONCLUSION

En remplissant le vide de 2 cm avec du polystyrène, le comportement des quatre structures change complètement d'une manière catastrophique, car les déplacements lors du mouvement augmentent. On remarque aussi l'amplification importante de la force d'impact et du nombre de chocs entre les structures, selon les figures 6, 7, et 8 la force d'impact maximal est de valeur 45.53KN entre la 2<sup>ème</sup> et la 3<sup>ème</sup> structure. Le nombre d'impact passe de 2 chocs entre les structures (Fig.3) à 9 chocs (Fig.6).

La présence du polystyrène dans le joint amplifie les déplacements, accélérations et forces d'impacts.

Une bonne isolation ne ferait qu'accentuer les performances thermiques du bâtiment. On a constaté que le fait de passer d'une certaine épaisseur à une autre plus importante engendrerait une économie d'énergie appréciable, mais à un certain seuil d'épaisseur la différence est insignifiante. Autant choisir une épaisseur optimale dont le prix de revient est un peu plus élevé, mais sa répercussion sur l'économie des besoins à long terme est considérable.

### BIBLIOGRAPHIE

- Annabi, M., 2005. Mémoire de magistère, université des sciences et de technologie d'Oran MB, Filiatrault, A., Cervantes, M., Folz, B., & Prion, H. (1994). Pounding of buildings during earthquakes: a Canadian perspective. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 21(2), 251-265.
- Maaden, H., 2006. Mémoire de magistère, université des sciences et des technologies MB d'Oran.
- Anagnostopoulos, S. A. (1988). Pounding of buildings in series during earthquakes. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 16(3), 443-456.