

---

# Influence de la disposition du ferrailage sur le comportement des voiles courts en béton armé sous chargement sismique

Ourdia Belaidi<sup>1</sup>, Amine Nekkouché<sup>1,2</sup>, Said Boukais<sup>1</sup>, Ali Kezmane<sup>1</sup>, Fatma Kheloui-Taouche<sup>1</sup>, Nadjet Si Hadjmohand<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> *Laboratoire de Modélisation expérimentale et numérique des Matériaux et Structures en Génie Civil (LaMoMS). Département de Génie Civil; Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. Algérie ([belouar@yahoo.fr](mailto:belouar@yahoo.fr))*

<sup>2</sup> *Université Abderrahmane Mira de Bejaia. Algérie.*

---

**RÉSUMÉ.** La résistance d'un voile béton armé est liée à son ferrailage, et l'efficacité d'un ferrailage est directement liée à sa disposition et à son orientation dans la structure. Expérimentalement, les voiles en béton armé sous chargement horizontal, cyclique et sismique ont un comportement plus performant lorsque les barres d'acier sont orientées suivant la direction des contraintes principales. Celles – ci sont directement reliées à un angle d'inclinaison qui est souvent à rechercher afin d'améliorer la performance mécanique de ces voiles. L'objectif essentiel de ce travail consiste à chercher une bonne disposition du ferrailage, et cela en cherchant l'angle d'inclinaison des barres diagonales le plus adéquat afin d'améliorer la performance mécanique des voiles courts. Les voiles sont sollicités à la base par un chargement dynamique non linéaire de type accélérogramme sismique. Les résultats de la simulation mettent en exergue la performance mécanique du ferrailage suivant la direction des contraintes principales par rapport au ferrailage classique.

**ABSTRACT.** The strength of a reinforced in RC walls is linked to its reinforcement, and the effectiveness of reinforcement is directly related to its arrangement and its orientation in the structure. Experimentally, RC walls under horizontal, cyclic and seismic loading have a better performance when the steel bars are oriented in the direction of the main stresses. These are directly connected to an angle of inclination which is often to be sought in order to improve the mechanical performance of these RC walls. The main objective of this work is to find a good arrangement of the reinforcement by looking for the most suitable angle of inclination of the diagonal bars in order to improve the mechanical performance of the RC shears walls. The RC walls are loaded at the base by a nonlinear dynamic loading of seismic accelerogram type. The results of the simulation highlight the mechanical performance of the reinforcement along the direction of the main stresses compared to the conventional reinforcement.

**MOTS-CLÉS :** Simulation numérique, voiles courts, ferrailage diagonale, angle d'inclinaison, accélérogramme.

**KEY WORDS:** Numerical simulation, RC shears, diagonal reinforcement, angle of inclination, accelerogram.

---

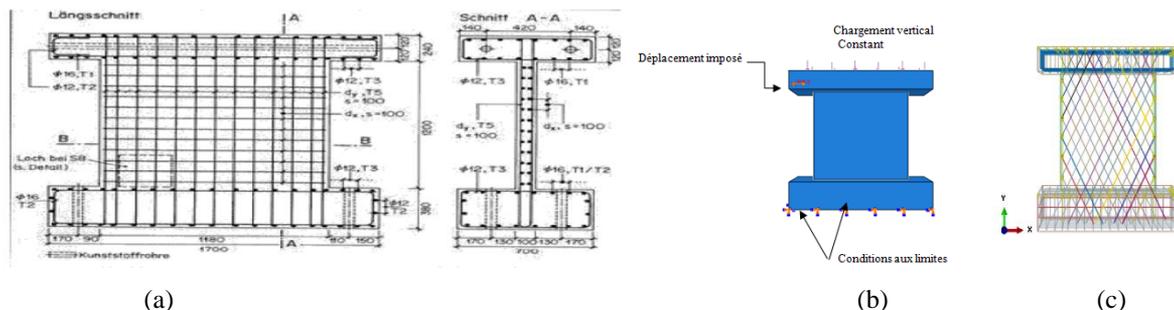
## 1. Introduction

Afin de reproduire les effets réels des séismes sur les constructions, nous avons soumis cinq voiles courts à un chargement dynamique non linéaire de type "Accélérogramme" dans le code de calcul par éléments finis [ABQ]. Un signal naturel de type séisme est utilisé [DAV 03] [DAV 85]. L'objectif de notre travail est de chercher une bonne disposition du ferrailage pour les voiles courts en béton armé [PAU 92], en cherchant l'angle d'inclinaison des barres le plus adéquat afin d'améliorer la performance mécanique des voiles [KEZ 13] [BEL 17]. Le ferrailage conventionnel ne répond pas totalement à la sollicitation. Il est nécessaire de disposer les armatures suivant une direction orientée pour fermer les fissures ou tout simplement d'en empêcher leur apparition. La recherche d'un angle optimal relatif à la disposition du ferrailage s'impose dans le cadre de cette investigation. La performance mécanique de l'élément de structure est représentée en termes de capacité ultime et d'évaluation des dommages.

## 2. Modèle expérimental de référence

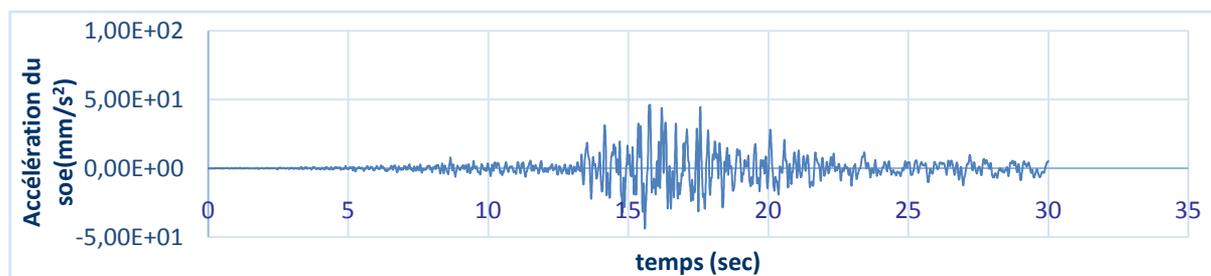
Afin de vérifier la pertinence du modèle numérique proposé dans la présente étude, l'un des spécimens testés par Maier [MAI 85] est retenu (figure 1.a). La hauteur, la largeur et l'épaisseur du voile sont : 1200 mm, 1180 mm et 100 mm respectivement. Le chargement appliqué s'agit d'un chargement vertical constant de 325kN durant tout le test et une force horizontale pilotée en déplacement imposé de 13 mm (figure 1.b). Pour notre

étude nous avons considéré cinq voiles courts ayant le même élancement ( $h/l=1.01$ ) [PAU 92]. Le premier voile est celui testé par Maier, considéré comme un spécimen témoin, caractérisé par un ferrailage conventionnel (quadrillage de barres verticales et horizontales). Il est noté FC. Les quatre autres voiles (FR $\alpha$ ) différents par la disposition des armatures suivant une direction inclinée d'un angle  $\alpha$  de : 45°, 50°, 60°, 70° par rapport à l'horizontal (FR45°, FR50°, FR60°, FR70°) (figure 1.c). La quantité d'armature utilisée (en terme de poids) étant gardée constante pour les cinq modèles considérés. Ces modèles FR $\alpha$  permettent de rechercher une position préférentielle pour une reprise efficace des efforts appliqués.



**Figure 1.** (a) Dimensions et ferrailage des voiles (spécimens Maier 85), (b) Détail du chargement imposé, (c) Ferrailage incliné d'angle  $\alpha$ .

Par la suite, et dans le but reproduire l'effet de l'effort sismique, on est amené à solliciter les cinq modèles à la base par un accélérogramme d'une durée de 30 secondes, séisme enregistré lors du séisme de Boumerdès 2003 [DAV 03]. Le signal sismique du séisme Boumerdès appliqué est illustré sur la figure 2.



**Figure 2.** Détail de signal sismique du séisme Boumerdès.

### 3. Modélisation numérique du comportement des matériaux

Dans la présente étude une analyse non linéaire 3D est retenue, en utilisant le code EF Abaqus. Le matériau acier est modélisé à l'aide d'une loi de comportement élasto-plastique avec écrouissage isotrope. Les caractéristiques de l'acier de notre modèle sont les mêmes que celle utilisé par Maier [MAI 85] (aciers verticaux Ø8, acier horizontaux Ø8, réparties en deux nappes). Les barres d'aciers sont maillées avec des éléments poutre 3D. Un couplage entre la plasticité (représentation des déformations irréversibles) et l'endommagement (représentation des fissures) est utilisé afin de décrire le comportement mécanique du béton, ce modèle est intégré dans le code éléments finis ABAQUS (Concrete Damaged Plasticity). Ce dernier utilise la fonction de charge développé par [LUB 89] et incorpore les modifications proposées par [LEE 98] pour tenir compte des évolutions différentes de résistance entre la tension et la compression. Le béton est modélisé avec des éléments solides à huit nœuds (C3D8R) qui ont chacun 6 degrés de liberté. Les cinq modèles sont maillés avec la technique de maillage structuré. Les paramètres du modèle sont résumés dans le tableau 1.

**Tableau 1.** Propriétés des matériaux utilisés

Caractéristiques mécaniques de l'acier				
Module du Young E (MPa)	Coefficient de poisson $\nu$	Contrainte élastique (MPa)	Contrainte à la rupture (MPa)	Densité $\rho$ (Kg/mm <sup>3</sup> )
209000	0.3	574	764	7.8 E-006
Caractéristiques mécaniques du béton				
Module du Young E (MPa)	Coefficient de poisson $\nu$	Résistance à la compression (MPa)	Contrainte élastique en traction (MPa)	Densité $\rho$ (Kg/mm <sup>3</sup> )
36600	0.18	37	2.52	2.4E-006

## 4. Résultats et discussion

### 4.1. Vérification du modèle éléments finis

La figure 3 met en évidence une très bonne corrélation entre les résultats expérimentaux et les prédictions numériques, les courbes sont presque confondues, ce qui nous conduit à dire que le modèle numérique à reproduit le comportement expérimental d'une manière satisfaisante.

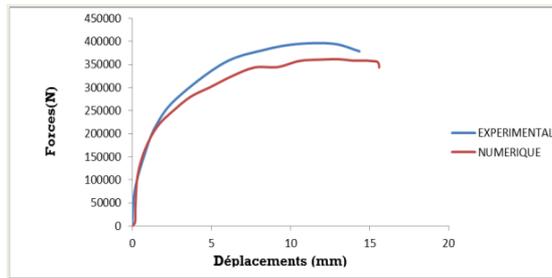


Figure 3. Comparaison des courbes forces-déplacements : expérimentale et numérique.

### 4.2. Evolution des dommages en traction

La figure 4 présente la propagation des dommages en traction pour les cinq modèles. Des fissures horizontales (flexion) et diagonales (cisaillement) sont visualisées dans l'âme des voiles. Une concentration des dommages tous le long de la base (rupture par glissement) pour les voiles FR45°, FR50°, FR60°, par contre pour FR70°, on observe un comportement meilleur, des dommages moins importants sont visualisés uniquement aux extrémités de la base. Une réduction des dommages à la base du modèle 5 est enregistrée (FR70°). Pour le modèle 5 l'endommagement maximal est de 0.9419 à une valeur faible de l'ordre de 0.6. Une amélioration de l'ordre 34.78% est enregistrée par rapport au modèle 1 (FC).

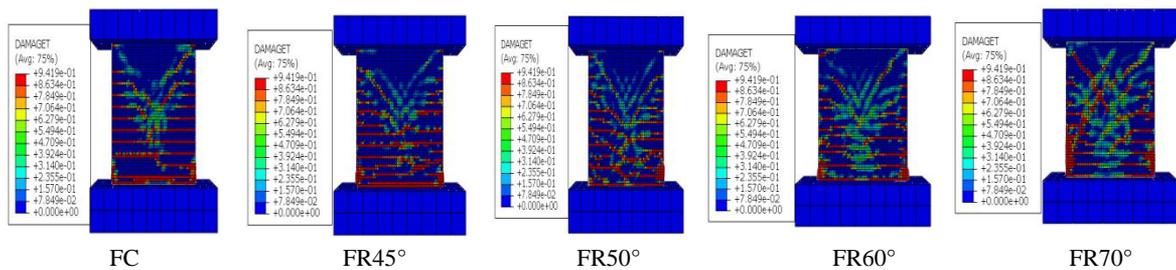


Figure 4. Evolution des dommages en traction.

### 4.3. Evolution des dommages en compression

Sur la figure 5, une concentration des dommages est visualisée dans la zone centrale de l'âme qui représente un écrasement de béton dans les voiles. Les voiles FR45°, FR50° présentent des dommages plus importants par rapport au modèle FC, par contre les autres modèles, FR60°, FR70°, un comportement plus performant par rapport au FC est obtenu.

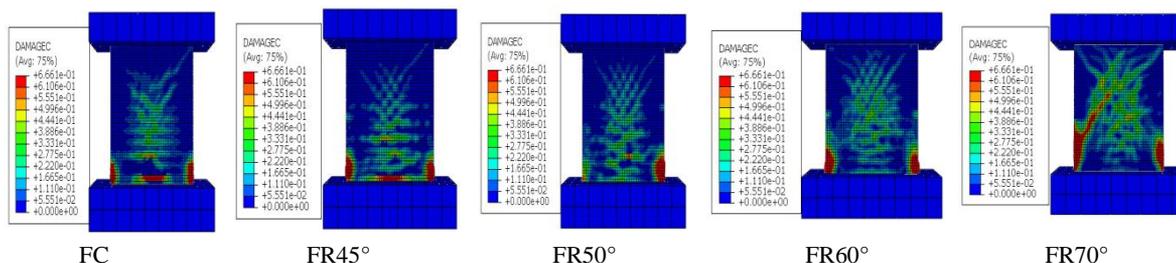


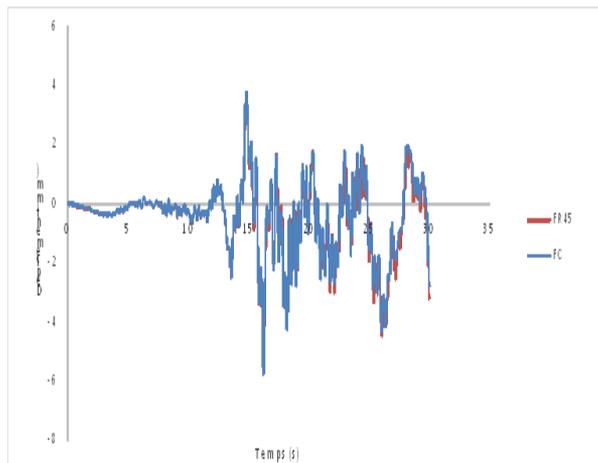
Figure 5. Evolution des dommages en compression.

### 4.4. Evolution des déplacements au sommet du voile

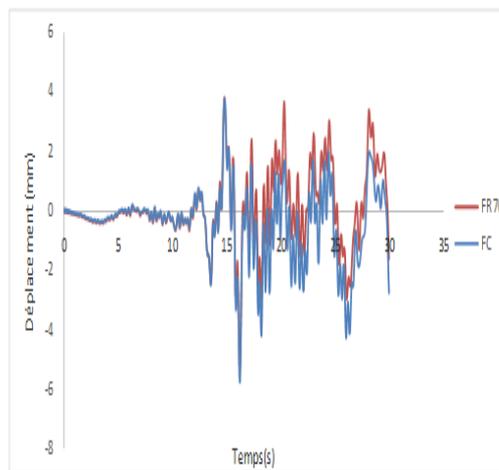
Sur la figure 6, l'évolution des déplacements au sommet du voile entre le modèle 1 'FC' et le modèle 2 'FR45°' est présentée. Un même comportement en termes de déplacements est observé de t=0 jusqu'à t=20s, au-

délà de  $t=20s$ , le modèle 2 présente un déplacement légèrement supérieur avec un pourcentage de l'ordre de 1.17% par rapport au modèle 1.

La figure 7 présente l'évolution des déplacements au sommet du voile entre le modèle 1 'FC' et le modèle 5 'FR70°'. Une comparaison des deux courbes déplacement-temps pour le modèle FC et le modèle FR 70°. Un même comportement en terme de déplacements de  $t=0$  jusqu'à  $t=15s$  est observé, au delà de  $t=15$ , une amélioration de déplacement négatif est observé pour le modèle FR70° de l'ordre 92 %, par contre dans le sens positif le FR70° a donné un déplacement plus important.



**Figure 6.** Superposition des courbes déplacements-temps entre le modèle 1 et le modèle 2



**Figure 7.** Superposition des courbes déplacements-temps entre le modèle 1 et le modèle 5

## 5. Conclusion

Les résultats de la simulation mettent en exergue la performance mécanique du ferrailage suivant la direction des contraintes principales par rapport au ferrailage classique. Pour une même quantité d'armatures, les résultats de cette simulation montrent que le ferrailage en diagonales est efficace pour reprendre les efforts. La comparaison des cinq voiles courts sous ferrailage diagonal montre que 70° est l'angle le plus performant en termes de résistance ainsi qu'en termes de dommages. Ceci implique que 70° est la direction la plus proche des contraintes principales développées.

## 6. Bibliographie

- [ABQ] ABAQUS analysis user's manual 6.12.
- [BAL 91] BAEL 91 révisé 99, « Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites », 1999.
- [BEL 17] BELAIDI O., SI HADJMOHAND N., NEKMOUCHE A., BOUKAIS S., TAOUCHE-KHELOUI F., HANNACHI NE., «Influence of reinforcement on the behavior of the short RC walls under seismic loading », *International Conference on Structural Integrity and Durability*, 2017 in Dubrovnik, Croatia.
- [DAV 03] DAVIDOVICI V., « Séisme de BOUMERDES –21 mai 2003 ». Rapport préliminaire, Ministère de l'Habitat, république algérienne démocratique et populaire. 8 juin 2003.
- [DAV 85] DAVIDOVICI V. & al. , « Génie parasismique, Ed. Ecole Nationale des ponts et chaussées », 1985.
- [KEZ 13] KEZMANE A., BOUKAIS S., HAMIZI M., «Optimization of the Reinforcement Positioning in the Squat Reinforcement Concrete Walls », *ACSIT International Journal of Engineering and Technology*, Vol.5, 2013.
- [LEE 98] LEE J., FENVES G.L., « Plastic-damage model for cyclic loading of concrete structures », *Journal of Engineering Mechanics*, 124 (8), p. 892-900, 1998.
- [LUB 89] LUBLINER J., OLIVER J., OLLER S., ONATE E., «A Plastic-Damage model for concrete» , *International Journal of solids and structures*, 1989, vol. 25, n° 3, pp. 299-326
- [MAI 85] MAIER J., THURLIMAIMN B.B., « Bruchversucher an stahlbetonsheiben institute fur baustatik und konstruktion », Eid genossische technischehochschule (ETH). Zurich, Switzerland, 1985, pp130.
- [PAU 92] PAULAY T., PRIESTLEY M. J. N., « *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*», John Wiley & Sons. 1992.