

# Investigation de l'influence des variables de conception sur le comportement des voiles courts en béton armé

KEZMANE Ali\*, BOUKAIS SAID\*, KHELIL Nacim\*, KAHIL Amar\*, NEKMOUCHE Aghiles\*

\* Civil Engineering Department, Faculty of Construction Engineering, University of Tizi Ouzou, Algeria.

**Résumé.** La résistance ultime est la variable clé pour la conception et l'évaluation de la performance voiles courts en béton armé [WOO 90] [BRA 77]. L'évaluation précise de la résistance ultime est importante parce que les structures à voiles ou comportant des voiles sont susceptibles d'éprouver de multiples cycles de déformation pendant les tremblements de terre [LEF 90]. Les codes de dimensionnement, les manuels pratiques et la littérature fournissent un certain nombre d'équations pour prédire la résistance ultime des voiles en béton armé. Cependant, ces équations utilisent des variables de conception différentes pour estimer la résistance ultime. Pour déterminer la contribution de chaque variable sur la résistance ultime des voiles en béton armé, des études et des évaluations de l'effet de chacune de ces variables (acier vertical, renforcement des limites, acier horizontal, résistance du béton à la compression et l'éclatement géométrique) ont été conduites en utilisant des simulations numériques basées sur des modélisation à l'échelle locale.

**Mots Clés:** Simulation 3D, Investigation, variable de conception, voiles courts, Abaqus

## 1. Introduction

Les études conduites par [KEZ 15] reflète que l'influence des variables de conception sur le comportement des voiles en béton armé n'est pas suffisamment claire. Pour pouvoir étudier l'influence de ces variables, deux approches peuvent être abordées : la première est de réaliser de nouveaux travaux expérimentaux pour identifier le rôle et l'influence de chaque variable, la deuxième est de réaliser des simulations numériques avec une approche locale qui aura la capacité de reproduire correctement la réponse des voiles globalement tel que la courbe force déplacement et localement tel que la propagation des dommages dans le béton et la propagation des contraintes dans les aciers et le béton à chaque pas de chargement. La première approche s'avère très coûteuse en termes de temps de réalisation d'essais et aussi en termes de coût financier ainsi que les matériels nécessaires pour la réalisation des essais. Cependant, la deuxième approche offre une très bonne alternative pour l'étude de ce genre de problème et dans les travaux de [KEZ 15, KEZ et al 16] ont montré que la modélisation en 3D avec le code Abaqus [ABA 12] reproduit fidèlement le comportement global et local des voiles. Pour cela, la deuxième approche est adoptée pour étudier et enlever l'ambiguïté sur l'influence des variables de conception sur le comportement des voiles.

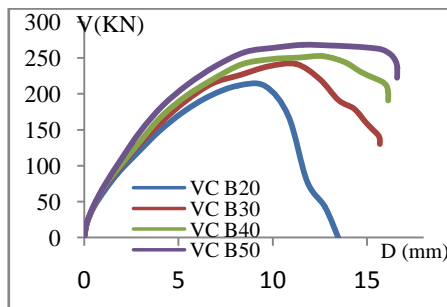
## 2. Influence de la résistance du béton

Le tableau 1 représente les informations de l'influence de la résistance du béton à la compression ( $f_c$ ) sur le comportement des voiles courts. Les données de ce tableau sont représentées explicitement dans les figures 1 et 2, qui représentent les courbes charges-déplacements et les courbes d'évolution des dommages en fonction de  $f_c$ . La figure 1 met en évidence que le comportement global des voiles s'améliore avec l'augmentation de la résistance du béton à la compression. Ces courbes nous renseignent aussi que pour des bétons avec une résistance entre 20 et 30 MPa, les voiles sont susceptibles de se rompre d'une manière fragile brutale, où l'on remarque que les courbes VC B20 et VC B30 dès que elles atteignent la résistance ultime, les courbes après le pic, descendent rapidement. Pour les bétons entre 40 et 50MPa, l'on remarque que la rupture n'est pas brutale et il y a un certain palier de plasticité comme est indiqué pour les courbes VC B40 et VC B50.

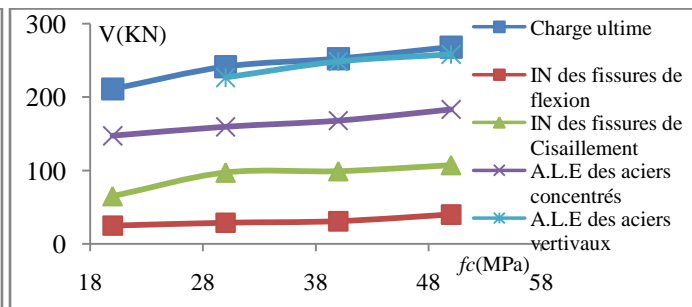
**Tableau 1 :** Information sur l'influence de la résistance du béton à la compression sur les voiles courts.

Modèle	Initiation des fissures de flexion		Initiation des fissures de cisaillement		Début du domaine plastique des aciers concentrés		Début du domaine plastique pour les aciers verticaux		Début du domaine plastique pour les aciers horizontaux		Résistance ultimes des voiles	
	D(mm)	F(KN)	D(mm)	F(KN)	D(mm)	F(KN)	D(mm)	F(KN)	D(mm)	F(KN)	D(mm)	F(KN)
B 20	0,1561	25,204	1,0827	65,274	3,9622	147,37	/	/	/	/	8,128	211,26
B 30	0,2563	28,945	1,8828	97,235	4,0405	159,44	8,2854	226,61	9,8021	238,40	11,245	241,42
B 40	0,3865	30,958	1,8871	99,055	4,0694	168,07	9,8915	248,53	9,8915	248,53	11,482	252,52
B 50	0,4683	40,049	1,9139	107,30	4,1450	183,32	8,5290	258,28	8,5290	258,28	11,601	268,20

La figure 2 représente l'évolution des différents phénomènes (initiation des fissures de flexion, celles de cisaillement, atteinte de la limite élastique des différents aciers et la charge ultime des voiles) qui se produisent pour des différentes valeurs de  $f_c$ . Cette figure met en évidence que ces différents phénomènes s'atténuent avec l'augmentation de  $f_c$ . D'ailleurs, l'on remarque que pour le modèle VC B20, les fissures de flexion s'initient à une force de 25.20 KN et celles de cisaillement à une charge de 65.72KN ; avec l'augmentation de la résistance de  $f_c$ , elles atteignent 40.049KN en cas de flexion et 107.30KN en cas de cisaillement pour le modèle VC B50, cela est équivalent un gain d'environ de 40% en terme charge en ce qui concerne l'initiation des deux types de fissures. La charge correspondante l'atteinte de la limite d'élasticité des trois types d'aciers (d'extrémités, verticaux et horizontaux) augmente proportionnellement avec l'augmentation de  $f_c$ , comme est indiqué à la figure 2 et au tableau 1. Lorsque l'on passe de 20MPa à 50MPa (pour  $f_c$ ) l'on note un gain de charge (correspond à l'atteinte de la limite élastique) de 19.61% pour les aciers d'extrémités et lorsqu'on passe de 30MPa à 50MPa, on note un gain de charge de 12.26% pour les aciers verticaux et de 7.69% pour les aciers horizontaux. Dans le modèle VC B20 le voile a rompu avant que les aciers verticaux et horizontaux atteignent leurs limites d'élasticité comme le montre le tableau 1, cela est dû à la faible résistance du béton en compression et en traction.

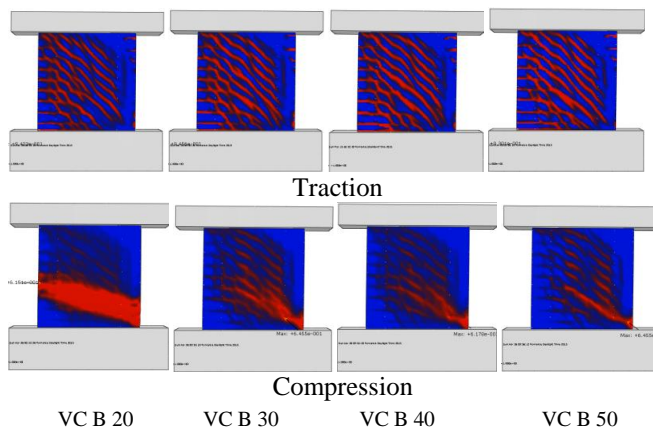


**Figure 1 :** Courbes force déplacement des voiles courts Avec différentes  $f_c$

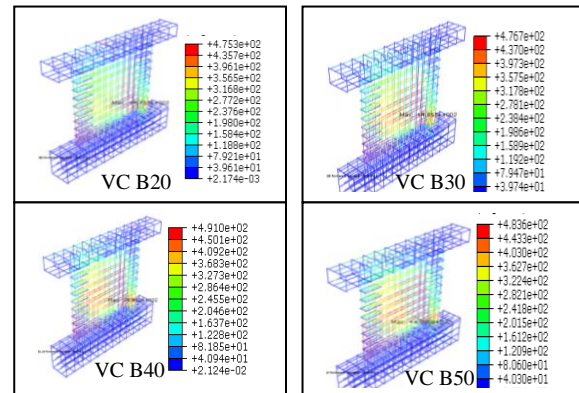


**Figure 2 :** Evolution des dommages en fonction de la résistance du béton à la compression  $f_c$ .

La charge maximale (ultime) que les voiles peuvent atteindre est aussi proportionnelle à l'augmentation de  $f_c$ , où l'on constate un gain de charge de 21.33% lorsque l'on passe du modèle VC B20 à VC B50. Des mêmes constatations peuvent être déduite en ce qui concerne les déplacements.



**Figure 3 :** Schémas d'endommagement en traction et compression des voiles courts sous différentes  $f_c$ .



**Figure 4:** Contraintes dans les armatures.

Les figures 3 et 4 représentent les schémas d'endommagement (en traction et en compression) et l'état de contrainte dans les aciers, respectivement, au moment de l'atteinte de la charge maximale (ultime). Les états d'endommagement en compression montre que le modèle VC B20 a subit fortement des dommages suivant une diagonale qui représente par la bande rouge dans la figure 4.15 ce qui explique la rupture fragile noté dans la courbe de la figure 1, aussi l'on constate que il n'y a pas eu une bonne redistribution des efforts entre le béton et les aciers, où, dans la figure 4.16 les contraintes dans les aciers du modèle VC B20 sont de l'ordre de 475 MPa dans les barres d'extrémités et de 316MPa dans la partie courante. A partir d'une résistance du béton à la compression de 30MPa les dommages dans le béton commence à s'atténuer (comme est indiqué à la figure 3) et bonne redistribution des efforts se met en place, cela explique la propagation des contraintes dans les aciers du modèle VC B30 (figure 4), où l'on remarque une forte concentration des contraintes dans les extrémités et la

région centrale (courante) du voile. La réduction des dommages et la bonne redistribution des efforts entre le béton et les armatures augmentent proportionnellement avec l'augmentation de la résistance du béton à la compression (figure 3 et 4). Toutes les remarques et les constatations, nous permettent de conclure que la résistance du béton à la compression et une variable de conception qui influe le comportement du voile d'une manière globale et local.

### 3. Influence des autres variables

Dance cette partie nous présentant les résultats des études conduites sur l'influence des autres variables de conception en suivant la même méthodologie entreprise pour l'étude de l'influence de la variation de la résistance du béton sur le comportement des voiles courts. Pour cela, des courbes force-déplacement ainsi que l'évolution des dommages en fonction de chaque variable sont présentés.

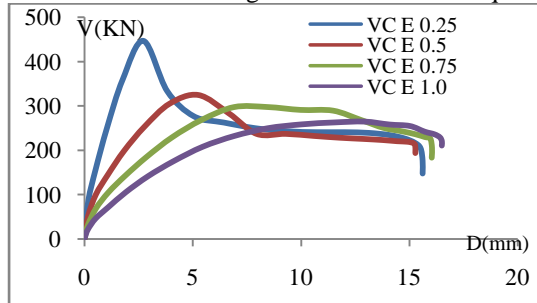


Figure 5 : Courbes force déplacement sous différents élancements

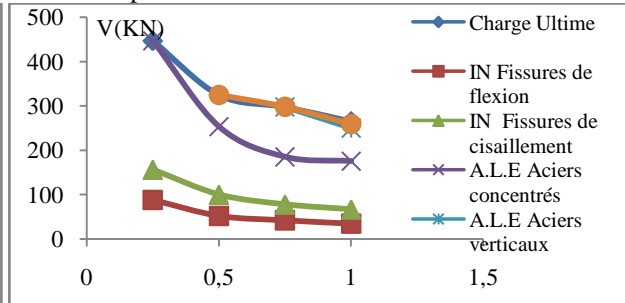


Figure 6 : Evolution des dommages en fonction de l'élancement.

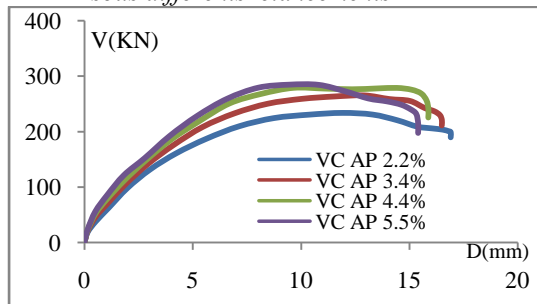


Figure 7 : Courbes force déplacement sous différents % d'aciers d'extrémités

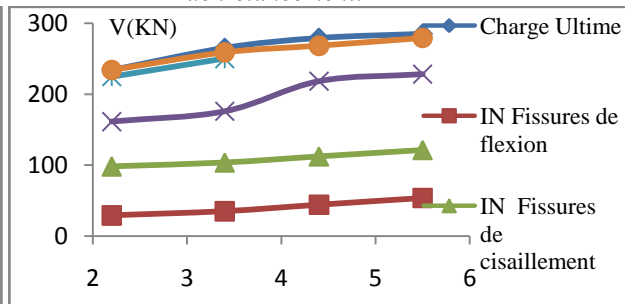


Figure 8 : Evolution des dommages en fonction du % d'aciers d'extrémités.

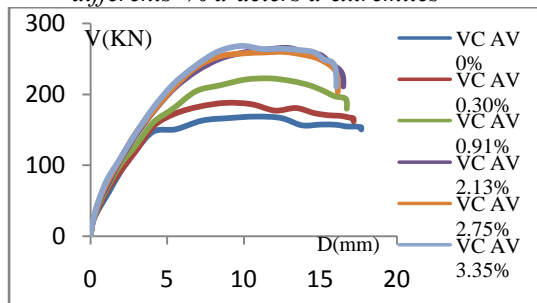


Figure 9 : Courbes force déplacement sous différents % d'aciers verticaux

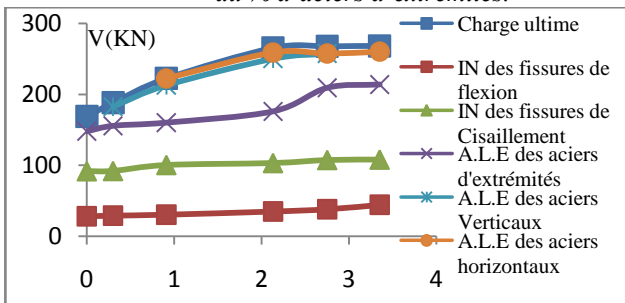


Figure 10 : Evolution des dommages en fonction du % d'aciers verticaux.

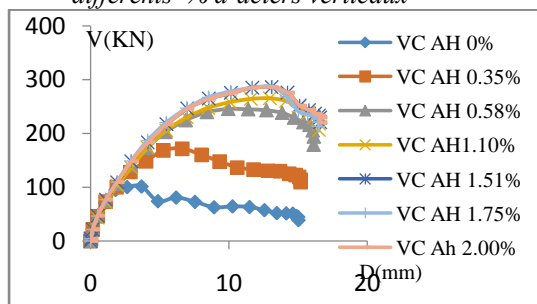


Figure 11 : Courbes force déplacement sous différents % d'aciers horizontaux

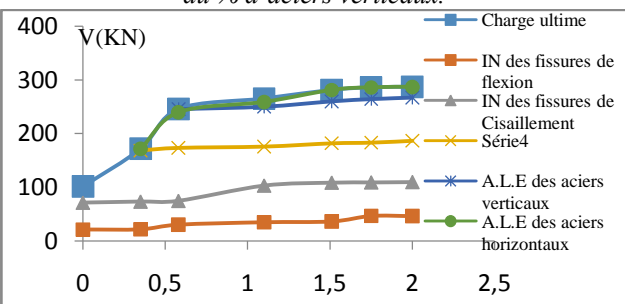


Figure 12 : Evolution des dommages en fonction du % d'aciers horizontaux.

---

#### 4. Conclusion

Les conclusions clés de l'influence de chaque variable sont identifiées ci-dessous :

L'élançement géométrique est parmi les plus prépondérants des variables avec une charge de rupture maximale de 446.74 KN. Soit une variation de 40.63 % lorsque l'on passe d'un élançement de 1.00 à 0.25. Pour les voiles avec un élançement entre 0.25 et 0.5, la rupture se fait d'une manière très fragile, où, aucun palier de plasticité n'est constaté et cette rupture se caractérise par une fissure diagonale importante. Cependant, les voiles avec un élançement entre 0.5 et 1.0 présente un certain palier plastique et la rupture se fait par écrasement du béton le long des bielles de compression et l'extrémité comprimée.

La résistance du béton s'est avérée une variable qui affecte la résistance des voiles courts ainsi que l'évolution des dommages. Pour des bétons de 20 MPa, les voiles courts ont tendance à présenter un comportement fragile où la rupture se caractérise par écrasement des bielles de compression et sans sollicitation importante des armatures. Cependant pour des bétons entre 30 et 50MPa, le comportement présente un certain palier plus moins long et le comportement global s'améliore avec l'augmentation de la résistance du béton, tandis que les ruptures sont caractérisées par écrasement du béton dans l'extrémité comprimée et les bielles de compression ainsi que une concentration des contraintes au niveau de ces zones.

Les aciers d'extrémités ou concentrés eux aussi ont une influence sur la réponse globale des voiles courts, cette influence se caractérise par l'amélioration de la résistance maximale avec l'augmentation de la quantité de ces aciers. Cependant, au-delà, d'un pourcentage de ces aciers de 4.4%, l'amélioration de la résistance reste insignifiante.

Les aciers verticaux ont aussi une influence sur la réponse des voiles pour des pourcentages de ces aciers qui sont entre 0% et 2.40%, au-delà de 2.40%, même si l'on augmente le pourcentage de ces aciers, la réponse reste inchangée et aucune amélioration ne sera reportée. Cependant, pour un pourcentage d'acier vertical entre 0% et 0.30% les voiles présentent un certain palier considérablement long pour les voiles courts, cela s'explique que ces voiles ont rompu par glissement au niveau de l'interface voile fondation, tandis que pour des pourcentages entre 0.30% et 2.40%, la rupture se caractérise par écrasement du béton à l'extrémité comprimée et au niveau des billes de compression.

Les aciers horizontaux comme ceux verticaux ont une influence sur la réponse des voiles courts. Pour un pourcentage de ces aciers compris entre 0% et 1.75%, la performance de ces voiles s'améliore proportionnellement à l'augmentation de la quantité de ces armatures. Par contre, si on augmente ce pourcentage au-delà de 1.75%, la réponse des voiles demeure inchangée. Pour les voiles dont le pourcentage est inférieur ou égale à 0.35%, la rupture se fait par cisaillement, se caractérisant seulement par une fissure diagonale importante. Pour des pourcentages situés au-delà de 0.35%, la rupture se fait, cette fois-ci, par écrasement du béton à l'extrémité comprimée suivant les bielles de compression. A travers l'étude, nous avons remarqué que les aciers horizontaux ont un rôle important sur la distribution des fissures, en effet, en augmentant la quantité de ces aciers, on obtient une meilleure répartition dans l'espace des fissures se développant dans l'âme.

#### 5. References

- [ABA 12] ABAQUS analysis user's manual version 6.12 (2012). Pawtucket (RI): Hibbit, Karlsson & Sorensen.
- [BAR 77] Barda F. Hanson J M. and Corley W G. Shear Strength of Low-Rise Walls with Boundary Elements. ACI Special Publications. Reinforced Concrete in Seismic Zones SP-53-8, 1977, pp.149-202.
- [KEZ 2015] Kezmane A., Prédiction du comportement mécanique des voiles de contreventement: Analyse et Simulation (Thèse de doctorat). Université de Tizi-Ouzou, Tizi-ouzou.
- [KEZ et al 16] Kezmane, A., Chiaia, B., Kumpyak, O., Maksimov, V., & Placidi, L. (2016). 3D modelling of reinforced concrete slab with yielding supports subject to impact load. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 1-38.
- [LEF 1990 ] Lefas DI. Kotsovos DM. Ambraseys NN. Behavior of reinforced concrete structural walls: deformation characteristics, and failure mechanism. *ACI Struct J* 1990;87(1):23-31.
- [WOO 90 ] Wood S. Shear Strength of Low-Rise Reinforced Concrete Walls. *ACI Structural Journal* Vol. 87, No. 1, January-February 1990, pp. 99-107.