SSNP161 – Essais biaxiaux de Kupfer

Résumé :
Kupfer [1] s'est intéressé à caractériser les performances du béton sous chargements biaxiaux. Deux de ces essais sont modélisés dans ce cas test afin de comparer les données expérimentales aux résultats obtenus avec le modèle Mazars. Les comportements en bi-compression et en cisaillement sont étudié dans ce cas test.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

1 Problème de référence

1.1 Géométrie et conditions aux limites

Dan s ces essais, une plaque de béton ($200\times200\times50\,mm$) est soumise à un chargement où le rapport des contraintes principales σ_2/σ_1 est fixe ($\sigma_3=0$). Ces essais sont modélisés en deux dimensions sous la condition de contraintes planes ($\sigma_{zz}=0$) à l'aide d'un élément quadrangle à 4 nœuds (QUAD4).

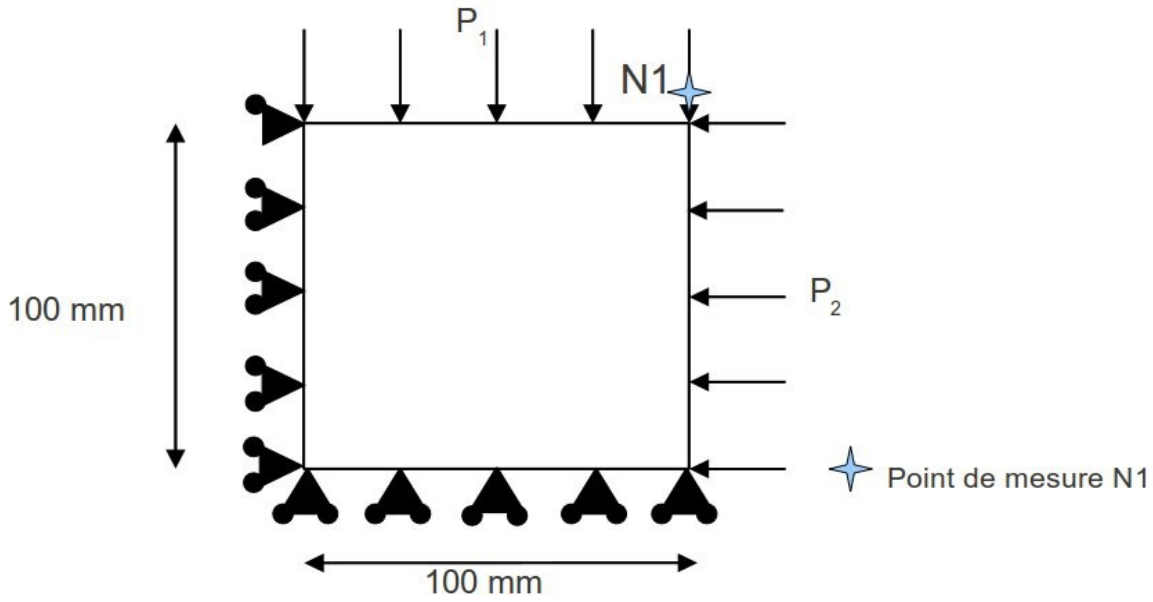


Figure 1.1-a : Modélisation 2D et conditions aux limites des essais biaxiaux

Seulement un quart de la plaque de béton est modélisé. Ainsi, des conditions de symétrie sont imposées :

- Les déplacements suivants y sont bloqués sur le bord inférieur.
- Les déplacements suivants x sont bloqués sur le bord gauche.

Deux pressions sont imposées sur les bords libres : P_1 et P_2. Le rapport entre les charges, et implicitement sur les contraintes principales, est noté ω :

$$\sigma_2=\omega\,\sigma_1 \qquad \text{(Eq.1)}$$

Ces pressions suivent une loi d'évolution linéaire.

Instant	0	1
P_1 (MPa)	0	30
P_2 (MPa)	0	$30\,\omega$

Tableau 1.1-1: Évolution des pressions

1.2 Propriétés du matériau

Pour le modèle de MAZARS, les paramètres suivants ont été utilisés :

Comportement élastique :

$$E=34\ 000\ MPa,\ \nu=0.19$$

Comportement endommageant :

$$\varepsilon_{d0}=1.1.10^{-3};\ Ac=1.25\ ;\ At=1.0\ ;\ Bc=1965\ ;\ Bt=9\ 000\ ;\ k=0.7$$

Ces paramètres matériaux induisent une limite en compression f_c de l'ordre de $33\,MPa$.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

1.3 Conditions initiales

Néant

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

2 Solution de référence

2.1 Comparaison des essais et des simulations

Nous nous sommes focalisés sur deux valeurs de rapport $\omega=\sigma_2/\sigma_1$ correspondant à un essai de bi-compression ($\omega=0.52$) et à un essai de traction-compression ($\omega=-0.052$). La figure suivante présente les différents résultats obtenus :

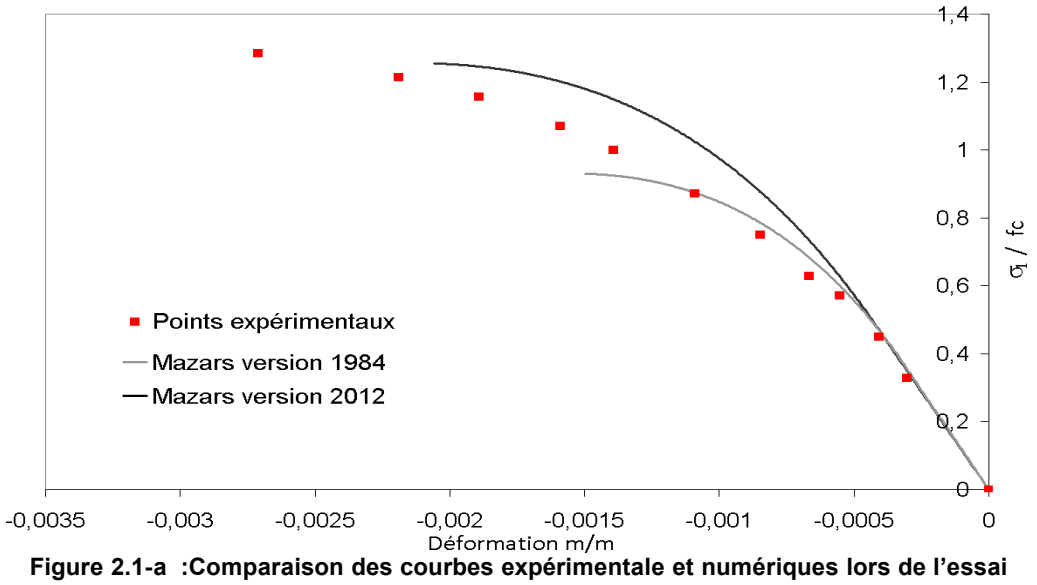


Figure 2.1-a :Comparaison des courbes expérimentale et numériques lors de l'essai biaxial ($\omega=0.52$)

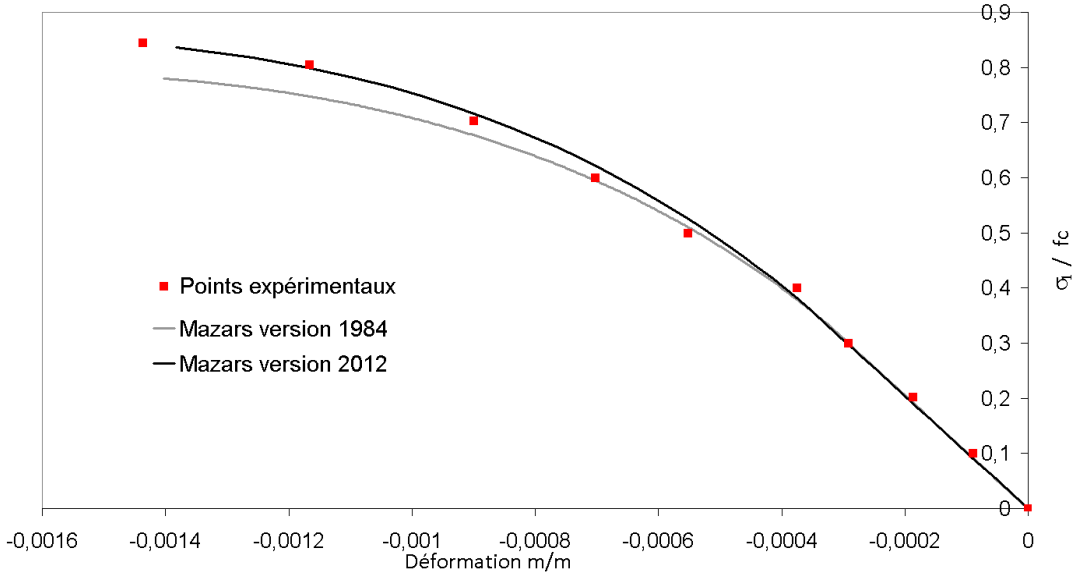


Figure 2.1-b :Comparaison des courbes expérimentale et numériques lors de l'essai biaxial $\omega=0.52$

Précisons que les simulations sont pilotées en force. De ce fait, il n'est pas possible de modéliser la phase de radoucissement. Pour le rapport $\omega=0.52$, la non prise en compte du modèle de l'évolution du coefficient de poisson en bi-compression ne permet pas de retrouver les déformations à long terme. Toutefois, les résultats numériques sont proches des points expérimentaux au début de la simulation. De plus, le modèle de Mazars permet de retrouver le contrainte à rupture expérimentale (le dernier

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

point expérimental correspond à la rupture de l'échantillon). Ensuite, pour ω = -0.052, le modèle fournit des résultats très proches de l'essai.

Remarque : Jusqu'à la version stabilisée 11.2 de *Code_Aster* , le modèle Mazars suivait les équations définies dans la thèse de Mazars de 1984 [2]. Récemment, une reformulation a été proposée afin de combler certaines lacunes du modèle de 1984 à savoir la description du comportement du béton en bi-compression et en cisaillement pur. Cette version de 2012 a été implémentée à partir de la STA 11.3. Il est possible de comparer les réponse des différente version du modèle Mazars afin de mettre en évidence les améliorations de la version 2012. Il apparaît bien que le modèle de Mazars de 1984 sous-estime la résistance en bi-compression. Ensuite, pour $\omega = -0.052$, les écarts entre les résultats provenant des deux modèles sont faibles . Rappelons que les améliorations du modèle de 2012 concernent en particulier le comportement en bi-compression et en cisaillement pur. Par conséquent, ce résultat est logique. La courbe obtenue à partir du modèle de Mazars de 2012 reste tout de même plus proche des points expérimentaux.

2.2 Références bibliographiques

[1] H. Kupfer, H.K. Hilsdorf, H. Rüsch, " *Behavior of Concrete under Biaxial Stresses",* ACI Journal, Vol. 66, No. 66-62, 1969, pp. 656-666.

[2] J. Mazars, " *A description of micro and macroscale damage of concrete structure",* Engineering Fracture Mechanics, Vol25, 1986, p729-737.

[3] J. Mazars, F. Hamon, " *A new strategy to formulate a 3D damage model for concrete under monotonic, cyclic and severe loadings", Engineering Structures, 2012, Under review*

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation C_PLAN. Le rapport des contraintes principales σ_2/σ_1 est fixé à 0.52 .

3.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 1 élément de type QUAD4.

3.3 Grandeurs testées et résultats

Nous testons les déformations et contraintes au nœud $N1$ de la Figure 1.1-a.

Identification	Incrément	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
Contrainte σyy	7	'ANALYTIQUE'	$-10842857\ Pa$	5%
Déformation εyy	7	'ANALYTIQUE'	$-3{,}00\text{E-}004$	5%
Contrainte σyy	69	'ANALYTIQUE'	$-42428571\ Pa$	5%

Tableau 3.3-1: Récapitulatif des TEST_RESU

3.4 Remarques

Le deux premiers points de mesure permettent de comparer la pente à l'origine de la courbe Contrainte-Déformation. Le dernier point correspond à la contrainte à rupture.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation C_PLAN. Le rapport des contraintes principales σ_2/σ_1 est fixé à -0.052 .

4.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 1 élément de type QUAD4.

4.3 Grandeurs testées et résultats

Nous testons les déformations et contraintes au nœud $N1$ de la Figure 1.1-a.

Identification	Incrément	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
Contrainte σ_{yy}	6	'ANALYTIQUE'	$-3589800\,Pa$	5%
Déformation ε_{yy}	6	'ANALYTIQUE'	$-1{,}05\text{E-}004$	5%
Contrainte σ_{yy}	46	'ANALYTIQUE'	$-27899998\,Pa$	5%

Tableau 4.3-1: Récapitulatif des TEST_RESU

4.4 Remarques

Le deux premiers points de mesure permettent de comparer la pente à l'origine de la courbe Contrainte-Déformation. Le dernier point correspond à la contrainte à rupture.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation C_PLAN . Le rapport des contraintes principales σ_2/σ_1 est fixé à 0.52 .

5.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 1 élément de type QUAD4.

5.3 Grandeurs testées et résultats

Nous testons à 2 instants les déformations , les contraintes ainsi que les critères ELS et ELU au nœud $N1$ de la Figure 1.1-a.

Identification	Instant	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
Contrainte σ_{yy}	0,18	'ESSAI'	$-10800000.0\ Pa$	5%
Déformation ε_{yy}	0,18	'ESSAI'	$-2.863\text{E-}04$	5%
Contrainte σ_{yy}	0,69	'ESSAI'	$-41397208\ Pa$	5%

5.4 Remarques

Le deux premiers points de mesure permettent de comparer la pente à l'origine de la courbe Contrainte-Déformation. Le dernier point correspond à la contrainte à rupture.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

6 Modélisation D

6.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation C_PLAN. Le rapport des contraintes principales σ_2/σ_1 est fixé à -0.052 .

6.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 1 élément de type QUAD4.

6.3 Grandeurs testées et résultats

Nous testons les déformations et contraintes au nœud $N1$ de la Figure 1.1-a.

Identification	Instant	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
Contrainte σ_{yy}	0.06	'ESSAI'	$-3600000\,Pa$	5%
Déformation ε_{yy}	0.06	'ESSAI'	1.07E-004	5%
Contrainte σ_{yy}	0.46	'ESSAI'	$-2760000\,Pa$	5%

6.4 Remarques

Le deux premiers points de mesure permettent de comparer la pente à l'origine de la courbe Contrainte-Déformation. Le dernier point correspond à la contrainte à rupture.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

7 Synthèse des résultats

La version du modèle de MAZARS de 2012 permet de retrouver la contrainte à rupture expérimentale avec une erreur inférieure à 5%.

Remarque : le gain par rapport au modèle de 1984 est surtout visible en bi-compression c'est à dire pour le rapport $\omega = 0.52$. Par contre, la déformation à la rupture est éloignée de l'essai car ce modèle ne prend pas en compte l'évolution du coefficient de Poisson en bi-compression.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)