SDNV114 – Simulation du benchmark SAFE - voile T5 en béton armé

Résumé :

Ce test représente une modélisation simplifiée d'un essai SAFE (Structure Armées Faiblement Élancées) de voiles en béton armé sous chargement statique cyclique. On s'intéresse au voile T5. Ce test permet de comparer la réponse de la structure modélisée avec la loi GLRC_DM puis avec la loi DHRC avec les résultats expérimentaux.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

La géométrie étudiée est celle de la structure T5 du programme SAFE [bib1]. Les caractéristiques géométriques des parties en béton armé sont illustrées par la [Figure 1.1-a]. Elles sont composées d'un voile et de deux murs de retour (ou refends). La structure est également équipée de pièces métalliques (longrines) rapportées nécessaires à sa mise sous chargement. Ces pièces ne seront pas modélisées dans cette étude.

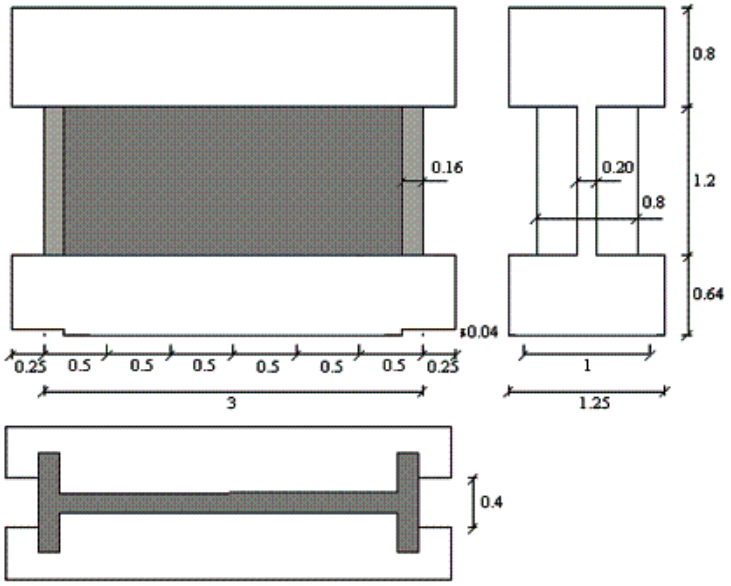
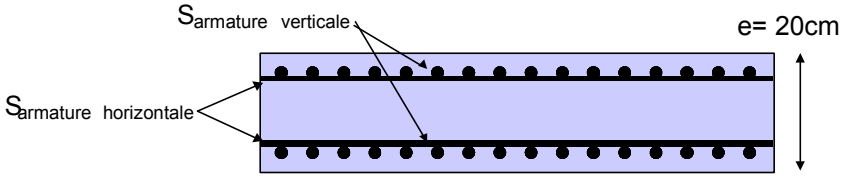


Figure 1.1-a: Géométrie de la maquette T5



Coupe dans le plan horizontal du mur central
Figure 1.1-b: Illustration du ferraillage

Le ferraillage de la maquette est composé de nappes d'armatures horizontales et verticales placées sur chacune des deux faces du mur central, ainsi que dans les retours [bib 1]. Suivant les deux directions horizontales et verticales, les taux de ferraillage r_h et r_v (quantité d'armature par mètre linéaire du voile) sont identiques et égaux à $0{,}8\%$, soit :

$$\frac{S_{armatures\,horizontales}}{ml(vertical)} = r_h e = \frac{0{,}8}{100}.20cm = 16\,cm^2/ml$$
$$\frac{S_{armatures\,verticales}}{ml(horizontale)} = r_v e = \frac{0{,}8}{100}.20cm = 16\,cm^2/ml$$

Et ce pour l'ensemble des deux nappes faces Nord et Sud.

Soit, $8\,cm^2/ml$ par nappe et par direction (horizontale et verticale, soit $2x8 = 16\,cm^2/ml$).

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

1.2 Propriétés du matériau

- Loi de comportement GLRC_DM

Pour la modélisation A, le comportement du béton armé est modélisé via la loi GLRC_DM. Les paramètres de loi de comportement ont été recalés pour obtenir une réponse proche des mesures expérimentales. Les paramètres matériaux de la loi sont donnés, cf. [bib 1] et [bib 2] pour le voile principal et les deux voiles secondaires (bords).

Module de Young effectif en membrane	E_M	$27\,160\,MPa$
Coefficient de Poisson effectif en membrane	NU_M	0,19
Module de Young effectif en membrane	E_F	$29\,091\,MPa$
Coefficient de Poisson effectif en membrane	NU_F	0,18
Force axiale de limite élastique en traction	NYT	$353\,kN/m$
Moment limite de flexion	MYF	$13\,kN.m/m$
Force axiale limite en compression	NYC	$1\,976\,kN.m/m$
Paramètre d'endommagement en traction	GAMMA_T	0,013
Paramètre d'endommagement en flexion	GAMMA_F	0,18
Paramètre d'endommagement en compression	GAMMA_C	0,9
Paramètre d'endommagement de couplage	ALPHA_C	1,1

Tableau 1.2-1: Paramètres du modèle béton pour le voile principal

Module de Young effectif en membrane	E_M	$27\,574\,MPa$
Coefficient de Poisson effectif en membrane	NU_M	0,19
Module de Young effectif en membrane	E_F	$29\,598\,MPa$
Coefficient de Poisson effectif en membrane	NU_F	0,18
Force axiale de limite élastique en traction	NYT	$286\,kN/m$
Moment limite de flexion	MYF	$8\,kN.m/m$
Force axiale limite en compression	NYC	$1\,627\,kN.m/m$
Paramètre d'endommagement en traction	GAMMA_T	0,015
Paramètre d'endommagement en flexion	GAMMA_F	0,209
Paramètre d'endommagement en compression	GAMMA_C	0,9
Paramètre d'endommagement de couplage	ALPHA_C	1,1

Tableau 1.2-2: Paramètres du modèle béton pour les voiles secondaires

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

- Loi de comportement DHRC

Pour la modélisation B, le comportement du béton armé est modélisé via la loi DHRC. Les paramètres de loi de comportement ont été obtenus grâce au plug-in de Salome. Les données matériaux proviennent des données expérimentales [1] ou d'hypothèses issues de l'Eurocode 2.

Module de Young du béton (Eurocode)	E_C	$34\,150\,MPa$
Coefficient de Poisson du béton (Expérience)	NU_C	$0,2$
Contrainte au pic en compression (Expérience)	SYC	$43,3\,MPa$
Contrainte au pic en traction (Expérience)	SYT	$3,32$
Déformation au pic de compression (Eurocode)	EPSC	$2,25$ %o
Module de Young de l'acier (Expérience)	E_A	$200\,000\,MPa$
Coefficient de Poisson de l'acier (Expérience)	NU_A	$0,3$
Limite d'élasticité de l'acier (Expérience)	SYA	$570\,MPa$

Tableau 1.2-3: Paramètres du modèle béton pour le voile principal

On utilise les options suivantes pour la détermination des paramètres microscopiques: Automatic 4R RIGI_ACIER et Orthotropic TCD.
Pour le voile, la répartition des armatures est identique dans les directions horizontales et verticales (soit $8\,cm^2/ml$). Pour les bords, la densité d'armatures est différente pour les armatures horizontales (soit $8,5\,cm^2/ml$) et verticales (soit $19,2\,cm^2/ml$).

1.3 Conditions aux limites et chargements

Liaison à la base :

La liaison de la maquette avec la longrine basse a été jugée suffisamment raide pour qu'on la modélise par un ancrage parfait. Ainsi, tous les nœuds de la base du modèle sont bloqués suivant tous les degrés de liberté.

Mouvements de la longrine haute :

La présence de la longrine haute a pour but de maintenir le bord supérieur du mur à l'horizontal en empêchant les rotations autour de l'axe Y.

Chargement :

Les chargements pris en compte sont le poids propre de la structure ainsi qu'un déplacement imposé en haut de la structure. Le trajet de chargement est donné

1.4 Conditions initiales

Néant

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

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul

La solution de référence correspond aux mesures expérimentales de forces en fonction du déplacement imposé.

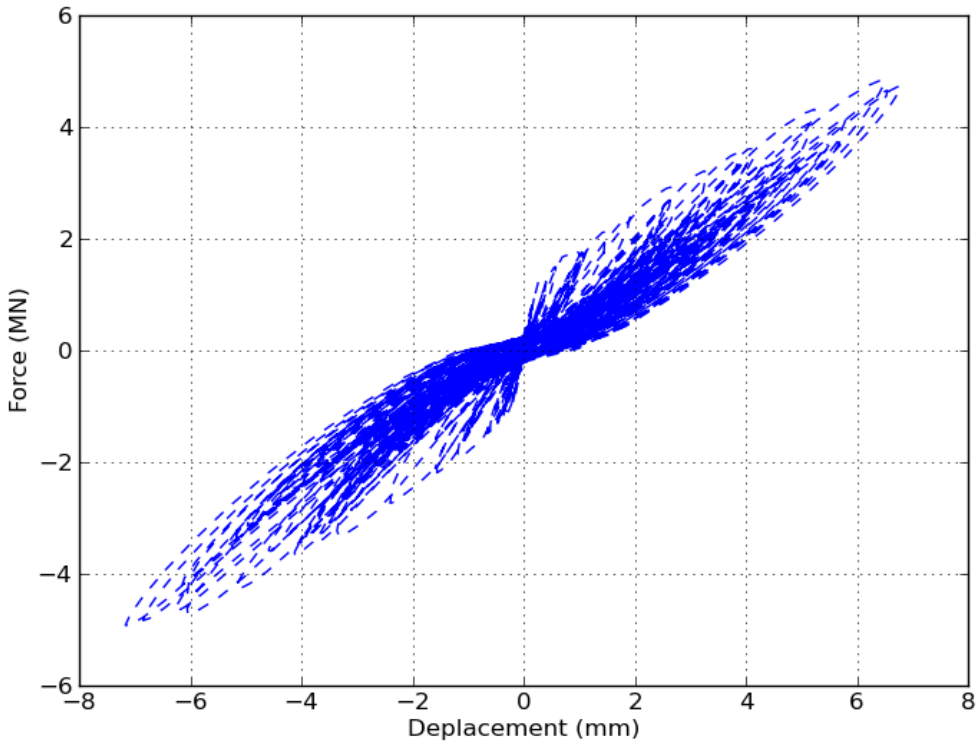


Figure 2.1-1: Réponse expérimentale du voile SAFE T5.

2.2 Grandeurs et résultats de référence

Les grandeurs testées sont la force horizontale de réaction du mur à différents instants. Les données sont récapitulées dans le [Tableau 2.2-1].

Instant (s)	Force (MN)
11.07	2.9087
11.96	-3.2389
12.13	2.6812
13.09	-2.873
13.3	3.1698
13.47	-3.4344
14.03	2.3883
16.34	-3.1527
16.53	3.3595
16.72	-3.0954

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

Tableau 2.2-1: Grandeurs testées

2.3 Incertitudes sur la solution

Solutions expérimentales.

2.4 Références bibliographiques

[1] P. PEGON, G. MAGONETTE, F.J. MOLINA, G. VERZELETTI, T. DYNGELAND, P. NEGRO, D. TIRELLI, P. TOGNOLI, "Programme SAFE: Rapport du test T5", Unité Mécanique des Structures, Institut des Systèmes, de l`Informatique et de la Sécurité, Centre Commun de Recherche, Commission Européenne, 21020 Ispra (Varese), Italie, 1998.

[2] S. GHAVANIAM, S. MOULIN, "Modélisation de la structure T5 du programme SAFE à l'aide de Code_Aster®", EDF R&D, H-T62-2006-04624-FR, 2006.

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

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Les différents voiles sont modélisés par des éléments DKTG. La liaison entre les mailles du mur central et des murs de retour se fait par le partage des nœuds au niveau des feuillets médians.

3.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 308 éléments de type QUAD4 et est représenté sur la [Figure 3.2-1].

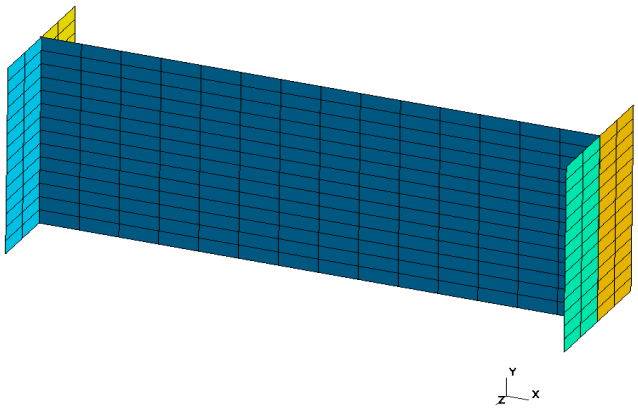


Figure 3.2-1: Maillage de la maquette T5

3.3 Grandeurs testées et résultats

On teste la force horizontale de réaction du mur calculée sur le bord supérieur du voile.

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
Instant 11.07s	'SOURCE_EXTERNE'	2.9087E+06	2,00%
Instant 11.96s	'SOURCE_EXTERNE'	-3.2389E+06	6,00%
Instant 12.13s	'SOURCE_EXTERNE'	2.6812E+06	2,00%
Instant 13.09s	'SOURCE_EXTERNE'	-2.873E+06	10,50%
Instant 13.3s	'SOURCE_EXTERNE'	3.1698E+06	4,00%
Instant 13.47s	'SOURCE_EXTERNE'	-3.4344E+06	5,50%
Instant 14.03s	'SOURCE_EXTERNE'	2.3883E+06	10,00%
Instant 16.34s	'SOURCE_EXTERNE'	-3.1527E+06	9,00%
Instant 16.53s	'SOURCE_EXTERNE'	3.3595E+06	10,00%
Instant 16.72s	'SOURCE_EXTERNE'	-3.0954E+06	9,00%

3.4 Remarques

La modélisation du mur SAFE grâce à la loi de comportement GLRC_DM dont les paramètres ont été recalés donnent des résultats très satisfaisants en comparaison avec la réponse expérimentale en terme d'effort et de déplacement. Cependant comme on peut le voir sur la Figure 3.4-1, les boucles

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

d'hystérèse ne sont pas suffisamment importantes ce qui permet de mettre en avant la non prise en compte de certains phénomènes dissipatifs (frottement des lèvres de fissures du béton, liaison acier-béton, ...).

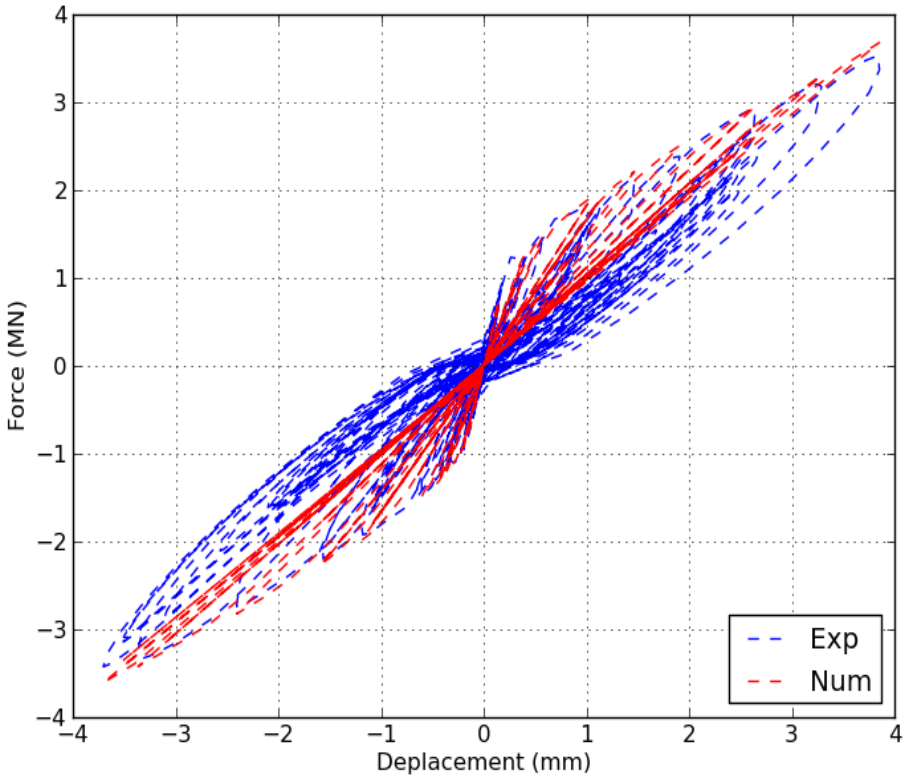


Figure 3.4-1: Comparaison de la réponse du modèle GLRC_DM avec les données expérimentales

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

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

Les différents voiles sont modélisés par des éléments DKTG. La liaison entre les mailles du mur central et des murs de retour se fait par le partage des nœuds au niveau des feuillets médians. La loi de comportement utilisée est DHRC.

4.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 308 éléments de type QUAD4 et est représenté sur la [Figure 4.2-1].

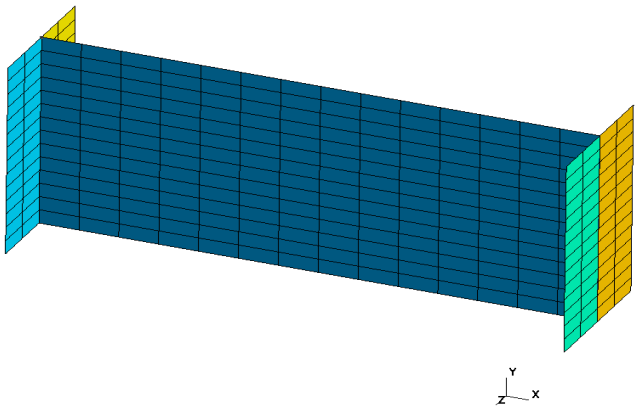


Figure 4.2-1: Maillage de la maquette T5

4.3 Grandeurs testées et résultats

On teste la force horizontale de réaction du mur calculée sur le bord supérieur du voile.

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
Instant 11.07s	'SOURCE_EXTERNE'	2.9087E+06	14,00%
Instant 11.96s	'SOURCE_EXTERNE'	-3.2389E+06	12,00%
Instant 12.13s	'SOURCE_EXTERNE'	2.6812E+06	17,00%
Instant 13.09s	'SOURCE_EXTERNE'	-2.873E+06	8,00%
Instant 13.3s	'SOURCE_EXTERNE'	3.1698E+06	13,00%
Instant 13.47s	'SOURCE_EXTERNE'	-3.4344E+06	12,00%
Instant 14.03s	'SOURCE_EXTERNE'	2.3883E+06	9,00%
Instant 16.34s	'SOURCE_EXTERNE'	-3.1527E+06	9,00%
Instant 16.53s	'SOURCE_EXTERNE'	3.3595E+06	9,00%
Instant 16.72s	'SOURCE_EXTERNE'	-3.0954E+06	9,00%

4.4 Remarques

Les paramètres de la loi de comportement DHRC n'ont pas été recalés et sont issus des données du test ou des valeurs par défaut. Les résultats obtenus sont satisfaisants en comparaison avec la

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

réponse expérimentale en terme de raideur initiale et de seuil de fissuration. La réponse post-pic pourrait cependant être améliorée.

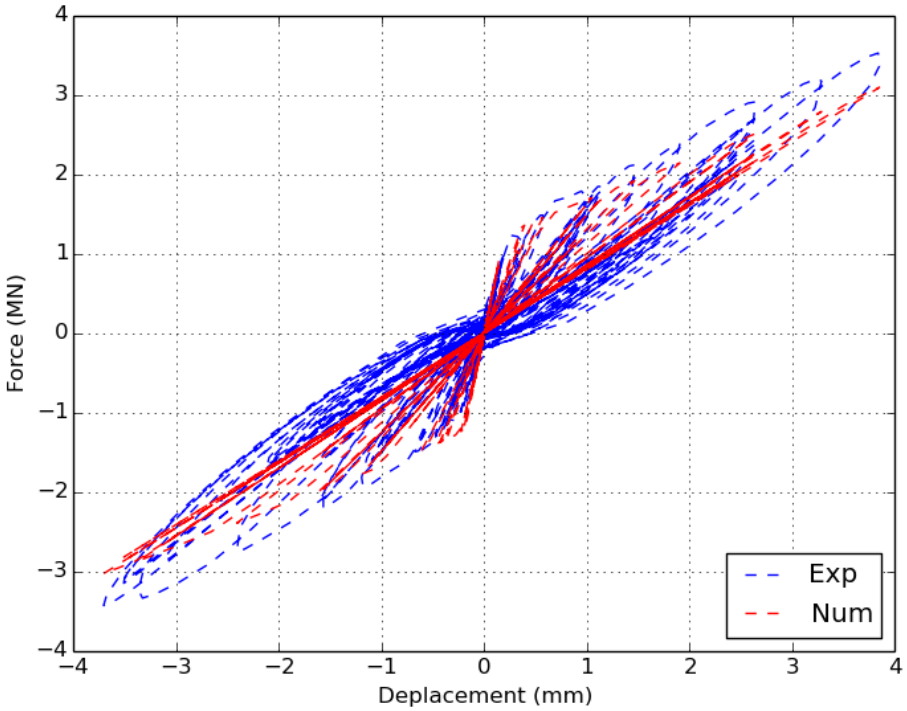


Figure 4.4-1: Comparaison de la réponse du modèle DHRC avec les données expérimentales

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

5 Synthèse des résultats

Les modélisations mise en place permettent de retrouver de manière satisfaisante les résultats expérimentaux.

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