SNNP105 – Analyse d'un massif carré de côté unitaire par la méthode Bielles-Tirants

Résumé

Ce cas-test de non-régression permet de valider la construction et l'optimisation d'un modèle Bielles-Tirants via la macro-commande CALC_BT [R7.04.06]. Le modèle Bielles-Tirants est construit à partir des résultats d'une modélisation plane. Deux schémas d'optimisation ont été testés : optimisation des sections des éléments et optimisation des sections des éléments avec optimisation topologique.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

Ce cas-test de non-régression s'agit de l'étude d'une structure de géométrie simple. La structure analysée (figure 1,1-a) est un élément carré de dimensions unitaires (1 mètre de côté) représentée par des éléments plans de 0,05m de côté. Elle est encastrée à la base, une charge horizontale égale à 3 MN est appliquée l'un des coins de l'élément.

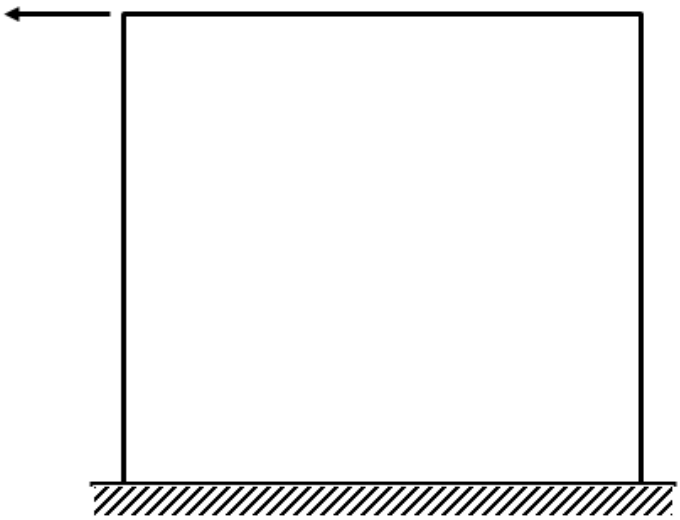


Image 1.1-1

1.2 Matériaux

Le béton armé utilisé pour la modélisation plane correspond à un matériau élastique linéaire avec les caractéristiques suivantes pour le béton et l'acier.

Béton :

Module de Young	E	21GPa
Coefficient de Poisson	ν	0.2
Limite élastique	f_{cm}	36MPa

Tableau 1.2-1

Acier de ferraillage :

Module de Young	E	210GPa
Limite élastique	f_y	500MPa

Tableau 1.2-2

1.3 Conditions aux limites

Le massif est supposé avec un encastrement continu à la base. Le chargement est une force horizontale de 3 MN en tête de la plaque (voir Figure 1.1-a).

1.4 Maillage

- Nombre de nœuds : 441
- Nombre de mailles et types : 400 mailles `QUAD4`

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

2 Modélisation A

L'analyse est statique à comportement élastique linéaire, le modèle utilisé est de type C_PLAN .

2.1 Paramètres de l'optimisation

La structure de base a été construite en considérant les paramètres suivants :

- Pas de maille pour l'interpolation de grille en direction X → PAS_X = 0.05m
- Pas de maille pour l'interpolation de grille en direction Y → PAS_Y = 0.05m
- Longueur maximale d'élément → LONGUEUR_MAX = 2m
- Distance minimale entre pics de contrainte → TOLE_BASE = 0.01

L'optimisation de la géométrie de base selon le schéma de type SECTION est effectuée avec les paramètres suivants :

- Nombre maximal d'itérations MAXITER = 200
- Seuil de convergence de l'optimisation RESI_RELA_SECTION = 0.000001
- Taux d'évolution maximal de section par itération CRIT_SECTION = 50%
- Section minimale d'élément SECTION_MINI = 10^{-10} m^2

L'optimisation selon le schéma de type TOPO (optimisation des sections plus optimisation topologique) est effectuée avec les paramètres complémentaires suivants :

- Seuil de convergence de l'optimisation RESI_RELA_TOPO = 0.00001
- Taux maximum d'élimination d'éléments CRIT_ELIM = 0.5
- Contrôle des variables pseudo-aléatoires INIT_ALEA = 2

2.2 Structure de base construite

La structure de base est ainsi construite à l'intérieur de la macro-commande CALC_BT à partir des résultats de la modélisation 2D et en considérant les paramètres définis à la section précédente.

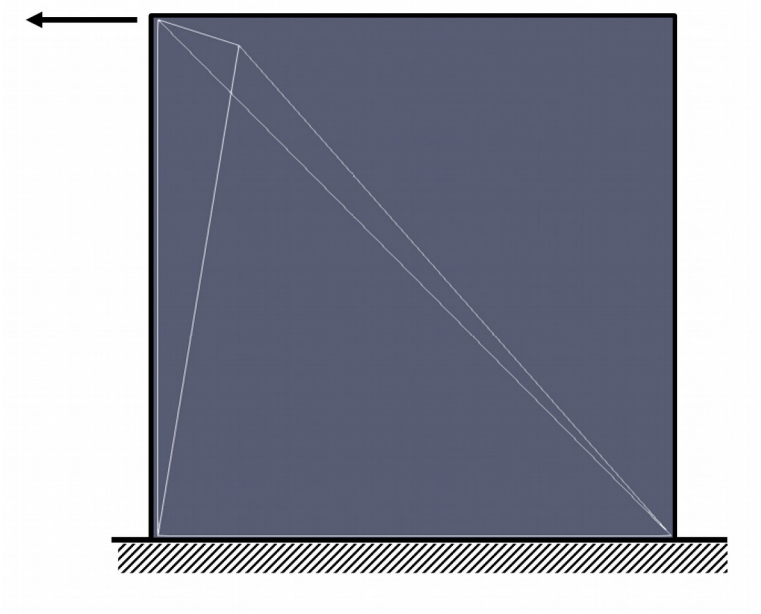


Image 2.2-1

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

2.3 Optimisation SCHEMA = 'SECTION'

La figure suivante présente les forces reparties dans les éléments de la structure à la fin du processus d'optimisation suivant le schéma SECTION (optimisation de sections seule).

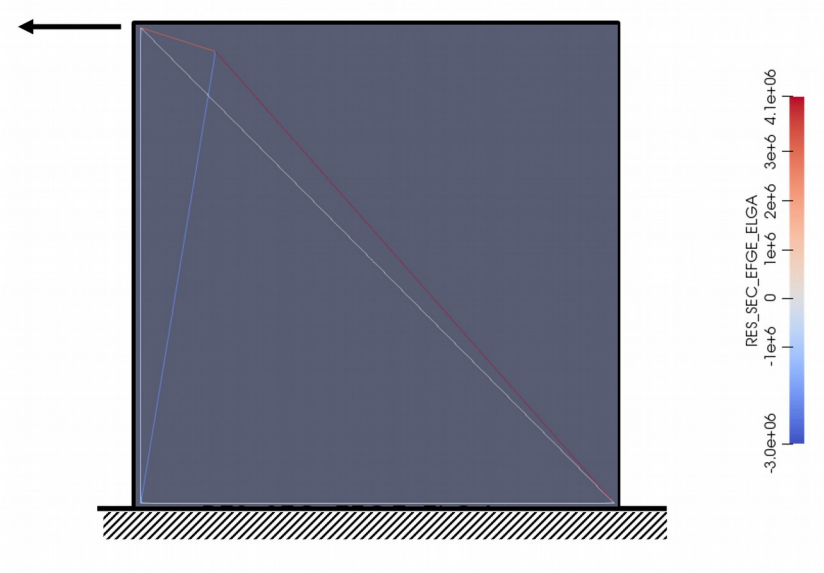


Image 2.3-1

Le Tableau 2.2.2-1 présente le résultats de la procédure d'optimisation. Afin de faciliter la comparaison de résultats, la numérotation des éléments (première colonne) a été modifiée à la main.

	COORD XI	COORD YI	COORD XJ	COORD YJ	TYPE	N	A	L	ENEL_ELEM
B1	0,00	0,00	0,15	0,95	BIELLE	-2,18E+06	6,24E-02	0,96	3,50E+04
B3	0,00	0,00	0,95	0,00	BIELLE	0,00E+00	1,00E-06	0,95	0,00E+00
B2	0,00	0,00	0,00	1,00	BIELLE	-1,00E+06	2,86E-02	1,00	1,67E+04
T1	0,15	0,95	0,95	0,00	TIRANT	4,13E+06	8,26E-03	1,24	1,22E+05
T2	0,15	0,95	0,00	1,00	TIRANT	3,16E+06	6,32E-03	0,16	1,19E+04
T3	0,95	0,00	0,00	1,00	TIRANT	5,80E-02	1,00E-06	1,38	2,21E-07

Tableau 2.3-1 : Structure optimisée : C_PLAN, SCHEMA = SECTION

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

2.4 Optimisation SCHEMA = 'TOPO'

La figure et le tableau suivants présentent la distribution de forces dans les éléments de la structure à la dernière itération. Comme pour que dans les résultats du de la section 2.2.2, la numérotation des éléments (première colonne du Tableau) a été manuellement modifiée.

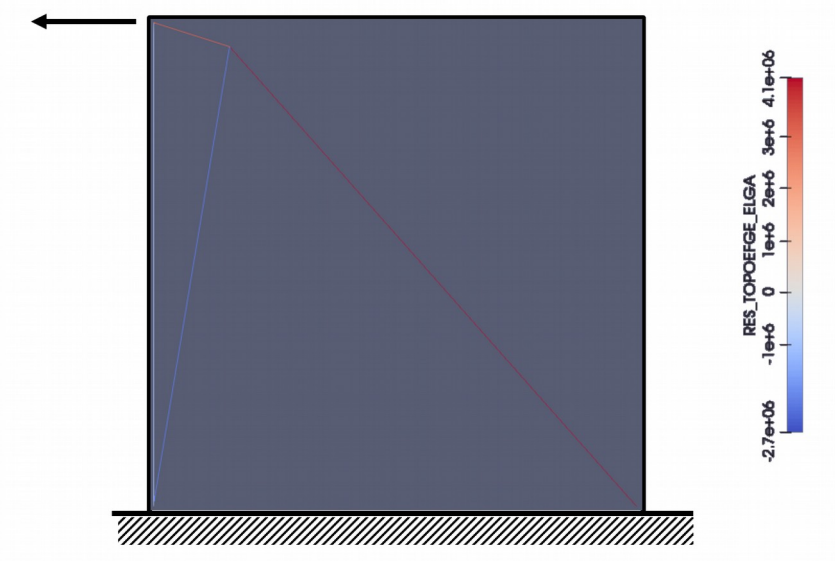


Image 2.4-1

#	COORD XI	COORD YI	COORD XJ	COORD YJ	TYPE	N	A	L	ENEL_ELEM
B1	0,00	0,00	0,15	0,95	BIELLE	-2,18E+06	6,24E-02	0,96	3,50E+04
B2	0,00	0,00	0,00	1,00	BIELLE	-1,00E+06	2,86E-02	1,00	1,67E+04
T1	0,15	0,95	0,95	0,00	TIRANT	4,13E+06	8,26E-03	1,24	1,22E+05
T2	0,15	0,95	0,00	1,00	TIRANT	3,16E+06	6,32E-03	0,16	1,19E+04

Tableau 2.4-1 : Structure optimisée : C_PLAN, SCHEMA = TOPO

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

3 Modélisation B : D_PLAN

L'analyse est statique à comportement élastique linéaire, modélisation D_PLAN.

3.1 Paramètres de l'optimisation

Les valeurs des paramètres sont identiques que pour la modélisation en contrainte plane.

3.2 Structure de base construite

La structure de base est ainsi construite à l'intérieur de la macro-commande CALC_BT à partir des résultats de la modélisation 2D et en considérant les paramètres définis auparavant.

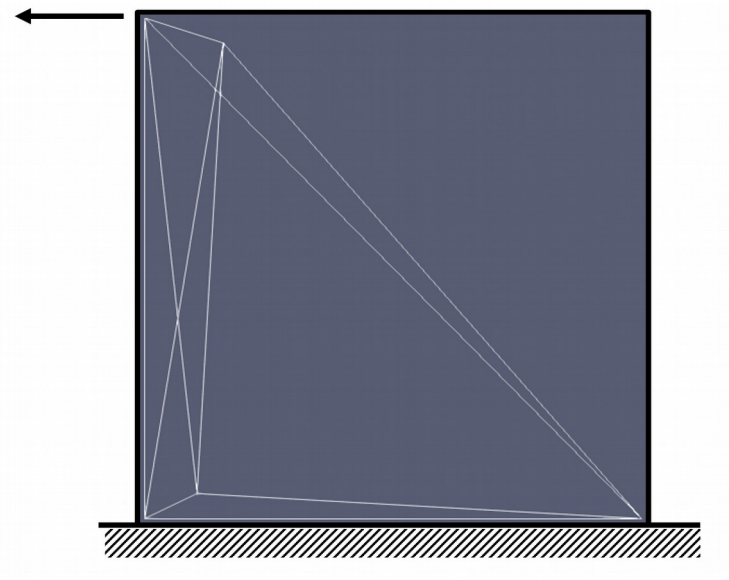


Image 3.2-1

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

3.3 Optimisation SCHEMA = 'SECTION'

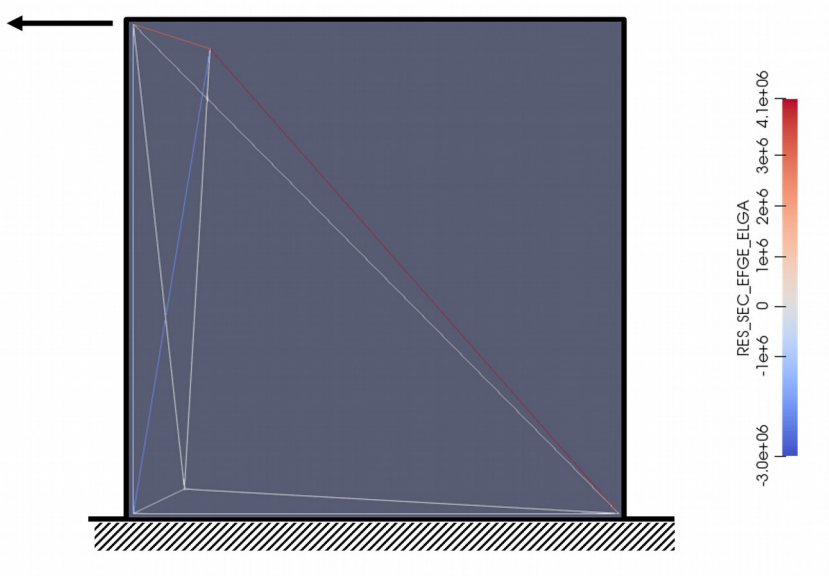


Image 3.3-1

#	COORD XI	COORD YI	COORD XJ	COORD YJ	TYPE	N	A	L	ENEL_ELEM
B5	0,00	0,00	0,10	0,05	BIELLE	0,00E+00	1,00E-06	0,11	0,00E+00
B2	0,00	0,00	0,15	0,95	BIELLE	-2,18E+06	6,24E-02	0,96	3,50E+04
B3	0,00	0,00	0,95	0,00	BIELLE	0,00E+00	1,00E-06	0,95	0,00E+00
B1	0,00	0,00	0,00	1,00	BIELLE	-1,00E+06	2,86E-02	1,00	1,67E+04
T4	0,10	0,05	0,15	0,95	TIRANT	1,06E-02	1,00E-06	0,90	4,83E-09
B4	0,10	0,05	0,95	0,00	BIELLE	0,00E+00	1,00E-06	0,85	0,00E+00
T3	0,10	0,05	0,00	1,00	TIRANT	1,16E-02	1,00E-06	0,96	6,12E-09
T2	0,15	0,95	0,95	0,00	TIRANT	4,13E+06	8,26E-03	1,24	1,22E+05
T5	0,15	0,95	0,00	1,00	TIRANT	3,16E+06	6,32E-03	0,16	1,19E+04
T1	0,95	0,00	0,00	1,00	TIRANT	5,80E-02	1,00E-06	1,38	2,21E-07

Tableau 3.3-1. Structure optimisée : D_PLAN, SCHEMA = SECTION

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

3.4 Optimisation SCHEMA = 'TOPO'

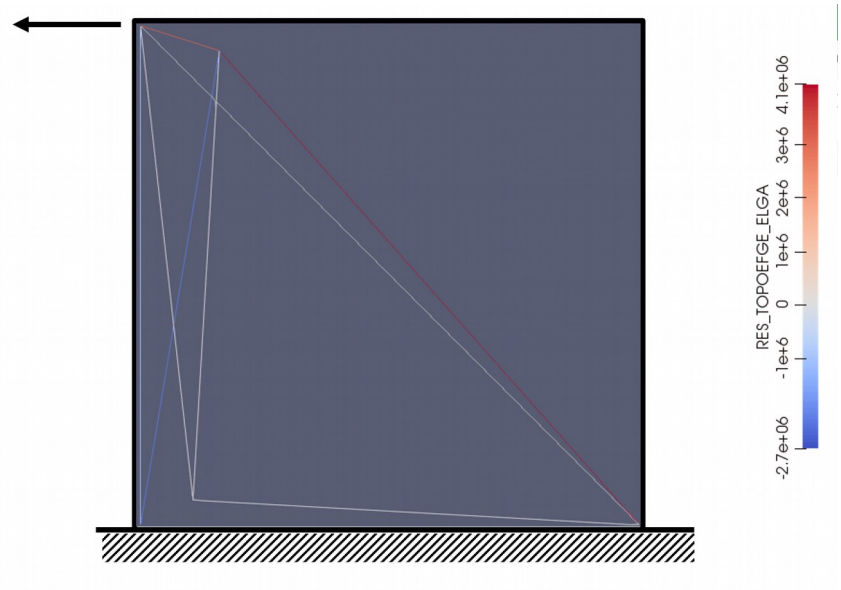


Image 3.4-1

#	COORD XI	COORD YI	COORD XJ	COORD YJ	TYPE	N	A	L	ENEL_ELEM
B1	0,00	0,00	0,15	0,95	BIELLE	-2,18E+06	6,24E-02	0,96	3,50E+04
B2	0,00	0,00	0,00	1,00	BIELLE	-1,00E+06	2,86E-02	1,00	1,67E+04
T1	0,15	0,95	0,95	0,00	TIRANT	4,13E+06	8,26E-03	1,24	1,22E+05
T2	0,15	0,95	0,00	1,00	TIRANT	3,16E+06	6,32E-03	0,16	1,19E+04
T3	0,95	0,00	0,00	1,00	TIRANT	5,80E-02	1,00E-06	1,38	2,21E-07
T4	0,10	0,05	0,00	1,00	TIRANT	1,16E-02	1,00E-06	0,96	6,12E-09
B3	0,10	0,05	0,95	0,00	BIELLE	-1,52E-18	1,00E-06	0,85	9,35E-40
T5	0,10	0,05	0,15	0,95	TIRANT	1,06E-02	1,00E-06	0,90	4,83E-09

Tableau 3.4-1. **Structure optimisée : D_PLAN, SCHEMA = TOPO**

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

4 Synthèse des résultats

Le tableau présente les tirants principaux trouvés dans le modèle de référence et les deux modélisations présentées.

		Tirant	Force [N]	Longueur [m]	A_s [m^2]	Acier par élément [m^3]	Acier totale [m^3]
C_PLAN	SCHEMA= 'SECTION'	T2	4,13E+06	8,26E-03	1,24	0,010255	0,011256
		T3	3,16E+06	6,32E-03	0,16	0,001	
		T1	5,80E-02	1,00E-06	1,38	1,38E-6	
	SCHEMA= 'TOPO'	T1	4,13E+06	8,26E-03	1,24	0,010255	0,011255
		T2	3,16E+06	6,32E-03	0,16	0,001	
D_PLAN	SCHEMA= 'SECTION'	T4	1,06E-02	1,00E-06	0,90	9,01E-07	0,010257
		T3	1,16E-02	1,00E-06	0,96	0,010255	
		T2	4,13E+06	8,26E-03	1,24	0,001	
		T5	3,16E+06	6,32E-03	0,16	1,38E-06	
		T1	5,80E-02	1,00E-06	1,38	1,38E-06	
	SCHEMA= 'TOPO'	T2	4,13E+06	8,26E-03	1,24	0.010255	0,011258
		T5	3,16E+06	6,32E-03	0,16	0,001	
		T1	5,80E-02	1,00E-06	1,38	1,38E-06	
		T3	1,16E-02	1,00E-06	0,96	9,55E-07	
		T4	1,06E-02	1,00E-06	0,90	9,01E-07	

Tableau 4-1 : synthèse des résultats.

Le tableau 4-1 montre les éléments tirant présentant une taille de section supérieure à la section minimale `SECTION_MINI`. La quantité totale d'acier est calculée en prenant en compte tous les éléments tirants. Les résultats obtenus par Code_Aster constituent des valeurs de non régression.

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