SSNL502 - Poutre en flambement

Résumé :

Ce test représente un calcul de stabilité d'une poutre console soumise à un effort de compression à une extrémité. Il permet de valider les modélisations éléments finis :

- COQUE_3D avec les mailles TRIA7 et QUAD9,
- DKT avec les mailles TRIA3 et QUAD4,
- DKTG avec les mailles TRIA3 et QUAD4,
- POU_D_T_GD et POU_D_TGM avec les mailles SEG2.

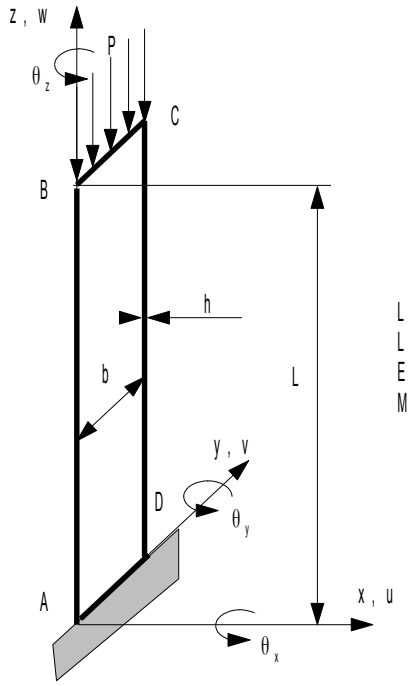
dans le domaine quasi-statique non-linéaire en grands déplacements et en grandes rotations en présence d'instabilité (Flambement d'Euler).

Les déplacements et les moments obtenus sont comparés à une solution de référence analytique.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie



Longueur : L = 0.5 m
Largeur : b = 0.075 m
Epaisseur : h = 0.0045 m
Moment d'inertie $I_y = 5.7\ 10^{-10}\ m^4$ $(b h^3/12)$

1.2 Propriétés du matériau

Les propriétés du matériau constituant la plaque sont :

$E = 2.10^{11} Pa$ Module d'Young

$\nu = 0.3$ Coefficient de poisson

1.3 Conditions aux limites et chargements

Conditions aux limites : Côté AD encastré

On cherche les états successifs d'équilibre sous le chargement imposé sur le côté BC :

$$p(t) = p_{cr}\, t$$

avec t pseudo_temps

p_{cr} charge critique d'Euler

La charge appliquée correspond à la charge critique d'Euler $p_{cr} = \dfrac{\pi^2 E I}{4 L^2} = 1124{,}21\ N$

1.4 Conditions initiales

Sans objet

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

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

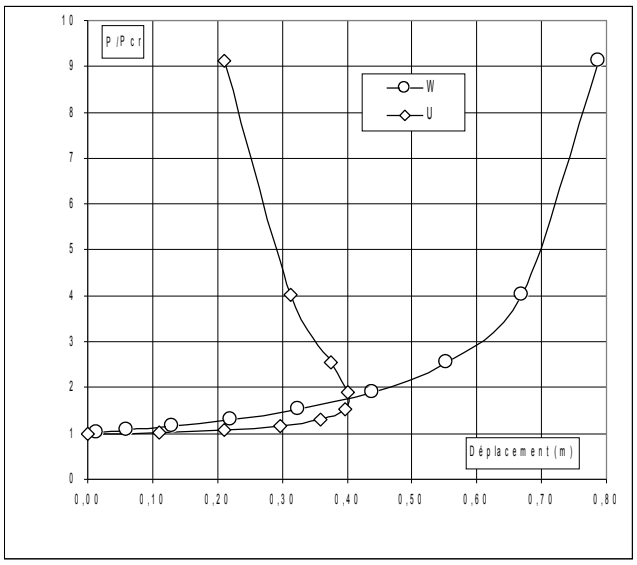
La solution du problème dit de l' ''élastique'' est présentée en [bib1] en faisant l'hypothèse de non extension de l'axe moyen. La solution analytique est obtenue en considérant des intégrales elliptiques.

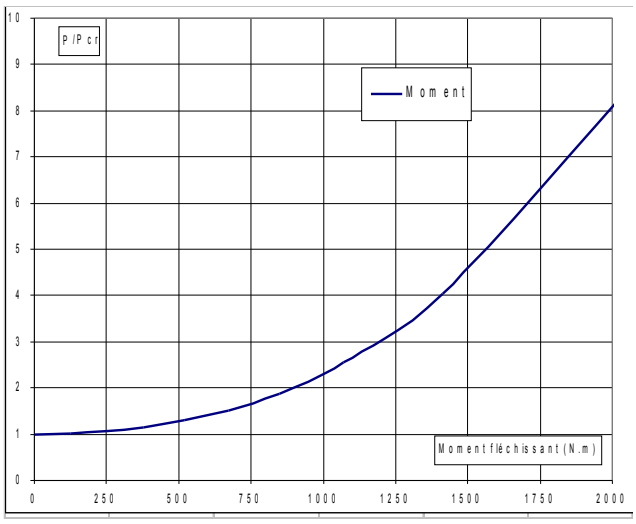
2.2 Résultats de référence

Les résultats de référence retenus pour les vérifications sont indiqués en caractères **gras** dans le tableau ci-dessous. Les déplacements sont définis dans le repère de définition de la géométrie [§1.1].

P/P_{cr}	u_B/L	w_B/L	θ °	M_AL/EI
1,015	**0,220**	**0,030**	**20°**	**0,56**
1,063	0,422	0,119	40°	1,09
1,152	**0,593**	**0,259**	**60°**	**1,67**
1,293	0,719	0,440	80°	2,28
1,518	**0,792**	**0,651**	**100°**	**2,96**
1,884	0,803	0,877	120°	3,73
2,541	**0,750**	**1,107**	**140°**	**4,70**
4,029	0,625	1,340	160°	6,20
9,116	**0,421**	**1,577**	**176°**	**9,44**

Charge P (N)	u_B (m)	w_B (m)	M_A $(N.M)$
1141.07	**0.1100**	**0.0150**	**127.58**
1195.03	0.2110	0.0595	248.32
1295.09	**0.2965**	**0.1295**	**380.45**
1453.60	0.3595	0.2200	519.41
1706.55	**0.3960**	**0.3255**	**674.33**
2118.01	0.4015	0.4385	849.74
2856.62	**0.3750**	**0.5535**	**1070.72**
4529.44	0.3125	0.6700	1412.44
10248.29	**0.2105**	**0.7885**	**2150.55**





2.3 Incertitudes sur la solution

Solution analytique

2.4 Références bibliographiques

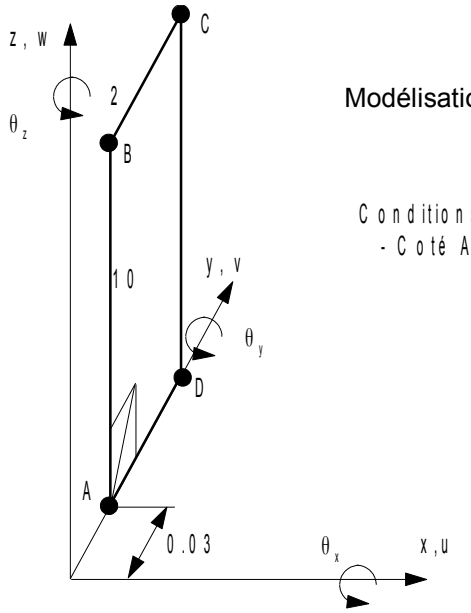
[1] S.P. TIMOSHENKO, J.M. GERE : Théorie de la stabilité élastique, deuxième édition, DUNOD 1966.

[2] J.L. BATOZ : Grands déplacements et grandes rotations de poutres minces élastiques, Département de génie mécanique Université de Technologie de Compiègne 1981.

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

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation



Modélisation COQUE_3D (TRIA7)

Conditions aux limites :
- Coté AD : $u = v = w = \theta_x = \theta_y = \theta_z = 0$

3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 145
Nombre de mailles et type : 40 TRIA7

3.3 Grandeurs testées et résultats

La stratégie de calcul utilisée se décompose en deux étapes :

- **Chargement imposé** : on impose une charge perturbatrice de $1/1000$ de la charge critique suivant X pour faire apparaître le mode de flambement. Cette charge est appliquée pour $P/P_{cr}=0.98$ et jusqu'à $P/P_{cr}=1.015$.
- **Déplacement imposé** : au delà de 1.01, la structure est devenue très souple, on impose un accroissement de déplacement DZ (option DDL_IMPO dans STAT_NON_LINE) pour déterminer le comportement post-flambement.

L'utilisation de la technique de longueur d'arc rend difficile la définition de la valeur de référence à introduire dans la commande TEST_RESU, puisque ces valeurs ne peuvent pas être imposées. Pour définir les valeurs de référence, nous avons recherché les valeurs de DZ les plus proches possibles de celles listées dans le tableau du [§2.2] et nous avons reporté les valeurs du paramètre de pilotage et de DX que l'on devait obtenir pour les valeurs de DZ en question.

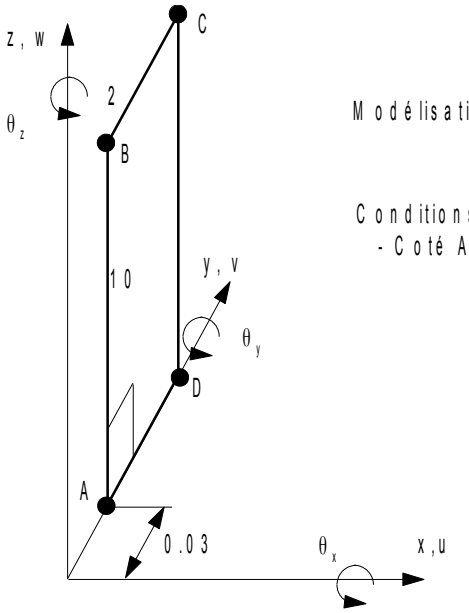
Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

DZ	Identification	Instants	Référence
–0.0150	DX	1.04532	0.1100
	DZ	1.04532	–0.0150
	ETA_PILOTAGE	1.04532	1.015
–0.0595	DX	1.09778	0.2110
	DZ	1.09778	–0.0595
	ETA_PILOTAGE	1.09778	1.063
–0.22	DX	1.20824	0.3595
	DZ	1.20824	–0.22
	ETA_PILOTAGE	1.20824	1.293
–0.3255	DX	1.26646	0.396
	DZ	1.26646	–0.3255
	ETA_PILOTAGE	1.26646	1.518
–0.5535	DX	1.38521	0.375
	DZ	1.38521	–0.5535
	ETA_PILOTAGE	1.38521	2.541
–0.67	DX	1.46121	0.3125
	DZ	1.46121	–0.67
	ETA_PILOTAGE	1.46121	4.029

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

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation



Modélisation COQUE_3D (QUAD9)

Conditions aux limites :
- Coté AD : u = v = w = θ_x = θ_y = θ_z =

4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 105
Nombre de mailles et type : 20 QUAD9

4.3 Grandeurs testées et résultats

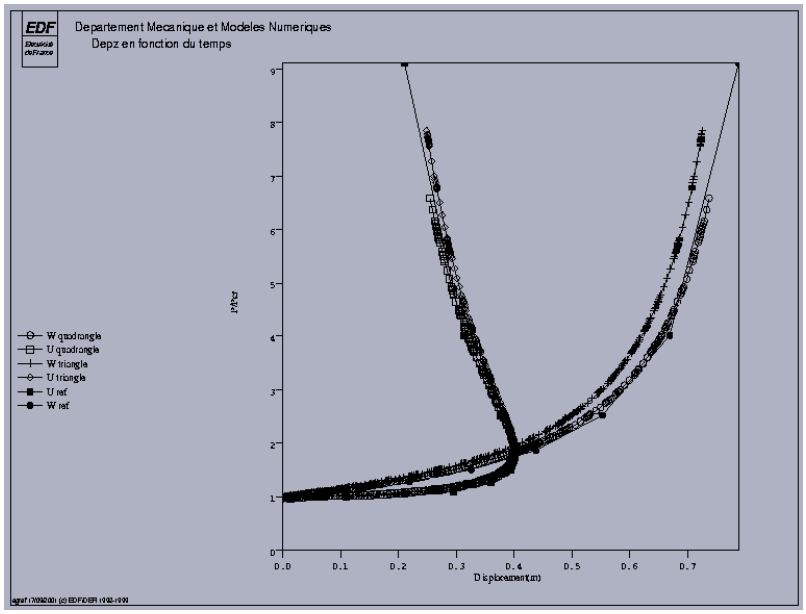
La stratégie de calcul utilisée se décompose en deux étapes :

- **Chargement imposé** : on impose une charge perturbatrice de $1/1000$ de la charge critique suivant X pour faire apparaître le mode de flambement. Cette charge est appliquée pour $P/P_{cr}=0.98$ et jusqu'à $P/P_{cr}=1.015$.
- **Déplacement imposé** : au delà de 1.01, la structure est devenue très souple, on impose un accroissement de déplacement DZ (option DDL_IMPO dans STAT_NON_LINE) pour déterminer le comportement post-flambement.

L'utilisation de la technique de longueur d'arc rend difficile la définition de la valeur de référence à introduire dans la commande TEST_RESU, puisque ces valeurs ne peuvent pas être imposées. Pour définir les valeurs de référence, nous avons recherché les valeurs de DZ les plus proches possibles de celles listées dans le tableau du [§2.2] et nous avons reporté les valeurs du paramètre de pilotage et de DX que l'on devait obtenir pour les valeurs de DZ en question.

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

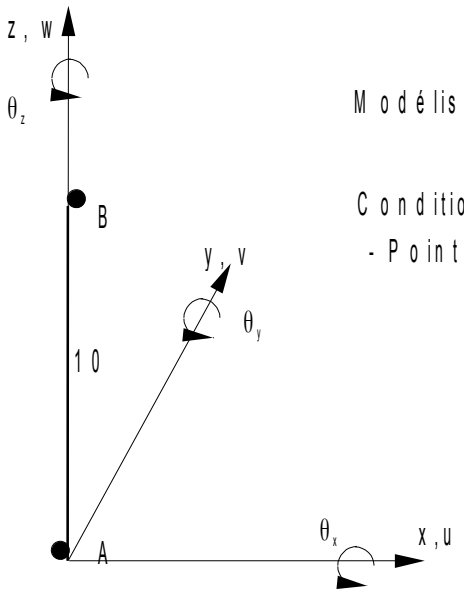
DZ	Identification	Instants	Référence
–0.0150	DX	1.03356	0.1100
	DZ	1.03356	–0.0150
	ETA_PILOTAGE	1.03356	1.015
–0.0595	DX	1.08921	0.2110
	DZ	1.08921	–0.0595
	ETA_PILOTAGE	1.08921	1.063
–0.22	DX	1.20259	0.3595
	DZ	1.20259	–0.22
	ETA_PILOTAGE	1.20259	1.293
–0.3255	DX	1.25521	0.396
	DZ	1.25521	–0.3255
	ETA_PILOTAGE	1.25521	1.518
–0.5535	DX	1.37521	0.375
	DZ	1.37521	–0.5535
	ETA_PILOTAGE	1.37521	2.541
–0.67	DX	1.45321	0.3125
	DZ	1.45321	–0.67
	ETA_PILOTAGE	1.45321	4.029



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

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation



Modélisation POU_D_T_GD

Conditions aux limites
- Point A : u = v = w = $\theta_x = \theta_y = \theta_z = 0$

5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 11
Nombre de mailles et type : 10 SEG2

5.3 Grandeurs testées et résultats

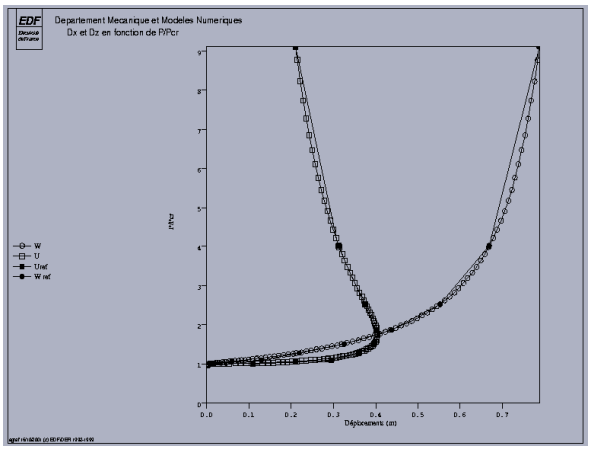
5.3.1 Valeurs testées

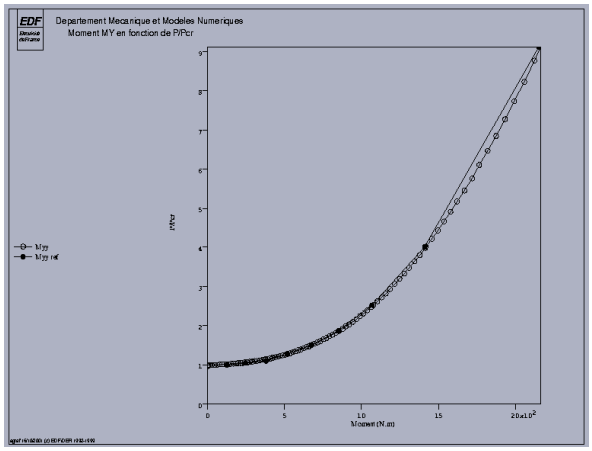
La stratégie de calcul utilisée se décompose en deux étapes :

- **Chargement imposé** : on impose une charge perturbatrice de $1/1000$ de la charge critique suivant X pour faire apparaître le mode de flambement. Cette charge est appliquée pour $P/P_{cr}=0.98$ et jusqu'à $P/P_{cr}=1.015$.
- **Déplacement imposé** : au delà de 1.01, la structure est devenue très souple, on impose un accroissement de déplacement DZ (option DDL_IMPO dans STAT_NON_LINE) pour déterminer le comportement post-flambement.
- Les résultats sont en bonne adéquation avec la solution de référence à partir de ETA_PILOTAGE = 1.293. Avant cette valeur, la charge perturbatrice (nécessaire pour obtenir le flambage) dégrade la solution, et les écarts avec les solution analytique sont importants (jusqu'à 80%). Les valeurs correspondantes font l'objet de tests de non régression. Mais cet écart est uniquement lié à la charge perturbatrice, puisque en augmentant le chargement vertical, on retrouve la bonne solution.

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

DZ	Identification	Instants	Référence
–0.22	DX	1.18684	0.3595
	DZ	1.18684	–0.22
	ETA_PILOTAGE	1.18684	1.293
	MYY	1.18684	519.41
–0.3255	DX	1.24521	0.396
	DZ	1.24521	–0.3255
	ETA_PILOTAGE	1.24521	1.518
	MYY	1.24521	674.3
–0.4385	DX	1.30521	0.4015
	DZ	1.30521	–0.4385
	ETA_PILOTAGE	1.30521	1.884
	MYY	1.30521	849.74





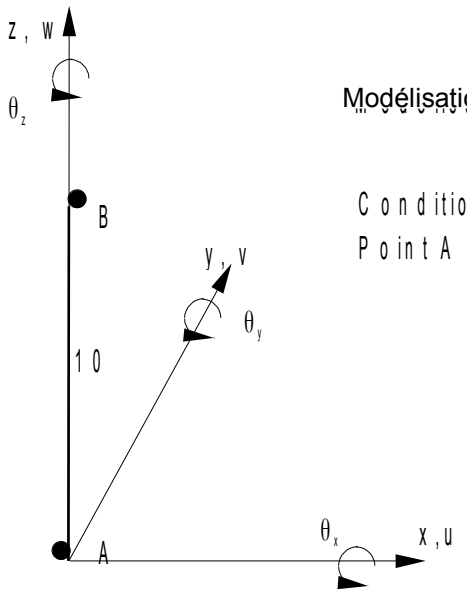
- De plus on teste la valeur des réactions d'appuis à l'instant initial afin de valider la prise en compte de TYPE_CHARGE='FIXE_PILO' dans CALC_CHAMP/EXCIT quand reuse est absent.

Identification	Valeur de référence	Type de référence	Tolérance
Champ REAC_NODA, Noeud N1, Composante DZ	0.	'ANALYTIQUE'	1E-3

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

6 Modélisation D

6.1 Caractéristiques de la modélisation



Modélisation POU_D_TGM (SEG2)

Conditions aux limites :
Point A : u = v = w = x = θ_x = θ_y = θ_z =

6.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 11
Nombre de mailles et type : 10 SEG2 uniformément réparties dans la longueur

6.3 Caractéristiques du maillage de la section transverse (fibres)

Nombre de fibres : 50 (5 dans la largeur et 10 dans l'épaisseur)
Nombre de mailles et type : 50 QUA4

6.4 Grandeurs testées et résultats

6.4.1 Valeurs testées

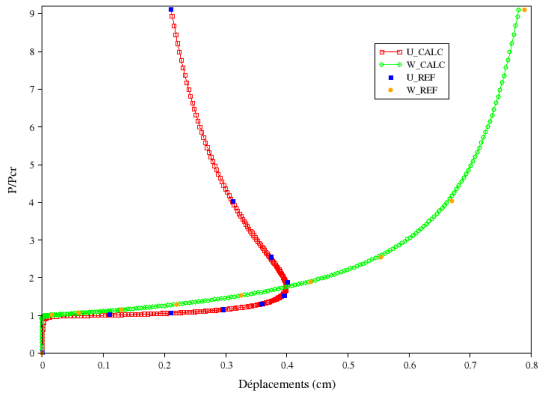
La stratégie de calcul utilisée se décompose en deux étapes :

- **Chargement imposé** : On a pré-déformé la structure suivant son premier mode de flambement et avec une très faible amplitude devant la longueur de la poutre (de l'ordre de $5.10^{-4} m$). On applique le chargement jusqu'à $P/P_{cr}=0.95$.
- **Déplacement imposé** : au delà de 0.95, la structure commence à subir un fort déplacement latéral pour une très faible augmentation du chargement, on pilote donc la structure en longueur d'arc pour déterminer le comportement post-flambement.
- Les résultats sont en bonne adéquation avec la solution de référence à partir de ETA_PILOTAGE = 1.152. Avant cette valeur, la pré-déformation (nécessaire pour obtenir le flambage) dégrade la solution, et les écarts avec les solutions analytiques sont importants (jusqu'à 60%). Les valeurs correspondantes font l'objet de tests de non régression. Mais cet écart est uniquement lié à la pré-déformation initiale (arbitraire), puisqu'en augmentant le chargement vertical, on retrouve la bonne solution.

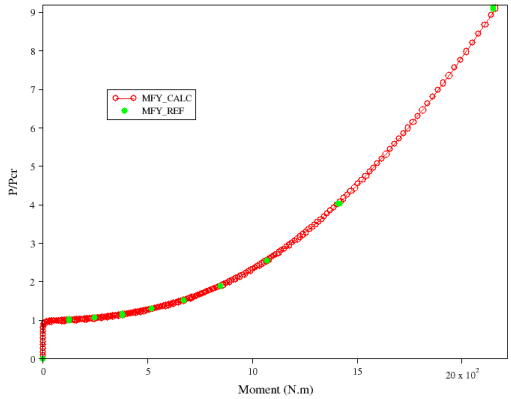
Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

DZ	Identification	Instants	Référence
–0.22	DX	3.8	0.3595
	DZ	3.8	–0.22
	ETA_PILOTAGE	3.8	1.293
	MYY	3.8	519.41
–0.3255	DX	4.56	0.396
	DZ	4.56	–0.3255
	ETA_PILOTAGE	4.56	1.518
	MYY	4.56	674.3
–0.4385	DX	5.358	0.4015
	DZ	5.358	–0.4385
	ETA_PILOTAGE	5.358	1.884
	MYY	5.358	849.74

P/Pcr en fonction des déplacements U et W



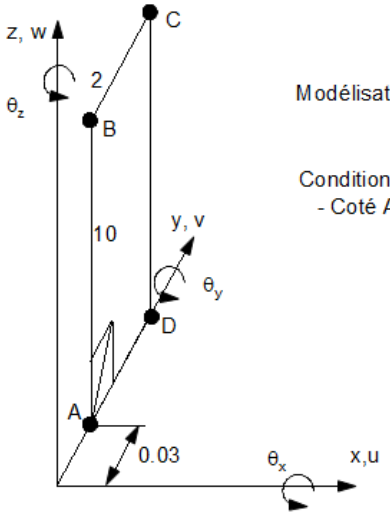
P/Pcr en fonction du moment MFY



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

7 Modélisation E

7.1 Caractéristiques de la modélisation



Modélisation DKT (TRIA3)

Conditions aux limites :
- Coté AD : $u = v = w = \theta_x = \theta_y = \theta_z = 0$

7.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 33
Nombre de mailles et type : 40 TRIA3, 2 SEG2

7.3 Grandeurs testées et résultats

7.3.1 Valeurs testées

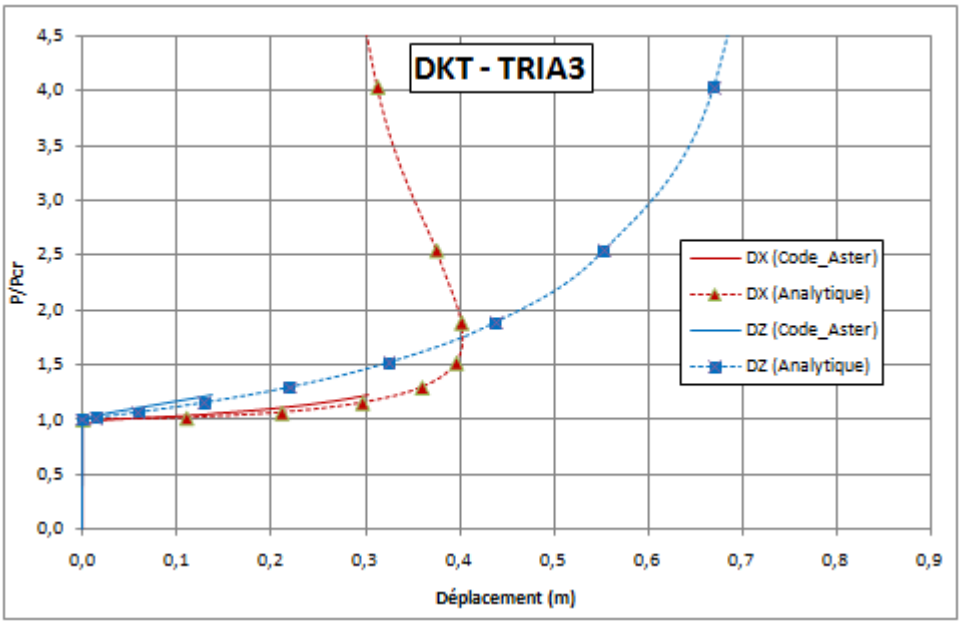
La stratégie de calcul utilisée se décompose en deux étapes :

- **Chargement imposé** : on impose une charge perturbatrice de $1/1000$ de la charge critique suivant X pour faire apparaître le mode de flambement. Cette charge est appliquée pour $P/P_{cr}=0.95$ et jusqu'à $P/P_{cr}=1.015$.
- **Déplacement imposé** : au delà de 0.947, la structure commence à subir un fort déplacement latéral pour une très faible augmentation du chargement, on pilote donc la structure en longueur d'arc pour déterminer le comportement post-flambement.
- Les calculs ne convergent plus au delà de ETA_PILOTAGE = 1.24936. L'évolution des déplacements en fonction du chargement est présenté sur la figure ci-après. La charge critique est bien détectée. Dans la partie post-flambement, on constate un écart maximum de 5% sur la charge critique avec la solution analytique.

L'utilisation de la technique de longueur d'arc rend difficile la définition de la valeur de référence à introduire dans la commande TEST_RESU , puisque ces valeurs ne peuvent pas être imposées. Pour définir les valeurs de référence, nous avons recherché les valeurs de DZ les plus proches possibles de celles listées dans le tableau du [§2.2] et nous avons reporté les valeurs du paramètre de pilotage et de DX que l'on devait obtenir pour les valeurs de DZ en question.

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

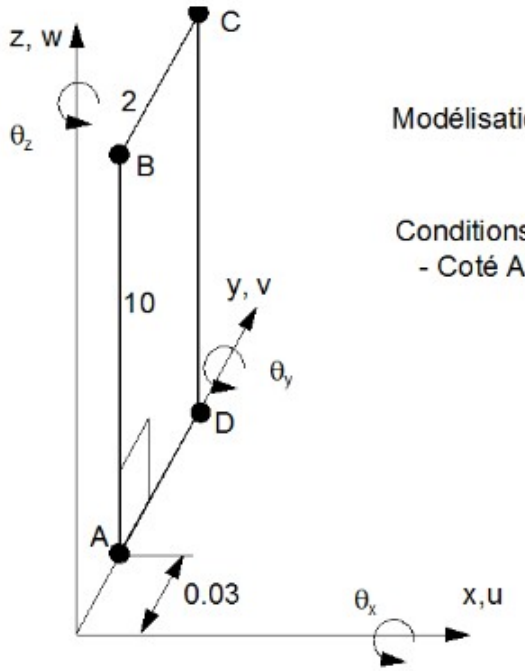
DZ	Identification	Instants	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance (%)
–0.0150	DX	1.001	'ANALYTIQUE'	0.110	1.0
	DZ	1.001	'ANALYTIQUE'	–0.015	2.0
	ETA_PILOTAGE	1.001	'ANALYTIQUE'	1.015	3.0
–0.0595	DX	1.05867	'ANALYTIQUE'	0.2110	2.0
	DZ	1.05867	'ANALYTIQUE'	–0.0595	3.5
	ETA_PILOTAGE	1.05867	'ANALYTIQUE'	1.063	5.0



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

8 Modélisation F

8.1 Caractéristiques de la modélisation



Modélisation DKT (QUAD4)

Conditions aux limites :
- Coté AD : $u = v = w = \theta_x = \theta_y = \theta_z = 0$

8.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 33
Nombre de mailles et type : 20 QUAD4, 2 SEG2

8.3 Grandeurs testées et résultats

8.3.1 Valeurs testées

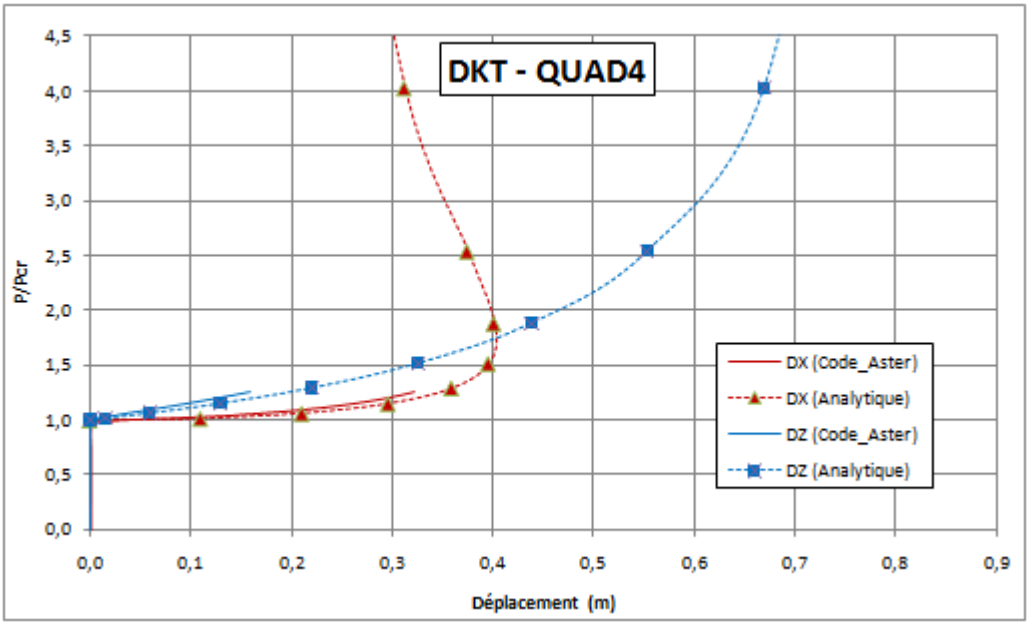
La stratégie de calcul utilisée se décompose en deux étapes :

- **Chargement imposé** : on impose une charge perturbatrice de $1/1000$ de la charge critique suivant X pour faire apparaître le mode de flambement. Cette charge est appliquée pour $P/P_{cr}=0.95$ et jusqu'à $P/P_{cr}=1.015$.
- **Déplacement imposé** : au delà de 0.94, la structure commence à subir un fort déplacement latéral pour une très faible augmentation du chargement, on pilote donc la structure en longueur d'arc pour déterminer le comportement post-flambement.
- Les calculs ne convergent plus au delà de ETA_PILOTAGE = 1.1277. L'évolution des déplacements en fonction du chargement est présenté sur la figure ci-après. La charge critique est bien détectée. Dans la partie post-flambement, on constate un écart maximum de 3.5% sur la charge critique avec la solution analytique.

L'utilisation de la technique de longueur d'arc rend difficile la définition de la valeur de référence à introduire dans la commande TEST_RESU, puisque ces valeurs ne peuvent pas être imposées. Pour définir les valeurs de référence, nous avons recherché les valeurs de DZ les plus proches possibles de celles listées dans le tableau du [§2.2] et nous avons reporté les valeurs du paramètre de pilotage et de DX que l'on devait obtenir pour les valeurs de DZ en question.

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

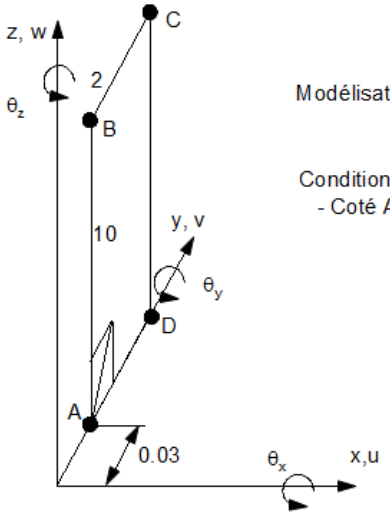
DZ	Identification	Instants	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance (%)
–0.0150	DX	0.995	'ANALYTIQUE'	0.110	2.0
	DZ	0.995	'ANALYTIQUE'	–0.015	2.5
	ETA_PILOTAGE	0.995	'ANALYTIQUE'	1.015	1.5
–0.0595	DX	1.05136	'ANALYTIQUE'	0.2110	0.5
	DZ	1.05136	'ANALYTIQUE'	–0.0595	0.7
	ETA_PILOTAGE	1.05136	'ANALYTIQUE'	1.063	3.5



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

9 Modélisation G

9.1 Caractéristiques de la modélisation



Modélisation DKT (TRIA3)

Conditions aux limites :
- Coté AD : $u = v = w = \theta_x = \theta_y = \theta_z = 0$

9.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 33
Nombre de mailles et type : 40 TRIA3, 2 SEG2

9.3 Grandeurs testées et résultats

9.3.1 Valeurs testées

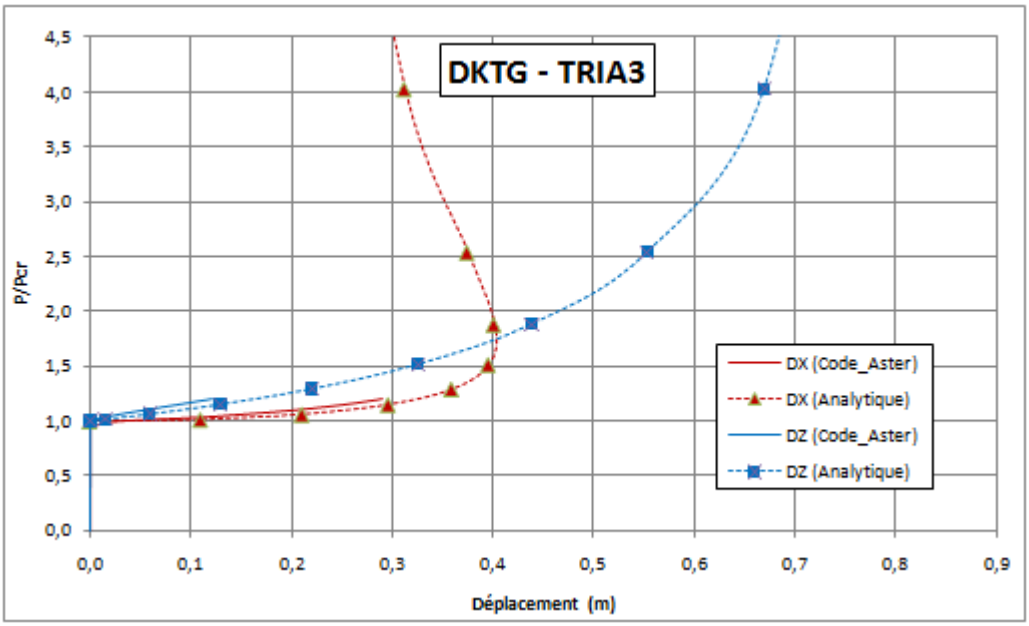
La stratégie de calcul utilisée se décompose en deux étapes :

- **Chargement imposé** : on impose une charge perturbatrice de $1/1000$ de la charge critique suivant X pour faire apparaître le mode de flambement. Cette charge est appliquée pour $P/P_{cr}=0.95$ et jusqu'à $P/P_{cr}=1.015$.
- **Déplacement imposé** : au delà de 0.947, la structure commence à subir un fort déplacement latéral pour une très faible augmentation du chargement, on pilote donc la structure en longueur d'arc pour déterminer le comportement post-flambement.
- Les calculs ne convergent plus au delà de ETA_PILOTAGE = 1.20914. L'évolution des déplacements en fonction du chargement est présenté sur la figure ci-après. La charge critique est bien détectée. Dans la partie post-flambement, on constate un écart maximum de 5% sur la charge critique avec la solution analytique.

L'utilisation de la technique de longueur d'arc rend difficile la définition de la valeur de référence à introduire dans la commande TEST_RESU, puisque ces valeurs ne peuvent pas être imposées. Pour définir les valeurs de référence, nous avons recherché les valeurs de DZ les plus proches possibles de celles listées dans le tableau du [§2.2] et nous avons reporté les valeurs du paramètre de pilotage et de DX que l'on devait obtenir pour les valeurs de DZ en question.

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

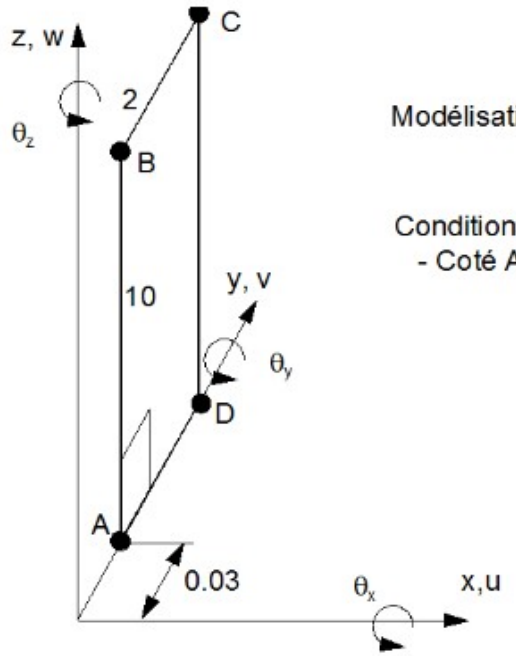
DZ	Identification	Instants	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance (%)
–0.0150	DX	1.001	'ANALYTIQUE'	0.110	0.1
	DZ	1.001	'ANALYTIQUE'	–0.015	2.0
	ETA_PILOTAGE	1.001	'ANALYTIQUE'	1.015	3.0
–0.0595	DX	1.054217	'ANALYTIQUE'	0.2110	2.5
	DZ	1.054217	'ANALYTIQUE'	–0.0595	5.0
	ETA_PILOTAGE	1.054217	'ANALYTIQUE'	1.063	5.0



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

10 Modélisation H

10.1 Caractéristiques de la modélisation



Modélisation DKT (QUAD4)

Conditions aux limites :
- Coté AD : $u = v = w = \theta_x = \theta_y = \theta_z = 0$

10.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 33
Nombre de mailles et type : 20 QUAD4, 2 SEG2

10.3 Grandeurs testées et résultats

10.3.1 Valeurs testées

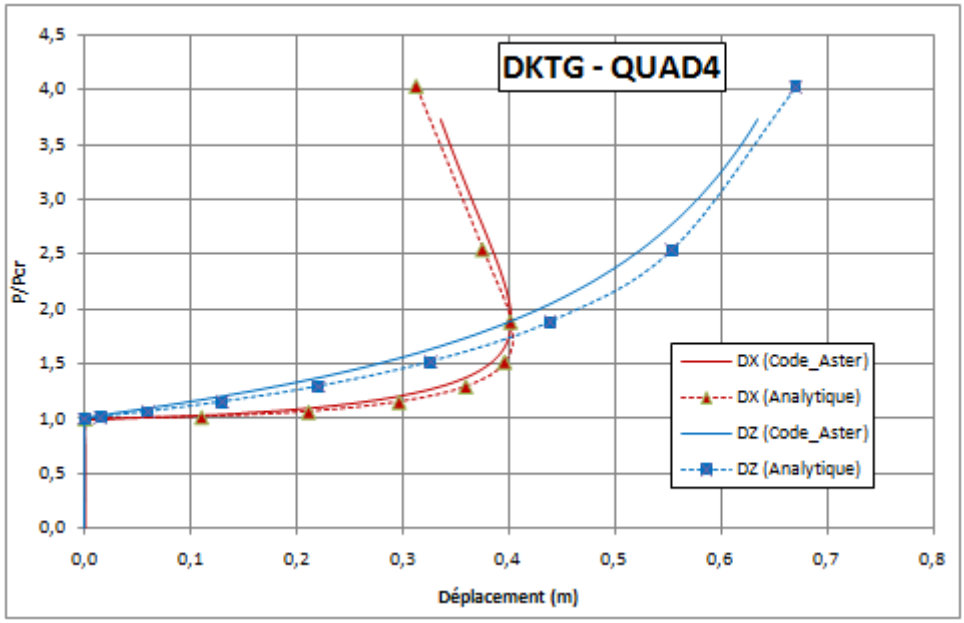
La stratégie de calcul utilisée se décompose en deux étapes :

- **Chargement imposé** : on impose une charge perturbatrice de $1/1000$ de la charge critique suivant X pour faire apparaître le mode de flambement. Cette charge est appliquée pour $P/P_{cr}=0.95$ et jusqu'à $P/P_{cr}=1.015$.
- **Déplacement imposé** : au delà de 0.947, la structure commence à subir un fort déplacement latéral pour une très faible augmentation du chargement, on pilote donc la structure en longueur d'arc pour déterminer le comportement post-flambement.
- Les calculs ne convergent plus au delà de ETA_PILOTAGE = 3.73969. L'évolution des déplacements en fonction du chargement est présenté sur la figure ci-après. La charge critique est bien détectée. Dans la partie post-flambement, on constate un écart maximum de 10% sur la charge critique avec la solution analytique.

L'utilisation de la technique de longueur d'arc rend difficile la définition de la valeur de référence à introduire dans la commande TEST_RESU, puisque ces valeurs ne peuvent pas être imposées. Pour définir les valeurs de référence, nous avons recherché les valeurs de DZ les plus proches possibles de celles listées dans le tableau du [§2.2] et nous avons reporté les valeurs du paramètre de pilotage et de DX que l'on devait obtenir pour les valeurs de DZ en question.

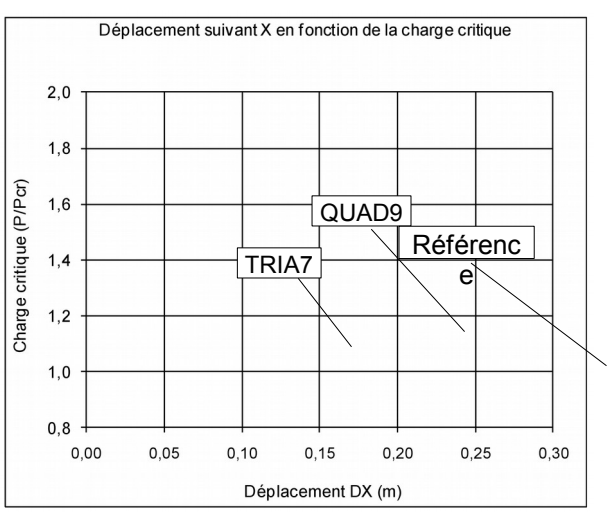
Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

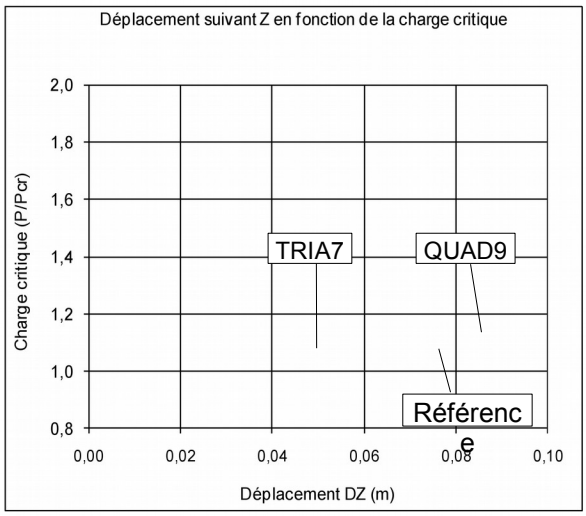
DZ	Identification	Instants	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance (%)
–0.0150	DX	0.995	'ANALYTIQUE'	0.110	2.0
	DZ	0.995	'ANALYTIQUE'	–0.015	2.5
	ETA_PILOTAGE	0.995	'ANALYTIQUE'	1.015	1.5
–0.1295	DX	1.10671	'ANALYTIQUE'	0.2965	0.7
	DZ	1.10671	'ANALYTIQUE'	–0.1295	1.0
	ETA_PILOTAGE	1.10671	'ANALYTIQUE'	1.152	5.0
–0.3255	DX	1.22068	'ANALYTIQUE'	0.396	0.5
	DZ	1.22068	'ANALYTIQUE'	–0.3255	0.7
	ETA_PILOTAGE	1.22068	'ANALYTIQUE'	1.518	8.0
–0.5535	DX	1.34521	'ANALYTIQUE'	0.375	0.1
	DZ	1.34521	'ANALYTIQUE'	–0.5535	0.5
	ETA_PILOTAGE	1.34521	'ANALYTIQUE'	2.541	10.0



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

11 Synthèse des résultats





La charge critique est bien détectée. Les deux premiers résultats correspondant aux charges $P/P_{cr}=1.015$ et 1.063 sont corrects, l'erreur maximum est de 3.5% pour la maille TRIA7 et de 2.2% pour la maille QUAD9. La maille QUAD9 donne de meilleurs résultats.

Si l'on poursuit les calculs avec les éléments de coques, la maille QUAD9 continue de donner de meilleurs résultats. Dans la zone où les déplacements en DZ sont les plus importants, l'erreur commise sur la charge atteint 9% sur les quadrangles et va jusqu'à 30% sur les triangles. Les erreurs s'accroissent dans cette région du fait des pentes des courbes.

Le coefficient de correction du cisaillement transverse A_CIS a été mis à 0.833, correspondant aux coques épaisses. La valeur ($9000=10^6\times H/L$) qui aurait dû être prise en compte ne permet pas d'effectuer les calculs. Elle introduit un mauvais conditionnement des matrices de rigidité en accroissant leurs disparités.

La solution poutre du code, que ce soit la modélisation POU_D_T_GD ou POU_D_TGM, fournit de très bons résultats par rapport à la solution analytique de référence. Cependant, les temps de calcul sont différents, la modélisation POU_D_T_GD qui est géométriquement exacte conduit à un temps de calcul presque 40% inférieur par rapport à la modélisation POU_D_TGM. En effet la déformation 'PETIT_REAC' utilisée pour le modèle multi-fibres n'est qu'une approximation des grands déplacements et surtout des grandes rotations, elle nécessite de faire de petits incréments de chargement. En contrepartie, il faut rappeler que l'on est capable de traiter des comportements autres qu'élastique avec POU_D_TGM.

Quelque soit la maille TRIA3 ou QUAD4, les modélisations DKT et DKTG, détectent bien la charge critique. Les modélisations DKT (QUAD4 et TRIA3) et DKTG (TRIA3) ne convergent plus au delà de $P/P_{cr}=1.2$. Par contre pour la modélisation DKTG (QUAD4) les calculs vont au delà, pour atteindre $P/P_{cr}=3.73969$. L'erreur commise sur les déplacements est au maximum de 3% et de 5% pour $P/P_{cr}=1.063$ et 10% pour $P/P_{cr}=2.451$.

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