

Manuel de Validation**Fascicule V3.03 : Statique linéaire des coques et des plaques****Document : V3.03.100**

SSLS100 - Plaque circulaire encastrée soumise à une pression uniforme

Résumé :

Ce problème permet une comparaison des solutions obtenues avec différents éléments de plaque en élasticité linéaire :

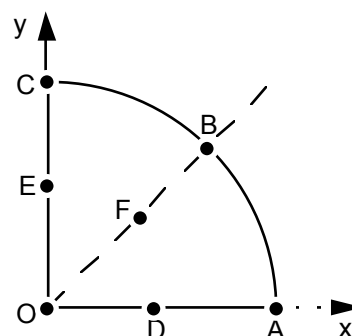
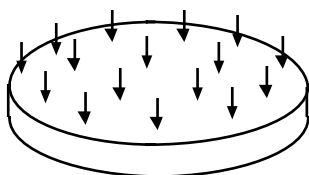
- modèles de Love-Kirchhoff (plaque dite mince) :
 - maille surfacique triangulaire (TRIA3) DKT,
 - maille surfacique quadrangulaire (QUAD4) DKQ,
 - maille linéique (SEG3) COQUE_AXIS,
- modèles de Mindlin-Reissner (plaque dite épaisse) :
 - maille surfacique triangulaire (TRIA3) DST,
 - maille surfacique quadrangulaire (QUAD4) DSQ,
 - maille linéique (SEG3) COQUE_AXIS,
- modèles de coques épaisse : COQUE_3D (QUAD9 et TRIA7).

La même solution de référence est traitée avec trois formes de chargements : pression, pesanteur et force-coque. Les grandeurs observées sont : déplacements (translation/rotation), déformations et efforts généralisés.

Les modélisations C et D ont été supprimées : résorption de la modélisation COQU_CYL.

1 Problème de référence

1.1 Géométrie



1/4 de plaque

Rayon $R = 1 \text{ m}$
Epaisseur $t = 0.1 \text{ m}$

Coordonnées des points :

	0	A	B	C	D	E	F
x	0.	1.	$\sqrt{2}/2$	0.	0.5	0.	0.4
y	0.	0.	$\sqrt{2}/2$	1.	0.	0.5	0.4
z	0	0.	0.	0.	0.	0.	0.

1.2 Propriétés de matériaux

$E = 1 \text{ Pa}$
 $\nu = 0.3$
 $\rho = 1 \text{ kg/m}^3$

1.3 Conditions aux limites et chargements

Encastrement sur le bord de la plaque :

en tous les points P tels que $OP = R$: $u = v = w = 0$, $\theta_x = \theta_y = \theta_z = 0$.

FORCE_COQUE
FORCE_COQUE
PESANTEUR

Pression uniforme
Charge répartie normale
 $g = 10 \text{ m/s}^2$ suivant Z d'où

$P = 1 \text{ N/m}^2$
 $F3 = -1 \text{ N/m}^2$
 $FZ = \rho g t = -1 \text{ N/m}^2$

Ces trois chargements conduisent à la même solution.

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

Deux solutions de référence sont utilisables, pour le calcul de la déformée :

- la théorie de LOVE-KIRCHHOFF, couramment utilisée pour les plaques dites "minces", que l'on retiendra pour les modélisations A, B, C, D, E et I,
- la théorie de MINDLIN-REISSNER, incluant les effets du cisaillement pour les plaques dites "épaisses", que l'on retiendra pour les modélisations F, G, H et J.

En tout point distant de r du centre de la plaque ($r \leq R$), la flèche s'exprime :

$$w(r) = -\frac{P R^4}{64D} \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right) \left(1 - \frac{r^2}{R^2} + \phi\right) \quad \text{avec} \quad D = \frac{E t^3}{12(1-\nu^2)}$$

$$\text{avec } \phi = 0 \text{ (LOVE - KIRCHHOFF) ou } \phi = \frac{16}{5} \left(\frac{t}{R}\right)^2 \frac{1}{1-\nu} \text{ (REISSNER).}$$

Pour le calcul des moments les deux théories conduisent aux mêmes expressions :

$$M_{rr}(r) = \frac{P R^2}{16} \left[(3+\nu) \left(\frac{r}{R}\right)^2 - (1+\nu) \right] \quad M_{\theta\theta}(r) = \frac{P R^2}{16} \left[(1+3\nu) \left(\frac{r}{R}\right)^2 - (1+\nu) \right]$$

Au centre de la plaque :

$$w(0) = -\frac{P R^4}{64D} \text{ (LOVE - KIRCHHOFF) ou } w(0) = -\frac{P R^4}{64D} (1+\phi) \text{ (REISSNER)}$$

$$M_{rr}(0) = M_{\theta\theta}(0) = -\frac{P R^2}{16} (1+\nu)$$

Remarque :

Le Code_Aster calcule les moments aux nœuds de chaque élément fini dans le repère de référence défini par la normale extérieure et les axes de référence définis sur la coque (voir `AFFE_CARA_ELEM [U4.24.01]`).

La valeur du moment M_{xx} (ou M_{yy}) en un nœud appartenant à plusieurs éléments finis peut être considéré comme étant la moyenne des valeurs calculées sur les éléments qui ont ce nœud en commun. Cette moyenne peut être obtenue par la procédure `POST_RELEVÉ [U4.74.03]`.

Pour chaque nœud, on a : $(M_{rr} + M_{\theta\theta}) = (M_{xx} + M_{yy}) = S_m$

$$\text{pour le point O} \quad M_{xx} = M_{yy} = M_{rr} = M_{\theta\theta}$$

$$\text{pour les points A et D} \quad M_{xx} = M_{rr} \text{ et } M_{yy} = M_{\theta\theta}$$

$$\text{pour les points C et E} \quad M_{xx} = M_{\theta\theta} \text{ et } M_{yy} = M_{rr}$$

$$\text{pour les points B et F} \quad M_{xx} = M_{yy} = (M_{rr} + M_{\theta\theta}) / 2$$

2.2 Résultats de référence

Flèche et moments aux points O, A, B, C, D, E, F. Extraction des valeurs moyennes des composantes M_{xx} et M_{yy} du champ 'EFGE_ELNO_DEPL'.

2.3 Incertitude sur la solution

Solution analytique.

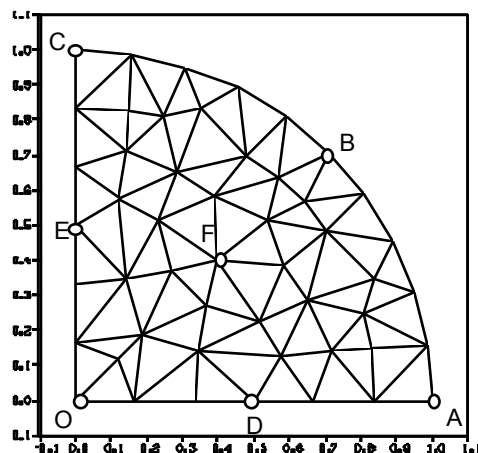
2.4 Références bibliographiques

- [1] TIMOSHENKO et WOINOWSKY-KRIEGER. Plaques et coques. Edition Béranger, (1961).
- [2] BATOZ et DHATT. Modélisation des structures par éléments finis. Coques. Presses Univ. Laval, 1992.

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Elément de coque DKT (modélisation d'un quart de plaque)



Conditions limites :
en tous les nœuds de l'arc ABC

DDL_IMPO
(GROUP_NO: ABC DX: 0.,DY: 0.,DZ: 0.)
DRX:0.,DRY:0.,DRZ:0.)

en tous les nœuds du segment]OA[

(GROUP_NO: OA DY: 0.,DRX:0.,DRZ:0.)

en tous les nœuds du segment]OC[

(GROUP_NO: OC DX: 0.,DRY:0.,DRZ:0.)

au nœud O

(GROUP_NO: O DX: 0.,DY: 0.,DRX:0.,DRY:0.,DRZ:0.)

Point O	mailles : M30, M33
Point A	mailles : M76
Point B	mailles : M39, M40, M51
Point C	mailles : M1
Point D	mailles : M55, M56, M65
Point E	mailles : M8, M17, M18
Point F	mailles : M34, M35, M37, M41, M46, M47, M48

3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 50
Nombre de mailles et types : 76 TRIA3

3.3 Fonctionnalités testées

Commandes				Clés
AFFE_CARA_ELEM	COQUE	EPAIS	ANGL_REP	[U4.24.01]
AFFE_CHAR_MECA	DDL_IMPO	GROUP_NO		[U4.25.01]
	FORCE_COQUE	PRES		
AFFE_MODELE	'MECANIQUE'	'DKT'	TOUT	[U4.22.01]
CALC_CHAM_ELEM	'EFGE_ELNO_DEPL'			[U4.61.01]
	'SIGM_ELNO_DEPL'			
POST_RELEVÉ	ACTION	OPERATION	'EXTRACTION'	[U4.74.03]

4 Résultats de la modélisation A

4.1 Valeurs testées

Point	Référence Love-Kirchhoff	Aster	% différence	tolérance
O $w(r)$	-170.6251	-169.32	-0.76	rel 1.10 ⁻²
D $w(r)$	-95.9766	-95.76	-0.23	rel 0.5 10 ⁻²
E $w(r)$	-95.9766	-95.73	-0.25	rel 0.5 10 ⁻²
F $w(r)$	-78.897	-78.64	-0.32	rel 0.5 10 ⁻²

Référence			
Point	M_{rr}	$M_{\theta\theta}$	$Sm / 2$
O	-0.08125	-0.08125	-0.08125
A	+0.125	+0.0375	+0.08125
B	+0.125	+0.0375	+0.08125
C	+0.125	+0.0375	+0.08125
D	-0.02969	-0.05156	-0.04062
E	-0.02969	-0.05156	-0.04062
F	-0.01525	-0.04325	-0.02925

Aster			
Point	M_{xx}	M_{yy}	$Sm / 2$
O	-0.08031	-0.08033	-0.08032
A	+0.1260	+0.0378	+0.0819
B	+0.08487	+0.08507	+0.08497
C	+0.03778	+0.1259	+0.08184
D	-0.03166	-0.05328	-0.04227
E	-0.05330	-0.03164	-0.04247
F	-0.02958	-0.02994	-0.02974

% différence (avec $\epsilon \leq 10^{-14}$ et % différence sur les valeurs absolues)

Point	M_{xx}	M_{yy}	$Sm / 2$	Tolérance relative
O	-1.15	-1.14	-1.15	1.5
A	+0.81	+0.81	+0.81	1.
B	+4.46	+4.71	+4.58	5.
C	+0.75	+0.75	+0.75	1.
D	+6.65	+3.34	+4.55	7./3.5
E	+3.38	+6.58	+4.55	3.5/7.
F	+1.14	+2.35	+1.71	1.5

4.2 Paramètres d'exécution

Version : 4.00.02

Machine : CRAY C90

Encombrement mémoire : 16 MW

Système :

Temps CPU User :

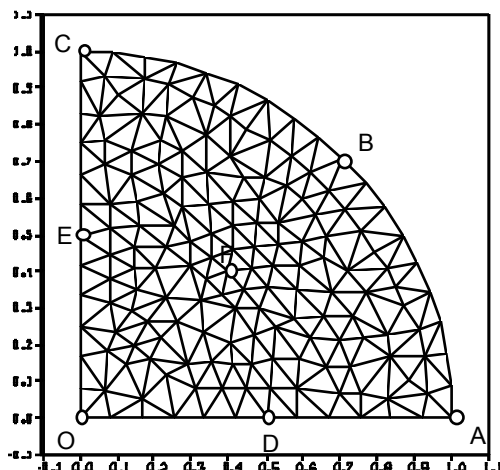
UNICOS 8.0

5.7 secondes

5 Modélisation B

5.1 Caractéristiques de la modélisation

Elément de coque DKT (modélisation d'un quart de plaque)



Conditions limites :
en tous les nœuds de l'arc ABC

DDL_IMPO
(GROUP_NO: ABC DX: 0.,DY: 0.,DZ: 0.)
(DRX:0.,DRY:0.,DRZ:0.)

en tous les nœuds du segment]OA[

(GROUP_NO: OA DY: 0.,DRX:0.,DRZ:0.)

en tous les nœuds du segment]OC[

(GROUP_NO: OC DX: 0.,DRY:0.,DRZ:0.)

au nœud O

(GROUP_NO: O DX: 0.,DY: 0.,DRX:0.,DRY:0.,DRZ:0.)

Point O	mailles : M1 M2
Point A	mailles : M248 M255
Point B	mailles : M292 M293 M296
Point C	mailles : M74 M75
Point D	mailles : M76 M108 M109
Point E	mailles : M34 M40 M41
Point F	mailles : M122 M123 M124 M148 M152 M153

5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 170

Nombre de mailles et types : 296 TRIA3

5.3 Fonctionnalités testées

Commandes				Clés
AFFE_CARA_ELEM	COQUE			[U4.24.01]
AFFE_CHAR_MECA	DDL_IMPO	GROUP_NO		[U4.25.01]
	FORCE_COQUE	PRES		
	PESANTEUR	F3		
AFFE_MODELE	'MECANIQUE'	'DKT'	TOUT	[U4.22.01]
CALC_CHAM_ELEM	'EFGE_ELNO_DEPL'			[U4.61.01]
	'SIGM_ELNO_DEPL'			
POST_RELEVÉ	ACTION	OPERATION	'EXTRACTION'	[U4.74.03]

6 Résultats de la modélisation B

6.1 Valeurs testées

Point	Référence Love-Kirchhoff	Aster	% différence	tolérance
O $w(r)$	-170.6251	-170.8384	0.12	rel 0.5 10 ⁻²
D $w(r)$	-95.9766	-96.1477	0.18	rel 0.5 10 ⁻²
E $w(r)$	-95.9766	-96.2078	0.24	rel 0.5 10 ⁻²
F $w(r)$	-78.897	-79.072	0.22	rel 0.5 10 ⁻²

Référence

Point	M_{rr}	$M_{\theta\theta}$	$Sm / 2$
O	-0.08125	-0.08125	-0.08125
A	+0.125	+0.0375	+0.08125
B	+0.125	+0.0375	+0.08125
C	+0.125	+0.0375	+0.08125
D	-0.02969	-0.05156	-0.04062
E	-0.02969	-0.05156	-0.04062
F	-0.01525	-0.04325	-0.02925

Aster

Point	M_{xx}	M_{yy}	$Sm / 2$
O	-0.08151	-0.08131	-0.08141
A	0.1282	0.04083	0.08451
B	0.08340	0.08340	0.08340
C	0.04085	0.12836	0.08460
D	-0.03037	-0.05249	-0.04143
E	-0.05259	-0.03043	-0.04151
F	-0.02981	-0.02988	-0.02985

% différence (avec $\epsilon \leq 10^{-14}$ et % différence sur les valeurs absolues)

Point	M_{xx}	M_{yy}	$Sm / 2$	Tolérance relative
O	0.33	0.07	0.19	0.5
A	2.62	8.88	4.02	3./9.
B	2.64	2.64	2.64	3.
C	8.95	2.69	4.13	9./3.
D	2.29	1.81	1.99	2.5
E	2.01	2.49	2.19	2.5
F	1.92	2.18	2.05	2.5

6.2 Paramètres d'exécution

Version : 4.00.02

Machine : CRAY C90

Encombrement mémoire : 16 mégamots

Système :

Temps CPU User :

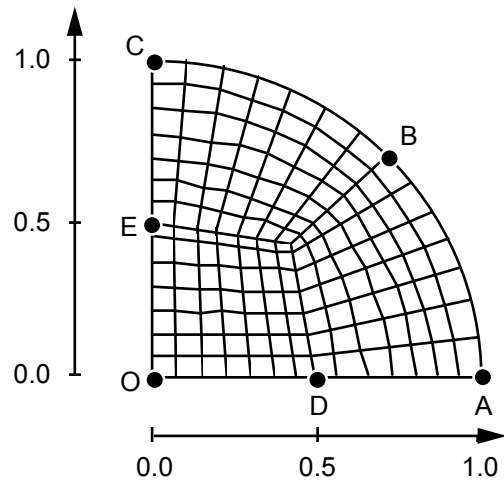
UNICOS 8.0

9.5 secondes

7 Modélisation E

7.1 Caractéristiques de la modélisation

Élément de coque DKQ (modélisation d'un quart de plaque)



Conditions limites :

en tous les nœuds de l'arc ABC

en tous les nœuds du segment]OA[

en tous les nœuds du segment]OC[

au nœud O

DDL_IMPO

(GROUP_NO: ABC DX: 0.,DY: 0.,DZ: 0.)

(DRX:0.,DRY:0.,DRZ:0.)

(GROUP_NO: OA DY: 0.,DRX:0.,DRZ:0.)

(GROUP_NO: OC DX: 0.,DRY:0.,DRZ:0.)

(GROUP_NO: O DX: 0.,DY: 0.,DRX:0.,DRY:0.,DRZ:0.)

- Point O

Point A

Point B

Point C

Point D

Point E

Point F
- mailles : M1

mailles : M147

mailles : M98 M111

mailles : M14

mailles : M85 M99

mailles : M7 M8

mailles : M91 M92 M105

7.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 169

Nombre de mailles et types : 147 QUAD4

7.3 Fonctionnalités testées

Commandes				Clés
AFFE_CARA_ELEM	COQUE			[U4.24.01]
AFFE_CHAR_MECA	DDL_IMPO	GROUP_NO		[U4.25.01]
	FORCE_COQUE	PRES		
		F3		
	PESANTEUR			
AFFE_MODELE	'MECANIQUE'	'DKT'	TOUT	[U4.22.01]
CALC_CHAM_ELEM	'EFGE_ELNO_DEPL'			[U4.61.01]
	'SIGM_ELNO_DEPL'			
POST_RELEVE	ACTION	OPERATION	'EXTRACTION'	[U4.74.03]

8 Résultats de la modélisation E

8.1 Valeurs testées

Point	Référence Love-Kirchhoff	Aster	% différence	tolérance
O $w(r)$	-170.6251	-171.00	0.22	rel 0.5 10 ⁻²
D $w(r)$	-95.9766	-96.198	0.23	rel 0.5 10 ⁻²
E $w(r)$	-95.9766	-96.198	0.23	rel 0.5 10 ⁻²
F $w(r)$	-78.897	-79.06	0.20	rel 0.5 10 ⁻²

Référence

Point	M_{rr}	$M_{\theta\theta}$	$Sm / 2$
O	-0.08125	-0.08125	-0.08125
A	+0.125	+0.0375	+0.08125
B	+0.125	+0.0375	+0.08125
C	+0.125	+0.0375	+0.08125
D	-0.02969	-0.05156	-0.04062
E	-0.02969	-0.05156	-0.04062
F	-0.01525	-0.04325	-0.02925

Aster

Point	M_{xx}	M_{yy}	$Sm / 2$
O	-0.08162	-0.08162	-0.08162
A	0.1256	0.03768	0.08164
B	0.08141	0.08140	0.08141
C	0.03767	0.12557	0.08162
D	-0.03030	-0.05314	-0.04172
E	-0.05314	-0.03030	-0.04172
F	-0.02903	-0.02901	-0.02902

% différence (avec $\epsilon \leq 10^{-14}$ et % différence sur les valeurs absolues)

Point	M_{xx}	M_{yy}	$Sm / 2$	Tolérance relative
O	0.46	0.46	0.46	0.5
A	0.49	0.49	0.49	0.5
B	0.2	0.2	0.2	0.5
C	0.45	0.45	0.45	0.5
D	2.06	3.07	2.71	2.5/3.5
E	3.07	2.06	2.71	3.5/2.5
F	-0.73	-0.83	-0.79	1

8.2 Paramètres d'exécution

Version : 4.00.02

Machine : CRAY C90

Encombrement mémoire : 16 mégamots

Système :

Temps CPU User :

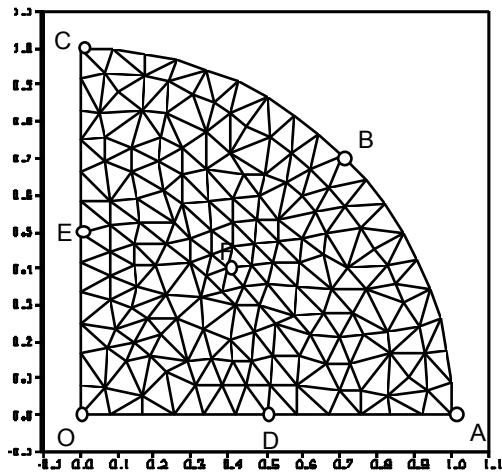
UNICOS 8.0

8.4 secondes

9Modélisation F

9.1Caractéristiques de la modélisation

Élément de coque DST (modélisation d'un quart de plaque)



Conditions limites :

en tous les nœuds de l'arc ABC

en tous les nœuds du segment]OA[

en tous les nœuds du segment]OC[

au nœud O

DDL_IMPO

(GROUP_NO: AB DX: 0.,DY: 0.,DZ: 0.)

DRX:0.,DRY:0.,DRZ:0.)

(GROUP_NO: OA DY: 0.,DRX:0.,DRZ:0.)

(GROUP_NO: OC DX: 0.,DRY:0.,DRZ:0.)

(GROUP_NO: O DX: 0.,DY: 0.,DRX:0.,DRY:0.,DRZ:0.)

- Point O

Point A

Point B

Point C

Point D

Point E

Point F
- mailles : M1 M2

mailles : M248 M255

mailles : M292 M293 M296

mailles : M74 M75

mailles : M76 M108 M109

mailles : M34 M40 M41

mailles : M122 M123 M124 M148 M152 M153

9.2Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 170
Nombre de mailles et types : 296 TRIA3

9.3Fonctionnalités testées

Commandes				Clés
AFFE_CARA_ELEM	COQUE			[U4.24.01]
AFFE_CHAR_MECA	DDL_IMPO	GROUP_NO		[U4.25.01]
	FORCE_COQUE	PRES		
		F3		
	PESANTEUR			
AFFE_MODELE	'MECANIQUE'	'DST'	TOUT	[U4.22.01]
CALC_CHAM_ELEM	'EFGE_ELNO_DEPL'			[U4.61.01]
	'SIGM_ELNO_DEPL'			
POST_RELEVE	ACTION	OPERATION	'EXTRACTION'	[U4.74.03]

10 Résultats de la modélisation F

10.1 Valeurs testées

Point	Référence Reissner	Aster	% différence	tolérance
O $w(r)$	-178.419	-179.743	+0.74	rel 1.0 10 ⁻²
D $w(r)$	-101.82	-102.60	+0.77	rel 1.0 10 ⁻²
E $w(r)$	-101.82	-102.67	+0.84	rel 1.0 10 ⁻²
F $w(r)$	-84.198	-84.83	+0.75	rel 1.0 10 ⁻²

Référence

Point	M_{rr}	$M_{\theta\theta}$	$Sm / 2$
O	-0.08125	-0.08125	-0.08125
A	+0.125	+0.0375	+0.08125
B	+0.125	+0.0375	+0.08125
C	+0.125	+0.0375	+0.08125
D	-0.02969	-0.05156	-0.04062
E	-0.02969	-0.05156	-0.04062
F	-0.01525	-0.04325	-0.02925

Aster

Point	M_{xx}	M_{yy}	$Sm / 2$
O	-0.08216	-0.08204	-0.08210
A	+0.12515	+0.04591	+0.08553
B	+0.08289	+0.08289	+0.08289
C	+0.04594	+0.12524	+0.08559
D	-0.03108	-0.05184	-0.04146
E	-0.05195	-0.03116	-0.04155
F	-0.02956	-0.02963	-0.02960

% différence (avec $\epsilon \leq 10^{-14}$ et % différence sur les valeurs absolues)

Point	M_{xx}	M_{yy}	$Sm / 2$	Tolérance relative
O	+1.12	-0.97	+1.04	1.5/1.
A	+0.12	+22.44	+5.26	0.5/23.
B	+2.02	+2.02	+2.02	2.5
C	+22.52	+0.19	+5.34	23./0.5
D	+4.67	+0.54	+2.07	5./1.
E	+0.76	+4.94	+2.29	1./5.
F	+1.07	+1.33	+1.19	1.5

10.2 Contenu du fichier résultats

Valeurs aux points d'observation des déplacements et moments moyennés.

10.3 Paramètres d'exécution

Version : 4.00.02

Machine : CRAY C90

Encombrement mémoire : 16 mégamots

Système :

Temps CPU User :

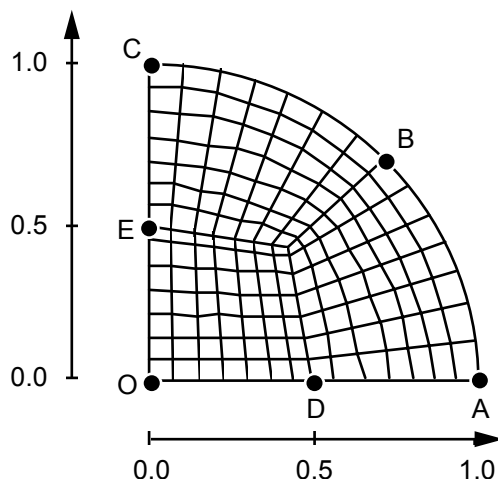
UNICOS 8.0

9.2 secondes

11 Modélisation G

11.1 Caractéristiques de la modélisation

Elément de coque DSQ (modélisation d'un quart de plaque)



Conditions limites :
en tous les nœuds de l'arc ABC

DDL_IMPO

(GROUP_NO: ABC DX: 0.,DY: 0.,DZ: 0.)
DRX:0.,DRY:0.,DRZ:0.)

en tous les nœuds du segment]OA[

(GROUP_NO: OA DY: 0.,DRX:0.,DRZ:0.)

en tous les nœuds du segment]OC[

(GROUP_NO: OC DX: 0.,DRY:0.,DRZ:0.)

au nœud O

(GROUP_NO: O DX: 0.,DY: 0.,DRX:0.,DRY:0.,DRZ:0.)

Point O	mailles : M1
Point A	mailles : M147
Point B	mailles : M98 M111
Point C	mailles : M14
Point D	mailles : M85 M99
Point E	mailles : M7 M8
Point F	mailles : M91 M92 M105

11.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 169

Nombre de mailles et types : 147 QUAD4

11.3 Fonctionnalités testées

Commandes				Clés
AFFE_CARA_ELEM	COQUE			[U4.24.01]
AFFE_CHAR_MECA	DDL_IMPO	GROUP_NO		[U4.25.01]
	FORCE_COQUE	PRES		
		F3		
	PESANTEUR			
AFFE_MODELE	'MECANIQUE'	'DST'	TOUT	[U4.22.01]
CALC_CHAM_ELEM	'EFGE_ELNO_DEPL'			[U4.61.01]
	'SIGM_ELNO_DEPL'			
POST_RELEVE	ACTION	OPERATION	'EXTRACTION'	[U4.74.03]

12 Résultats de la modélisation G

12.1 Valeurs testées

Point	Référence Reissner	Aster	% différence	tolérance
O $w(r)$	-178.419	-178.754	+0.19	rel 0.3 10 ⁻²
D $w(r)$	-101.82	-102.015	+0.19	rel 0.3 10 ⁻²
E $w(r)$	-101.82	-102.014	+0.19	rel 0.3 10 ⁻²
F $w(r)$	-84.198	-84.318	+0.14	rel 0.3 10 ⁻²

Référence

Point	M_{rr}	$M_{\theta\theta}$	$Sm / 2$
O	-0.08125	-0.08125	-0.08125
A	+0.125	+0.0375	+0.08125
B	+0.125	+0.0375	+0.08125
C	+0.125	+0.0375	+0.08125
D	-0.02969	-0.05156	-0.04062
E	-0.02969	-0.05156	-0.04062
F	-0.01525	-0.04325	-0.02925

Aster

Point	M_{xx}	M_{yy}	$Sm / 2$
O	-0.08098	-0.08098	-0.08098
A	+0.12730	+0.04136	+0.08433
B	+0.08261	+0.08261	+0.08261
C	+0.04114	+0.12727	+0.08420
D	-0.03029	-0.05217	-0.04078
E	-0.05217	-0.03029	-0.04078
F	-0.03449	-0.03444	-0.03447

% différence (avec $\epsilon \leq 10^{-14}$ et % différence sur les valeurs absolues)

Point	M_{xx}	M_{yy}	$Sm / 2$	Tolérance relative
O	-0.33	-0.33	+0.33	0.5
A	+1.84	+10.31	+3.79	2./11.
B	+1.68	+1.68	+1.69	2.
C	+9.07	+1.82	+3.64	10./2.
D	+2.05	+1.19	+0.4	2.5/1.5
E	+1.19	+2.05	+0.4	1.5/2.5
F	+17.91	+17.74	+17.80	18

12.2 Contenu du fichier résultats

Valeurs aux points d'observation des déplacements et moments moyennés.

12.3 Paramètres d'exécution

Version : 4.00.02

Machine : CRAY C90

Encombrement mémoire : 16 mégamots

Système :

Temps CPU User :

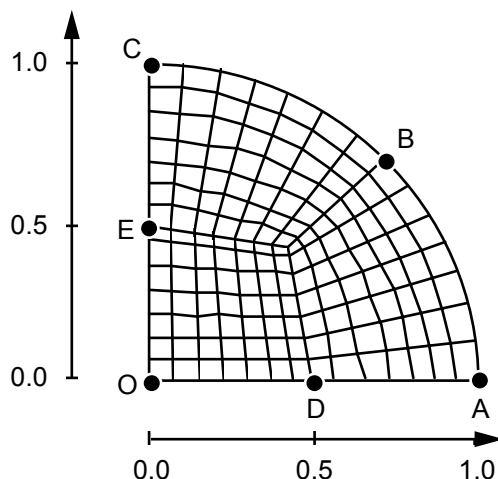
UNICOS 8.0

8.6 secondes

13 Modélisation H

13.1 Caractéristiques de la modélisation

Elément de coque Q4G (modélisation d'un quart de plaque)



Conditions limites :
en tous les nœuds de l'arc ABC

DDL_IMPO

(GROUP_NO: ABC DX: 0.,DY: 0.,DZ: 0.)

D DRX:0.,DRY:0.,DRZ:0.)

en tous les nœuds du segment]OA[

(GROUP_NO: OA DY: 0.,DRX:0.,DRZ:0.)

en tous les nœuds du segment]OC[

(GROUP_NO: OC DX: 0.,DRY:0.,DRZ:0.)

au nœud O

(GROUP_NO: O DX: 0.,DY: 0.,DRX:0.,DRY:0.,DRZ:0.)

Point O mailles : M1
Point A mailles : M147
Point B mailles : M98 M111
Point C mailles : M14
Point D mailles : M85 M99
Point E mailles : M7 M8
Point F mailles : M91 M92 M105

13.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 169

Nombre de mailles et types : 147 QUAD4

13.3 Fonctionnalités testées

Commandes				Clés
AFFE_CARA_ELEM	COQUE			[U4.24.01]
AFFE_CHAR_MECA	DDL_IMPO	GROUP_NO		[U4.25.01]
	FORCE_COQUE	PRES		
		F3		
	PESANTEUR			
AFFE_MODELE	'MECANIQUE'	'DKT'	TOUT	[U4.22.01]
CALC_CHAM_ELEM	'EFGE_ELNO_DEPL'			[U4.61.01]
	'SIGM_ELNO_DEPL'			
POST_RELEVÉ	ACTION	OPERATION	'EXTRACTION'	[U4.74.03]

14 Résultats de la modélisation H

14.1 Valeurs testées

Point	Référence Reissner	Aster	% différence	tolérance
O $w(r)$	-178.419	-178.282	-0.08	rel 0.4 10 ⁻²
D $w(r)$	-101.82	-101.532	-0.28	rel 0.4 10 ⁻²
E $w(r)$	-101.82	-101.531	-0.28	rel 0.4 10 ⁻²
F $w(r)$	-84.198	-83.91	-0.34	rel 0.4 10 ⁻²

Référence

Point	M_{rr}	$M_{\theta\theta}$	$Sm / 2$
O	-0.08125	-0.08125	-0.08125
A	+0.125	+0.0375	+0.08125
B	+0.125	+0.0375	+0.08125
C	+0.125	+0.0375	+0.08125
D	-0.02969	-0.05156	-0.04062
E	-0.02969	-0.05156	-0.04062
F	-0.01525	-0.04325	-0.02925

Aster

Point	M_{xx}	M_{yy}	$Sm / 2$
O	-0.08119	-0.08119	-0.08119
A	+0.11589	+0.03348	+0.07468
B	+0.07236	+0.07234	+0.07235
C	+0.03349	+0.11164	+0.07256
D	-0.02961	-0.05223	-0.04092
E	-0.05222	-0.02961	-0.04091
F	-0.02897	-0.02898	-0.02897

% différence (avec $\epsilon \leq 10^{-14}$ et % différence sur les valeurs absolues)

Point	M_{xx}	M_{yy}	$Sm / 2$	Tolérance relative
O	-0.07	-0.07	-0.07	0.1
A	-10.73	-10.73	-10.73	11.
B	-10.94	-10.96	-10.95	11.
C	-10.69	-10.69	-10.69	11.
D	-0.25	+1.3	+0.74	0.5/1.5
E	+1.29	-0.27	+0.74	1.5/0.5
F	-0.95	-0.92	-0.94	1.

14.2 Contenu du fichier résultats

Valeurs aux points d'observation des déplacements et moments moyennés.

14.3 Paramètres d'exécution

Version : 4.00.02

Machine : CRAY C90

Encombrement mémoire : 16 mégamots

Système :

Temps CPU User :

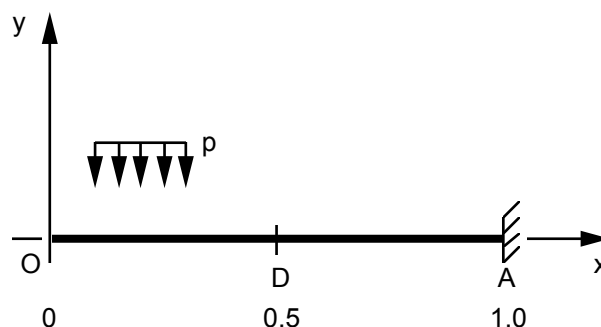
UNICOS 8.0

8.4 secondes

15 Modélisation I

15.1 Caractéristiques de la modélisation

Élément de coque axisymétrique SEG3, en théorie de Love-Kirchhoff : on ne considère pas de modification de métrique, le coefficient A_CIS vaut 10^6 .



Conditions limites :

```
DDL_IMPO:
(NOEUD: A DX: 0.,DY: 0.,DRZ: 0.)
(NOEUD: O          DRZ: 0.)
```

15.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 21

Nombre de mailles et types : 10 SEG3

15.3 Fonctionnalités testées

Commandes				Clés
AFFE_MODELE	'MECANIQUE'	'COQUE_AXIS'	TOUT	[U4.22.01]
AFFE_CARA_ELEM	COQUE	A_CIS MODI_METRIQUE		[U4.24.01]
AFFE_CHAR_MECA	DDL_IMPO FORCE_COQUE	GROUP_NO TOUT		[U4.25.01]
CALC_CHAM_ELEM	'DEGE_ELNO_DEPL' 'EFGE_ELNO_DEPL' 'SIEF_ELGA_DEPL' 'SIGM_ELNO_DEPL'			[U4.61.01]
POST_RELEVÉ	ACTION	NOEUD	'EXTRACTION'	[U4.74.03]

16 Résultats de la modélisation I

16.1 Valeurs testées

Point	Référence Love-Kirchhoff	Aster	% différence	tolérance
O flèche $w(r)$	-170.6251	-169.759	0.51	rel 10 ⁻²
D flèche $w(r)$	-95.9765	-95.0383	0.98	rel 10 ⁻²
D rotation $\beta(r)$	255.940	257.120	0.46	rel 10 ⁻²

Point	Réf érence		maill	Aster		% diff érence	
	K^{rr}	$K^{\theta\theta}$		K^{xx}	K^{yy}	K^{xx}	K^{yy}
D	170.625	511.875	IJK	60.0456	514.124		0.44
			KLM	265.473	514.361		0.49
			moy	162.760	514.242	4.61	0.46

Point	Réf érence		maill	Aster		% diff érence	
	M^{rr}	$M^{\theta\theta}$		M^{xx}	M^{yy}	M^{xx}	M^{yy}
O	-0.08125	-0.08125	STU	-0.08139	-0.08139	0.18	0.18
A	+0.125	+0.0375	ABC	+0.10717	+0.03215	14.2	14.2
D	-0.02969	-0.05156	IJK	-0.01962	-0.04873		5.8
			KLM	-0.03844	-0.05439		-5.2
			moy	-0.02903	-0.05156	2.21	0.00

Remarques :

On constate les bons résultats obtenus, sauf sur K^{rr} et M^{rr} , qui font intervenir des dérivées d'ordre supérieur moins bien calculées par l'élément.

16.2 Contenu du fichier résultats

Déplacements, déformations et efforts généralisés et contraintes aux noeuds.

16.3 Paramètres d'exécution

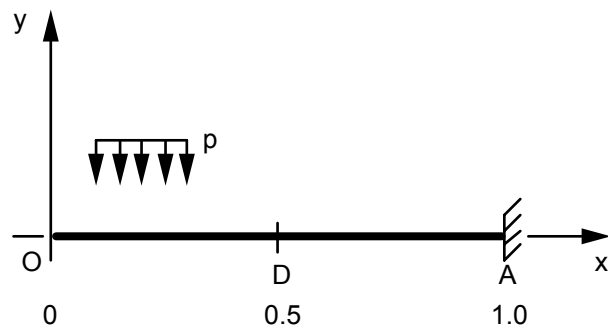
Version : 3.02.11
Machine : CRAY C90
Encombrement mémoire : 16 MW

Système : UNICOS 8.0
Temps CPU User : 5.11 secondes

17 Modélisation J

17.1 Caractéristiques de la modélisation

Élément de coque axisymétrique SEG3, en théorie de Mindlin-Reissner : on ne considère pas de modification de métrique, le coefficient A_CIS vaut 5/6.



Conditions limites :

```
DDL_IMPO:
(NOEUD: A DX: 0.,DY: 0.,DRZ: 0.)
(NOEUD: O          DRZ: 0.)
```

17.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 21
Nombre de mailles et types : 10 SEG3

17.3 Fonctionnalités testées

Commandes				Clés
AFFE_MODELE	'MECANIQUE'	'COQUE_AXIS'	TOUT	[U4.22.01]
AFFE_CARA_ELEM	COQUE	A_CIS		[U4.24.01]
		MODI_METRIQUE		
AFFE_CHAR_MECA	DDL_IMPO	GROUP_NO		[U4.25.01]
	FORCE_COQUE	TOUT		
CALC_CHAM_ELEM	'DEGE_ELNO_DEPL'			[U4.61.01]
	'EFGE_ELNO_DEPL'			
	'SIEF_ELGA_DEPL'			
	'SIGM_ELNO_DEPL'			
POST_RELEVÉ	ACTION	NOEUD	'EXTRACTION'	[U4.74.03]

18 Résultats de la modélisation J

18.1 Valeurs testées

Point	Référence REISSNER	Aster	% différence	tolérance
O flèche $w(r)$	-178.424	-178.368	0.03	rel 10 ⁻²
D flèche $w(r)$	-101.827	-101.7769	0.05	rel 10 ⁻²
D rotation $\beta(r)$	255.940	256.001	0.02	rel 10 ⁻²

Point	Réf érence		maill	Aster		% diff érence	
	K^{rr}	$K^{\theta\theta}$		K^{xx}	K^{yy}	K^{xx}	K^{yy}
D	170.625	511.875	IJK	167.892	512.050	-1.62	0.03
			KLM	178.920	511.952	4.86	0.01
			moy	173.406	512.001	1.60	0.02

Point	Réf érence		maill	Aster		% diff érence	
	M^{rr}	$M^{\theta\theta}$		M^{xx}	M^{yy}	M^{xx}	M^{yy}
O	-0.08125	-0.08125	STU	-0.08175	-0.08175	0.62	0.62
A	+0.125	+0.0375	ABC	-0.12373	+0.03712	-1.02	-1.01
D	-0.02969	-0.05156	IJK	-0.02944	-0.05150	-0.85	-0.11
			KLM	-0.03045	-0.05179	2.49	0.46
			moy	-0.02994	-0.05165	0.85	0.17

Remarques :

On constate les bons résultats obtenus, sauf sur K^{rr} et M^{rr} , qui font intervenir des dérivées d'ordre supérieur moins bien calculées par l'élément.

18.2 Contenu du fichier résultats

Déplacements, déformations et efforts généralisés et contraintes aux noeuds.

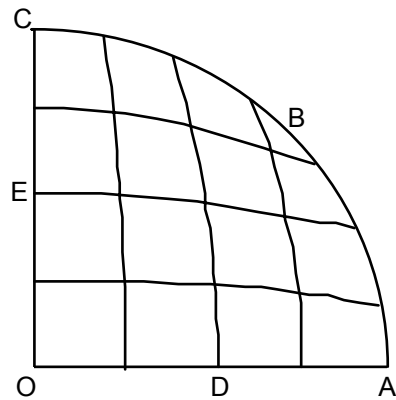
18.3 Paramètres d'exécution

Version : 3.02.11
Machine : CRAY C90
Encombrement mémoire : 16 MW
Système : UNICOS 8.0
Temps CPU User : 4.99 secondes

19Modélisation K

19.1Caractéristiques de la modélisation

Modélisation : Elément de coque COQUE_3D MEC3QU9H



Conditions limites :

DDL_IMPO:
en tous les noeuds de l'arc (Group_no:ABC DX:0., DY: 0.,DZ: 0.)
ABC DRX:0., DRY:0.,DRZ:0.)
segment]OA] (Group_no:OA DY:0., DRX:0.,DRZ:0.)
segment]OC] (Group_no:OC DX:0., DRY:0.,DRZ:0.)
au noeud O (Group_no:O DX:0., DY:0., DRX:0.,DRY:0.,DRZ:0.)

Noms des nœuds :

Point O	mailles : M1	Point A	mailles : M21
Point B	mailles : M25	Point C	mailles : M5
Point D	mailles : M11	Point E	mailles : M3

19.2Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 96
Nombre de mailles et types : 25 QUAD9

19.3Fonctionnalités testées

Commandes				Clés
AFFE_CARA_ELEM	COQUE			[U4.24.01]
AFFE_CHAR_MECA	DDL_IMPO	GROUP_NO		[U4.25.01]
	FORCE_COQUE	PRES		
		F3		
	PESANTEUR			
AFFE_MATERIAU	TOUT			[U4.23.02]
AFFE_MODELE	'MECANIQUE'	'COQUE_3D'	TOUT	[U4.22.01]
CALC_CHAM_ELEM	'EFFF_ELNO_DEPL'			[U4.61.01]
	'SIGM_ELNO_DEPL'			
DEFI_MATERIAU	ELAS			[U4.23.01]
POST_RELEVÉ	ACTION	OPERATION	'EXTRACTION'	[U4.74.03]
		VALE_TEST		
		EPSI_TEST		

20 Résultats de la modélisation K

20.1 Valeurs testées

Point	Référence REISSNER	Aster	% différence	tolérance
O	-178.419	-178.39	-0.016	rel 10 ⁻²
A	0.	eps	-	abs 10 ⁻¹⁰
B	0.	eps	-	abs 10 ⁻¹⁰
C	0.	eps	-	abs 10 ⁻¹⁰
D	-101.82	-101.79	-0.029	rel 10 ⁻²
E	-101.82	-101.79	-0.029	rel 10 ⁻²

Point	Référence		Aster			
	M_{rr}	$M_{\theta\theta}$	Sm/2	M_{xx}	M_{yy}	Sm/2
O	-0.08125	-0.08125	-0.08125	-0.08342	-0.08342	-0.08342
A	+0.125	+0.0375	+0.08125	0.03675	0.1234	0.08007
C	+0.125	+0.0375	+0.08125	0.1243	0.03582	0.08006
D	-0.02969	-0.05156	-0.04062	-0.05241	-0.02971	-0.04106
E	-0.02969	-0.05156	-0.04062	-0.02958	-0.05254	-0.04106

Point	% différence		Tolérance relative	
	M_{xx}	M_{yy}	Sm/2	
O	2.67	2.67	2.67	3.
A	2.	-1.28	-1.45	3.
C	-0.56	-4.48	-1.46	5.
D	1.65	0.067	1.08	2.
E	-0.37	1.9	0.95	2.

- avec $\text{eps} \leq 10^{-14}$ et % différence sur les valeurs absolues

Remarques :

Le test des valeurs est réalisé automatiquement à l'aide des fonctionnalités offertes par la procédure `POST_RELEVE` :

- extraction sur les nœuds correspondant aux points observés des valeurs moyennes des composantes M_{xx} et M_{yy} ; ces valeurs sont extraites du champ 'EFGE_ELNO_DEPL', et la moyenne est calculée pour toutes les valeurs disponibles sur les mailles qui contiennent le nœud observé,
- calcul de l'écart par rapport à la valeur de référence fournie en appliquant les règles de correspondance entre M_{xx} , M_{yy} et M_{rr} , $M_{\theta\theta}$ données page 3.

Contenu du fichier résultats

Valeurs aux points d'observation des déplacements et moments moyennés.

20.2 Paramètres d'exécution

Version : 4.00.14

Machine : CRAY C90

Encombrement mémoire : 16 MW

Système :

Temps CPU User :

UNICOS 8.0

8.77 secondes

22 Résultats de la modélisation L

22.1 Valeurs testées

Point	Référence REISSNER	Aster	% différence	tolérance
O	-178.419	-178.18	-0.13	rel 10 ⁻²
A	0.	eps	-	abs 10 ⁻¹⁰
B	0.	eps	-	abs 10 ⁻¹⁰
C	0.	eps	-	abs 10 ⁻¹⁰
D	-101.82	-101.46	-0.35	rel 10 ⁻²
E	-101.82	-101.46	-0.35	rel 10 ⁻²

Point	Référence		Aster			
	M_{rr}	$M_{\theta\theta}$	Sm/2	M_{xx}	M_{yy}	Sm/2
O	-0.08125	-0.08125	-0.08125	-0.08360	-0.08360	-0.08360
A	+0.125	+0.0375	+0.08125	0.03741	0.12294	0.08017
C	+0.125	+0.0375	+0.08125	0.12325	0.03711	0.08018
D	-0.02969	-0.05156	-0.04062	-0.05117	-0.02907	0.04012
E	-0.02969	-0.05156	-0.04062	-0.02905	-0.05119	0.04012

Point	% différence			Tolérance relative
	M_{xx}	M_{yy}	Sm/2	
O	2.89	2.89	2.89	3.
A	-0.24	-1.65	-1.33	3.
C	-1.4	-1.04	-1.32	3.
D	-0.76	-2.09	-1.23	3.
E	-2.16	-0.72	-1.23	3.

- avec $\text{eps} \leq 10^{-14}$ et % différence sur les valeurs absolues

Remarques :

Le test des valeurs est réalisé automatiquement à l'aide des fonctionnalités offertes par la procédure `POST_RELEVE` :

- extraction sur les nœuds correspondant aux points observés des valeurs moyennes des composantes M_{xx} et M_{yy} ; ces valeurs sont extraites du champ 'EFGE_ELNO_DEPL', et la moyenne est calculée pour toutes les valeurs disponibles sur les mailles qui contiennent le nœud observé,
- calcul de l'écart par rapport à la valeur de référence fournie en appliquant les règles de correspondance entre M_{xx} , M_{yy} et M_{rr} , $M_{\theta\theta}$ données page 3.

Contenu du fichier résultats

Valeurs aux points d'observation des déplacements et moments moyennés.

22.2 Paramètres d'exécution

Version : 4.00.14

Machine : CRAY C90

Encombrement mémoire : 16 MW

Système :

Temps CPU User :

UNICOS 8.0

9.29 secondes

23 Synthèse des résultats

% des différences par rapport aux solutions de référence

Modé.	DKT		DKQ	DST	DSQ	Q4G
	A	B	E	F	G	H
Point	Love- 50 nœuds 76 TRIA3	Kirchhoff 170 nœuds 296 TRIA3	Love-Kirchhoff 169 nœuds 147 QUAD4	Reissner 170 nœuds 296 TRIA3	Reissner 169 nœuds 147 QUAD4	Reissner 169 nœuds 147 QUAD4
O $w(r)$	-0.76	+0.12	+0.22	+0.74	+0.19	-0.08
D $w(r)$	-0.23	+0.18	+0.23	+0.77	+0.19	-0.28
E $w(r)$	-0.25	+0.24	+0.23	+0.84	+0.19	-0.28
F $w(r)$	-0.32	+0.22	+0.20	+0.75	+0.14	-0.34

Modé.	COQU_AXIS		MEC3QU9H	MEC3TR7H
	I	J	K	L
Point	Love-Kirchhoff 21 nœuds 10 SEG3	Reissner	96 nœuds 25 QUAD9	121 nœuds 50 TRIA7
O $w(r)$	+0.51	0.03	-0.16	-0.13
D $w(r)$	+0.28	0.05	-0.029	-0.35
E $w(r)$	-	-	-0.029	-0.35
F $w(r)$	-	+0.22	-	-

Modé.	DKT		DKQ	DST	DSQ	Q4G
	A	B	E	F	G	H
Point	Love- 50 nœuds 76 TRIA3	Kirchhoff 170 nœuds 296 TRIA3	Love-Kirchhoff 169 nœuds 147 QUAD4	Reissner 170 nœuds 296 TRIA3	Reissner 169 nœuds 147 QUAD4	Reissner 169 nœuds 147 QUAD4
O $Sm/2$	-1.15	+0.19	+0.46	+1.04	-0.33	-0.07
A $Sm/2$	+0.81	+4.02	+0.49	+5.26	+3.79	-10.73
B $Sm/2$	+4.58	+2.64	+0.20	+2.02	+1.69	-10.95
C $Sm/2$	+0.75	+4.13	+0.45	+5.34	+3.64	-10.69
D $Sm/2$	+4.55	+1.99	+2.71	+2.07	+0.40	+0.74
E $Sm/2$	+4.55	+2.19	+2.71	+2.29	+0.40	+0.74
F $Sm/2$	+1.71	+2.05	-0.79	+1.19	+17.80	-0.94

Modé.	COQU_AXIS		MEC3QU9H	MEC3TR7H
	I	J	K	L
Point	Love-Kirchhoff 21 nœuds 10 SEG3	Reissner	96 nœuds 25 QUAD9	121 nœuds 50 TRIA7
O $Sm/2$	+0.18	+0.62	2.67	2.89
A $Sm/2$	+14.2	-1.01	-1.45	-1.33
B $Sm/2$	-	-	-	-
C $Sm/2$	-	-	-1.46	-1.32
D $Sm/2$	+0.84	-0.85	1.08	-1.23
E $Sm/2$	-	-	0.95	-1.23
F $Sm/2$	-	-	-	-

Remarque :

Concernant les efforts, le calcul direct aux nœuds conduit à des écarts en plusieurs nœuds, notamment au point F en DSQ et sur le bord ABC en Q4γ.