

Manuel de Validation**Fascicule V2.03 : Dynamique linéaire des coques et plaques****Document : V2.03.502**

SDLS502 - Plaque carrée « solide » simplement supportée

Résumé :

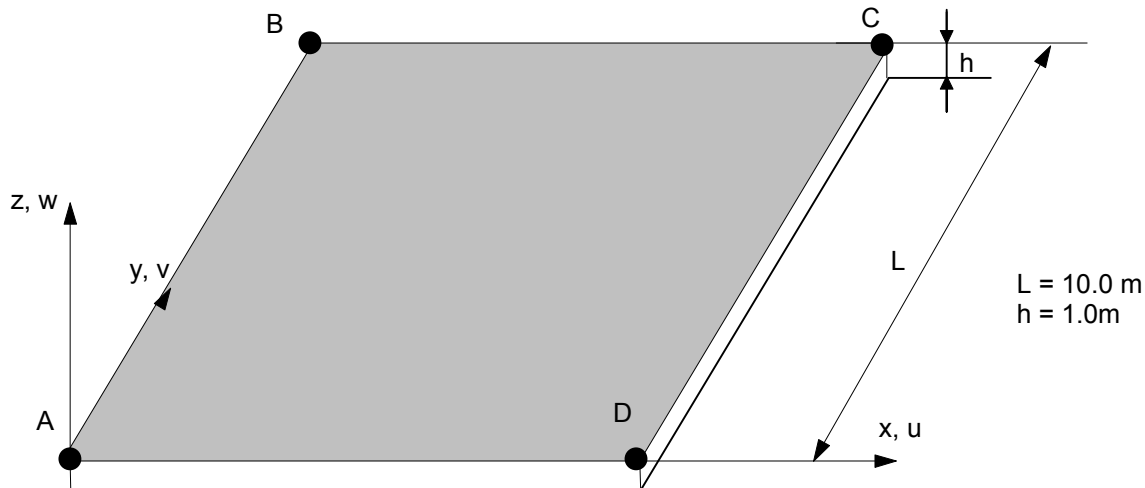
Ce test représente un calcul en analyse modale dynamique d'une plaque carrée épaisse simplement supportée. Ce test permet de valider :

- les modélisations éléments finis DST, DKT, COQUE_3D avec des mailles QUAD4 et TRIA3, QUAD8 et TRIA6, et 3D avec des mailles HEXA20,
- la prise en compte de la rigidité en cisaillement transverse.

Les fréquences et les modes obtenus sont comparés à une solution de référence, proposée par NAFEMS, obtenue avec un calcul éléments finis de type volumique.

1 Problème de référence

1.1 Géométrie



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
 $\rho = 8000. \text{ Kg/m}^3$ Masse volumique

1.3 Conditions aux limites et chargements

- C.L. : plaque simplement supportée sur son contour

1.4 Conditions initiales

Sans objet

2 Solution de référence

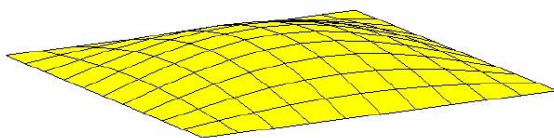
2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

la solution de référence proposée par NAFEMS [bib1] a été obtenue à partir un calcul éléments finis 3D avec des éléments briques à 20 nœuds et avec un maillage 4x4 (plan xy) et 1 élément suivant l'épaisseur.

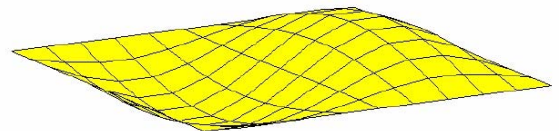
2.2 Résultats de référence

7 premières fréquences non nulles et les modes propres associés, les trois premiers modes sont ceux de corps rigides :

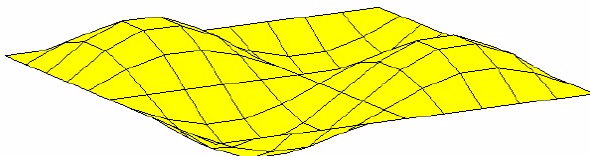
- Fréquence (mode 4 hors plan) : 44.762 hz
- Fréquence (modes 5 & 6 hors plan) : 110.52 hz
- Fréquence (mode 7 hors plan) : 169.08 hz
- Fréquence (Mode 8 dans le plan) : 193.93 hz
- Fréquence (mode 9 & 10 dans le plan) : 206.64 hz



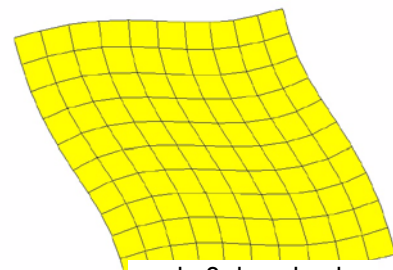
mode 4 hors plan



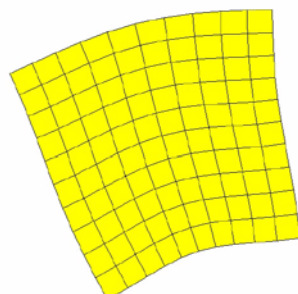
mode 5&6 hors plan



mode 7 hors plan



mode 8 dans le plan



mode 9&10 dans le plan

2.3 Incertitudes sur la solution

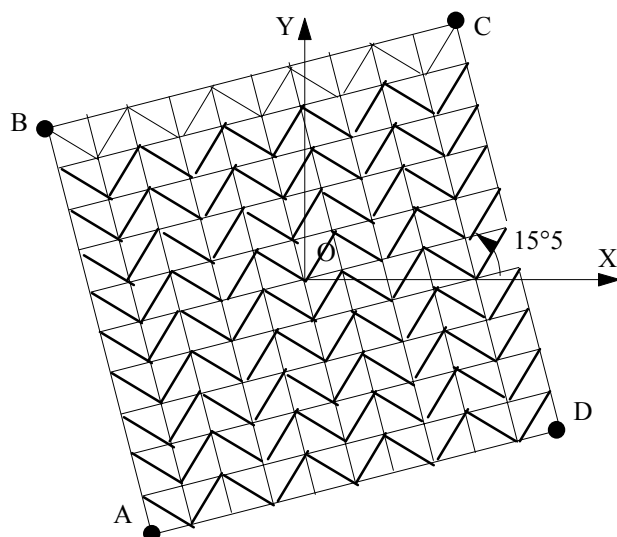
< 2% pour un maillage identique à celui du [§2.1], c'est-à-dire avec peu d'éléments.

2.4 Références bibliographiques

- [1] NAFEMS : The standard NAFEMS Benchmarks, TNSB, Rev. 3, 5 octobre 1990.

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation



Modélisation DST (TRIA3)

- La plaque est située dans le plan $Z = 2.3$
- Point O : (0. ; 0. ; 2.3)

Conditions aux limites :

- Cotés AB, BC, CD, DA : $w=0$
- Pour valider la modélisation dans un repère différent du repère global, la plaque est tournée de 15,5 degrés. Ceci ne doit pas changer les fréquences propres obtenues.

3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 122

Nombre de mailles et types : 200 TRIA3

3.3 Fonctionnalités testées

Commandes	Mot-clé facteur	Mot-clé
AFFE_MODELE	AFFE	MODELISATION : 'DST'
AFFE_CARA_ELEM	COQUE	EPAIS
CALC_MATR_ELEM		OPTION : 'RIGI_MECA' OPTION : 'MASS_MECA'
MODE_ITER_SIMULT	CALC_FREQ	METHODE : 'SORENSEN' OPTION : 'BANDE'

4 Résultats de la modélisation A

4.1 Valeurs testées

Identification	Instants	Référence	Aster	% différence
Fréquence (mode 4 hors plan)		44.762	44.989	0.507
Fréquence (modes 5 & 6 hors plan)		110.52	107.608 107.880	-2.634 -2.388
Fréquence (mode 7 hors plan)		169.08	165.454	-2.144
Fréquence (Mode 8 dans le plan)		193.93	196.089	1.114
Fréquence (mode 9 & 10 dans le plan)		206.64	211.658 212.000	2.428 2.594

4.2 Remarques

- Dans Aster, les modes calculés sont ceux de corps rigide : le quatrième mode de référence est le premier mode calculé par le *Code_Aster*.
- Apparition de deux modes de flexion entre les modes 8 et 9 de référence : ces modes sont les modes 6 et 7 du *Code_Aster*.

Dans le tableau ci-dessous nous avons reporté les 14 premières fréquences propres trouvées.

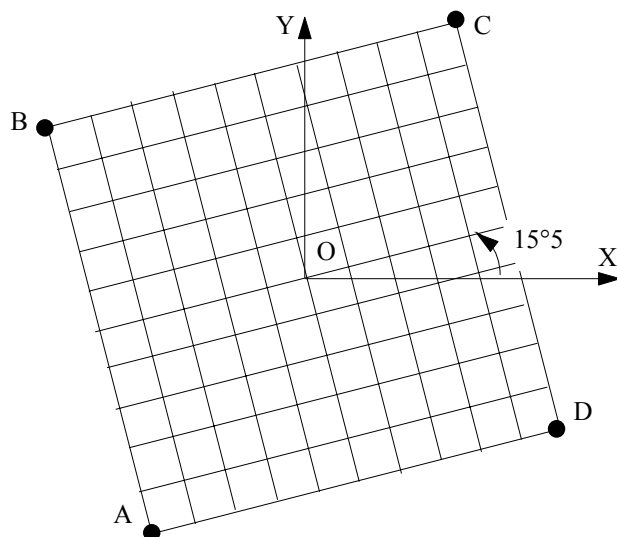
Mode n°	Fréquence (Hz)
1	44,98
2	107.61
3	107.88
4	165.45
5	196.09
6	202.80
7	203.54
8	211.66
9	212.00
10	222.53
11	254.74
12	255.62
13	264.73
14	289.85

4.3 Paramètres d'exécution

Version : NEW 5.04.17
Machine : SGI-Origin2000 R12000
Encombrement mémoire : 16 mégaoctets Temps CPU User : 4.62 secondes

5 Modélisation B

5.1 Caractéristiques de la modélisation



Modélisation DST (QUAD4)

- La plaque est située dans le plan $Z = 2.3$
- Point O : (0. ; 0. ; 2.3)

Conditions aux limites :

- Cotés AB, BC, CD, DA : $w=0$
- Pour valider la modélisation dans un repère différent du repère global, la plaque est tournée de 15,5 degrés. Ceci ne doit pas changer les fréquences propres obtenues.

5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 122

Nombre de mailles et types : 100 QUAD4

5.3 Fonctionnalités testées

Commandes	Mot-clé facteur	Mot-clé
AFFE_MODELE	AFFE	MODELISATION : 'DST'
AFFE_CARA_ELEM	COQUE	EPAIS
CALC_MATR_ELEM		OPTION : 'RIGI_MECA'
		OPTION : 'MASS_MECA'
MODE_ITER_SIMULT	CALC_FREQ	METHODE : 'SORENSEN'
		OPTION : 'BANDE'

6 Résultats de la modélisation B

6.1 Valeurs testées

Identification	Instants	Référence	Aster	% différence
Fréquence (mode 4 hors plan)		44.762	44.64	-0.273
Fréquence (modes 5 & 6 hors plan)		110.52	108.04 108.26	-2.247 -2.041
Fréquence (mode 7 hors plan)		169.08	162.86	-3.681
Fréquence (Mode 8 dans le plan)		193.93	195.70	0.912
Fréquence (mode 9 & 10 dans le plan)		206.64	208.89 208.89	1.088

6.2 Remarques

- Dans Aster, les modes calculés sont ceux de corps rigide : le quatrième mode de référence est le premier mode calculé par le *Code_Aster*.
- Apparition de deux modes de flexion entre les modes 8 et 9 de référence : ces modes sont les modes 6 et 7 du *Code_Aster*.

Dans le tableau ci-dessous nous avons reporté les 14 premières fréquences propres trouvées.

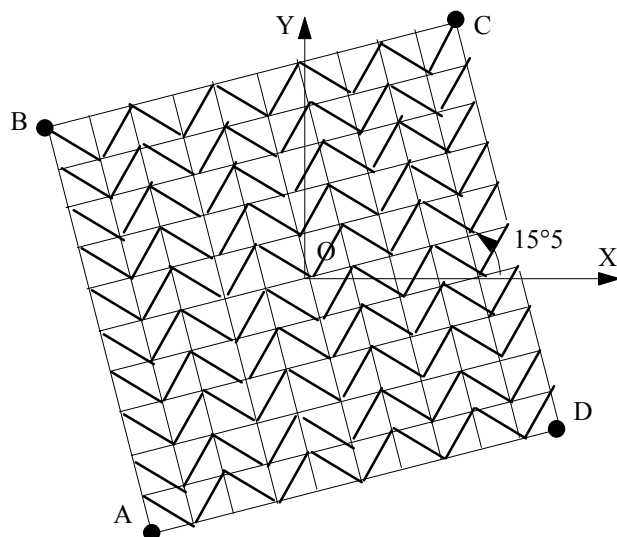
Mode n°	Fréquence (Hz)
1	44.64
2	108.04
3	108.26
4	162.86
5	195.70
6	203.97
7	206.08
8	208.89
9	208.89
10	220.92
11	248.12
12	250.10
13	252.49
14	289.79

6.3 Paramètres d'exécution

Version : NEW 5.04.17
Machine : SGI-Origin2000 R12000
Encombrement mémoire : 16 mégaoctets Temps CPU User : 4.81 secondes

7 Modélisation C

7.1 Caractéristiques de la modélisation



Modélisation DKT (TRIA6)

- La plaque est située dans le plan $Z = 2.3$
- Point O : (0. ; 0. ; 2.3)

Conditions aux limites :

- Cotés AB, BC, CD, DA : $w=0$
- Pour valider la modélisation cf. page 4

7.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 122

Nombre de mailles et types : 200 TRIA3

7.3 Fonctionnalités testées

Commandes	Mot-clé facteur	Mot-clé
AFFE_MODELE	AFFE	MODELISATION : 'DKT'
AFFE_CARA_ELEM	COQUE	EPAIS
CALC_MATR_ELEM		OPTION : 'RIGI_MECA'
		OPTION : 'MASS_MECA'
MODE_ITER_SIMULT	CALC_FREQ	METHODE : 'SORENSEN'
		OPTION : 'BANDE'

8 Résultats de la modélisation C

8.1 Valeurs testées

Identification	Instants	Référence	Aster	% différence
Fréquence (mode 4 hors plan)		44.762	47.358	5.799
Fréquence (modes 5 & 6 hors plan)		110.52	118.029 118.059	6.795 6.822
Fréquence (mode 7 hors plan)		169.08	187.504	10.897
Fréquence (Mode 8 dans le plan)		193.93	196.089	1.114
Fréquence (mode 9 & 10 dans le plan)		206.64	211.658 212.000	2.428 2.594

8.2 Remarques

- Dans Aster, les modes calculés sont ceux de corps rigide : le quatrième mode de référence est le premier mode calculé par le *Code_Aster*.
- Apparition de deux modes de flexion après le mode 11 de référence (mode 8 du *Code_Aster*), de la même forme que ceux apparus dans la modélisation DST entre les modes 8 et 9 de référence (modes 6 et 7 du *Code_Aster*).

Dans le tableau ci-dessous nous avons reporté les 14 premières fréquences propres trouvées.

Mode n°	Fréquence (Hz)
1	47.358
2	118.03
3	118.06
4	187.50
5	196.09
6	211.66
7	212.00
8	222.53
9	235.41
10	235.56
11	264.73
12	289.85
13	302.84
14	303.15

8.3 Paramètres d'exécution

Version : NEW 5.04.17

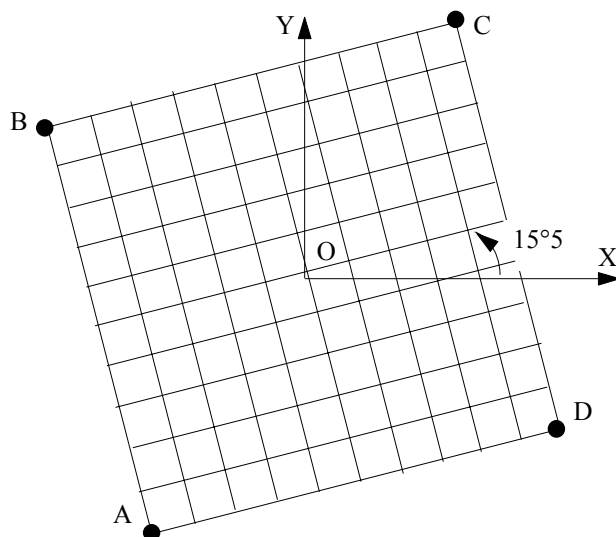
Machine : SGI-Origin2000 R12000

Encombrement mémoire : 16 mégaoctets

Temps CPU User : 3.97 secondes

9 Modélisation D

9.1 Caractéristiques de la modélisation



Modélisation DKT (QUAD4)

- La plaque est située dans le plan $Z = 2.3$
- Point O : (0. ; 0. ; 2.3)

Conditions aux limites :

- Cotés AB, BC, CD, DA : $w=0$
- Pour valider la modélisation dans un repère différent du repère global, la plaque est tournée de 15,5 degrés. Ceci ne doit pas changer les fréquences propres obtenues.

9.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 122

Nombre de mailles et types : 100 QUAD4

9.3 Fonctionnalités testées

Commandes	Mot-clé facteur	Mot-clé
AFFE_MODELE	AFFE	MODELISATION : 'DKT'
AFFE_CARA_ELEM	COQUE	EPAIS
CALC_MATR_ELEM		OPTION : 'RIGI_MECA'
		OPTION : 'MASS_MECA'
MODE_ITER_SIMULT	CALC_FREQ	METHODE : 'SORENSEN'
		OPTION : 'BANDE'

10 Résultats de la modélisation D

10.1 Valeurs testées

Identification	Instants	Référence	Aster	% différence
Fréquence (mode 4 hors plan)		44.762	47.182	5.408
Fréquence (modes 5 & 6 hors plan)		110.52	117.463	6.283
Fréquence (mode 7 hors plan)		169.08	184.746	9.266
Fréquence (Mode 8 dans le plan)		193.93	195.699	0.912
Fréquence (mode 9 & 10 dans le plan)		206.64	208.887	1.088

10.2 Remarques

- Dans Aster, les modes calculés sont ceux de corps rigide : le quatrième mode de référence est le premier mode calculé par le *Code_Aster*.
- Apparition de deux modes de flexion après le mode 11 de référence (mode 8 du *Code_Aster*), de la même forme que ceux apparus dans la modélisation DST entre les modes 8 et 9 de référence (modes 6 et 7 du *Code_Aster*).

Dans le tableau ci-dessous nous avons reporté les 14 premières fréquences propres trouvées.

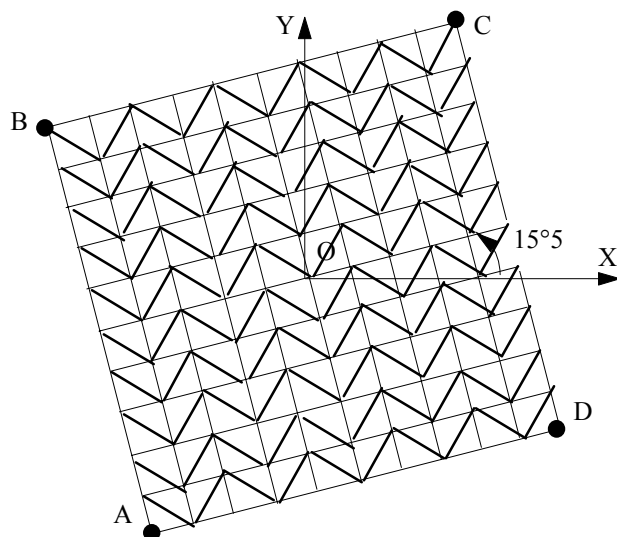
Mode n°	Fréquence (Hz)
1	47.183
2	117.46
3	117.46
4	184.75
5	195.70
6	208.89
7	208.89
8	220.92
9	234.74
10	234.74
11	252.49
12	289.79
13	297.27
14	297.27

10.3 Paramètres d'exécution

Version : NEW 5.04.17
Machine : SGI-Origin2000 R12000
Encombrement mémoire : 16 mégaoctets Temps CPU User : 4.02 secondes

11 Modélisation E

11.1 Caractéristiques de la modélisation



Modélisation COQUE_3D (TRIA6)

- La plaque est située dans le plan $Z = 2.3$
- Point O : (0. ; 0. ; 2.3)

Conditions aux limites :

- Cotés AB, BC, CD, DA : $w=0$
- Pour valider la modélisation dans un repère différent du repère global, la plaque est tournée de 15,5 degrés. Ceci ne doit pas changer les fréquences propres obtenues.

11.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 122

Nombre de mailles et types : 200 TRIA6

11.3 Fonctionnalités testées

Commandes	Mot-clé facteur	Mot-clé
AFFE_MODELE	AFFE	MODELISATION : 'COQUE-3D'
AFFE_CARA_ELEM	COQUE	EPAIS
CALC_MATR_ELEM		OPTION : 'RIGI_MECA' OPTION : 'MASS_MECA'
MODE_ITER_SIMULT	CALC_FREQ	METHODE : 'SORENSEN' OPTION : 'BANDE'

12 Résultats de la modélisation E

12.1 Valeurs testées

Identification	Instants	Référence	Aster	% différence
Fréquence (mode 4 hors plan)		44.762	43.867	2.00
Fréquence (modes 5 & 6 hors plan)		110.52	106.058 106.066	-4.037 -4.029
Fréquence (mode 7 hors plan)		169.08	160.010	-5.305
Fréquence (Mode 8 dans le plan)		193.93	193.600	-0.170
Fréquence (mode 9 & 10 dans le plan)		206.64	206.209 206.211	0.208 0.207

12.2 Remarques

- Dans Aster, les modes calculés sont ceux de corps rigide : le quatrième mode de référence est le premier mode calculé par le *Code_Aster*.
- Apparition de deux modes de flexion entre les modes 8 et 9 de référence : ce sont les modes 6 et 7 du *Code_Aster*.

Dans le tableau ci-dessous nous avons reporté les 14 premières fréquences propres trouvées.

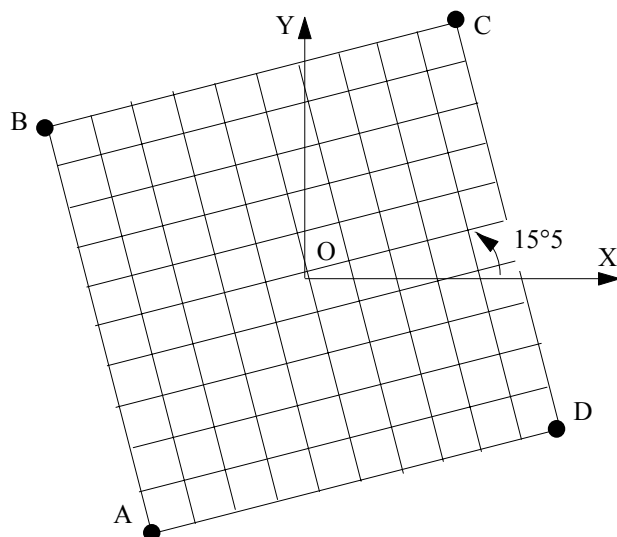
Mode n°	Fréquence (Hz)
1	43,867
2	106.06
3	106.07
4	160.11
5	186,72
6	193.60
7	199.76
8	200.23
9	206.21
10	206.21
11	219.28
12	245.91
13	245.94
14	249.27

12.3 Paramètres d'exécution

Version : NEW 5.04.17
Machine : SGI-Origin2000 R12000
Encombrement mémoire : 16 mégaoctets Temps CPU User : 10.97 secondes

13 Modélisation F

13.1 Caractéristiques de la modélisation



Modélisation COQUE_3D (QUAD8)

- La plaque est située dans le plan $Z = 2.3$
- Point O : (0. ; 0. ; 2.3)

Conditions aux limites :

- Cotés AB, BC, CD, DA : $w=0$
- Pour valider la modélisation dans un repère différent du repère global, la plaque est tournée de 15,5 degrés. Ceci ne doit pas changer les fréquences propres obtenues.

13.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 122

Nombre de mailles et types : 100 QUAD8

13.3 Fonctionnalités testées

Commandes	Mot-clé facteur	Mot-clé
AFFE_MODELE	AFFE	MODELISATION : 'COQUE_3D'
AFFE_CARA_ELEM	COQUE	EPAIS
CALC_MATR_ELEM		OPTION : 'RIGI_MECA' OPTION : 'MASS_MECA'
MODE_ITER_SIMULT	CALC_FREQ	METHODE : 'SORENSEN' OPTION : 'BANDE'

14 Résultats de la modélisation F

14.1 Valeurs testées

Identification	Instants	Référence	Aster	% différence
Fréquence (mode 4 hors plan)		44.762	43.870	-1.993
Fréquence (modes 5 & 6 hors plan)		110.52	106.041	-4.052
Fréquence (mode 7 hors plan)		169.08	160.055	-5.337
Fréquence (Mode 8 dans le plan)		193.93	193.588	-0.176
Fréquence (mode 9 & 10 dans le plan)		206.64	206.192	-0.216

14.2 Remarques

- Dans Aster, les modes calculés sont ceux de corps rigide : le quatrième mode de référence est le premier mode calculé par le *Code_Aster*.
- Apparition de deux modes de flexion entre les modes 8 et 9 de référence : ce sont les modes 6 et 7 du *Code_Aster*.

Dans le tableau ci-dessous nous avons reporté les 14 premières fréquences propres trouvées.

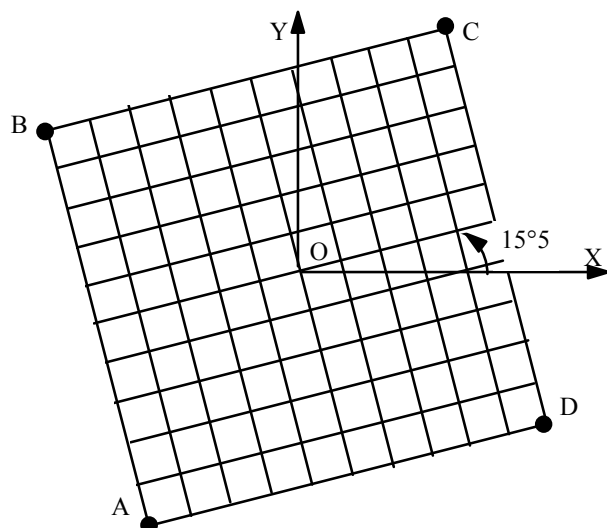
Mode n°	Fréquence (Hz)
1	43.87
2	106.04
3	106.04
4	160.06
5	193.59
6	199.64
7	200.13
8	206.19
9	206.19
10	219.26
11	245.68
12	245.68
13	249.20
14	287.99

14.3 Paramètres d'exécution

Version : NEW 5.04.17
Machine : SGI-Origin2000 R12000
Encombrement mémoire : 16 mégaoctets Temps CPU User : 9.99 secondes

15 Modélisation G

15.1 Caractéristiques de la modélisation

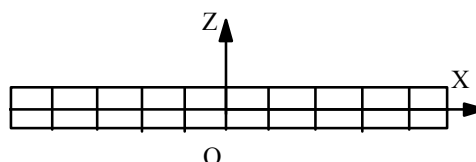


Modélisation 3D (HEXA20)

- Le plan moyen de la plaque est situé dans le plan $Z = 2.3$
- Point O : (0. ; 0. ; 2.3)

Conditions aux limites :

- Cotés AB, BC, CD, DA : $w=0$



15.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 1266

Nombre de mailles et types : 200 HEXA20

15.3 Fonctionnalités testées

Commandes	Mot-clé facteur	Mot-clé
AFFE_MODELE	AFFE	MODELISATION : '3D'
CALC_MATR_ELEM		OPTION : 'RIGI_MECA'
		OPTION : 'MASS_MECA'
MODE_ITER_SIMULT	CALC_FREQ	METHODE : 'SORENSEN'
		OPTION : 'BANDE'

16 Résultats de la modélisation G

16.1 Valeurs testées

Identification	Instants	Référence	Aster	% différence
Fréquence (mode 4 hors plan)		44.762	43.862	-2.009
Fréquence (modes 5 & 6 hors plan)		110.52	105.953	-4.132
Fréquence (mode 7 hors plan)		169.08	159.749	-5.518
Fréquence (Mode 8 dans le plan)		193.93	193.590	-0.175
Fréquence (mode 9 & 10 dans le plan)		206.64	199.410	-3.498
			199.903	-3.260

16.2 Remarques

- Dans Aster, les modes calculés sont ceux de corps rigide : le quatrième mode de référence est le premier mode calculé par le *Code_Aster*.
- Apparition de deux modes de flexion entre les modes 8 et 9 de référence : ce sont les modes 6 et 7 du *Code_Aster*.

Dans le tableau ci-dessous nous avons reporté les 14 premières fréquences propres trouvées.

Mode n°	Fréquence (Hz)
1	43.86
2	105.95
3	105.95
4	159.75
5	193.59
6	199.41
7	199.90
8	206.16
9	206.16
10	219.27
11	245.07
12	245.07
13	249.13
14	287.75

16.3 Paramètres d'exécution

Version : NEW 5.04.17
Machine : SGI-Origin2000 R12000
Encombrement mémoire : 16 mégaoctets Temps CPU User : 24.77 secondes

17 Synthèse des résultats

Compte tenu de la nature de la solution numérique (éléments finis volumiques), les résultats obtenus sont satisfaisants pour les :

- modélisation A et B (DST) l'écart maximum est de moins de 4% pour les 5 premiers modes,
- modélisation E et F (COQUE_3D), l'écart maximum est d'environ 5% pour les 5 premiers modes,
- modélisation G (3D), l'écart maximum est d'environ 5% pour les 5 premiers modes,
- les modes de référence 5&6 hors plan présentent des symétrie différentes de celles rencontrées dans les modélisations E, F et G, mais elles sont équivalentes car il s'agit de recombinaisons modales.

Les modélisations C et D (DKT) sont moins satisfaisantes avec des écarts relatifs atteignant 10% sur le mode 7 hors plan, ceci est dû à la non prise en compte du cisaillement transverse pour cette plaque relativement épaisse.

De plus on observe l'apparition de modes de flexion et membrane pour toutes ces modélisations, y compris la modélisation 3D volumique G. Lorsque l'on raffine suffisamment les maillages, cette tendance se confirme et les écarts relatifs régressent. Le calcul 3D a par ailleurs montré qu'en deçà d'un maillage 6x6 dans le plan (XY), les modes de flexion et membrane n'étaient pas détectés.