

Titre : FORMA11 - Travaux pratiques de la formation « Anal[...] Responsable : Emmanuel BOYERE Version

# FORMA11 - Travaux pratiques de la formation « Analyse dynamique » : analyse modale

#### Résumé :

Ces tests correspondent aux travaux pratiques de la formation dynamique de *Code\_Aster*. Il s'agit de quatre géométries, constituée toute d'un matériau élastique linéaire pour lesquelles on effectue une analyse modale : recherche des fréquences propres et des modes associés.

Les modélisations utilisées sont les suivantes :

- Modélisation A : Recherches des modes multiples d'une poutre (POU D E)
- Modélisation B : Recherche des modes de corps rigides d'une sphère (3D)
- Modélisation C : Utilisation de l'opérateur MACRO\_MODE\_MECA pour l'analyse d'une tour réfrigérante (DKT),

Les énoncés des travaux pratiques de la formation dynamique sont présentés dans ce document :

- TP1 : Recherches des modes multiples d'une poutre,
- TP2 : Recherche des modes de corps rigides,
- TP3 : Utilisation de la macro-commande MACRO\_MODE\_MECA,

# Code Aster

Titre : FORMA11 - Travaux pratiques de la formation « Anal[...] Responsable : Emmanuel BOYERE

Date : 15/05/2013 Page : 2/16 Clé : V2.08.011 Révision : 11002

#### Modélisation A 1

#### 1.1 Description du problème

#### 1.1.1 Objectif

L'objectif de cette modélisation est de déterminer les 11 premières fréquences propres de la poutre encastrée, en présence de modes multiples, en utilisant les quatre méthodes suivantes :

- Méthode de SORENSEN,
- Méthode de LANCZOS, .
- Méthode de BATHE et WILSON
- Méthode d'itération inverse

## 1.1.2 Géométrie



## 1.1.3 Propriétés des matériaux

Le matériau est élastique isotrope linéaire :

- le module d'Young  $E = 210\,000\,10^6\,N/m^2$ ,
- le coefficient de Poisson v=0.3,
- la masse volumique  $\rho = 7800 \, Kg/m^3$

## 1.1.4 Conditions aux limites et chargement

La poutre est encastrée au point A.

#### 1.2 Caractéristiques de la modélisation

#### 1.2.1 Maillage

Le maillage filaire pourra être construit interactivement à l'aide de Salomé. Il suffit de définir les points A, B puis la droite AB. La taille des éléments est identique. Dans le module de maillage de Salomé, on pourra déclarer, en se basant sur la géométrie, comme groupe de nœud le point A, puis comme groupe de mailles la droite AB. Ensuite le maillage sera sauvegardé au format MED.

Les éléments de poutre droite d'Euler (POU D E) seront retenus pour la modélisation.

Le maillage est constitué de 10 SEG2 et 11 nœuds.

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Titre : FORMA11 - Travaux pratiques de la formation « Anal[...] Responsable : Emmanuel BOYERE Date : 15/05/2013 Page : 3/16 Clé : V2.08.011 Révision : 11002

## 1.2.2 Fichier de commandes Aster

Les principales étapes du calcul avec Aster seront :

Lecture du maillage au format MED (LIRE MAILLAGE ('FORMAT='MED')).

Définition des éléments finis utilisés (AFFE\_MODELE). On affectera au groupe de mailles composant la poutre la modélisation POU D E.

Définition et affectation du matériau (DEFI\_MATERIAU et AFFE\_MATERIAU). Les caractéristiques mécaniques sont identiques sur toute la structure.

Affectation des caractéristiques des éléments poutres (AFFE\_CARA\_ELEM). La section de tous les éléments de la poutre est la même.

Affectation des conditions aux limites (AFFE\_CHAR\_MECA).

Calcul des matrices rigidités élémentaires (CALC\_MATR\_ELEM (OPTION='RIGI\_MECA')).

Calcul des matrices de masses élémentaires (CALC\_MATR\_ELEM (OPTION='MASS\_MECA')).

Numérotation des inconnues du système d'équations linéaires (NUME\_DDL)

Assemblage des matrices élémentaires de masse et de rigidité (ASSE MATRICE).

Remarque : pour aller plus vite on peut utiliser la macro ASSEMBLAGE pour construire les matrices !

Question n°1 :

- Calculer les 11 plus petites fréquences propres et les premiers modes associés (MODE ITER SIMULT [U4.52.03]).
- Imprimer les modes propres (IMPR\_RESU) au format MED pour une visualisation dans Salomé.

#### Question n°2 :

- Calculer avec les quatre méthodes SORENSEN, LANCZOS, BATHE (MODE\_ITER\_SIMULT [U4.52.03]) et par ltérations inverse les fréquences propres et les premiers modes associés présents dans la bande de fréquences 0 Hz et 6000 Hz. (MODE\_ITER\_INV [U4.52.03]).
- Imprimer les modes propres (IMPR\_RESU) au format MED pour une visualisation dans Salomé.

## 1.3 Aide pour le Post-traitement sous Salomé

Les différentes étapes de visualisation des déformées modales avec Salomé sont les suivantes :

Lancer Salome sous linux

Cliquer sur File/open et sélectionner la base Salome (hdf) contenant la géométrie et le maillage.

Lancer le module de post-traitement Post-Pro

Cliquer sur <code>File/Import/MED</code> file et sélectionner le fichier MED contenant les modes propres à visualiser

Déployer complètement dans l'Object Browser l'arborescence de la ligne Post-Pro afin de voir en détails tous les champs de déplacements.

Cliquer sur l'un des champs et avec le bouton droit de la souris cliquer sur Deformed Shape. (*la déformée modale s'affiche*).

Version default

Titre : FORMA11 - Travaux pratiques de la formation « Anal[...] Responsable : Emmanuel BOYERE Date : 15/05/2013 Page : 4/16 Clé : V2.08.011 Révision : 11002

Déployer la ligne contenant le champ visualisé, ensuite cliquer sur Def. Shape et ensuite cliquer sur le bouton droit de la souris et sélectionner sweep pour animer la déformée.



## 1.4 Remarques

La bonne pratique consiste à utiliser l'option 'BANDE' plutôt que 'PLUS PETITE' ou 'CENTRE'.

Le nombre de fréquences est déterminé automatiquement par le test de Sturm et ainsi toutes les multiplicités sont prises en compte.

La méthode de 'SORENSEN' est la plus rapide (malgré son caractère itératif qui permet d'obtenir une meilleure précision)

On projette sur un espace de plus petite taille (par rapport à 'TRI\_DIAG' et à 'JACOBI') et on ne fait qu'une factorisation (par rapport à MODE ITER INV).

En présence de modes multiples, la moindre modification du paramétrage de la méthode modale (ou de la tripaille associée NUME DDL...) produit des vecteurs propres différents.

Mais ils engendrent toujours le même espace propre,

Pour s'en convaincre on peut visualiser les déformées modales ou sommer les masses modales effectives.

Date : 15/05/2013 Page : 5/16 Clé : V2.08.011 Révision : 11002

	TRI_DIAG		SORENSEN		
	MASS_EFFE_DY	MASS_EFFE_DZ	MASS_EFFE_DY	MASS_EFFE_DZ	
Mode 1	3.16920	2.80830	1.13915	4.83834	
Mode 2	2.80672 3.17077		4.83834	1.13915	
TOTAL	5.97592	5.97907	5.97749	5.97749	

# **1.5 Grandeurs testées et résultats**

Les résultats obtenus avec la méthode de SORENSEN sont présentés dans le tableau, et sur les figures ci-dessous

Mode	Fréquence en Hz
Woue	(Méthode sorensen)
1	1.67638E+02
2	1.67638E+02
3	1.05060E+03
4	1.05060E+03
5	1.48054E+03
6	2.59704E+03
7	2.94237E+03
8	2.94237E+03
9	4.47822E+03
10	5.76991E+03
11	5.76991E+03



Déformée modale ( 167.638 Hz )

Déformée modale (  $167.638\,\textit{Hz}$  )

*Titre : FORMA11 - Travaux pratiques de la formation « Anal[...] Responsable : Emmanuel BOYERE*  Version



Déformée modale ( 1050.60 Hz )

(Déformée modale 1050.60 Hz)



Déformée modale (  $1480.54\,\textit{Hz}\,$  )

Titre : FORMA11 - Travaux pratiques de la formation « Anal[...] Responsable : Emmanuel BOYERE Date : 15/05/2013 Page : 7/16 Clé : V2.08.011 Révision : 11002

# 2 Modélisation B

## 2.1 Description du problème

## 2.1.1 Objectif

L'objectif de cette modélisation est de déterminer pour une structure de type sphère en libre libre, (présence de modes multiples de corps rigide) :

- Les fréquences propres situées dans une bande de fréquences avec la méthode de SORENSEN,
- Les fréquences propres situées dans une bande de fréquences avec la méthode de LANCZOS avec ou sans mode rigide (OPTION=MODE RIGIDE),
- Les 16 plus petites fréquences propres avec la méthode de SORENSEN

### 2.1.2 Géométrie



### 2.1.3 Propriétés des matériaux

Le matériau est élastique isotrope linéaire :

- le module d'Young  $E = 10^8 N/m^2$ ,
- le coefficient de Poisson v = 0.3,
- la masse volumique  $\rho = 10^4 kg/m^3$

### 2.1.4 Conditions aux limites et chargement

### Aucune

## 2.2 Caractéristiques de la modélisation

2.2.1 Caractéristiques du maillage



Titre : FORMA11 - Travaux pratiques de la formation « Anal[...] Responsable : Emmanuel BOYERE Date : 15/05/2013 Page : 8/16 Clé : V2.08.011 Révision : 11002

Version

default

Le maillage comporte 160 mailles HEXA20, et 813 nœuds. Les éléments volumiques (3D) seront retenus pour la modélisation.

### 2.2.2 Commandes Aster

Les principales étapes du calcul avec Aster seront :

Lecture du maillage (LIRE\_MAILLAGE).

Définition des éléments finis utilisés (AFFE\_MODELE).

Définition et affectation du matériau (DEFI\_MATERIAU et AFFE\_MATERIAU).

Les caractéristiques mécaniques sont identiques sur toute la structure.

Calcul des matrices rigidités élémentaires (CALC\_MATR\_ELEM (OPTION='RIGI\_MECA')).

Calcul des matrices de masses élémentaires (CALC\_MATR\_ELEM (OPTION='MASS\_MECA')

Numérotation des inconnues du système d'équations linéaires (NUME DDL)

Assemblage des matrices élémentaires de masse et de rigidité (ASSE MATRICE).

**<u>Remarque</u>** : pour aller plus vite on peut utiliser la macro ASSEMBLAGE pour construire les matrices !

Question n°1 :

- Calculer avec la méthode de SORENSEN, les fréquences situées dans la bande de fréquence (0. Hz, 2880 Hz) ainsi que les modes associés (MODE ITER SIMULT).
- Si le calcul échoue on pourra étendre la bande de fréquences sur une marge légèrement négative.
- Imprimer les modes propres (IMPR\_RESU) au format MED pour une visualisation dans Salomé.

Question n°2 :

• Calculer avec la méthode de LANCZOS avec ou sans option  $MODE_RIGIDE$  les fréquences situées dans la bande de fréquence (0. Hz, 2880 Hz) ainsi que les modes associés (MODE ITER SIMULT).

Question n°3 :

• Calculer avec la méthode de SORENSEN les 16 plus petites fréquences ainsi que les modes associés (MODE\_ITER\_SIMULT). On pourra utiliser le paramètre PREC\_SHIFT pour contourner le problème des fréquences nulles.

## 2.3 Aide pour le post-traitement sous Salomé

Les différentes étapes de visualisation des déformées modales avec Salomé sont les suivantes :

Lancer Salome sous linux Lancer le module de maillage Mesh/New Cliquer sur File/Import/MED file et sélectionner le fichier med contenant le maillage Lancer le module de post-traitement Post-Pro Cliquer sur File/Import/MED file et sélectionner le fichier med contenant les modes propres à visualiser

Version default

Titre : FORMA11 - Travaux pratiques de la formation « Anal[...] Responsable : Emmanuel BOYERE Date : 15/05/2013 Page : 9/16 Clé : V2.08.011 Révision : 11002

Déployer complètement dans l'Object Browser l'arborescence de la ligne Post-Pro afin de voir en détails tous les champs de déplacements.

Cliquer sur l'un des champs et avec le bouton droit de la souris cliquer sur Deformed Shape. (*la déformée modale s'affiche*).

Déployer la ligne contenant le champ visualisé, ensuite cliquer sur Def. Shape et ensuite cliquer sur le bouton droit de la souris et sélectionner sweep pour animer la déformée.



# 2.4 Remarques

La factorisation des matrices shiftées  $(K-\sigma)^{-1} = LDL^T$  régie par le paramétrage : NMAX\_ITER\_SHIFT, SOLVEUR/NPREC[U4.50.01] et PREC\_SHIFT, ne peut s'effectuer que si celles-ci sont régulières.

Cela pose souvent problème lorsque la magnitude des termes de K est grande devant celle des termes de M et que  $\sigma$  est une bonne valeur propre approchée. La politique de l'opérateur est d'émettre une ALARME lorsqu'il s'agit d'un test de Sturm et une ERREUR\_FATALE lorsqu'il s'agit de la matrice de travail de l'opérateur. En cas de problème, on peut toujours changer d'option ou de shift.

La détection de modes de corps rigide est souvent problématique pour les solveurs modaux classiques ! La bonne pratique consiste à utiliser la méthode de SORENSEN en utilisant une bande de fréquences dont la borne inférieure est nulle, voire légèrement négative. Le solveur normalement les

Manuel de validation

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

*Titre : FORMA11 - Travaux pratiques de la formation « Anal[...] Responsable : Emmanuel BOYERE*  Date : 15/05/2013 Page : 10/16 Clé : V2.08.011 Révision : 11002

Version

default

capture sans aucun problème (il s'agit juste de modes multiples un peu particuliers). A défaut, avec TRI DIAG, l'option MODE RIGIDE est préconisée.

# 2.5 Grandeurs testées et résultats

Les résultats obtenus avec la méthode de SORENSEN et la méthode de LANCZOS avec et sans l'option OPTION= MODE RIGIDE sont présentés dans le tableau ci-dessous.

MODE_ITER_SIMULT							
Méthode Sorensen		Méthode de Lanczos		Méthode de Lanczos			
(METHODE =' SORENSEN')		(Avec Mode rigide)		(sans Modes rigides)			
Mode	Fréquence	Mode	Fréquence	Mode	Fréquence		
5	-3.88562E-05	6	0.00000E+00	4	1.22874E-04		
4	-3.88562E-05	5	0.00000E+00	5	2.70602E-04		
3	-6.73009E-05	4	0.00000E+00	3	-5.03634E-04		
2	1.09902E-04	3	0.00000E+00	2	-5.69081E-04		
6	1.25908E-04	2	0.00000E+00	6	4.46762E-03		
1	1.73770E-04	1	0.00000E+00	7	2.46964E+03		
7	2.46964E+03	7	2.46964E+03	8	2.46964E+03		
8	2.46964E+03	8	2.46964E+03	9	2.47084E+03		
9	2.47084E+03	9	2.47084E+03	10	2.47084E+03		
10	2.47084E+03	10	2.47084E+03	11	2.47084E+03		
11	2.47084E+03	11	2.47084E+03	12	2.61345E+03		
12	2.61345E+03	12	2.61345E+03	13	2.61345E+03		
13	2.61345E+03	13	2.61345E+03	14	2.61345E+03		
14	2.61345E+03	14	2.61345E+03	15	2.61364E+03		
15	2.61364E+03	15	2.61364E+03	16	2.61364E+03		
16	2.61364E+03	16	2.61364E+03	17	3.48770E+03		



Déformée modale (  $2469.64\ \text{Hz}$  )



Déformée modale (2469.64 Hz)

Titre : FORMA11 - Travaux pratiques de la formation « Anal[...] Responsable : Emmanuel BOYERE Date : 15/05/2013 Page : 11/16 Clé : V2.08.011 Révision : 11002



Déformée modale (  $2470.84\ \text{Hz}$  )

Titre : FORMA11 - Travaux pratiques de la formation « Anal[...] Responsable : Emmanuel BOYERE Version

# 3 Modélisation C

# 3.1 Description du problème

L'objectif de cette modélisation est l'utilisation de la macro-commande MACRO\_MODE\_MECA [U4.52.02]. Cette commande permet de lancer une succession de calculs de modes propres réels.

Les actions suivantes sont réalisées :

- Obtention des modes par itérations simultanées, dans des bandes de fréquences spécifiées,
- Application d'une norme, filtrage selon un critère de valeur de paramètre modal supérieure à un certain seuil et enfin concaténation des structures de données calculées en une seule.

Les modes sont calculés par la commande MODE\_ITER\_SIMULT [U4.52.03] avec l'option 'BANDE' et normés par la commande NORM\_MODE [U4.52.11]. Les modes calculés sont filtrés et concaténés au moyen de la commande EXTR MODE [U4.52.12].

### 3.1.1 Objectif

L'objectif de cette modélisation est :

- De « peser » le modèle éléments finis et d'évaluer le nombre de modes,
- D'utiliser la macro-commande MACRO\_MODE\_MECA pour calculer les fréquences propres

### 3.1.2 Géométrie

On pourra récupérer le maillage dans le répertoire des cas tests. L'épaisseur de la coque est de e=0,3045 m



## 3.1.3 **Propriétés Matériaux**

Le matériau est élastique isotrope linéaire :

- le module d'Young  $E = 2,76.10^{10} N/m^2$ ,
- le coefficient de Poisson v=0,166,
- la masse volumique  $\rho = 2244 Kg/m^3$

### 3.1.4 Conditions aux limites et chargement

Titre : FORMA11 - Travaux pratiques de la formation « Anal[...] Responsable : Emmanuel BOYERE Date : 15/05/2013 Page : 13/16 Clé : V2.08.011 Révision : 11002

La tour est encastrée à sa base.

# 3.2 Caractéristiques de la modélisation

### 3.2.1 Caractéristiques du maillage

Le maillage est composé de 1860 QUAD4 et 1860 nœuds

La tour est modélisée avec des éléments de coque DKT

### 3.2.2 Commandes Aster

Les principales étapes du calcul avec Aster seront :

Lecture du maillage (LIRE MAILLAGE).

Définition des éléments finis utilisés (AFFE\_MODELE). On affectera la modélisation DKT à l'ensemble des éléments de la tour.

Définition et affectation du matériau (DEFI\_MATERIAU et AFFE\_MATERIAU).

Les caractéristiques mécaniques sont identiques sur toute la structure.

Affectation des caractéristiques des éléments de coque (AFFE CARA ELEM).

L'épaisseur de tous les éléments est la même.

Affectation des conditions aux limites (AFFE\_CHAR\_MECA).

Calcul des matrices rigidités élémentaires (CALC\_MATR\_ELEM (OPTION='RIGI\_MECA')).

Calcul des matrices de masses élémentaires (CALC\_MATR\_ELEM (OPTION='MASS\_MECA').

Numérotation des inconnues d'un système d'équations linéaires (NUME DDL)

Assemblage des matrices élémentaires de masse et de rigidité (ASSE MATRICE).

**Remarque** : pour aller plus vite on peut utiliser la macro ASSEMBLAGE pour construire les matrices !

#### Question n°1 :

• Peser le modèle (POST\_ELEM) et évaluer le nombre de mode dont la fréquence est inférieure à 4 Hz (INFO\_MODE).

#### Question n°2 :

- Calculer les fréquences propres et les premiers modes associés présent dans la bande de fréquence 0. Hz à 4 Hz (MODE\_ITER\_SIMULT)
- Normaliser avec la norme infinie, sur toutes les composantes des nœuds physiques tout en requérant le calcul des masses effectives unitaires (NORM MODE, EXTR MODE).
- Imprimer les modes propres (IMPR\_RESU) au format MED pour une visualisation dans Salomé.

#### Question n°3 :

• Calculer les fréquences propres en regroupant les trois opérations MODE\_ITER\_SIMULT, NORM\_MODE et EXTR\_MODE en une (en coupant en 2 intervalles) avec MACR\_MODE\_MECA.

#### Question n°4 :

Titre : FORMA11 - Travaux pratiques de la formation « Anal[...] Responsable : Emmanuel BOYERE Date : 15/05/2013 Page : 14/16 Clé : V2.08.011 Révision : 11002

Version

default

• Calculer les fréquences propres en regroupant les trois opérations MODE\_ITER\_SIMULT, NORM\_MODE et EXTR\_MODE en une (en coupant en 4 intervalles) avec MACR\_MODE\_MECA.

Question n°5 :

• On réalise la même chose que celle demandée dans la question 4 mais avec la méthode de LANCZOS.

# 3.3 Aide pour le post-traitement sous Salomé

Les différentes étapes de visualisation des déformées modales avec Salomé sont les suivantes :

Lancer Salome sous linux

Lancer le module de maillage Mesh/New

Cliquer sur File/Import/MED file et sélectionner le fichier med contenant le maillage

Lancer le module de post-traitement Post-Pro

Cliquer sur File/Import/MED file et sélectionner le fichier med contenant les modes propres à visualiser

Déployer complètement dans l'Object Browser l'arborescence de la ligne Post-Pro afin de voir en détails tous les champs de déplacements.

Cliquer sur l'un des champs et avec le bouton droit de la souris cliquer sur Deformed Shape. (*la déformée modale s'affiche*).

Déployer la ligne contenant le champ visualisé, ensuite cliquer sur Def. Shape et ensuite cliquer sur le bouton droit de la souris et sélectionner sweep pour animer la déformée.

Code Aster

Titre : FORMA11 - Travaux pratiques de la formation « Anal[...] Responsable : Emmanuel BOYERE

Date : 15/05/2013 Page : 15/16 Clé : V2.08.011 Révision : 11002

Version

default



#### 3.4 Remarques

Les bonnes pratiques : il faut au préalable :

Peser son modèle avec POST ELEM, Évaluer le spectre avec INFO MODE.

La commande MACRO MODE MECA est plus économique pour rechercher un grand spectre.

A condition de ne pas trop le saucissonner,

Il faut vérifier la concordance des bouts de spectre identifiés,

Gain de temps peut être très important : 500%,

On peut facilement et automatiquement y adjoindre d'autres opérations : normalisation, filtrage, concaténation de structures de données.

#### 3.5 Grandeurs testées et résultats

Mode	Fréquence en $Hz$
1	2.80065 Hz
2	2.80065 Hz

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Titre : FORMA11 - Travaux pratiques de la formation « Anal[...] Responsable : Emmanuel BOYERE

Date : 15/05/2013 Page : 16/16 Clé : V2.08.011 Révision : 11002



Déformée modale (  $2.80065\,\ensuremath{\textit{Hz}}$  )

Déformée modale (  $2.80065\,\ensuremath{\textit{Hz}}$  )