FORMA13 - Travaux pratiques de la formation «Analyse dynamique» : sous-structuration dynamique

Résumé:

Ces tests correspondent aux travaux pratiques de la formation dynamique de *Code_Aster,* pour la partie « sous-structuration dynamique ».
Ce TP est inspiré du programme de recherche SICODYN.
On compare sur un calcul de pompe les techniques de sous-structuration de CRAIG-BAMPTON et par méthode d'interfaces avec un calcul modal direct.

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

1 Problème de référence

1.1 Description du problème

Ce TP est inspiré d'un programme de recherche international [1], cherchant à déterminer les incertitudes dans le calcul d'une structure industrielle en comparant les résultats de différentes équipes sur le même matériel.

L'objectif de cette modélisation est de donc déterminer, par sous-structuration dynamique, les 10 premières fréquences propres d'une pompe utilisée dans une centrale électrique. Pour les besoins du TP, la structure a été simplifiée.

Dans un premier temps, on se propose d'utiliser la technique de sous-structuration la plus classique: la méthode de CRAIG-BAMPTON. Puis dans un second temps, la méthode des interfaces est utilisée.

[1] Sylvie Audebert , SICODYN international benchmark on dynamic analysis of structure assemblies: variability and numerical-experimental correlation on an industrial pump, Mécanique & Industries / Volume 11 / Issue 06 / November 2010 pp 439-451

1.2 Géométrie

La pompe est divisée en trois parties (cf Illustration 1: Pompe divisée en trois parties) :
- le palier (en vert)
- la volute (en bleu),
- le tuyau d'aspiration (en jaune).

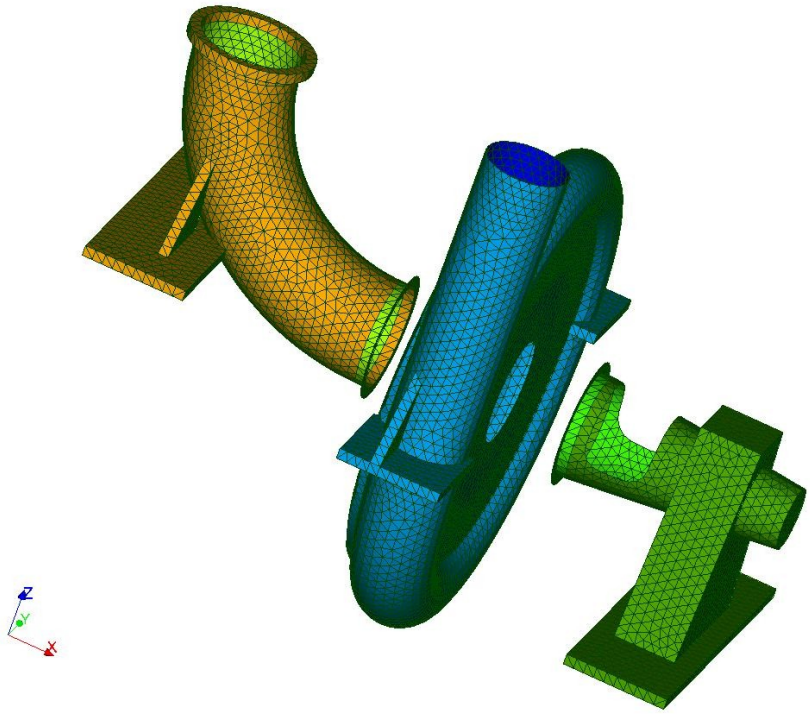


Illustration 1: Pompe divisée en trois parties

On fournit le maillage des trois parties de la pompe, ainsi que son maillage complet (Illustration 2: Pompe complète).

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

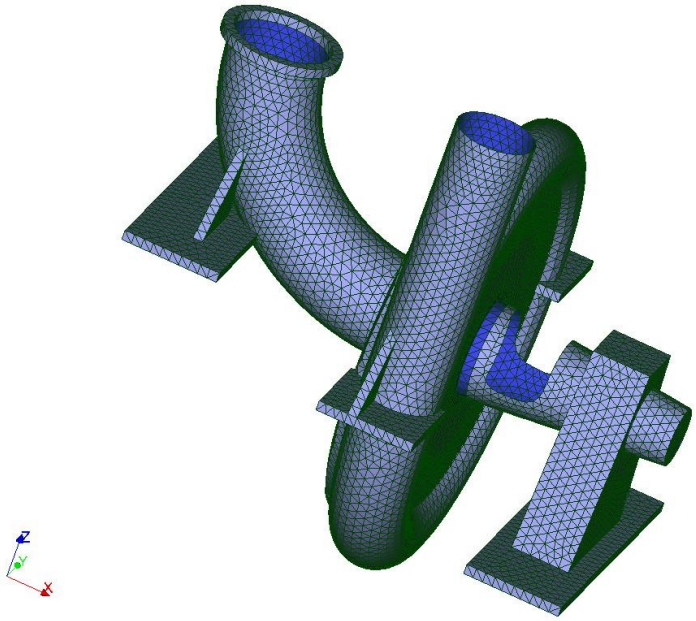


Illustration 2: Pompe complète

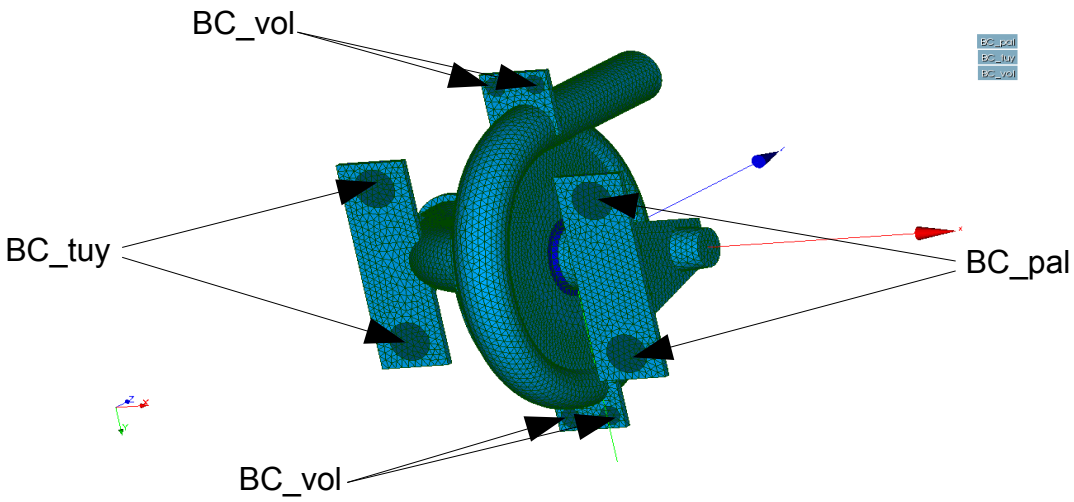
1.3 Propriétés des matériaux

La pompe est fabriquée en acier, matériau élastique isotrope linéaire de caractéristiques suivantes :

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

1.4 Conditions aux limites et chargement

La pompe est fixée au sol par des encastrements sur le palier, la volute et le tuyau (respectivement les groupe de nœuds 'BC_pal', 'BC_vol' et 'BC_tuy').



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

2 Modélisation A

2.1 Maillage

On fournit le maillage des trois parties de la pompe, ainsi que son maillage complet. Après avoir importé les maillages dans SALOME-MECA, on prendra le temps nécessaire pour retrouver les noms des groupes nécessaires à la mise en donnée.
Le maillage est réalisé en éléments volumiques 3S en éléments de plaque DKT. Les éléments de plaque correspondent à une épaisseur de :

- $30\,mm$ pour le palier (groupe 'Pal_2D')
- $50\,mm$ pour la volute (groupe 'Vol_2D')
- $10\,mm$ pour le tuyau (groupe 'Vol_2D')

2.2 Fichier de commandes Aster

Les principales étapes du calcul avec *Aster* sont, pour chaque sous-structure, les étapes habituelles de mise en donnée:

Lecture du maillage au format MED (LIRE_MAILLAGE ('FORMAT='MED')).
Définition des éléments finis utilisés (AFFE_MODELE). Modélisation '3D' et 'DKT'
Définition et affectation du matériau (DEFI_MATERIAU et AFFE_MATERIAU).
Affectation des caractéristiques des éléments de plaque (AFFE_CARA_ELEM).
Affectation des conditions aux limites (AFFE_CHAR_MECA).

Puis la construction des macro-éléments, leur assemblage, le calcul modal de la structure assemblée, la construction du squelette, la restitution du calcul modal sur le squelette et, enfin, l'impression des modes :

Création des sous-structures (CREA_ELEM_SSD)
Assemblage des sous-structures (ASSE_ELEM_SSD)
Calcul modal (CALC_MODES)
Construction du squelette de visualisation des modes globaux (DEFI_SQUELETTE)
Restitution sur le squelette (REST_SOUS_STRUC)
Impression des modes au format MED (IMPR_RESU)

Il s'agit de préciser lors de la création des sous-structures le type de sous-structuration à utiliser. Ici,nous avons :
`TYPE='CLASSIQUE'`

2.3 Résultats

Les grandeurs comparées sont les fréquences des 10 premiers modes propres de la pompe obtenus lors du calcul direct réalisé sur le maillage global à ceux obtenus par sous-structuration sur la pompe divisée en trois parties.

Mode	**Calcul modal direct** (Hz)	**Calcul par SSD** (Hz)
1	58.32	58.32
2	123.47	123.55
3	155.27	155.31

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

4	190.57	190.77
5	224.85	225.71
6	230.77	232.99
7	249.22	252.73
8	259.38	260.00
9	261.07	262.40
10	278.07	284.77

On constate que les fréquences calculées par les deux méthodes sont très proches.

On pourra aussi vérifier dans SALOME-MECA que c'est aussi le cas des déformées modales.

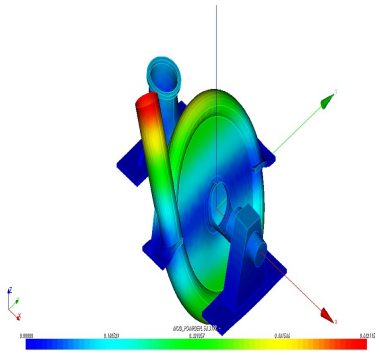


Illustration 3: Mode 1 du calcul modal direct

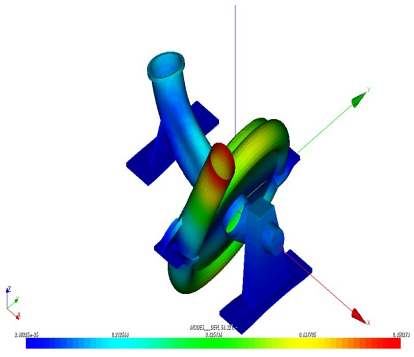


Illustration 4: Mode 1 du calcul SSD par Craig et Bampton

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

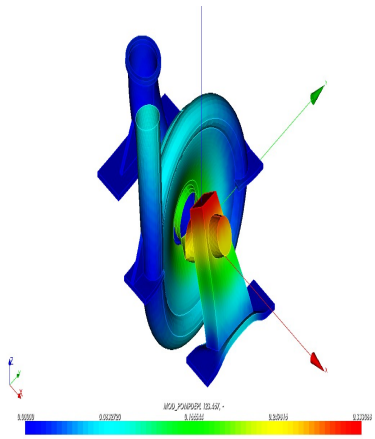


Illustration 5: Mode 2 du calcul modal direct

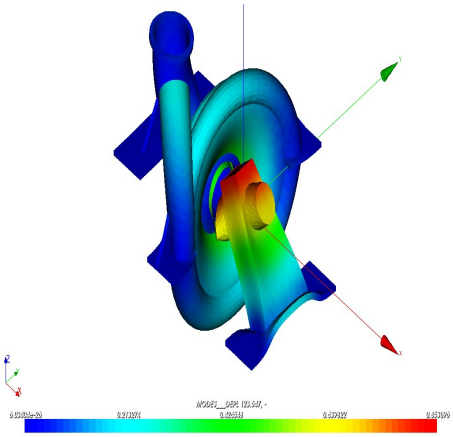


Illustration 6: Mode 2 du calcul SSD par Craig et Bampton

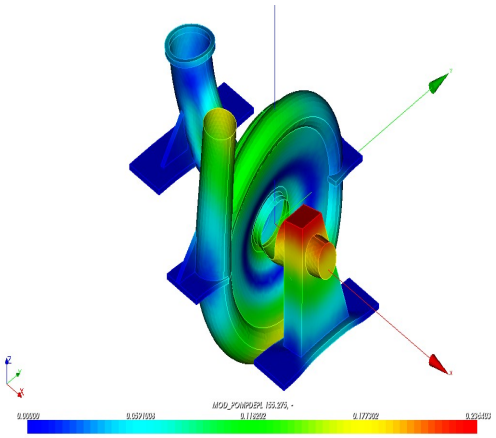


Illustration 7: Mode 3 du calcul modal direct

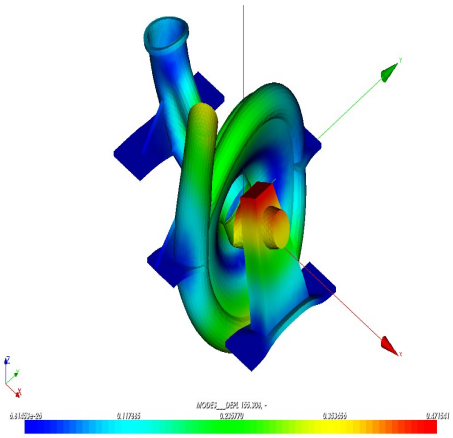


Illustration 8: Mode 3 du calcul SSD par Craig et Bampton

En revanche la méthode de sous-structuration dynamique classique de Craig & Bampton est relativement coûteuse. Dans la partie suivante on propose d'employer la méthode d'interface. Quoique légèrement plus complexe, en limitant le nombre de modes de liaison entre les sous-structures, elle accroît nettement l'efficacité de la technique de sous-structuration.

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

3 Modélisation B

3.1 Maillage

On fournit le maillage des trois parties de la pompe, ainsi que son maillage complet. Après avoir importé les maillages dans SALOME-MECA, on prendra le temps nécessaire pour retrouver les noms des groupes nécessaires à la mise en donnée.
Le maillage est réalisé en éléments volumiques 3S en éléments de plaque DKT. Les éléments de plaque correspondent à une épaisseur de :

- $30\,mm$ pour le palier (groupe 'Pal_2D')
- $50\,mm$ pour la volute (groupe 'Vol_2D')
- $10\,mm$ pour le tuyau (groupe 'Vol_2D')

3.2 Fichier de commandes Aster

Les principales étapes du calcul avec *Aster* sont, pour chaque sous-structure, les étapes habituelles de mise en donnée:

Lecture du maillage au format MED (LIRE_MAILLAGE ('FORMAT='MED')).
Définition des éléments finis utilisés (AFFE_MODELE). Modélisation '3D' et 'DKT'
Définition et affectation du matériau (DEFI_MATERIAU et AFFE_MATERIAU).
Affectation des caractéristiques des éléments de plaque (AFFE_CARA_ELEM).
Affectation des conditions aux limites (AFFE_CHAR_MECA).

Puis la construction des macro-éléments, leur assemblage, le calcul modal de la structure assemblée, la construction du squelette, la restitution du calcul modal sur le squelette et, enfin, l'impression des modes :

Création des sous-structures (CREA_ELEM_SSD)
Assemblage des sous-structures (ASSE_ELEM_SSD)
Calcul modal (CALC_MODES)
Construction du squelette de visualisation des modes globaux (DEFI_SQUELETTE)
Restitution sur le squelette (REST_SOUS_STRUC)
Impression des modes au format MED (IMPR_RESU)

Il s'agit de préciser lors de la création des sous-structures le type de sous-structuration à utiliser. Ici, nous avons :

```
TYPE='RITZ'
TYPE_MODE='INTERFACE'
```

3.3 Résultats

Les grandeurs comparées sont les fréquences des 10 premiers modes propres de la pompe obtenus lors du calcul direct réalisé sur le maillage global à ceux obtenus par sous-structuration sur la pompe divisée en trois parties.

Mode	**Calcul modal direct** (Hz)	**Calcul par SSD** (Hz)
1	58.32	58.43
2	123.47	146.72

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

3	155.27	185.43
4	190.57	196.71
5	224.85	229.52
6	230.77	236.14
7	249.22	256.57
8	259.38	263.87
9	261.07	275.37
10	278.07	287.58

On constate que les fréquences calculées par les deux méthodes sont assez proches.
On pourra aussi vérifier dans SALOME-MECA que c'est aussi le cas des déformées modales.

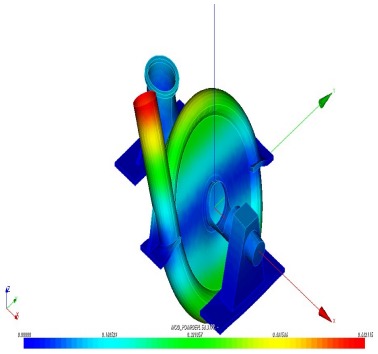


Illustration 9: Mode 1 du calcul modal direct

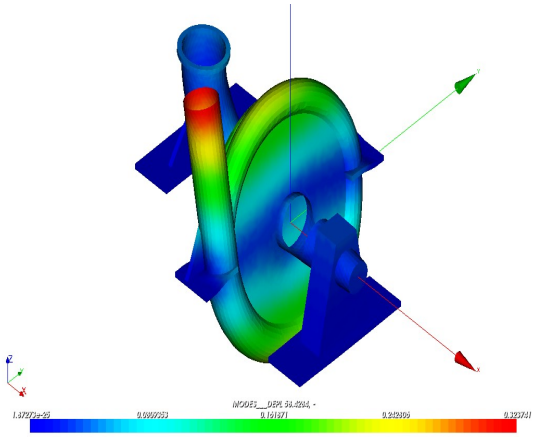


Illustration 10: Mode 1 du calcul SSD par la méthode des interfaces

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

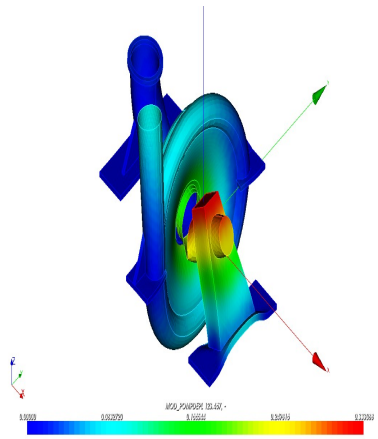


Illustration 11: Mode 2 du calcul modal direct

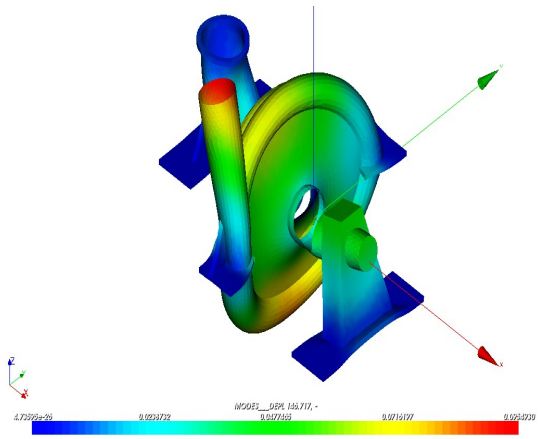


Illustration 12: Mode 2 du calcul SSD par la méthode des interfaces

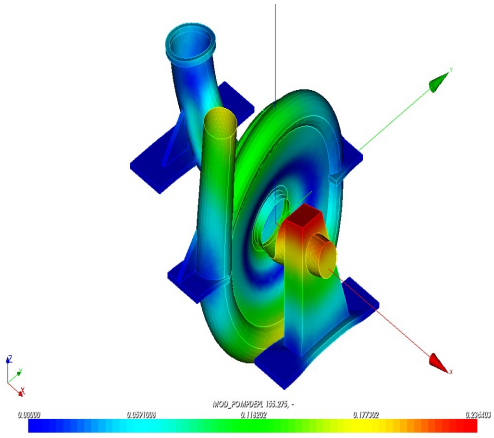


Illustration 13: Mode 3 du calcul modal direct

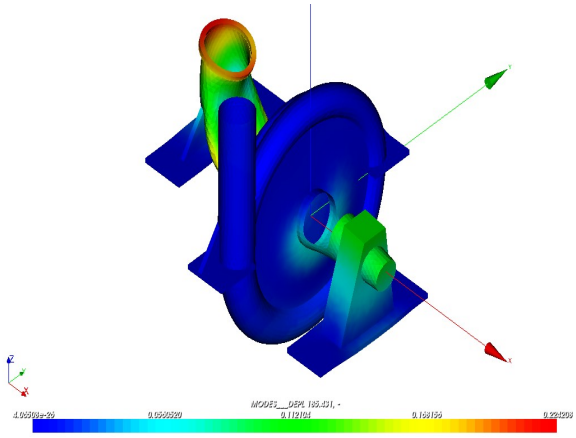


Illustration 14: Mode 3 du calcul SSD par la méthode des interfaces

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