# 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.



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).

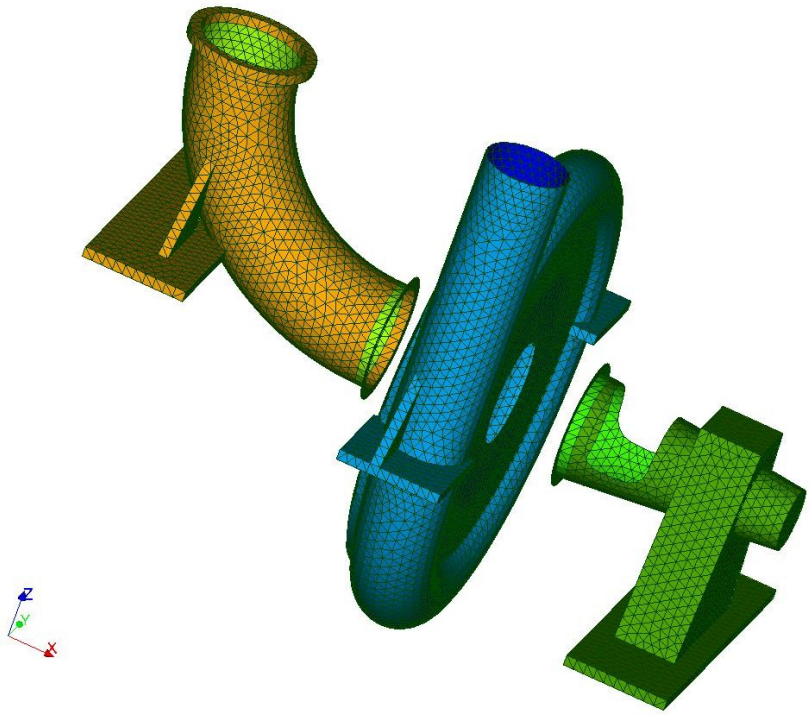



**Illustration 1: Pompe divisée en trois parties**

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



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

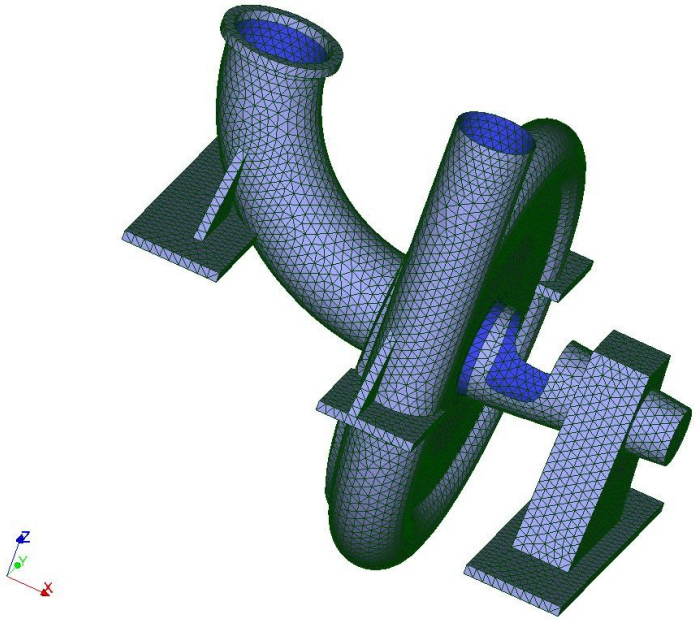


**Illustration 2: Pompe complète**

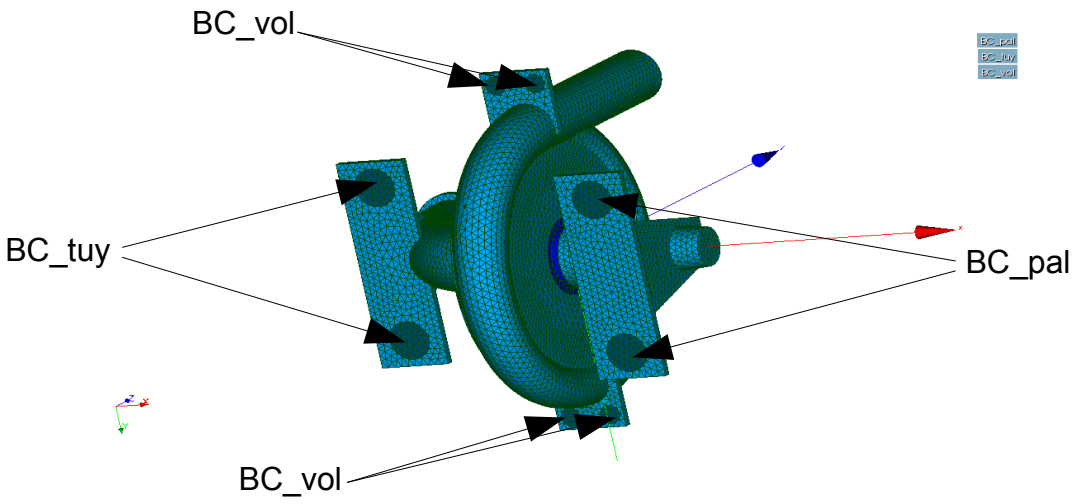
## 1.3 Propriétés des matériaux

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').






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 |



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

| | | |
|---|---|---|
| 3 | 155.27 | 155.31 |
| 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.

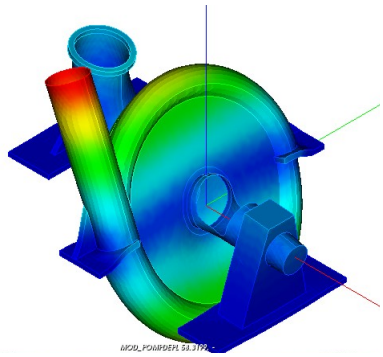


**Illustration 3: Mode 1 du calcul modal direct**

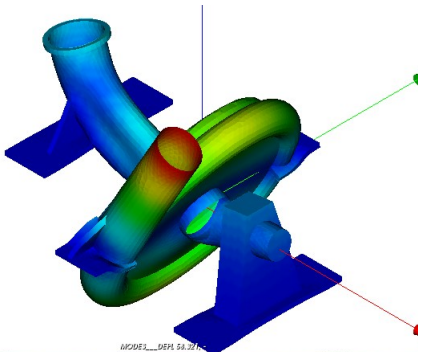


**Illustration 4: Mode 1 du calcul SSD par Craig et Bampton**



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

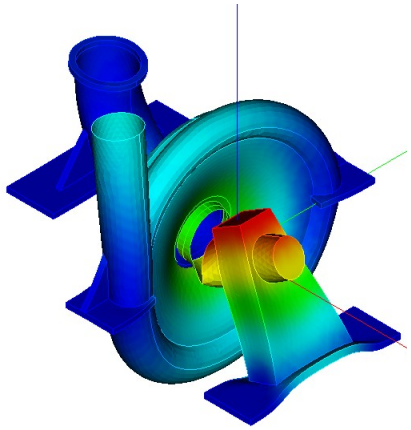


**Illustration 5: Mode 2 du calcul modal direct**

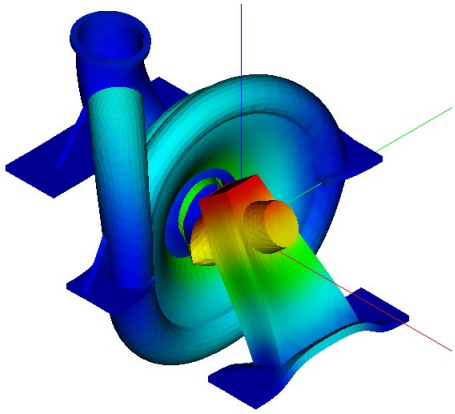


**Illustration 6: Mode 2 du calcul SSD par Craig et Bampton**

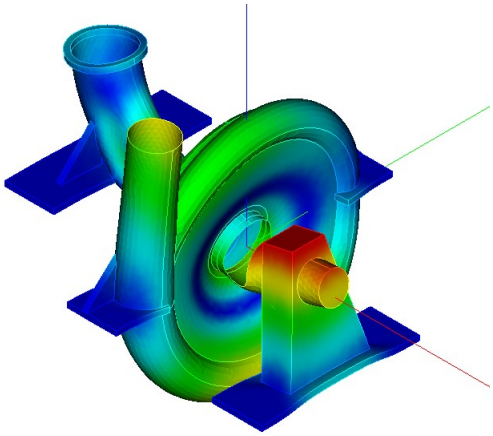


**Illustration 7: Mode 3 du calcul modal direct**

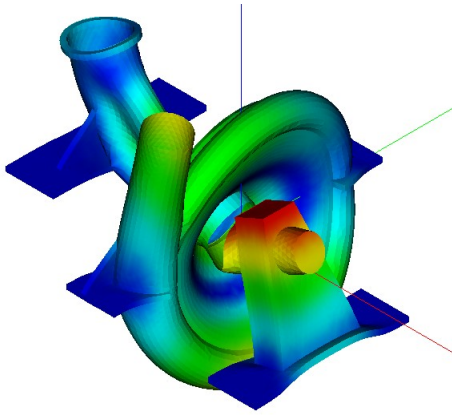


**Illustration 8: Mode 3 du calcul SSD par Craig et Bampton**

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.



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 |



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.

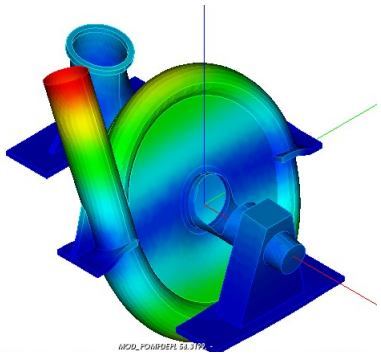


**Illustration 9: Mode 1 du calcul modal direct**

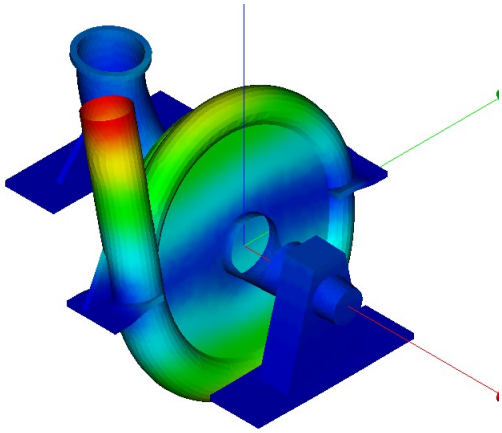


**Illustration 10: Mode 1 du calcul SSD par la méthode des interfaces**



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

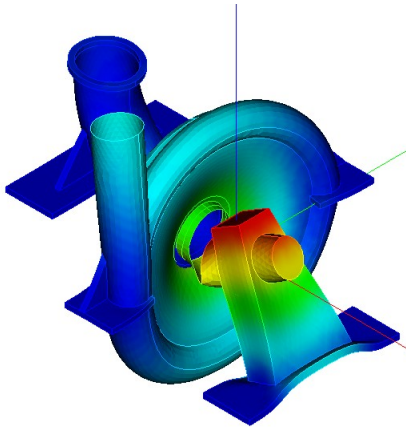


**Illustration 11: Mode 2 du calcul modal direct**

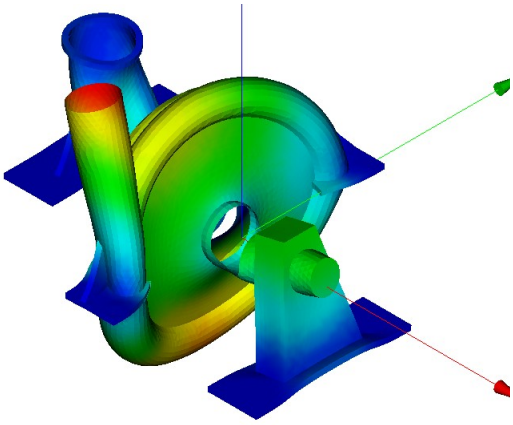


**Illustration 12: Mode 2 du calcul SSD par la méthode des interfaces**

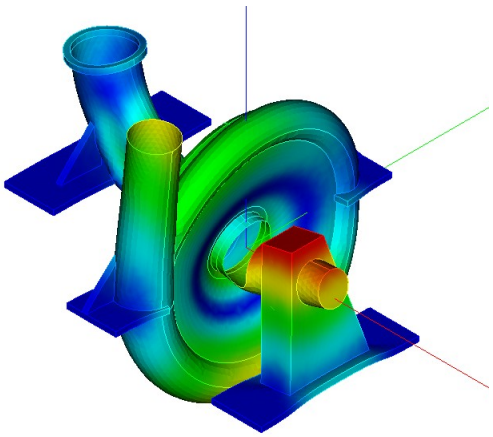


**Illustration 13: Mode 3 du calcul modal direct**

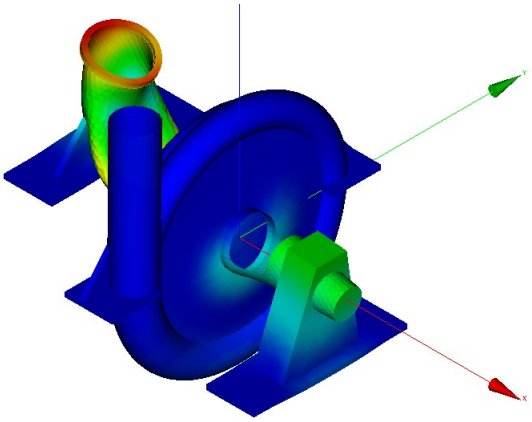


**Illustration 14: Mode 3 du calcul SSD par la méthode des interfaces**



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