

Macro-commande CALC_ESSAI

1 But

Lancement de la macro-commande CALC_ESSAI, qui permet, au travers d'une interface graphique, de lancer des calculs d'identification et d'expansion sur des structures filaires filaires et de lancer des calculs de modification structurale :

- expansion de données expérimentales sur base de déformées numériques, en utilisant la macro-commande MACRO_EXPANS (qui effectue les opérations élémentaires EXTR_MODE, PROJ_MESU_MODAL, REST_BASE_PHYS et PROJ_CHAMP)
- logiciel MEIDEE fluide-élastique, méthode mono-modale : identification d'efforts sur une structure filaire dépendant du mouvement de la structure, sous forme de coefficients de masse, de raideur et d'amortissement ajoutés,
- logiciel MEIDEE turbulent, méthode mono-modale : identification d'efforts sur une structure filaire ne dépendant pas du mouvement de la structure (efforts dus à la turbulence du fluide sur la structure),
- identification d'efforts sur une structure quelconque, avec décomposition du mouvement sur base modale et localisation *a priori* des chargements,
- modification structurale : évaluer l'effet d'une modification connaissant le modèle modal expérimental de la structure initiale et le modèle aux éléments finis de la modification apportée

Table des matières

1But.....	1
2Syntaxe.....	4
3Introduction.....	7
3.1Objectifs de la commande.....	7
3.2Paramètres de visualisation.....	7
3.3Concepts sortants.....	7
3.4Opérandes générales.....	7
3.4.1Mot clé INTERACTIF.....	7
3.4.2Mot clé UNITE_RESU.....	7
3.4.3Mot clé UNITE_FIMEN.....	7
4Utilisation de l'expansion modale (EXPANSION).....	8
4.1Mots-clés en mode non-interactif.....	8
4.1.1Mots-clés MESURE et NUME_MODE_MESURE.....	8
4.1.2Mot-clé CALCUL.....	8
4.1.3Mots-clés RESOLUTION et EPS.....	8
4.2Utilisation en interactif.....	9
4.2.1Principes théoriques.....	9
4.2.2Exécution du calcul.....	9
4.2.3Visualisation.....	10
5Modification structurale (MODIFSTRUCT).....	10
5.1Mots-clés en mode non-interactif.....	10
5.1.1Mot clé MESURE.....	10
5.1.2Mot clé MODELE_SUP.....	10
5.1.3Mot clé MODELE_MODIF.....	10
5.1.4Mot clé MATR_RIGI.....	10
5.1.5Mot clé RESOLUTION.....	10
5.1.6Mot clé NUME_MODE_MESU.....	10
5.1.7Mot clé NUME_MODE_CALCUL.....	11
5.1.8Mot clé GROUP_NO_CAPTEURS.....	11
5.1.9Mot clé GROUP_NO_EXTERIEUR.....	11
5.2Utilisation en mode interactif.....	11
5.3Les concepts produits.....	12
6MEIDEE fluide-élastique mono-modal (MEIDEE_FLUDELA).....	13
6.1Utilisation en mode non-interactif.....	13
6.1.1Mot clé MESURExx.....	13
6.1.2Mot clé RESU_EXPANSION.....	13
6.1.3Mot clé BASE.....	13
6.2Utilisation en mode interactif.....	13
7MEIDEE turbulent mono-modal (MEIDEE_TURBULENT).....	15
7.1 Mots-clés en mode non-interactif.....	15

7.1.1Mot clé BASE.....	15
7.1.2Mot clé MESURE.....	15
7.1.3Mot clé INTE_SPEC.....	16
7.1.4Mots clés NUME_MODE_DECONV et NUME_MODE_LOCAL.....	16
7.2 Utilisation en mode interactif.....	16
7.2.1Rappel des principes théoriques.....	16
7.2.2Exécution du calcul.....	17
8Identification d'efforts localisés a priori (IDENTIFICATION).....	18
8.1Mots-clés en mode non-interactif.....	18
8.1.1Mot clé INTE_SPEC.....	18
8.1.2Mots clés OBSERVABILITE et COMMANDABILITE.....	18
8.1.3Mots-clés ALPHA et EPS.....	18
8.2Utilisation en mode interactif.....	18
8.2.1Rappel des principes théoriques.....	19
8.2.2Les concepts à utiliser.....	20
8.2.3Visualisation des résultats.....	20
8.3Concepts produits (mot-clé RESU_IDENTIFICATION).....	21

2 Syntaxe

```
CALC_ESSAI (

    ◇ INTERACTIF = /'OUI',                      [DEFAULT]
                  /'NON',

    ◇ UNITE_RESU = / unit,                      [I]
                  / 8,                          [DEFAULT]

    ◇ UNITE_FIMEN = unit,                      [I]
```

1. Expansion d'un modèle expérimental sur base numérique (MACRO_EXPANS)

```
◇ EXPANSION = _F( ◇ CALCUL = calcul,          [mode_meca]

                  ◇ MESURE = mesure,          [mode_meca,dyna_harmo]

                  ◇ NUME_MODE_CALCUL = L_I,   [L_I]

                  ◇ NUME_MODE_MESURE = L_I,   [L_I]

                  ◇ RESOLUTION = /'SVD',      [DEFAULT]
                              /'LU',

                  SI RESOLUTION = 'SVD',
                      ◇ EPS = /0.,           [DEFAULT]
                              /epsilon,      [R]
                  ),
```

2. Modification structurale

```
◇ MODIFSTRUCT = _F( ◇ MESURE = mesure,      [mode_meca]

                    ◇ MODELE_SUP = modele,   [modele]

                    ◇ MODELE_MODIF = modele, [modele]

                    ◇ NUME_MODE_CALCUL = L_I, [L_I]

                    ◇ NUME_MODE_MESU = L_I,   [L_I]

                    ◇ MATR_RIGI = matrice,    [matr_asse]

                    ◇ RESOLUTION = /'ES',     [DEFAULT]
                              /'LMME',

                    Si RESOLUTION = 'LMME',

                    ◇ MATR_MASS = matrice,    [matr_asse]

                    ),
```

Si MODIFSTRUCT :

```
◇ GROUP_NO_CAPTEURS = _F( ◇ GROUP_NO = gr_no, [mode_meca]

                           ◇ .NOM_CMP = nom_cmp, [matr_asse]
                           ),
```

```
♦ GROUP_NO_EXTERIEUR = _F( ♦ GROUP_NO = gr_no,           [mode_meca]
                           ♦ NOM_CMP = nom_cmp,          [matr_asse]
                           ),
♦ RESU_MODIFSTRU = _F( ♦ MODE_MECA = mode,               [mode_meca]
                       ♦ MODELE = modele,                [modele]
                       ♦ MAILLAGE = maillage,            [maillage]
                       ♦ NUME_DDL= nume,                  [nume_ddl]
                       ♦ MASS_MECA = masse,               [matr_asse]
                       ♦ RIGI_MECA = raid,                [matr_asse]
                       ♦ AMOR_MECA = amor,                [matr_asse]
                       ♦ MACR_ELEM = macre,               [macr_elem_stat]
                       ♦ PROJ_MESU = proj,                [mode_gene]
                       | ♦ BASE_LMME = ba_lmme,           [mode_meca]
                       | ♦ BASE_ES = ba_es,               [mode_meca]
                       ♦ MODE_STAT = modest               [mode_meca]
                       ),
```

3. Logiciel MEIDEE fluide-élastique, méthode mono-modale

```
♦ MEIDEE_FLUDELA = _F( ♦ BASE = base,                    [mode_meca]
                      ♦ MESURE1 = mesure1,                [mode_meca]
                      ♦ MESURE2 = mesure2,                [mode_meca]
                      ♦ MESURE3 = mesure3,                [mode_meca]
                      ),
♦ RESU_FLUDELA      = _F( ♦ TABLE = table,               [mode_meca]
                      ),
```

4. Logiciel MEIDEE turbulent, méthode mono-modale

```
♦ MEIDEE_TURBULENT = _F( ♦ BASE = base,                  [mode_meca]
                        ♦ MESURE = mesure,                [mode_meca]
                        ♦ INTE_SPEC = intsp,              [table_fonction]
                        ♦ NUME_MODE_DECONV = L_I,          [L_I]
                        ♦ NUME_MODE_LOCAL = L_I,           [L_I]
                        ),
♦ RESU_TURBULENT    = _F( ♦ FONCTION = fonction,          [fonction]
                        ),
```

5. Identification d'efforts avec localisation a priori

```
♦ IDENTIFICATION = _F( ♦ BASE = base,                    [mode_meca]
```

```
♦ INTE_SPEC = intsp, [table_fonction]

♦ OBSERVABILITE = mode_obs, [mode_meca]

♦ COMMANDABILITE = mode_com, [mode_meca]

◇ EPS = /0., [default]
        /epsilon, [R]

◇ ALPHA = /0. [default]
        /alpha [R]

),
◇ RESU_IDENTIFICATION = F( ♦ TABLE = CO('nom_table') ) [table]

);
```

3 Introduction

3.1 Objectifs de la commande

La macro-commande `CALC_ESSAI` permet de réaliser des calculs d'identification à partir de données mesurées : expansion de données expérimentales sur modèle numérique, identification d'efforts, et modification structurale. Elle peut fonctionner en mode non-interactif, mais ce n'est pas la manière la plus pertinente. En interactif, elle utilise une IHM (codée en python/Tk) qui permet d'effectuer plusieurs essais d'identification à la suite en vérifiant immédiatement la qualité des résultats. Cette utilisation permet à l'utilisateur de choisir au mieux les paramètres du calcul pour arriver à un résultat convenable :

- 1) Choix des modes de la base d'expansion,
- 2) Choix des points de localisation a priori (pour les efforts, onglet turbulent),
- 3) Choix des paramètres de régularisation,
- 4) ...

3.2 Paramètres de visualisation

La macro-commande utilisée en interactif possède des outils permettant d'observer des résultats intéressants :

- Visualisation de déformées,
- Visualisation de courbes,
- Visualisation de MAC (opérateur `MAC_MODES`, visualisation Tk).

Dans l'IHM, la visualisation peut se contrôler avec l'onglet « paramètres de visualisation » qui permet d'opter pour :

- 1) GMSH pour les déformées et XMGrace pour les courbes,
- 2) Salomé.

Si l'utilisateur a lancé Salomé avant la macro-commande, l'affichage des résultats se fait par défaut selon la seconde option. Il est également possible, si on a lancé Salomé sur une machine distante avec un affichage en local, de renvoyer les résultats vers cette session de Salomé, en donnant les paramètres de la machine distante.

3.3 Concepts sortants

Dans l'onglet `EXPANSION` de la macro-commande, il est possible de nommer interactivement le concept sortant, et de créer ainsi autant de concepts sortants que l'on souhaite. A chaque nouveau calcul, on actualise les menus déroulants en ajoutant les nouveaux concepts. Par contre, étant donné que ces concepts n'ont pas été pré-déclarés, il ne peuvent pas être utilisés dans la suite du calcul, sauf en poursuite.

Dans les autres onglets, il est nécessaire de pré-déclarer les concepts sortants à l'appel de la macro-commande. Dans ce cas, on ajoute un mot-clé facteur `RESU_XXX`. Les concepts peuvent ensuite être utilisés dans la suite du calcul, sans avoir à passer par une poursuite.

3.4 Opérandes générales

3.4.1 Mot clé **INTERACTIF**

◇ `INTERACTIF = 'OUI'/'NON',`

L'utilisation en interactif permet d'afficher une interface graphique pour diriger l'exécution des calculs. L'utilisation en non-interactif est surtout pertinente pour la validation des cas-tests.

3.4.2 Mot clé **UNITE_RESU**

◇ `UNITE_RESU = unit,`

En interactif, la macro-commande ouvre une fenêtre de messages pour informer sur le déroulement des calculs effectués. Ces messages sont ensuite recopiés dans un fichier message à la fin de la macro-commande, qui est l'unité du `.resu` par défaut.

3.4.3 Mot clé UNITE_FIMEN

◇ UNITE_FIMEN = unit,

L'utilisation de MEIDEE pour l'identification de coefficients fluide-élastiques (caractéristiques modales ajoutées), peut nécessiter l'utilisation d'un fichier de résultat venant du logiciel d'identification modale IMENE. Cela n'est cependant nécessaire que si l'on souhaite utiliser la méthode globale (cf documentation de référence).

4 Utilisation de l'expansion modale (EXPANSION)

4.1 Mots-clés en mode non-interactif

Le mode d'utilisation non-interactif de cette option n'est pas très pertinent, il est surtout utile pour la validation. Il est préférable, si l'on souhaite effectuer une expansion modale, d'utiliser directement la commande MACRO_EXPANS, ou l'enchaînement PROJ_MESU_MODAL, REST_BASE_PHYS et PROJ_CHAMP.

```
◇ EXPANSION = _F ( ◇ CALCUL = calcul, [mode_meca]
                  ◇ MESURE = mesure, [mode_meca,dyna_harmo]
                  ◇ NUME_MODE_CALCUL = L_I, [L_I]
                  ◇ NUME_MODE_MESURE = L_I, [L_I]
                  ◇ RESOLUTION = /'SVD', [DEFAULT]
                                /'LU',
                  SI RESOLUTION = 'SVD',
                                ◇ EPS = /0., [DEFAULT]
                                /epsilon, [R]
                  );
```

4.1.1 Mots-clés MESURE et NUME_MODE_MESURE

◇ MESURE = mesure,

Concept sd_resultat de type mode_meca ou dyna_harmo qui contient les modes à étendre sur le modèle numérique.

◇ NUME_MODE_MESURE = L_I,

Permet de sélectionner les numéros d'ordre des modes que l'on souhaite étendre.

4.1.2 Mot-clé CALCUL

◇ CALCUL = calcul,

Concept sd_resultat de type mode_meca qui sera la base d'expansion. Le choix de la base d'expansion est important pour la qualité des résultats.

◇ NUME_MODE_CALCUL = L_I,

Permet de sélectionner les numéros d'ordre des modes que l'on souhaite utiliser dans la base d'expansion. Il est plus intéressant de ne garder que les modes qui « ressemblent » aux déformées à étendre, le critère de ressemblance pouvant être obtenu par calcul de MAC.

4.1.3 Mots-clés RESOLUTION et EPS

L'expansion consiste en la résolution d'un problème inverse pour la détermination des coefficients généralisés PROJ_MESU_MODAL. Les méthodes d'inversion et coefficients de régularisation sont détaillés dans la documentation utilisateur de cet opérateur (cf. U4.73.01).

4.2 Utilisation en interactif

En interactif, l'appel de la macro-commande ouvre la fenêtre suivante :

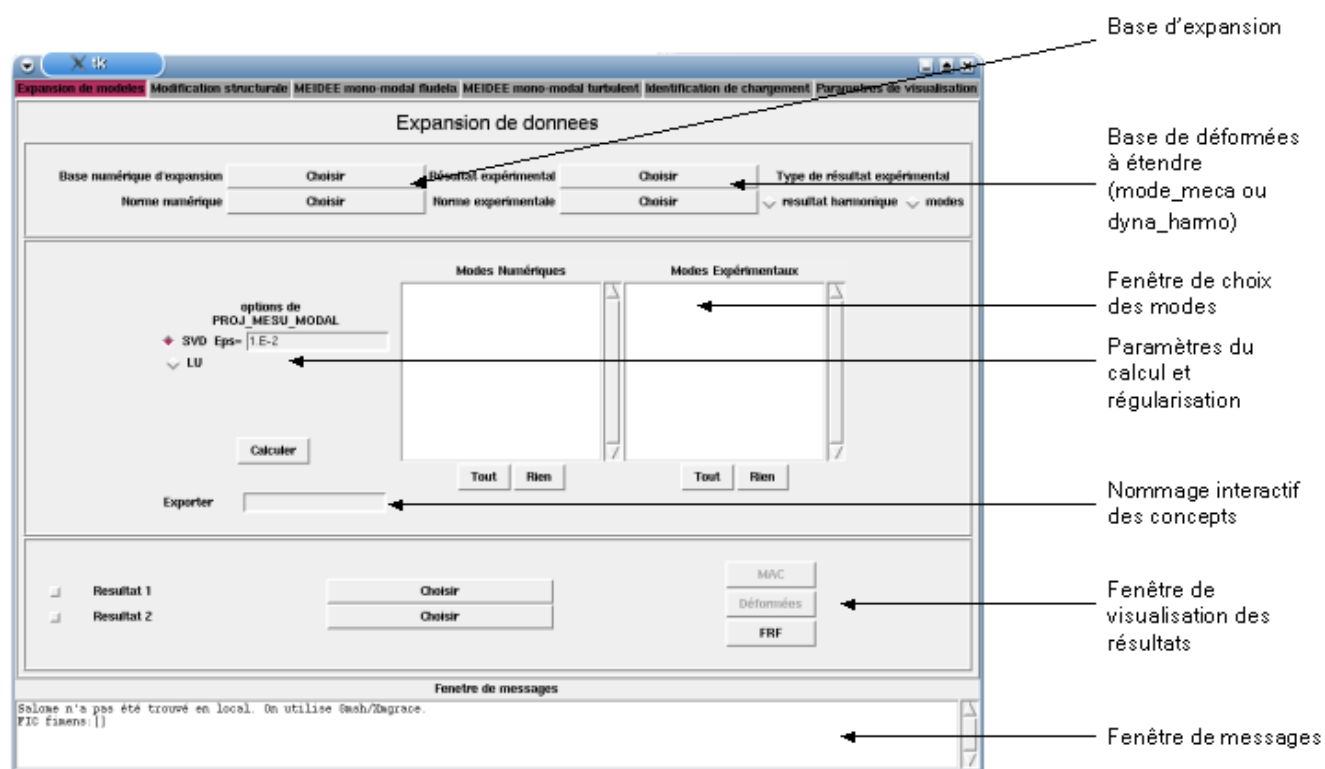


Figure 4.2-a : onglet « Expansion de données ».

4.2.1 Principes théoriques

Le principe d'une expansion de données consiste à trouver la meilleure combinaison linéaire de vecteurs bien choisis (la base d'expansion) permettant, le projetant sur l'espace de la mesure, de retrouver les données. Si on note C , l'opérateur d'expansion du modèle numérique vers l'espace de la mesure, on cherche à résoudre le problème d'optimisation suivant (PROJ_MESU_MODAL dans Aster) :

$$\min_{\eta} \|C \cdot \Phi_{num} \cdot \eta - \Phi_{exp}\|$$

La base de modes étendus est ensuite calculée de la manière suivante (REST_GENE_PHYS dans Aster) :

$$\Phi_{et} = \Phi_{num} \cdot \eta$$

Les modes étendus « ressemblent » aux modes expérimentaux, mais sont définis sur tous les nœuds du maillage numérique, ce qui permet d'accéder à des données non mesurées par post-traitement comme on le ferait pour n'importe quel calcul numérique.

Le point sensible est le choix de la base d'expansion. Les vecteurs qui la composent peuvent être des modes propres du modèles numériques, enrichis par des champs de déformées, tels que des relèvements statiques.

4.2.2 Exécution du calcul

En appuyant sur le bouton « calculer », on calcule 4 concepts sortant :

- `XX_EX`, extraction des déformées sélectionnées dans la fenêtre « Modes Expérimentaux »,
- `XX_ET`, modes étendus (Φ_{et}),
- `XX_NX`, extraction des déformées sélectionnées dans la fenêtre « Modes Numériques »,
- `XX_RD`, reprojection des modes étendus sur le maillage expérimental.

`XX` est le nom de base donné dans la fenêtre « Exporter ». Le concept `XX_RD` permet de vérifier si les modes reprojétés « ressemblent » aux modes étendus. C'est un critère de qualité.

4.2.3 Visualisation

Dans la fenêtre de visualisation, on peut choisir simultanément un ou deux concepts à visualiser et à comparer. La comparaison peut se faire par critère de MAC, en superposant les déformées, ou en comparant deux FRF. Si les concepts sont des `dyna_harmo`, la FRF est déjà calculée. Si les concepts à comparer sont des bases de modes, on peut simuler une FRF : en cliquant sur FRF, on choisit alors un point d'excitation, sur lequel on applique une excitation de type « marteau » (spectre constant sur une fréquence donnée). On choisit ensuite un nœud de visualisation.

5 Modification structurale (MODIFSTRUCT)

Cette technique de modification structurale est basée sur la méthode de sous-structuration. La première sous-structure correspond à la structure initiale et la deuxième sous-structure correspond à la modification apportée. La structure initiale est modélisée à partir des modes propres identifiés expérimentalement. La deuxième sous-structure est modélisée numériquement par éléments finis. Sauf cas très particulier, les points de mesure ne se situent pas au niveau de l'interface entre la structure initiale et la modification. Il est donc nécessaire de passer par une étape intermédiaire qui consiste à effectuer une expansion de la mesure sur les degrés de liberté interface. Cette expansion se fait via le modèle numérique support. Les paragraphes suivants décrivent les mots-clés nécessaire dans `CALC_ESSAI` pour cette fonctionnalité.

5.1 Mots-clés en mode non-interactif

5.1.1 Mot clé **MESURE**

♦ `MESURE = mesure` [mode_meca]

`measure` est le nom du concept qui contient les modes propres identifiés.

5.1.2 Mot clé **MODELE_SUP**

♦ `MODELE_SUP = modele` [modele]

Nom du modèle support sur lequel est construite la base d'expansion.

5.1.3 Mot clé **MODELE_MODIF**

♦ `MODELE_MODIF = modele` [modele]

Nom du modèle de la modification apportée à la structure initiale.

5.1.4 Mot clé **MATR_RIGI**

♦ `MATR_RIGI = matrice,` [matr_asse]

Matrice de rigidité définie sur le modèle support, nécessaire pour le calcul des modes statiques.

5.1.5 Mot clé **RESOLUTION**

♦ `RESOLUTION = '/ES',` [DEFAULT]

/ 'LMME'

Ce mot-clé permet de choisir la méthode utilisée pour le calcul de la base d'expansion. ES correspond à l'expansion statique et LMME correspond à « Local Model Modeshapes Expansion ».

5.1.6 Mot clé NUME_MODE_MESU

♦ NUME_MODE_MESU = L_I, [L_I]

Ce mot-clé permet de sélectionner les numéros des modes à exploiter parmi les modes propres identifiés. Par défaut, on prend en compte tous les modes propres du concept mesure.

5.1.7 Mot clé NUME_MODE_CALCUL

♦ NUME_MODE_CALCUL = L_I, [L_I]

Ce mot-clé permet de sélectionner les numéros des modes à utiliser parmi les vecteurs de la base d'expansion. Par défaut, on prend en compte tous les vecteurs de la base d'expansion.

5.1.8 Mot clé GROUP_NO_CAPTEURS

♦ GROUP_NO_CAPTEURS = _F(♦ GROUP_NO = gr_no, [mode_meca]
♦ NOM_CMP = nom_cmp, [matr_asse]

Ce mot-clé facteur permet de sélectionner la liste des groupes de nœuds qui vont être utilisés pour le calcul des modes statiques associés aux points de mesure. Ces groupes de nœuds sont définis sur le modèle support.

5.1.9 Mot clé GROUP_NO_EXTERIEUR

♦ GROUP_NO_EXTERIEUR = _F(♦ GROUP_NO = gr_no, [mode_meca]
♦ .NOM_CMP = nom_cmp, [matr_asse]

Ce mot-clé facteur permet de définir les groupes de nœuds « externes » où seront condensées les informations mesurées. Ces groupes de nœuds doivent contenir au minimum l'interface entre le modèle support et le modèle de la modification.

5.2 Utilisation en mode interactif

L'onglet « Modification structurale » comporte les étapes de calcul suivantes :

Saisie des données d'entrée :

Les données d'entrée (concept aster) disponibles sont proposées sous forme de menu déroulant. L'utilisateur choisi les données qui correspondent à son étude. Pour le calcul de la base d'expansion, l'utilisateur a le choix entre la méthode ES et la méthode LMME.

Choix de la base d'expansion :

Après avoir saisi les paramètres de calcul, on peut cliquer sur le bouton Valider qui permet de lancer le calcul de la base d'expansion. On sélectionne ensuite les vecteurs de base qu'il considère être les plus pertinents pour l'expansion de la mesure. Le nombre de vecteurs de base doit être inférieur ou égal au nombre de degrés de liberté de la mesure.

Condensation du modèle et couplage de la modification au modèle condensé :

Cette étape est activée par le bouton calculer. Ce bouton lance un calcul modal du modèle couplé et évalue le critère de qualité de la base d'expansion.

Vérification de la qualité de la base d'expansion :

On considère que la base d'expansion est acceptable si on arrive à bien représenter le champ de déplacement à l'interface en utilisant deux méthodes différentes. La base d'expansion est supposée correcte si les termes diagonaux du MAC (produit scalaire) sont proches de 1, ou bien si les termes diagonaux du critère IERI (écart énergétique) sont nuls. Le calcul du critère IERI nécessite la saisie d'une matrice de pondération. Cette matrice de pondération est soit la matrice de rigidité, soit la matrice de masse.

Visualisation des résultats obtenus :

La fenêtre de visualisation permet de comparer les déformées modales initiales mesurées aux déformées modales de la structure modifiée. Elle permet aussi de comparer la réponse harmonique mesurée sur la structure initiale sélectionnée par l'utilisateur et la réponse harmonique sur la structure modifiée.

L'IHM associée à cette fonctionnalité est présentée sur la figure suivante :

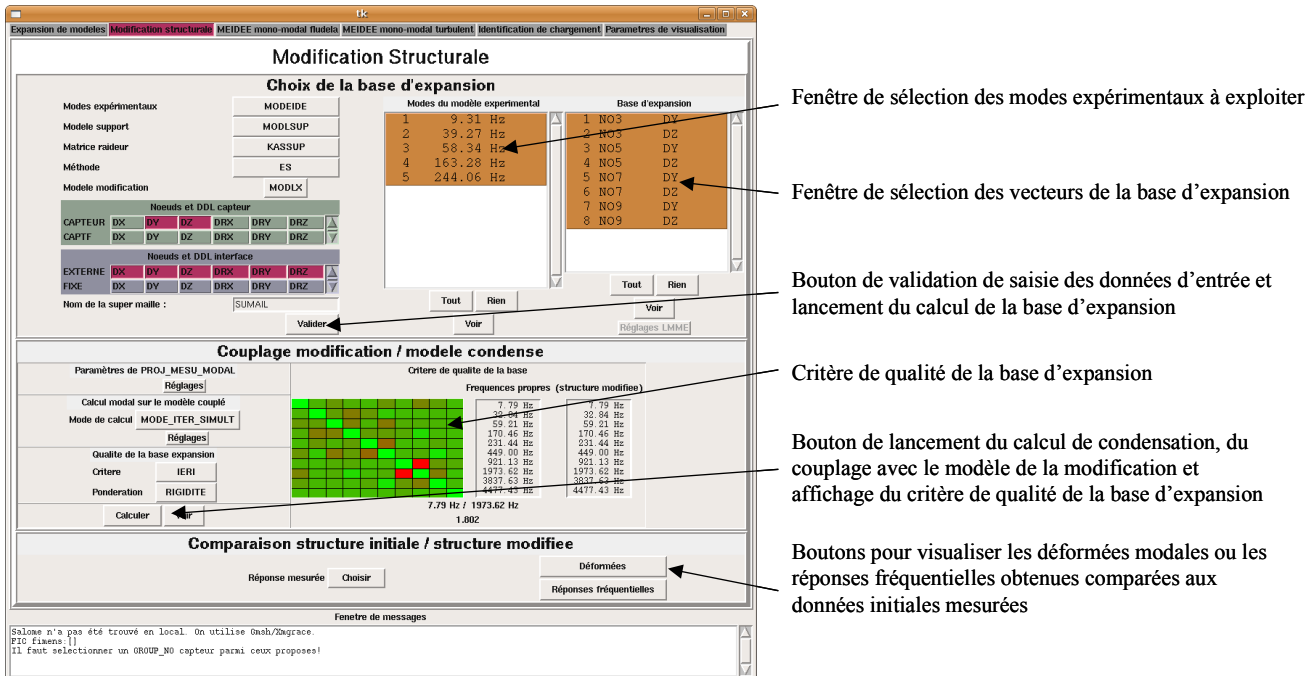


Figure 5.2-a : onglet fludela.

Les différentes étapes de calcul et les commandes sous-jacentes sont présentées en détail dans le document U2.07.03.

5.3 Les concepts produits

L'utilisateur peut spécifier les noms des concepts produits par l'interface en renseignant le mot-clé facteur RESU_MODIFSTRU. Ces concepts pourront ensuite être utilisés pour des calculs ultérieurs.

◇ MODE_MECA = mode, [mode_meca]

mode sera le nom du concept qui contient les modes propres de la structure modifiée.

◇ MODELE = modele, [modele]

modele sera le nom associé au modèle de la structure modifiée.

◇ MAILLAGE = maillage, [maillage]

maillage sera le nom du maillage associé à la structure modifiée.

◇ NUME_DDL= nume, [nume_ddl]

nume sera le nom du concept nume_ddl associé à la structure modifiée.

◇ MASS_MECA = masse, [matr_asse]

masse sera le nom du concept qui contient la matrice de masse assemblée de la structure modifiée.

◇ RIGI_MECA = raid, [matr_asse]

raid sera le nom du concept qui contient la matrice de rigidité assemblée de la structure modifiée.

◇ AMOR_MECA = amor, [matr_asse]

amor sera le nom du concept qui contient la matrice d'amortissement assemblée de la structure modifiée.

◇ MACR_ELEM = macrel, [macr_elem_stat]

macrel sera le nom du concept qui contient le macro-élément où est condensée la mesure.

◇ PROJ_MESU = proj, [mode_gene]

proj sera le nom du concept qui contient les coordonnées généralisées des modes identifiés relatives à la base d'expansion.

◇ BASE_LMME . = balmme, [mode_meca]

balmme sera le nom de la base d'expansion issue de la méthode LMME.

◇ BASE_ES . = baes, [mode_meca]

baes sera le nom de la base d'expansion issue de l'expansion statique (méthode ES).

◇ MODE_STAT = modest, [mode_meca]

modest sera le nom du concept qui contient les modes statiques associés aux points de mesure.

6 MEIDEE fluide-élastique mono-modal (MEIDEE_FLUDELA)

6.1 Utilisation en mode non-interactif

6.1.1 Mot clé **MESURExx**

◆ .MESURExx = mesxx

Le module « fludela » de MEIDEE consiste à comparer 3 bases modales : en air, en eau au repos et en eau en écoulement. MESURE1, MESURE2, et MESURE3 jouent respectivement ces rôles.

6.1.2 Mot clé **RESU_EXPANSION**

◆ .MESURExx = 'OUI', 'NON'

Si on met ce mot-clé à 'OUI', cela signifie qu'on a effectué un calcul d'expansion dans la première partie de la macro-commande et qu'on souhaite utiliser le résultat de cette opération d'expansion comme résultat de référence pour le calcul fluide-élastique. Cette référence sera utilisée pour le calcul de la longueur équivalente (cf R4.07.07).

6.1.3 Mot clé **BASE**

◆ .BASE = base

Ce mot-clé désigne la base de mode nécessaire pour calculer les longueurs équivalentes. Il s'agit d'un concept de type mode_meca. Le calcul de longueur équivalente se fait par intégration par méthode des trapèzes, il est donc important d'utiliser une base avec une discrétisation spatiale suffisamment fine le long de la poutre. Cette base peut être obtenue par expansion d'une base expérimentale.

6.2 Utilisation en mode interactif

Cet onglet comporte les étapes de calcul suivantes :

- calcul de la longueur équivalente $\int_0^L \phi^2(x) dx$ pour tous les modes de la base utilisée. On peut utiliser pour cela la base fabriquée par expansion dans l'étape précédente. La longueur équivalente permet de passer, dans le cas de structures filaires, d'une valeur modale à une valeur linéique. On trouvera la justification de cette affirmation dans la documentation de référence (R4.07.07). La longueur équivalente est calculée par extraction des valeurs de la déformée du mode dans la direction DX et par intégration par méthode des trapèzes ;
- données physiques : des données, telles que les masses volumiques des fluides internes et externes, les diamètres des tubes. Ces données permettent notamment de passer des valeurs modales ajoutées calculées à des grandeurs adimensionnelles ;
- bases modales d'étude : on donne, à chaque fois, une base modale tirée d'un essai en air, d'un essai en eau au repos, et d'un fichier en écoulement. On tirera de la comparaison entre les deux premiers une masse ajoutée par le fluide et un amortissement ajouté visqueux. On tirera de la comparaison entre les deux suivants une raideur et un amortissement ajoutés par l'écoulement. Pour chaque fichier en écoulement, on renseigne la vitesse associée ;
- bouton « sauver » : pour chaque pas de vitesse, on conserve dans un tableau python les données affichées dans les colonnes de résultats. On ne sauve que les résultats affichés dans ces colonnes. Une fois les calculs effectués pour tous les fichiers de vitesse, le bouton « exporter » crée un concept Aster *table_sdaster*, dont le nom aura été défini à l'appel de la fonction dans le mot-clé facteur 'RESULTAT'.

Pour chaque pas de vitesse d'étude, on rentre 3 bases, concepts *mode_meca*, que l'on va comparer, ainsi que la vitesse d'écoulement correspondante. On affiche dans les colonnes de droite les résultats que l'on souhaite conserver parmi ceux disponibles qui sont :

- Fréquences des modes des trois bases F1, F2, F3 (ou fréquence globale),
- Masses modales des modes des trois bases,
- Amortissements réduits des trois bases,
- Masse ajoutée (modale + dimensionnelle, linéique, dimensionnelle, linéique + adimensionnelle), au repos
- Amortissement ajouté, au repos et en écoulement, sous les trois formes citées ci-dessus, et amortissement réduit (noté en général ξ)
- Raideur ajoutée, en écoulement (elle est nulle au repos), sous les trois mêmes formes,

Les trois colonnes (en vert à l'ouverture) servent à l'appariement des modes. Pour appairer les modes des trois bases, l'outil de MAC est encore disponible. Si deux modes en eau ou en écoulement sont fortement colinéaires à un unique mode en air, cela peut être du au couplage par le fluide. Ainsi, par exemple, un mode de flexion pour deux poutres non couplées en air se transforme en deux modes couplés par le fluide, en phase et en opposition de phase (cf figure ci-dessous).

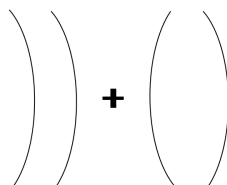


Figure 6.2-a : modes en phase et en opposition de phase de deux poutres couplées par le fluide.

Les fréquences de ces deux modes sont alors sensiblement différentes, et comme dans la plupart des cas, seul une des poutres a été instrumentée, on ne peut pas faire la différence entre les deux déformées (le MAC indique donc qu'elles sont fortement colinéaires).

MEIDEE propose alors d'utiliser la méthode globale. Celle développée par Granger (cf R4.07.07) est proposée par défaut dans les méthodes disponibles. Elle calcule une fréquence globale correspondant aux deux fréquences en eau.

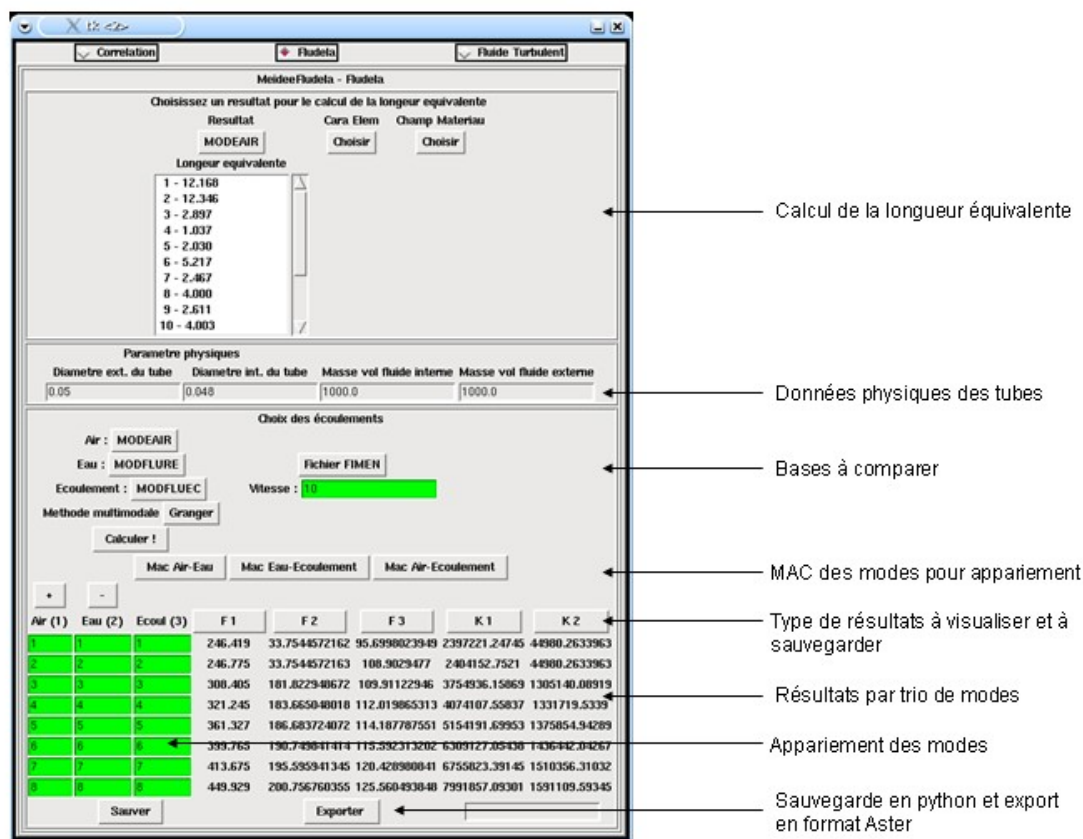


Figure 6.2-b : onglet fludela.

7 MEIDEE turbulent mono-modal (MEIDEE_TURBULENT)

7.1 Mots-clés en mode non-interactif

7.1.1 Mot clé BASE

◆ BASE = base

Ce mot-clé désigne la base de mode nécessaire pour calculer les longueurs de corrélations généralisées. Il s'agit d'un concept de type mode_meca. Le calcul de longueur de corrélations généralisées se fait par double intégration selon une méthode des trapèzes, il est donc important d'utiliser une base avec une discrétisation spatiale suffisamment fine le long de la poutre. Cette base peut être obtenue par expansion d'une base expérimentale.

7.1.2 Mot clé MESURE

◆ MESURE = mesure

Ce mot-clé désigne la base modale identifiée expérimentalement. Cette donnée est utile pour calculer la déformée modale du mode fondamental au niveau des capteurs de mesure.

7.1.3 Mot clé INTE_SPEC

♦.INTE_SPEC = intsp

Inter-spectre qui sera utilisé pour le mode non-interactif en tant que déplacements, pour retrouver les efforts associés.

7.1.4 Mots clés NUME_MODE_DECONV et NUME_MODE_LOCAL

♦.NUME_MODE_DECONV = L_I

♦.NUME_MODE_LOCAL = L_I

On précise le numéro d'ordre du mode fondamental retenu dans la base (identifiée ci-dessus par le mot clé BASE) utilisé dans la méthode de déconvolution unimodale, ainsi que la liste des numéros d'ordre des modes supplémentaires pour application de la méthode des excitations modales locales.

7.2 Utilisation en mode interactif

L'IHM associée à cette fonctionnalité est la suivante :

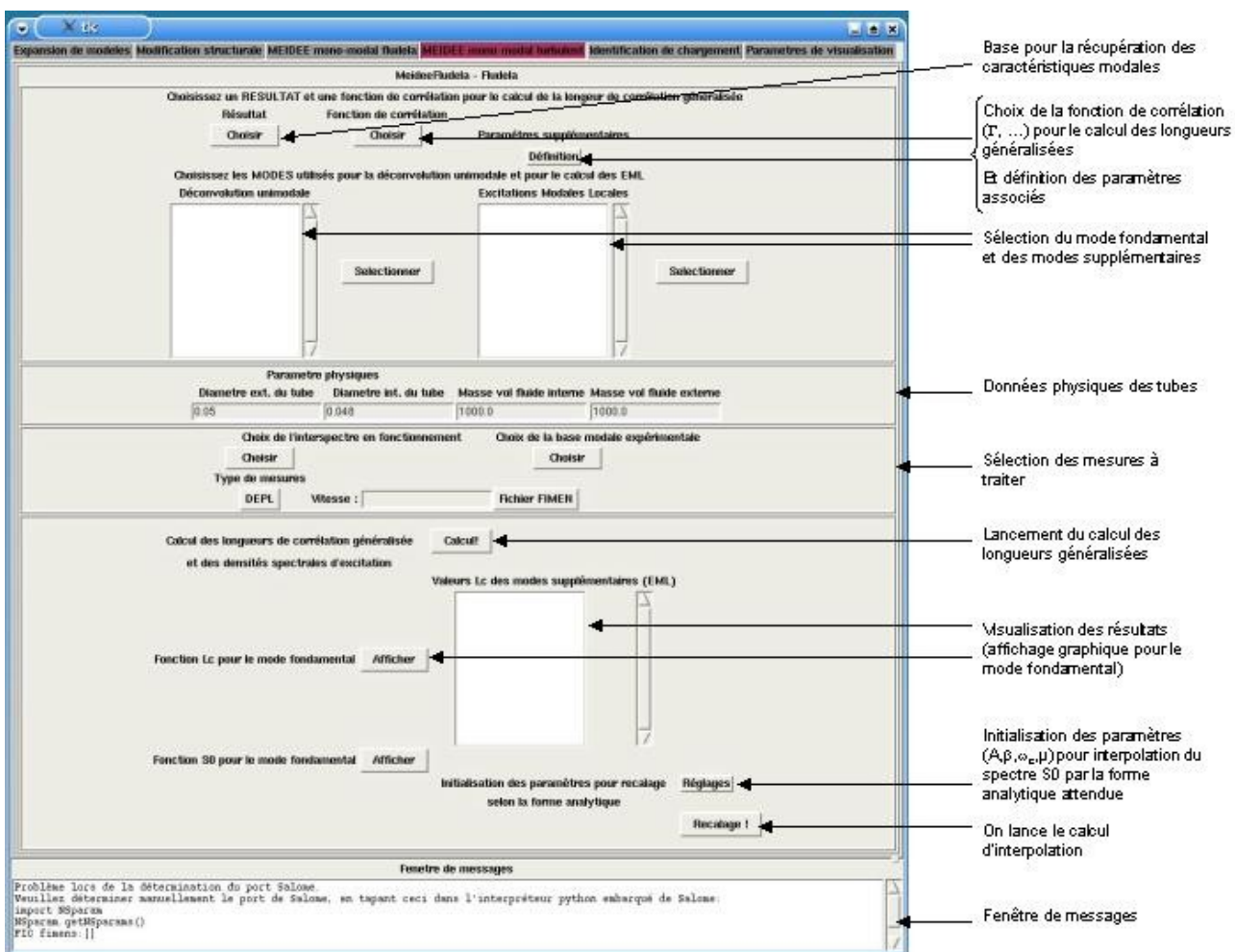


Figure 7.2-a : onglet « MEIDEE mono-modal turbulent ».

7.2.1 Rappel des principes théoriques

La densité spectrale des forces turbulentes est donnée par une forme analytique du type :

$S_{\phi_i}(\alpha_1, \alpha_2, \omega) = S_0(\omega) \cdot \Gamma(\alpha_1, \alpha_2, \omega)$, le résultat de sortie de l'onglet « MEIDEE turbulent mono-modal » est la fonction $S_0(\omega)$.

Deux méthodes se complètent pour estimer cette fonction. La méthode des excitations modales locales (EML) va fournir pour chaque mode (dits modes supplémentaires) retenu dans la base une valeur ponctuelle du spectre d'excitation. Elle permet d'enrichir une seconde méthode, dite de déconvolution unimodale, qui à partir de la donnée du mode fondamental (ω_1) estime un spectre d'excitation continu pour les pulsations $\omega \leq \omega_1$.

La méthode de déconvolution unimodale permet d'estimer la fonction : $S_0(\omega) = \frac{S_{uu}(x_0, x_0, \omega)}{\Phi_1(x_0) |G_1(\omega)| Lc_1^2(\omega)}$

La méthode des EML permet d'estimer les valeurs ponctuelles : $S_0(\omega_i) = \frac{4(M_i + Ma_i)^2 \xi_i \omega_i^3 \sigma_i^3(x_0)}{\Phi_i^2(x_0) Lc_i^2(\omega_i)}$

On se reportera au document de référence R4.07.07 pour le détail de chacune de ces deux méthodes.

7.2.2 Exécution du calcul

La première étape de calcul consiste à calculer la fonction $S_0(\omega)$ et les valeurs discrètes $S_0(\omega_i)$, elle se décompose en deux temps :

- calcul de la longueur de corrélation généralisées $Lc_i^2(\omega)$ pour le mode fondamental et des valeurs ponctuelles $Lc_i^2(\omega_1)$ pour les modes supplémentaires (EML). Il s'agit de calculer la double intégrale $\int_0^L \int_0^L \Gamma(x_1, x_2, \omega) \cdot \Phi_i(x_1) \cdot \Phi_i(x_2) dx_1 dx_2$ où la fonction $\Gamma(x_1, x_2, \omega)$ est une fonction analytique que l'on choisie.

Le modèle général « GAMMA », à ce jour implanté, est de la forme :

$$\Gamma(x_1, x_2, \omega) = \exp\left(\frac{|x_1 - x_2|}{\lambda_d}\right) \cdot \exp\left(l_d \frac{x_1 + x_2}{2}\right) \cdot \exp\left(j \omega \frac{x_2 - x_1}{\gamma_c}\right)$$

- calcul de la fonction $S_0(\omega)$ et des valeurs ponctuelles $S_0(\omega_i)$.

Dans la seconde étape :

- on interpole le spectre obtenu par une formule analytique générale :

$$\hat{S}_0(\omega) = \frac{A}{\left(1 - \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^{\frac{\beta}{2}}\right)^2 + 4\mu^2 \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^{\frac{\beta}{2}}} ,$$

Cette étape est réalisée par l'opérateur MACR_RECAL (U4.73.02), pour lequel on doit renseigner les valeurs initiales, minimales et maximales des paramètres A , ω_c , β et μ .

- La visualisation de la fonction $S_0(\omega)$ permet à l'opérateur d'estimer les valeurs à renseigner pour ces 4 paramètres. Au final, MACR_RECAL fournit les valeurs optimales des paramètres A ,

ω_c , β .et μ , à partir desquelles on reconstruit la fonction interpolée $\hat{S}_0(\omega)$,
donnée de sortie de MEIDEE_TURBULENT.

8 Identification d'efforts localisés *a priori* (IDENTIFICATION)

8.1 Mots-clés en mode non-interactif

8.1.1 Mot clé INTE_SPEC

◆ INTE_SPEC = intsp

Inter-spectre qui sera utilisé pour le mode non-interactif en tant que déplacements, pour retrouver les efforts associés.

8.1.2 Mots clés OBSERVABILITE et COMMANDABILITE

◆ OBSERVABILITE = observ
◆ COMMANDABILITE = command

Concept de type mode_meca. Correspondent respectivement aux objets $C\Phi$ et $\Phi^T B$ décrits dans la section 8.2. En mode interactif, on peut les créer à partir d'un modèle, d'une base de déformées et d'un assistant de sélection des DDL actifs. En mode non-interactif, on peut soit choisir un mode_meca brut, soit le fabriquer avec l'opérateur OBSERVATION (U4.90.03).

8.1.3 Mots-clés ALPHA et EPS

◆ ALPHA = reel
◆ EPS = reel

Paramètres de régularisation. Plus de détails section 8.2.2. Le paramètre m n'est pas paramétrable en non-interactif, il est fixé à 0.

8.2 Utilisation en mode interactif

L'IHM associée à cette fonctionnalité est la suivante :

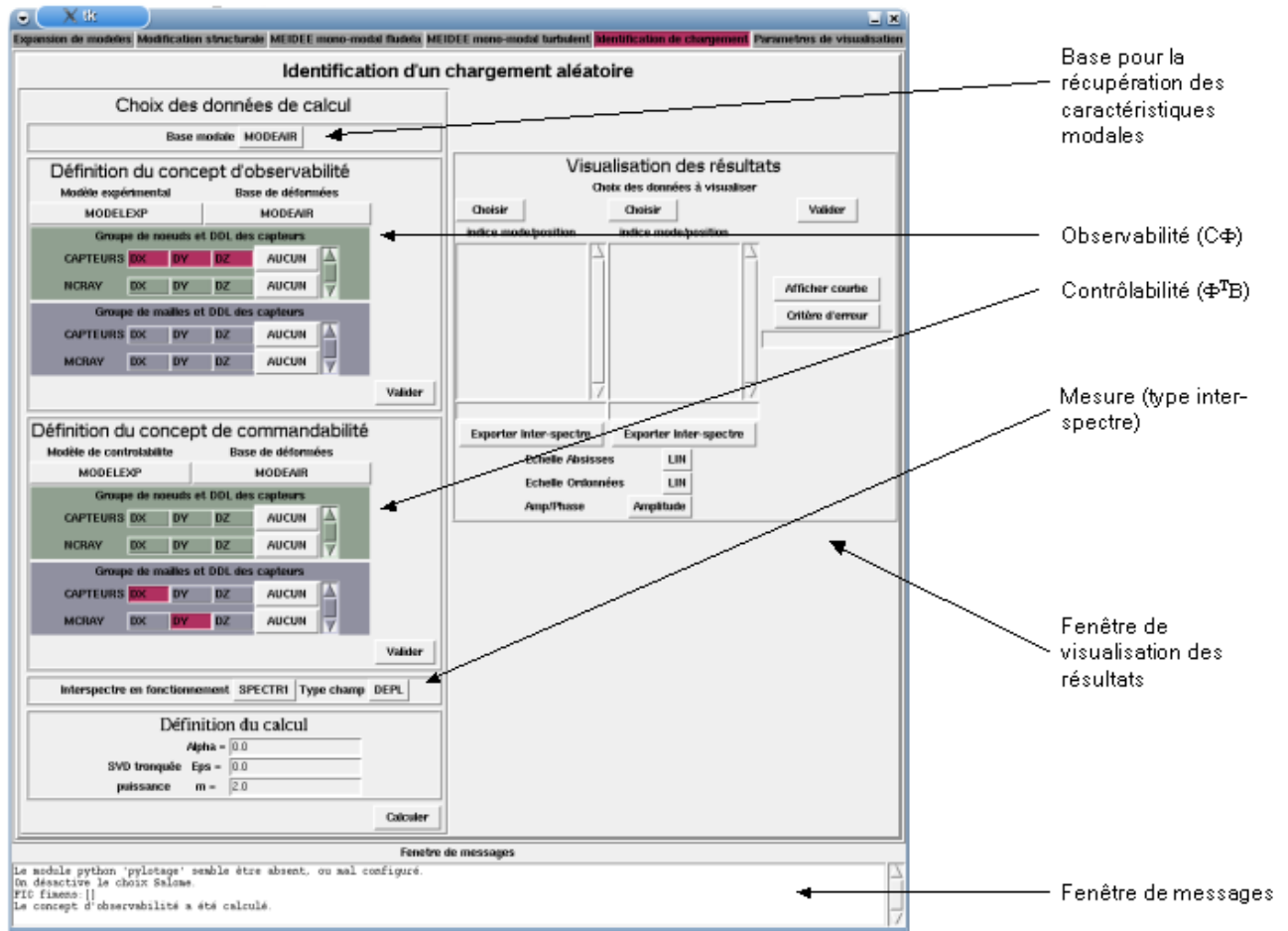


Figure 8.2-a : onglet identification d'efforts.

8.2.1 Rappel des principes théoriques

L'identification des efforts suppose que l'on peut décomposer le mouvement de la structure étudiée sur base modale :

$$y = [C \Phi] \cdot [Z]^{-1} \cdot [\Phi^T B] \cdot f$$

Φ est une base de déformées modales associée à la structure étudiée. En théorie, il s'agit de la base des déformées continues. En pratique, on utilise en général une base définie sur un modèle numérique avec une discrétisation relativement fine. Cette base peut être calculée numériquement, ou être le résultat d'une expansion modale. L'opérateur C permet de projeter cette base de déformées sur le sous-espace des DDL observables.

L'opérateur B permet de projeter la base de déformées sur un ensemble de DDL appelés actionneurs : on trouve ici une des hypothèses fondamentales de l'identification : **les efforts identifiés sont localisés sur des DDL déclarés a priori** par l'utilisateur, comme on l'a fait pour déclarer les DDL de mesure (utilisation de l'opérateur OBSERVATION). L'objectif est de diminuer au maximum le nombre d'inconnues à déterminer, ce qui permet d'éviter les problèmes de sous-détermination du problème. Identifier les efforts revient à inverser le système ci-dessus :

$$f = [\Phi^T B]^{-1} [Z] \cdot [C \Phi]^{-1} y \quad (8-1)$$

NB : la base Φ peut être différente à droite et à gauche de Z : c'est le cas lorsque les mesures disponibles sont des déformations. L'équation reliant l'effort à la mesure s'écrit alors :

$$f = [\Phi^T B]^{-1} [Z] [C \Psi]^{-1} \epsilon \quad (8-2)$$

où la matrice Ψ est la donnée des modes en déformation. Attention cependant : écrire cette dernière équation est un abus de langage, car le passage des déplacements aux déformations devrait normalement s'écrire dans l'opérateur de projection (qui, rappelons-le, est linéaire dans le cas de petites déformations), et non en remplaçant Φ par Ψ . Mais en pratique, on importe souvent une base de modes Ψ directement depuis les logiciels de mesure.

8.2.2 Les concepts à utiliser

Observabilité et commandabilité :

Le calcul de $[C \Phi]$ se fait dans le cadre « Définition du concept d'observabilité », dans lequel on donne la base de modes Φ , et un modèle expérimental qui contient les DDL sur lesquels on la projette. On choisit dans les DDL du modèle expérimental (regroupés par groupes de noeud et de maille) les DDL correspondant à la mesure. On peut ainsi ne choisir qu'une seule direction si on a utilisé durant la mesure des capteurs mono-axiaux. Il est par ailleurs possible d'effectuer un changement de repère. Pour plus de détail, se reporter à la documentation de l'opérateur OBSERVATION (U4.90.03).

- **Il est important que les nœuds les composantes déclarées dans l'inter-spectre soient cohérentes avec les degrés de liberté du concept d'observabilité.** Dans le cas où l'inter-spectre est lu par LIRE_INTE_SPEC (FORMAT = 'IDEAS'), les nœuds sont définis en en-tête de chaque dataset ; la table alors créée par cet opérateur garde les notations de ce fichier.

Le calcul de $[\Phi^T B]$ se fait dans le cadre « Définition du concept de commandabilité ». Le choix des DDL et les changements de repères potentiels se font selon la même règle. Chaque onglet possède un bouton de choix de base, ce qui permet, comme pour l'équation 8-2, d'utiliser deux bases différentes.

Régularisation :

L'inversion de la fonction de transfert se fait en deux étapes :

- inversion de $[C \Phi] [Z]^{-1}$, qui permet de calculer les efforts modaux,
- inversion de $[\Phi^T B]$, qui permet de calculer les efforts sur base physique.

Ces deux étapes se font par SVD (SVD de LinearAlgebra, module de python, qui fait appel à une librairie lapack_lite, dans le paquet Numeric). Il est possible de régulariser l'inversion de trois manières :

- 1) troncature de la SVD (paramètre ϵ),
- 2) régularisation de Tikhonov (paramètre α),
- 3) contrôle de la pente : il est possible de multiplier le paramètre α par $(\omega - \omega_i)^m$, où ω_i est la pulsation propre du mode et m un paramètre à déterminer ; cela permet de contrôler la pente de la courbe obtenue pour les hautes fréquences, lorsque le signal mesuré est fortement bruité en HF.

8.2.3 Visualisation des résultats

Dans la colonne de droite, on peut visualiser les fonctions suivantes :

- inter-spectre mesuré (Depl phy),
- efforts modaux (Eff mod),
- déplacements physiques reconstitués à partir des efforts modaux (Depl phy r),
- efforts physiques (Eff phy),
- efforts modaux reconstitués à partir des efforts physiques (Eff mod r),
- déplacements physiques resynthétisés à partir des efforts physiques (Eff synt),
- valeurs singulières de la matrices $[C \Phi] [Z]^{-1}$ (Valeurs sing),
- paramètre de régularisation $\alpha (\omega - \omega_i)^m V$ (regul), où V est la matrices des vecteurs propres à

droite de $[C \Phi] [Z]^{-1} \quad ([C \Phi] [Z]^{-1} = [U] \cdot \text{diag}(\sigma_i) [V^H])$.

En cliquant sur « Exporter inter-spectre », on crée un concept sortant la macro. Il n'est pas possible de choisir le nom, celui-ci ayant été pré-déclaré en entrée de la macro-commande, mais on peut ajouter un titre.

En cliquant sur « Afficher courbe », après avoir sélectionné les courbes à visualiser dans les 2 colonnes, on lance le visualiseur (XMGrace ou Salomé).

8.3 Concepts produits (mot-clé RESU_IDENTIFICATION)

```
◇ RESU_IDENTIFICATION = _F( TABLE = CO('nom_table') ),
```

Le mot-clé RESU_IDENTIFICATION permet de déclarer les noms des concepts créés dans cet partie de la macro-commande. Les inter-spectres identifiés sont exportés dans Code_Aster sous forme de table_fonction.