

**Manuel d'Utilisation**  
**Fascicule U4.9- : Identification en calcul des structures**  
**Document : U4.90.01**

## Macro-commande `MACRO_VISU_MEIDEE`

---

### 1 But

---

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

- Expansion de modèle expérimental 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`)
- efforts dépendant du mouvement de la structure, dits « fluide-élastiques », sous forme de paramètres modaux ajoutés : ce sont les masses, raideurs et amortissements ajoutés mode à mode,
- efforts ne dépendant pas du mouvement de la structure, dits « turbulents » sous forme d'inter-spectres : ils sont obtenus par inversion du modèle modale et par localisation des efforts sur des points d'excitation choisis *a priori*.

## 2 Syntaxe

MACRO\_VISU\_MEIDEE

```

(◇ INTERACTIF = / 'OUI',                                [DEFAULT]
                                     / 'NON',
◇ UNITE_RESU = / unit,                                    [I]
               / 8,                                       [DEFAULT]
◇ UNITE_FIMEN = unit,                                    [I]
◇ RESULTAT = _F(◇ TABLE = tab,                          [TABLE]
                ◇ TYPE_TABLE = / 'TABLE',                [DEFAULT]
                               / 'TABLE_FONCTION'
                ),

```

### En mode non interactif

1. Pour effectuer l'expansion d'un modèle expérimental sur base numérique (MACRO\_EXPANS)

```

◇ EXPANSION = _F(◇ CALCUL = calcul,                        [MODE_MECA]
                ◇ MESURE = mesure,                        [MODE_MECA]
                ◇ RESOLUTION = / 'SVD',                   [DEFAULT]
                               / 'LU' ,
                SI RESOLUTION = 'SVD',
                ◇ EPS = / 0.                                [DEFAULT]
                               / epsilon,                  [R]
                ),

```

2. Pour identifier des efforts fluides-élastiques (masses, raideurs et amortissements ajoutés)

```

◇ FLUIDE_ELASTIQUE = _F( ◇ MESURE1 = mode_meca_1,        [MODE_MECA]
                        ◇ MESURE2 = mode_meca_2,        [MODE_MECA]
                        ◇ MESURE3 = mode_meca_3,        [MODE_MECA]
                        ◇ RESU_EXPANSION = / 'OUI',      [DEFAULT]
                               / 'NON'
                        SI RESU_EXPANSION = 'NON'
                        ◇ BASE = base,                  [MODE_MECA]
                        ),

```

3. Pour identifier des inter-spectres d'efforts turbulents à partir d'inter-spectre de mesures

```

◇ TURBULENT = _F(◇ OBSERVABILITE = mode_meca_obs,       [MODE_MECA]
                ◇ COMMANDABILITE = mode_meca_com,      [MODE_MECA]
                ◇ INTE_SPEC = intsp,                   [TABLE_FONCTION]

```

```

      ◆ IDENTIFICATION_MOMENTS = / 'OUI' ,
                                   / 'NON'           [DEFAULT]

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

      SI RESU_EXPANSION = 'NON'
      ◆ BASE = base,                      [MODE_MECA]

      ◇ EPS = / 0.                      [DEFAULT]
              /epsilon,                  [R]
      )

) ;
```

## 3 Introduction

La macro-commande `MACRO_VISU_MEIDEE` permet de réaliser des calculs d'identification à partir de données mesurées : expansion de données expérimentales sur modèle numérique, identification d'efforts, et prochainement, 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 :

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

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

- Visualisation de déformées (avec GMSH, prochainement avec le visualiseur VTK de Salomé),
- Visualisation de courbes (avec XMGrace),
- Visualisation de MAC (opérateur `MAC_MODE`, avec Tk).

## 4 Opérandes

### 4.1 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.

### 4.2 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).

### 4.3 Mot clé `RESULTAT`

◇ `RESULTAT`

Mot clé facteur pour la définition des concepts sortants. Pour chaque résultat sortant, on donne son nom et le type de résultat.

#### 4.3.1 Opérandes `TABLE`

◆ `TABLE = tab`

On écrit `TABLE = CO('nom_tab')` pour définir le concept sortant et le nommer.

#### 4.3.2 Opérandes `TYPE_TABLE`

◆ `TYPE_TABLE = 'TABLE', 'TABLE_FONCTION'`

Les concepts issus du module « fludela » (calcul de coefficients fluide-élastiques) sont des tables de données, ceux issus du module « turbulent » (calcul d'inter-spectres d'effort) sont des inter-spectres, donc des tables de fonction. Le type doit se faire a priori.

## 4.4 Mot clé facteur EXPANSION

◆ `MODELE_MESURE = _F()`

Mot-clé facteur dans lequel on range les données nécessaires à l'expansion de modèle. L'expansion modale consiste à lancer la macro-commande `MACRO_EXPANS` (cf doc utilisateur U4.90.02). En mode non-interactif, l'utilisation de `MACRO_VISU_MEIDEE` n'a pas vraiment d'intérêt, il vaut mieux utiliser directement `MACRO_EXPANS`.

De plus, certaines données sont actuellement codées en dur dans le fichier python `meidee_test.py` pour permettre le passage de cas-tests (comme la sélection des numéros de modes pour la base d'expansion, par exemple).

### 4.4.1 Mot-clé MESURE

◆ `MESURE = mesure,`

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

### 4.4.2 Mot-clé CALCUL

◆ `MESURE = mesure,`

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

### 4.4.3 Mot-clé 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 04.73.01).

## 4.5 Mot clé FLUIDE\_ELASTIQUE

◆ `FLUIDE_ELASTIQUE = _F()`

Mot-clé facteur rassemblant les données nécessaires à la réalisation d'un calcul fluide-élastique, qui consiste à comparer trois bases de modes, en air, en fluide au repos, et en écoulement, pour en tirer, mode à mode, les masses, raideurs et amortissements ajoutés. On se référera à la documentation de référence (cf R4.07.07).

### 4.5.1 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.

### 4.5.2 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).

### 4.5.3 Mot clé BASE

- ◆ `BASE = base`

Si le mot-clé 'RESU\_EXPANSION' vaut 'NON', alors il est nécessaire de renseigner une base de mode (concept `mode_meca`) pour calculer les longueurs équivalentes.

## 4.6 Mot-clé TURBULENT

- ◆ `TURBULENT = _F()`

Mot-clé facteur rassemblant les données nécessaires à la réalisation d'un calcul d'identification d'efforts turbulents sur une structure filaire. Actuellement, seule les mesures selon la degré de liberté DX sont exploités par l'opérateur, pour une poutre construite selon l'axe Y. On va identifier des efforts ponctuels selon DX, et éventuellement selon DZ.

### 4.6.1 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.

### 4.6.2 Mot clé OBSERVABILITE

- ◆ `OBSERVABILITE = observ`

Concept de type `mode_meca`. On n'utilise cependant actuellement que le modèle associé à

## 5 Utilisation de l'interface graphique

### 5.1 Onglet Corrélation

Cette partie permet de diriger le lancement de la macro-commande `MACRO_EXPANS`, qui effectue les opérations suivantes :

- `PROJ_MESU_MODAL`,
- `REST_BASE_PHYS`,
- `PROJ_CHAMP`.

On peut actuellement étendre des bases de modes expérimentales. La macro-commande peut également être utilisée pour l'expansion de FRF (données de type *dyna\_harmo*), mais l'utilisation de celle-ci dans l'IHM avec des FRF n'est pas adaptée.

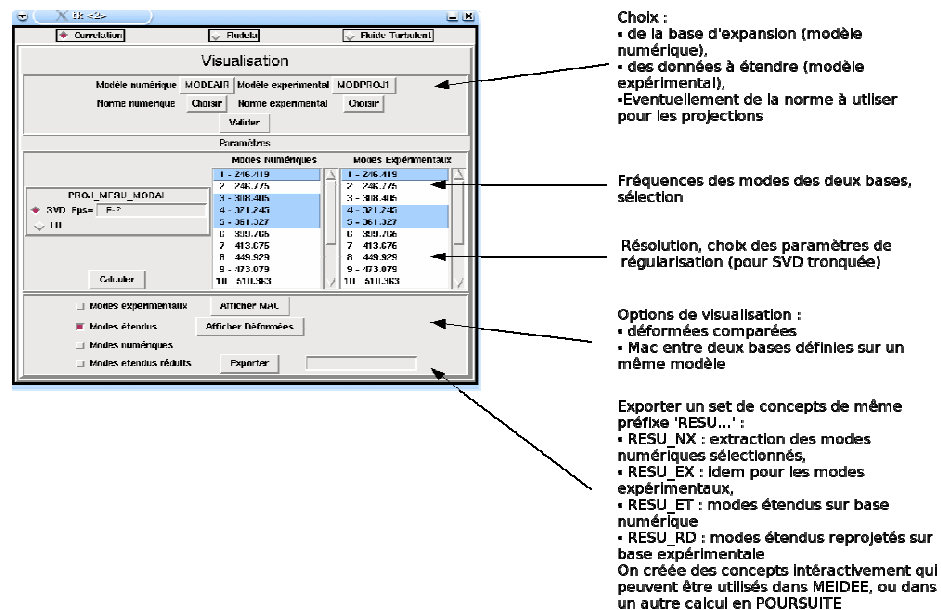


Figure 1 : onglet corrélation.

Après avoir sélectionné les modes expérimentaux à étendre (liste de droite) et les modes numériques servant de base d'expansion (liste de gauche), ainsi que les méthodes de résolution, on lance `MACRO_EXPANS` en cliquant sur « Calculer ». La macro-commande crée les 4 concepts temporaires aster `tmp_NX`, `tmp_EX`, `tmp_ET` et `tmp_RD`. Ces concepts correspondent aux 4 possibilités de visualisation que l'on peut cocher :

- « Modes expérimentaux » correspond à `tmp_EX`,
- « Modes étendus » correspond à `tmp_ET`,
- « Modes numériques » correspond à `tmp_NX`,
- « Modes étendus réduits » correspond à `tmp_RD`.

On peut ainsi visualiser plusieurs bases de déformées parmi ces concepts simultanément, ou tracer un MAC entre deux bases modales, à condition que celles-ci soient définies sur le même `NUME_DDL`.

Pour créer un concept Aster non temporaire, donner un nom dans la case en bas à droite et cliquer sur « exporter ». Le nom ne doit pas comporter plus de 5 caractères, car MEIDEE rajoute les suffixes `_NX`, `_EX`, `_ET`, `_RD`.

## 5.2 Onglet « fludela »

Cet onglet comporte les étapes de calcul suivantes :

- calcul de la longueur équivalente  $\int \phi^2 dx$  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, 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  $\xi$ )
- 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 apparier 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 en en opposition de phase (cf figure ci-dessous).

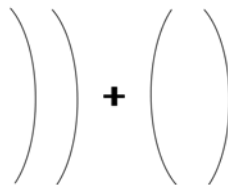


Figure 2 : modes en phase et en opposition de phase de deux poutres couplées par le fluide.

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.



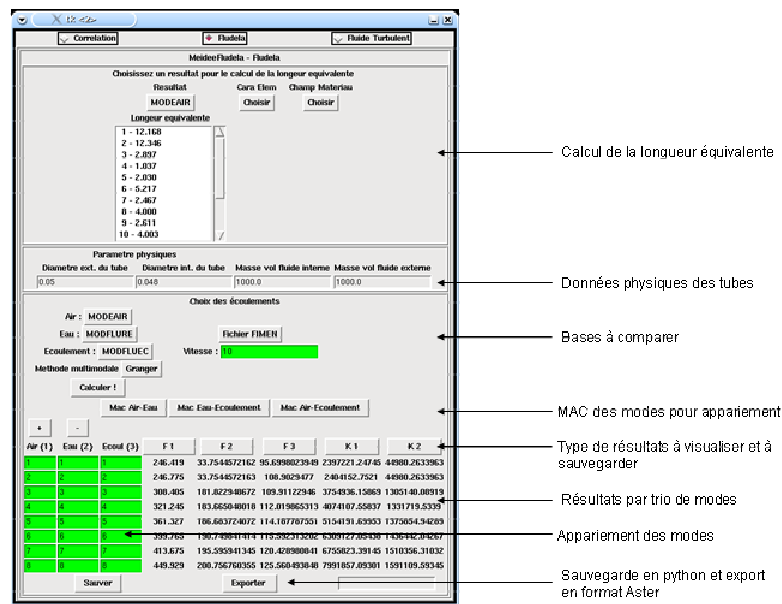


Figure 3 : onglet fludela.

### 5.3 Onglet « turbulent »

La méthode « turbulent » résout un problème inverse sur base modale. On rappelle les équations fondamentales de ce problème :

- problème direct : calculer la réponse aux points d'expérimentation d'un effort :

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

$\Phi$  est la base modale choisie, définie sur un modèle « de bonne qualité », à laquelle sont associés des paramètres modaux (matrice d'impédance  $Z$ ).  $C$  est la matrice d'observabilité : passage des DDL du modèle « de bonne qualité » au modèle expérimental, plus restreint, et  $B$  est la matrice de commandabilité : passage des DDL de ce même modèle vers les DDL où sont appliqués les efforts.

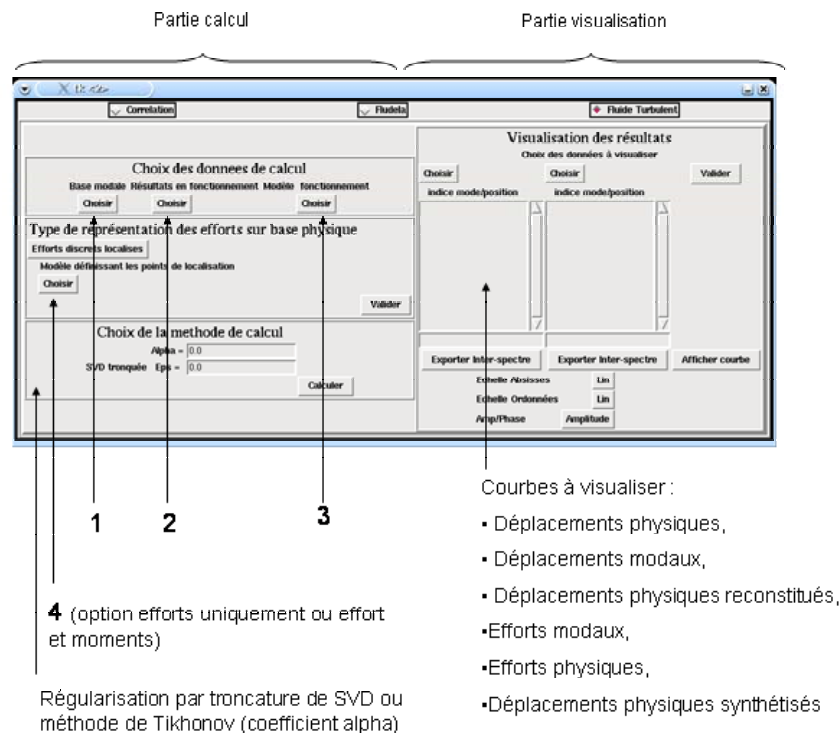
- problème inverse, que l'on résout dans MEIDEE :

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

On a donc besoin pour effectuer le calcul :

- d'une base modale (`sd_resultat`), dans laquelle on va chercher les fréquences propres, amortissements modaux et masses modales, pour construire la matrice  $[Z]$ ,
- d'un résultat de mesures en fonctionnement donné sous la forme d'un inter-sectre.
- d'un maillage/modèle capteur pour fabriquer  $[C]$ ,
- d'un maillage/modèle de commande pour fabriquer  $[B]$ .

Précision : pour fabriquer  $[C]$  et  $[B]$ , on doit juste donner les DDL de la mesure et de la projection des efforts. Ainsi, si on souhaite identifier des efforts et des moments aux grilles, il suffit de définir un maillage filaire dont les nœuds ont les coordonnées des grilles et pour lequel on choisit une modélisation `DIS_TR`. On rappelle cependant que MEIDEE ne lisant que des `sd_resultat`, il est en plus nécessaire de définir une `sd_resultat` en projetant, par exemple, une base modale sur le modèle défini. Cette difficulté a pour vocation de disparaître par la suite.



Le tracé des courbes se fait avec `xmgrace`. L'interface permet de visualiser des courbes venant de deux inter-spectre différents, pour, par exemple, comparer des inter-spectres de déplacements et de déplacements resynthétisés. Ainsi, en choisissant le type de courbe à visualiser, puis en cliquant sur « valider », on voit l'ensemble des fonctions de l'inter-spectre, chacune étant associée aux nœuds ou aux modes auxquels elle est rattachée.

En cliquant sur « Exporter inter-spectre », on crée une *table fonction* dont le nom a été défini en amont de la macro-commande, qui peut s'utiliser dans la suite du calcul.