Opérateur PROJ_MESU_MODAL

1 But

Extrapoler des mesures expérimentales sur un modèle numérique en dynamique.

Les données expérimentales peuvent être des déplacements, des vitesses, des accélérations, des déformations ou des contraintes. Elles sont définies en tant que fonction du temps ou de la fréquence, ou sous forme de liste.

Il s'agit de calculer les coordonnées généralisées de la mesure relatives à une base d'expansion définie sur le modèle numérique. Cette base d'expansion (déformées, contraintes ou déformations) est calculée au préalable suivant un concept de type mode_meca. Les vecteurs de base sont ensuite restreints aux degrés de liberté mesurés. L'association spatiale entre les points de mesure et les nœuds du maillage numérique peut se réaliser manuellement ou/et automatiquement. Le calcul des coordonnées généralisées est réalisée par résolution d'un problème de minimisation de type moindres carrés, éventuellement régularisé suivant la méthode de Tikhonov.

Est applicable à tout type de modèle (1D, 2D et 3D).

Produit une structure de données de type tran_gene, harm_gene ou mode_gene.

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

Table des matières

1But....1
2Syntaxe....3
3Opérandes....4
3.1Mot-clé facteur MODELE_CALCUL....4
3.1.1Opérande MODELE....4
3.1.2Opérande BASE....4
3.2Mot-clé facteur MODELE_MESURE....4
3.2.1Opérande MODELE....4
3.2.2Opérande MESURE....4
3.2.3Opérande NOM_CHAM....5
3.3Opérande NOM_PARA....5
3.4Mot-clé facteur CORR_MANU....5
3.4.1Opérande NOEU_MESURE....5
3.4.2Opérande NOEU_CALCUL....5
3.5Mot-clé facteur RESOLUTION....6
3.5.1Opérande METHODE....6
3.5.2Opérande EPS....6
3.5.3Opérande REGUL....6
3.5.4Opérandes COEF_PONDER et COEF_PONDER_F....7
4Phase de vérification et d'exécution....7
4.1Calcul de la base d'expansion restreinte aux degrés de liberté mesurés....7
4.2Calcul des coordonnées généralisées....7
5Exemple d'utilisation de PROJ_MESU_MODAL....8
6Bibliographie....10

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

2 Syntaxe

```
repgene [*_gene] = PROJ_MESU_MODAL
   (  ♦  MODELE_CALCUL=
            _F(♦  BASE   = base                                  [mode_meca]
                ♦ MODELE = mocalc                                [modele]
                  ),
         ♦    MODELE_MESURE =
            _F(♦  MESURE = mesure                        /       [dyna_trans]
                                                         /       [dyna_harmo]
                                                         /       [mode_meca]
                                                         /       [mode_meca_c]

               ♦  MODELE = mostru                                [modele]
               ◊  NOM_CHAM  =   |  'DEPL'                        [DEFAUT]
                                |  'VITE'
                                |  'ACCE'
                                |  'SIEF_NOEU'
                                |  'EPSI_NOEU'
                  ),
      ◊  NOM_PARA  =  lpara                                      [l_Kn]
      ◊  CORR_MANU =
            _F(♦  NOEU_MESURE  = no1                             [noeud]
                ♦ NOEU_CALCUL  = no2                             [noeud]
                  ),
      ◊  RESOLUTION   =
            _F( ◊ METHODE   =  /  'LU'                           [DEFAUT]
                               /  'SVD'
                  Si  METHODE = 'SVD'  alors :
                                  ◊  EPS=  /  0.                 [DEFAUT]
                                           /  eps                [R]
                ◊ REGUL  =  /  'NON'                             [DEFAUT]
                            /  'NORM_MIN'
                            /  'TIK_RELA'
                  Si  REGUL != 'NON'  alors :
                              ◊  /  COEF_PONDER  =  /  0.        [DEFAUT]
                                                   /  w          [l_R]
                                 /  COEF_PONDER_F=  w_f          [l_fonction]
                  ),
    )


Si mesure = [dyna_trans]      alors repgene = [tran_gene]
Si mesure = [dyna_harmo]      alors repgene = [harm_gene]
Si mesure = [mode_meca]       alors repgene = [mode_gene]
Si mesure = [mode_meca_c]     alors repgene = [mode_gene]
```


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

3 Opérandes

3.1 Mot-clé facteur MODELE_CALCUL

Ce mot-clé facteur regroupe les caractéristiques du modèle numérique sur lequel on veut extrapoler la mesure. Il ne doit apparaître qu'une seule fois.

3.1.1 Opérande MODELE

♦ MODELE = mocalc

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

3.1.2 Opérande BASE

♦ BASE = base

Nom de la base d'expansion. Cette base est de type mode_meca. Ce concept a éventuellement été enrichi, via la commande CALC_CHAMP, par les champs de déformations et/ou de contraintes modales calculés aux nœuds.

3.2 Mot-clé facteur MODELE_MESURE

Ce mot-clé facteur regroupe les informations sur le champ mesuré (observé) que l'on souhaite extrapoler sur le modèle numérique. Il ne doit apparaître qu'une seule fois.

3.2.1 Opérande MODELE

♦ MODELE = mostru

Nom du modèle associé à l'observation.

3.2.2 Opérande MESURE

♦ MESURE = mesure

Nom du champ mesuré.

Ce mot-clé détermine le type de concept produit par l'opérateur PROJ_MESU_MODAL. Si mesure est de type dyna_trans, le concept produit est de type tran_gene. Si mesure est de type dyna_harmo, le concept produit est de type harm_gene. Si mesure est de type mode_meca, ou mode_meca_c, le concept produit est de type mode_gene.

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

3.2.3 Opérande NOM_CHAM

◊ NOM_CHAM = | 'DEPL' [DEFAUT]
| 'VITE'
| 'ACCE'
| 'SIEF_NOEU'
| 'EPSI_NOEU'

Ce mot-clé permet de choisir le ou les champs à lire et à extrapoler. Les composantes du champ considérées sont celles qui ont été mesurées (observées) et lues dans mesure. Pour l'instant, on ne affecte pas de coefficient de pondération sur les différentes composantes du champ : chaque composante a le même poids lors de l'inversion.

3.3 Opérande NOM_PARA

◊ NOM_PARA = lpara

Liste des noms symboliques des paramètres des données mesurées que l'on souhaite transmettre au modèle généralisé.

3.4 Mot-clé facteur CORR_MANU

Ce mot-clé facteur permet à l'utilisateur de définir (surcharger) manuellement la correspondance entre le noeud d'observation et le noeud analogue du modèle numérique. Ce mot-clé facteur est facultatif, mais il peut apparaître autant de fois que nécessaire. Par contre, les opérandes sous ce mot-clé facteur vont par paire : un NOEU_MESURE doit avoir son NOEU_CALCUL associé.
Si ce mot-clé facteur est absent, l'association spatiale entre les points de mesure et les noeuds du maillage numérique s'effectue automatiquement en utilisant la fonction de forme de l'élément du modèle numérique pour déterminer la valeur du champ sur le point de mesure.

3.4.1 Opérande NOEU_MESURE

♦ NOEU_MESURE = no1

Ce mot-clé renseigne le nom du nœud d'observation que l'on souhaite associer au noeud du modèle numérique no2. Dans certains cas, le fichier de maillage associé à la mesure est au format universel (format Ideas), on ne peut donc pas savoir a priori le nom Aster associé au nœud. Il est donc nécessaire, dans ce cas, de lire le maillage issu de PRE_IDEAS, par LIRE_MAILLAGE afin de pouvoir affecter le nom du nœud.

3.4.2 Opérande NOEU_CALCUL

♦ NOEU_CALCUL = no2

Ce mot-clé renseigne le nom du nœud du modèle numérique que l'on souhaite associer au nœud d'observation no1.

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

3.5 Mot-clé facteur RESOLUTION

On définit ici la méthode de résolution à utiliser et les paramètres associés à cette méthode.

3.5.1 Opérande METHODE

◊ METHODE = / 'LU'
/ 'SVD'

On propose la méthode LU (décomposition en LU Lower-Upper) et la méthode SVD (décomposition en valeurs singulières) pour le calcul de la matrice inverse. Pour la méthode SVD, le nombre de valeurs singulières à prendre en compte dépend de la valeur de eps que l'utilisateur renseigne sous l'opérande EPS. Par défaut, on adopte la méthode LU.

3.5.2 Opérande EPS

Ce mot-clé est utilisé si on choisit la méthode SVD.

◊ EPS = / 0.
/ eps

Ce mot-clé donne la valeur à partir de laquelle une valeur singulière est considérée comme nulle. Il détermine ainsi le nombre de valeurs singulières à exploiter lors de la résolution. Un eps égal à zéro signifie que toutes les valeurs singulières sont à prendre en compte. eps égal à 1 signifie que l'on ne considère que la plus grande valeur singulière. Par défaut, on choisit EPS = 0.

3.5.3 Opérande REGUL

◊ REGUL = / 'NON'
/ 'NORME_MIN'
/ 'TIK_RELA'

REGUL permet de préciser la méthode de régularisation que l'on veut utiliser. Par défaut, on ne rajoute pas de régularisation (pas de contrainte supplémentaire sur la solution : REGUL = 'NON').
Actuellement, deux types de régularisation sont disponibles (norme minimale : REGUL = 'NORM_MIN' ou Tikhonov d'ordre 0 et Tikhonov "relatif" : REGUL = 'TIK_RELA').
On cherche à minimiser, pour chaque numéro d'ordre du champ mesuré, la fonctionnelle suivante par rapport à η :

$$|q_{\exp}-\bar{\Phi}_{num}\eta|^2+\alpha|\eta-\eta_{priori}|^2$$

avec :

- η : coordonnées généralisées relatives à la base d'expansion $\bar{\Phi}_{num}$.
- $q_{\exp}$: champ mesuré suivant les degrés de liberté d'observation.
- $\bar{\Phi}_{num}$: base d'expansion restreinte aux degrés de liberté d'observation.
- α : coefficients de pondération permettant de spécifier le poids affecté à l'information a priori sur la solution.

Suivant la méthode utilisée, les paramètres de la fonctionnelle précédente se déclinent comme suit :

Sans régularisation : $\alpha=0$

Norme minimale (NORM_MIN) : $\eta_{priori}=0$

Tikhonov "relatif" (TIK_RELA) : η_{priori} : solution trouvée au numéro d'ordre précédent

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

Il est déconseillé d'utiliser ce mot-clé lorsque le champ mesuré (mesure) est de type mode_meca.

3.5.4 Opérandes COEF_PONDER et COEF_PONDER_F

Ce mot-clé correspond au poids affecté à l'information a priori, α . Il est utilisé si on applique une régularisation à la solution η .

◊ / COEF_PONDER = coef

Liste des coefficients de pondération sur la solution a priori (méthode de régularisation de Tikhonov) [bib3].

/ COEF_PONDER_F= coef_f

Liste des fonctions de pondération sur la solution a priori (méthode de régularisation de Tikhonov). Les variables de ces fonctions sont les mêmes que celles du champ mesuré (mesure). Si le nombre de coefficients ou de fonctions de pondération donné est inférieur au nombre de vecteurs de base utilisés dans la base d'expansion, les coefficients ou fonctions de pondération des vecteurs supplémentaires sont pris égaux au dernier coefficient ou à la dernière fonction de la liste.

4 Phase de vérification et d'exécution

4.1 Calcul de la base d'expansion restreinte aux degrés de liberté mesurés

Dans un premier temps, le maillage de la mesure est projeté sur le maillage du modèle numérique. On détermine ensuite la participation des nœuds du modèle numérique pour chaque nœud de mesure via la fonction de forme de l'élément qui contient le nœud de mesure. La correspondance obtenue entre les nœuds est fournie dans le fichier MESSAGE de l'étude Aster.

Le deuxième traitement consiste à calculer la composante du champ (base d'expansion) au nœud de mesure suivant les degrés de liberté mesurés.

4.2 Calcul des coordonnées généralisées

La solution de l'équation de minimisation est donnée par :

$$\eta(0) = \left[\bar{\Phi}_{num}^T \bar{\Phi}_{num}\right]^{-1} \bar{\Phi}_{num}^T q_{\exp}(0)$$
$$\eta(i) = \left[\bar{\Phi}_{num}^T \bar{\Phi}_{num} + \alpha(i)\right]^{-1} \left(\bar{\Phi}_{num}^T q_{\exp}(i) + \alpha(i)\eta_{priori}\right)$$

Avec :

- $\eta(i)$: coordonnées généralisées pour le numéro d'ordre i (t_i ou f_i),
- $q_{\exp}(i)$: mesure au numéro d'ordre i,
- $\bar{\Phi}_{num}$: base d'expansion restreinte aux degrés de liberté de mesure,
- $\alpha(i)$: coefficients permettant de spécifier le poids affecté à l'information a priori au numéro d'ordre i. Ces variables ou fonctions sont définies par l'utilisateur dans les opérandes COEF_PONDER ou COEF_PONDER_F du mot-clé facteur RESOLUTION. Elles sont introduites sous la forme d'une liste de réels ou de fonctions et correspondent, terme à terme, à chaque vecteur de la base d'expansion retenue.

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

Suivant la méthode utilisée, les paramètres précédents se déclinent comme suit :

Sans régularisation : $\alpha = 0$

Norme minimale (NORM_MIN) : $\eta_{priori} = 0$

Tikhonov "relatif" (TIK_RELA) : $\eta_{priori} = \eta_{i-1}$

Remarque 1 :

Si un coefficient de pondération est négatif, le traitement s'arrête en erreur fatale.

Remarque 2 :

Si tous les coefficients de pondération sont nuls pour un numéro d'ordre donné et que le nombre de mesures est strictement inférieur au nombre de vecteurs de base, un message d'alarme est émis pour prévenir du risque de matrice singulière (en effet, dans ce cas, il n'y a pas unicité de la solution).

A l'issue du calcul, les coordonnées généralisées identifiées sont dérivées afin de calculer les vitesses et les accélérations correspondantes.

Le résultat de l'inversion est un concept de type tran_gene, harm_gene ou mode_gene.

5 Exemple d'utilisation de PROJ_MESU_MODAL

Pour les exemples d'utilisation, il est vivement conseillé de se rapporter aux cas tests SDLD104 et SDLV122.

On présente dans ce paragraphe les différentes étapes pour l'expansion de la mesure sur le modèle numérique.

- Lecture du maillage constitué des points de mesure :
  Cette opération a pour objectif de lire la position des points de mesure dans un fichier de type maillage. Le format de ce fichier doit être lisible par le *Code_Aster* (format GIBI, universel (I-deas) ou prochainement MED). Des mailles reliant les nœuds de mesure peuvent avoir été définies. Elles n'ont évidemment aucune signification physique mais permettront éventuellement de visualiser les résultats lors de la phase de post-traitement.
  Dans la majorité des cas, le maillage est issu d'un code de mesure expérimentale qui fournit un fichier au format universel (format I-deas). Pour le transformer en format Aster, on utilise l'opérateur PRE_IDEAS.

```
PRE_IDEAS(UNITE_IDEAS = 19, UNITE_MAILLAGE = 21,)
mailmesu = LIRE_MAILLAGE ( UNITE = 21,)
```

- Affectation d'un modèle mécanique au maillage :
  Cette opération a pour objectif de définir le modèle du support des nœuds du maillage constitué des points de mesure. Deux cas peuvent être envisagés : affectation d'une modélisation DIS_T (discret en translation => 3 degrés de liberté par nœud : DX, DY et DZ) ou affectation d'une modélisation DIS_TR (discret en translation - rotation => 6 degrés de liberté par nœud : DX, DY, DZ, DRX, DRY et DRZ) dans le cas où des mesures de rotation sont réalisées.

```
modlmesu = AFFE_MODELE (  MAILLAGE  = mailmesu,
                           AFFE  = _F( GROUP_NO  = 'noeumesu',
                                       MODELISATION = 'DIS_T',
                                       PHENOMENE    = 'MECANIQUE',),
                          )
```

- Lecture de la mesure :

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

La mesure peut être lue via l'opérateur LIRE_RESU. Cet opérateur permet de lire un fichier au format universel (dataset 58). Il récupère la composante du champ observé et l'affecte au modèle correspondant.

```
mesure = LIRE_RESU  (   FORMAT = 'IDEAS_DS58',
                        UNITE = 33,
                        MAILLAGE = mailmesu,
                        TYPE_RESU = 'DYNA_TRANS',
                        NOM_CHAM = 'SIEF_NOEU',)
```

- Définition de la base d'expansion :
  La base d'expansion doit être du type mode_meca. Ce concept peut être issu de CALC_MODES ou de DEFI_BASE_MODALE.
  Si on veut extrapoler un champ de déformation ou de contrainte, la base doit être enrichie, via la commande CALC_CHAMP, par les champs de déformation ou de contrainte calculés aux nœuds.

- Calcul des coordonnées généralisées :
  Le calcul des coordonnées généralisées relatives à la base d'expansion est assuré par l'opérateur PROJ_MESU_MODAL.

```
repgene = PROJ_MESU_MODAL  (
             MODELE_CALCUL    =   _F(MODELE = modlcalc,
                                     BASE = base,),
             MODELE_MESURE    =   _F(MODELE = modlmesu,
                                     MESURE = mesure,
                                     NOM_CHAM = 'SIEF_NOEU',),
             CORR_MANU        =   _F(NOEU_MESURE = 'no1',
                                     NOEU_CALCUL = 'no2',),
             RESOLUTION       =   _F(METHODE = 'SVD',
                                     EPS = 1.E-4,),
             )
```

- Expansion sur le modèle numérique :
  Cette expansion consiste à calculer sur tous les nœuds du modèle numérique, le champ compatible avec le champ observé sur les degrés de liberté mesurés. Cette expansion est réalisée par la commande REST_GENE_PHYS.

```
reponse = REST_GENE_PHYS ( RESU_GENE = repgene,
                           TOUT_CHAM = 'OUI',)
```


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

6 Bibliographie

1) C. VARE : Extrapolation de résultats de mesures expérimentales sur un modèle numérique en dynamique – Spécification des développements dans le *Code_Aster*. Note EDF/DER HP-54/98/063/B

2) S. AUDEBERT : Evaluation comparative de différentes méthodes d'inversion. Note EDF/DER HP-62/93/036

3) A. TIKHONOV, V. ARSENINE : Méthodes de résolution de problèmes mal posés. Ed. Mir 1976

4) M. BONNET : Traitement numérique de problèmes inverses de source en acoustique linéaire. Contrat EDF – Convention P55L08/1E5240

5) A. TARANTOLA : Inverse problem theory – Methods for data fitting and model parameter estimation. Elsevier – 1987

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