
Commande DEFI_SOL_EQUI

1 But

Caractériser la variation des caractéristiques mécaniques de couches de sol stratifié au cours d'un séisme à partir de leur niveau de déformation de cisaillement.

Pour cela, on détermine par une procédure itérative Python pour chacune de ces couches de sol des caractéristiques linéaires équivalentes recalées à partir des courbes de réduction du module de cisaillement et d'augmentation de l'amortissement hystérétique en fonction de la déformation de cisaillement.

Cette procédure s'appuie généralement sur un modèle de colonne de sol stratifié 2D en déformations planes, maillée par couches horizontales, soumise à une accélération d'entraînement horizontale avec condition de périodicité entre la face gauche et la face droite et condition absorbante à la base.

La commande `DEFI_SOL_EQUI` permet de produire une table contenant des informations nécessaires à la description d'un fichier de sol pour le logiciel MISS3D.

Les données entrées par la commande `DEFI_SOL_EQUI` sont :

- la description des caractéristiques des matériaux aux comportements non linéaires groupés par zones de couches,
- la description géométrique des couches élémentaires successives, celle des caractéristiques des matériaux les constituant et les affectations à ces couches successives des matériaux non linéaires précédents,
- les paramètres numériques du processus itératif de calcul.

La table de sol ainsi produite sera fournie en argument de `CALC_MISS` [U7.03.12].

On fournit également en résultat les évolutions transitoires et les spectres des accélérations obtenues au bas de chaque couche de sol.

2 Syntaxe

```
tabsol [table]= DEFI_SOL_EQUI (  
  
    ♦ FONC_SIGNAL = foncs, [fonction]  
    ♦ LIEU_SIGNAL = / 'AFFLEURANT', [DEFAULT]  
                        / 'CHAMP_LIBRE',  
  
    ♦ MAILLAGE = ma, [maillage]  
    ♦ GROUP_MA_COL = gmco, [grma]  
    ♦ GROUP_MA_DROITE = gmdr, [grma]  
    ♦ GROUP_MA_GAUCHE = gmga, [grma]  
    ♦ GROUP_MA_SUBSTR = gmdr, [grma]  
    ♦ SURF = / 'NON', [DEFAULT]  
            / 'OUI',  
  
    # Si SURF='NON' nombre de couches enfoncées :  
    ♦ NIVE_COUCH_ENFO = ncou, [I]  
    ♦ NB_RECEPTEUR = / 2, [DEFAULT]  
                    / 4,  
    ♦ CORR_AMOR = / 'NON', [DEFAULT]  
                 / 'OUI',  
    ♦ COEF_VARI_MATE = / coevm, [R]  
                     / 1.0, [DEFAULT]  
    ♦ COEF_AMPL_ACCE = / coeaa, [R]  
                     / 1.0, [DEFAULT]  
    ♦ COEF_GAMMA = / coega, [R]  
                  / 0.65, [DEFAULT]  
    ♦ NMAX_ITER = / nmaxi, [I]  
                 / 10, [DEFAULT]  
    ♦ RESI_RELA = / resir, [R]  
                 / 0.05, [DEFAULT]  
    ♦ FREQ_COUP = freqc, [R]  
    ♦ LIST_FREQ = listfreq, [listR8]  
  
    / ♦ MATERIAU = _F( ♦ GAMMA = lgamma, [1_R]  
                      ♦ G_GMAX = lggma, [1_R]  
                      ♦ D = lisd, [1_R]  
                      ),  
      ♦ COUCHE = _F( ♦ EPAIS = epais, [R]  
                    ♦ E = young, [R]  
                    ♦ NU = nu, [R]  
                    ♦ RHO = rho, [R]  
                    ♦ AMOR_HYST = beta, [R]  
                    ♦ NUME_MATE = numat, [I]  
                    ♦ GROUP_MA = gmaco, [grma]  
                    ),  
    / ♦ TABLE_MATER_ELAS = tmela, [table]  
      ♦ TABLE_GEQUI_GMAX = tggma, [table]  
      ♦ TABLE_AMOR_EQUI = tameq, [table]  
  
    # Unites de sortie  
    ♦ UNITE_TABLE_RESU = utres, [I]  
    ♦ UNITE_RESU_TRAN = / uretr, [I]  
                      / 40, [DEFAULT]  
    ♦ UNITE_RESU_SPEC = / uresp, [I]  
                      / 55, [DEFAULT]  
  
    ♦ INFO = / 1, [DEFAULT]  
            / 2,  
    ♦ TITRE = titre, [1_Kn]  
  
)
```


3 Opérandes

3.1 Opérande FONC_SIGNAL

♦ `FONC_SIGNAL = foncs`

Permet de `deg_GMAX = lggma` définir une fonction temporelle définissant le signal d'accélération d'entraînement horizontale, imposée au modèle de colonne représentatif de la stratification de sol, à partir duquel on caractérise la variation des caractéristiques mécaniques de couches de sol stratifié en fonction de leur niveau de déformation de cisaillement.

3.2 Opérande LIEU_SIGNAL

♦ `LIEU_SIGNAL =` / 'AFFLEURANT', [DEFAULT]
/ 'CHAMP_LIBRE',

Indique le lieu d'imposition du signal par rapport à la colonne de sol :

`LIEU_SIGNAL = 'AFFLEURANT'` : signal imposé à la base de la colonne (au rocher affleurant).

`LIEU_SIGNAL = 'CHAMP_LIBRE'` : signal imposé en haut de la colonne (en champ libre).

3.3 Opérande FREQ_COUP

♦ `FREQ_COUP = freqc`

Fréquence de coupure permettant de filtrer le signal d'entrée. Par défaut, on prend une valeur maximale correspondant à la moitié de l'inverse du pas de temps du signal d'entrée.

3.4 Opérande MAILLAGE

♦ `MAILLAGE = ma`

Permet de définir le nom du concept du maillage surfacique global de la colonne représentative de la stratification de sol. Il y sera affecté un modèle de déformations planes ('D_PLAN').

3.5 Opérande GROUP_MA_COL

♦ `GROUP_MA_COL = gmco`

Permet de définir dans le maillage précédent le nom du groupe surfacique de mailles comprenant l'ensemble de la colonne représentative de la stratification de sol.

3.6 Opérandes GROUP_MA_DROITE/GROUP_MA_GAUCHE

♦ `GROUP_MA_DROITE = gmda`

♦ `GROUP_MA_GAUCHE = gmga`

Permettent de définir respectivement dans le maillage précédent les noms des groupes linéiques de mailles auxquels sera affectée une relation de périodicité entre le bord droit et le bord gauche de la colonne représentative de la stratification de sol.

3.7 Opérande GROUP_MA_SUBSTR

♦ `GROUP_MA_SUBSTR = gmdr`

Permet de définir dans le maillage précédent le nom du groupes linéique de mailles auxquels sera affectée une modélisation de frontière absorbante.

3.8 Opérande `SURF`

```
◇ SURF = / 'NON', [DEFAULT]
          / 'OUI',
```

Indique si on veut ou pas avoir certaines couches du sol modélisé dans la colonne au-dessus d'une fondation enfoncée, ce qu'on retrouve dans la table de sol utilisable par MISS3D :

`SURF = 'OUI' : fondation superficielle par rapport aux couches de sol.`

`SURF = 'NON' : enfoncement de la fondation dans le sol.`

3.9 Opérande `NIVE_COUCH_ENFO`

```
◇ NIVE_COUCH_ENFO = ncoue
```

Si `SURF = 'NON'`, et que cet opérande est renseigné, donne le nombre de couches de sol au-dessus de la fondation enfoncée. Si l'opérande n'est pas renseigné, on prend par défaut toutes les couches de sol au-dessus du substratum.

3.10 Opérande `NB_RECEPTEUR`

```
◇ NB_RECEPTEUR = / 2, [DEFAULT]
                  / 4,
```

Permet de définir le nombre de récepteurs par couche d'élément enfoncé dans le sol stratifié : correspond également au nombre de sous-couches générées pour chaque couche d'élément enfoncé dans la table de sol produite.

3.11 Mot clé `MATERIAU`

```
◆ MATERIAU = _F (
```

Mot clé facteur répétable permettant la description des caractéristiques de familles de matériaux non linéaires, matériau par matériau, définies par des courbes de réduction du module de cisaillement et d'augmentation de l'amortissement hystérétique en fonction de la déformation de cisaillement. Ces matériaux sont constitutifs de groupe de couches du sol stratifié. Chaque groupe est généralement associée à une zone géologique (argile, rocher...).

3.11.1 Opérande `GAMMA`

```
◆ GAMMA = lgamma
```

Permet de définir la liste de réels ordonnée croissante des abscisses de la déformation de cisaillement pour chaque famille de matériau non linéaire définie dans la colonne.

3.11.2 Opérandes `G_GMAX/D`

```
◆ G_GMAX = lggma,
◆ D = lisd,
```

Permettent de définir respectivement les listes de valeurs réelles de réduction du module de cisaillement et d'augmentation de l'amortissement interne `D`, moitié de l'amortissement hystérétique, en fonction de la déformation de cisaillement pour chaque matériau non linéaire courant. Chacun des termes de ces listes correspond à une valeur de la liste renseignée par l'opérande `GAMMA`. Toutes ces listes doivent donc avoir le même cardinal pour le même matériau.

Remarque 1 :

Il est nécessaire de définir un matériau non linéaire pour la dernière couche de sol correspondant au substratum qui aura pour l'opérande `G_GMAX` des valeurs constantes de 1 (pas de réduction) et pour l'opérande `D` des valeurs constantes de la demi-valeur de l'amortissement hystérétique du substratum.

Remarque 2 :

Les fonctions ainsi créées sont prolongées à gauche et à droite avec l'option 'CONSTANT' et interpolées avec une option ('LOG', 'LIN').

3.12 Mot clé COUCHE

♦ COUCHE = _F (

Mot clé facteur répétable permettant la description géométrique des couches d'un sol stratifié, celle des caractéristiques des matériaux constitutifs de ces couches, l'affectation couche par couche des matériaux non linéaires définies précédemment par le mot clé MATERIAU.

3.12.1 Opérandes EPAIS/E/NU/RHO/AMOR_HYST

Permettent de définir respectivement les valeurs réelles de l'épaisseur, du module d'Young, du coefficient de Poisson, de la masse volumique et de l'amortissement hystérétique initial de chaque couche.

3.12.2 Opérande NUME_MATE

♦ NUME_MATE = numat

Numéro du matériau non linéaire dans l'ordre de description des occurrences du mot-clé MATERIAU à affecter à la couche courante.

3.12.3 Opérande GROUP_MA

♦ GROUP_MA = gmaco

Permet de définir le nom du groupe surfacique de mailles de la couche courante. La dernière occurrence correspond à une couche de substratum. Si celui-ci n'est pas maillé dans le modèle de la colonne, alors on lui affecte le nom du groupe linéique de mailles du substratum déjà renseigné par le mot clé GROUP_MA_SUBSTR.

3.13 Opérande COEF_VARI_MATE

♦ COEF_VARI_MATE = / 1.0, [DEFAULT]
/ coevm

Donne un facteur d'amplification globale des modules d'Young définis initialement dans le mot clé COUCHE. Outre la valeur unitaire par défaut, on utilise aussi généralement dans les études de dimensionnement les valeurs de 1.5 et 0.67.

3.14 Opérande COEF_AMPL_ACCE

♦ COEF_AMPL_ACCE = / 1.0, [DEFAULT]
/ coeaa

Donne un facteur d'amplification du signal d'accélération défini initialement par l'opérande FONC_SIGNAL.

3.15 Opérande COEF_GAMMA

♦ COEF_GAMMA = / 0.65, [DEFAULT]
/ coega

Donne un facteur, inférieur à 1, utilisé pour calculer la déformation efficace à partir de la déformation maximale obtenue dans chacune des couches de sol durant le signal. La valeur obtenue donnera le niveau à partir duquel on déterminera la variation des caractéristiques du matériau non linéaire constitutif de la couche, par lecture sur les courbes données par les opérandes D et G_GAMMA du mot clé MATERIAU.

3.16 Opérande CORR_AMOR

```
◇ CORR_AMOR = / 'NON', [DEFAULT]
               / 'OUI',
```

Indique si on veut ou pas corriger la donnée de l'amortissement hystérétique donné par matériau en introduisant une nouvelle formulation du module de cisaillement G^* qui corrige le module réel G par la formulation de LYSMER, à savoir que G^* s'écrit :

$$G^* = G[(1 - 2\xi^2) + 2\xi_j \sqrt{1 - \xi^2}]$$

Cette formulation permet d'obtenir l'égalité entre la valeur réelle de G et le module de G^* complexe. Ceci se fait en ajoutant le mot-clé CORR_AMOR égal à 'OUI'.

3.17 Opérande LIST_FREQ

Permet à l'utilisateur d'introduire une liste de fréquences différente de celle utilisée par défaut dans le calcul des spectres de réponse d'oscillateur (ou SRO) par l'option SPEC_OSCI de CALC_FONCTION.

3.18 Opérandes NMAX_ITER/RESI_RELA

Donne les paramètres du processus itératif de variation des caractéristiques des matériaux constitutifs des couches. Respectivement le nombre maximal d'itérations et le critère d'arrêt sur la variation maximale relative entre deux itérations successives du module d'Young sur l'ensemble des couches de sol.

3.19 Opérandes TABLE_GEQUI_GMAX/TABLE_AMOR_EQUI

Représente une alternative à la description des caractéristiques des matériaux non linéaires, matériau par matériau, définies par le mot clé facteur MATERIAU. On peut alors donner directement des tables de valeurs résultats d'une définition initiale par ce mot clé. Par exemple, on pourra respectivement lire le contenu de ces tables produites par une première passe de DEFI_SOL_EQUI dans le cas test SDNX100E :

- la table renseignée par TABLE_GEQUI_GMAX contiendra les informations suivantes sur la variation de la réduction du module de cisaillement par matériau :

EPSI	GG1	GG2	GG3	GG4
1.000000E-06	1.000000E+00	1.000000E+00	1.000000E+00	1.000000E+00
3.000000E-06	1.000000E+00	9.900000E-01	9.800000E-01	1.000000E+00
1.000000E-05	9.900000E-01	9.600000E-01	9.300000E-01	1.000000E+00
3.000000E-05	9.600000E-01	8.900000E-01	8.300000E-01	1.000000E+00
1.000000E-04	8.400000E-01	7.500000E-01	6.400000E-01	1.000000E+00
3.000000E-04	6.600000E-01	5.400000E-01	4.300000E-01	1.000000E+00
1.000000E-03	3.700000E-01	3.000000E-01	2.200000E-01	1.000000E+00
3.000000E-03	1.900000E-01	1.500000E-01	1.100000E-01	1.000000E+00
1.000000E-02	8.000000E-02	7.000000E-02	5.000000E-02	1.000000E+00

- la table renseignée par TABLE_AMOR_EQUI contiendra les informations suivantes sur la variation de l'augmentation de l'amortissement hystérétique par matériau :

EPSI	DG1	DG2	DG3	DG4
1.000000E-06	2.500000E-02	2.500000E-02	2.500000E-02	1.000000E-02
3.000000E-06	2.500000E-02	2.500000E-02	2.500000E-02	1.000000E-02
1.000000E-05	2.500000E-02	2.500000E-02	2.500000E-02	1.000000E-02
3.000000E-05	2.500000E-02	2.500000E-02	3.000000E-02	1.000000E-02
1.000000E-04	2.500000E-02	3.000000E-02	4.000000E-02	1.000000E-02
3.000000E-04	3.000000E-02	4.000000E-02	5.000000E-02	1.000000E-02
1.000000E-03	4.000000E-02	5.000000E-02	7.000000E-02	1.000000E-02
3.000000E-03	5.000000E-02	7.000000E-02	1.000000E-01	1.000000E-02
1.000000E-02	7.000000E-02	1.000000E-01	1.350000E-01	1.000000E-02

3.20 Opérande TABLE_MATER_ELAS

Représente une alternative à la description géométrique des couches de sol stratifié et celle des caractéristiques des matériaux constitutifs de ces couches, définies par le mot clé facteur COUCHE. On peut alors donner directement une table de valeurs résultats d'une définition initiale par ce mot clé. Par exemple, on pourra respectivement lire le contenu de cette table produite par une première passe de DEFI_SOL_EQUI dans le cas test SDNX100E :

- la table renseignée par TABLE_MATER_ELAS contiendra les informations suivantes sur la description géométrique des couches de sol stratifié et celle des caractéristiques initiales des matériaux constitutifs de ces couches, couche par couche :

Y	M	RHO	E _{max}	NU	AH	GDgam	
1.90000E+00	COUCH1A	2.65000E+03	2.67000E+08	4.90000E-01	5.00000E-02		1
3.80000E+00	COUCH1B	2.65000E+03	2.67000E+08	4.90000E-01	5.00000E-02		1
5.70000E+00	COUCH1C	2.65000E+03	2.67000E+08	4.90000E-01	5.00000E-02		1
7.60000E+00	COUCH1D	2.65000E+03	2.67000E+08	4.90000E-01	5.00000E-02		1
9.50000E+00	COUCH2A	2.65000E+03	3.35000E+08	4.90000E-01	5.00000E-02		1
1.14000E+01	COUCH2B	2.65000E+03	3.35000E+08	4.90000E-01	5.00000E-02		1
1.33000E+01	COUCH2C	2.65000E+03	3.35000E+08	4.90000E-01	5.00000E-02		1
1.52000E+01	COUCH2D	2.65000E+03	3.35000E+08	4.90000E-01	5.00000E-02		1
1.93250E+01	COUCH3A	2.71000E+03	9.21000E+08	4.70000E-01	5.00000E-02		2
2.34500E+01	COUCH3B	2.71000E+03	9.21000E+08	4.70000E-01	5.00000E-02		2
2.75750E+01	COUCH3C	2.71000E+03	9.21000E+08	4.70000E-01	5.00000E-02		2
3.17000E+01	COUCH3D	2.71000E+03	9.21000E+08	4.70000E-01	5.00000E-02		2
3.58250E+01	COUCH3E	2.71000E+03	9.21000E+08	4.70000E-01	5.00000E-02		2
3.99500E+01	COUCH3F	2.71000E+03	9.21000E+08	4.70000E-01	5.00000E-02		2
4.40750E+01	COUCH3G	2.71000E+03	9.21000E+08	4.70000E-01	5.00000E-02		2
4.82000E+01	COUCH3H	2.71000E+03	9.21000E+08	4.70000E-01	5.00000E-02		2
5.24500E+01	COUCH4A	2.71000E+03	1.39000E+09	4.70000E-01	5.00000E-02		2
5.67000E+01	COUCH4B	2.71000E+03	1.39000E+09	4.70000E-01	5.00000E-02		2
6.09500E+01	COUCH4C	2.71000E+03	1.39000E+09	4.70000E-01	5.00000E-02		2
6.52000E+01	COUCH4D	2.71000E+03	1.39000E+09	4.70000E-01	5.00000E-02		2
6.94500E+01	COUCH4E	2.71000E+03	1.39000E+09	4.70000E-01	5.00000E-02		2
7.37000E+01	COUCH4F	2.71000E+03	1.39000E+09	4.70000E-01	5.00000E-02		2
7.79500E+01	COUCH4G	2.71000E+03	1.39000E+09	4.70000E-01	5.00000E-02		2
8.22000E+01	COUCH4H	2.71000E+03	1.39000E+09	4.70000E-01	5.00000E-02		2
8.64500E+01	COUCH5A	2.71000E+03	1.96000E+09	4.70000E-01	5.00000E-02		2
9.07000E+01	COUCH5B	2.71000E+03	1.96000E+09	4.70000E-01	5.00000E-02		2
9.49500E+01	COUCH5C	2.71000E+03	1.96000E+09	4.70000E-01	5.00000E-02		2
9.92000E+01	COUCH5D	2.71000E+03	1.96000E+09	4.70000E-01	5.00000E-02		2
1.03450E+02	COUCH5E	2.71000E+03	1.96000E+09	4.70000E-01	5.00000E-02		2
1.07700E+02	COUCH5F	2.71000E+03	1.96000E+09	4.70000E-01	5.00000E-02		2
1.11950E+02	COUCH5G	2.71000E+03	1.96000E+09	4.70000E-01	5.00000E-02		2
1.16200E+02	COUCH5H	2.71000E+03	1.96000E+09	4.70000E-01	5.00000E-02		2
1.21700E+02	COUCH6	2.71000E+03	3.02000E+09	4.50000E-01	5.00000E-02		3
1.27200E+02	COUCH7	2.71000E+03	5.95000E+09	4.50000E-01	5.00000E-02		3
1.37200E+02	COUCH8	2.71000E+03	4.23000E+10	2.50000E-01	2.00000E-02		4

Remarque :

Les noms des colonnes donnés sur la première ligne correspondent aux noms des paramètres d'accès de la table. Ils doivent être conservés tels quels.

3.21 Opérande UNITE_TABLE_RESU

Fournit l'unité d'écriture de la table contenant le résultat du processus itératif de DEFI_SOL_EQUI, dont l'évolution au cours des itérations de calcul des caractéristiques des matériaux constitutifs des couches stratifiées de sol. On imprime également, une fois la convergence atteinte, la variation avec la profondeur, soit couche par couche, du haut vers le bas, des accélérations et déformations maximales au cours du temps.

3.22 Opérande UNITE_RESU_TRAN

Fournit l'unité d'écriture au format 'TABLEAU' des évolutions transitoires des accélérations, puis des déformations et ensuite des contraintes de cisaillement, obtenues en fin du processus itératif de DEFI_SOL_EQUI. Ces évolutions sont imprimées, colonne par colonne, successivement : en champ libre, au rocher affleurant, ensuite au bas de chaque couche de sol stratifié, du haut vers le bas.

3.23 Opérateur UNITE_RESU_SPEC

Fournit l'unité d'écriture au format 'TABLEAU' des évolutions fréquentielles des spectres de réponse (SRO) en accélération obtenus en fin du processus itératif de DEFI_SOL_EQUI. Ces évolutions sont imprimées, colonne par colonne, successivement : en champ libre, au rocher affleurant, ensuite au bas de chaque couche de sol stratifié, du haut vers le bas.

3.24 Opérateur TITRE

◇ TITRE = titre

Permet à l'utilisateur de définir un titre pour la table de sol.

3.25 Opérateur INFO

◇ INFO =

Indique un niveau d'impression pour information dans le fichier "MESSAGE" :

INFO = 1 : pas d'impression

INFO = 2 : impression de la table de sol