Macro-commande POST_NEWMARK

1 But

Vérifier la stabilité d'un ouvrage en remblai en 2D (digue/barrage) selon le critère de déplacement horizontal maximal admissible lors d'un chargement sismique via la méthode de Newmark [1].
La procédure dépend en entrée du concept résultat d'un calcul dynamique linéaire temporel ou non linéaire, ainsi que de la position du potentiel cercle de glissement et du coefficient sismique associé.
La macro-commande permet également d'estimer le facteur de sécurité statique et dynamique à partir d'un champ de contraintes issu de la mise en pesanteur de l'ouvrage, ainsi que pendant le transitoire dynamique.
Selon les options sollicitées par l'utilisateur, la macro-commande fournit en sortie une table contenant l'accélération moyenne horizontale de la masse glissante, déplacement horizontal, le facteur de sécurité et le coefficient sismique.

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

2 Syntaxe

```
tab resu [table]= POST_NEWMARK  (

    ◊   RESULTAT                    = resultat,       [dyna_trans,evol_noli]
    ◊   KY                          = ky,             [R]
    ♦    GROUP_MA_CALC              = grpma ,         [ grma ]
    ◊   POSITION                    = /'AVAL',     [DEFAUT]
                                      /'AMONT'
    ◊   INFO                        = 1,2,            [I]
    ◊   VERI_MASSE                  = /'NON',      [DEFAUT]
                                      /'OUI'
         # Si VERI_MASSE = 'OUI'
         {
            ◊   RESI_RELA            = resi,           [R]
            ◊   ITER_MAXI            = iter,           [I]
            ◊   CHAM_MATER           = cham_mat        [cham_mater]
         }
    ◊   RAYON                       = rayon,          [R]
         # Si RAYON
         {
            ♦   CENTRE_X             = posx,           [R]
            ♦   CENTRE_Y             = posy,           [R]
            ◊   RAFF_CERCLE          = n,              [I]
         }
    ◊   MAILLAGE_GLIS               = mail,           [sd_maillage]
         # Si MAILLAGE_GLIS
         {
            ◊   GROUP_MA_GLIS        = grma_gls,       [ grma ]
            ◊   GROUP_MA_LIGNE       = grma_lgn,       [ grma ]
         }
    ◊   RESULTAT_PESANTEUR   = resu_pes,               [evol_elas,evol_noli]
         # Si RESULTAT_PESANTEUR
         {
            ♦   CHAM_PHI             = cham_phi,       [cham_no]
            ♦   CHAM_COHESION        = cham_coh,       [cham_no]
            ◊   CHAM_FS              = CO(cham_fs),       [CO]
         }
```


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

3 Description de la macro-commande

La macro-commande POST_NEWMARK permet d'obtenir une estimation du déplacement latéral irréversible d'une zone potentiellement glissante d'un ouvrage en remblai (barrage/digue) via la méthode de Newmark [1].

La méthode de Newmark est basée sur l'idée que la zone potentiellement glissante de l'ouvrage peut être approchée par un bloc glissant sur un plan incliné. Pendant le séisme, ce bloc glisse le long du plan incliné lorsque l'accélération moyenne (a_m) du bloc dépasse une valeur fixée, appelée accélération critique (a_y). La méthode considère que le déplacement résiduel du bloc glissant peut être obtenu en intégrant deux fois les instants de l'accélération moyenne dépassant l'accélération critique.

A partir d'un calcul dynamique de type éléments finis, l'accélération moyenne d'une zone potentiellement glissante est définie comme le quotient de la résultante des efforts latéraux F_L le long de l'interface entre la zone potentiellement glissante et le reste de l'ouvrage et la masse m de cette zone :

$$a_m = \frac{F_L}{m} \tag{1}$$

L'accélération critique est définie comme l'accélération qui mène à un facteur de sécurité de valeur $1{,}0$ pour la zone potentiellement glissante. À partir de l'accélération critique, on défini le coefficient sismique k_y en rapportant l'accélération critique à la valeur de l'accélération de la gravité g :

$$k_y = \frac{a_y}{g} \tag{2}$$

La macro-commande POST_NEWMARK accepte uniquement des maillages 2D et deux types de zones de glissement :

- une forme simple circulaire, dont la position est fournie par l'utilisateur. Dans ce cas, la résultante des efforts latéraux est calculée à partir des mailles du maillage sur lequel le calcul dynamique a été réalisé et dont une partie appartient au cercle défini par l'utilisateur.
- une forme définie à partir d'un maillage auxiliaire, qui doit être positionné sur le lieu géométrique de la masse qui glisse. Dans ce cas, on calcule la résultante de efforts latéraux sur les mailles correspondants au lieu géométrique du maillage auxiliaire.

Le coefficient sismique k_y peut être fourni par l'utilisateur en entrée de la macro-commande, si obtenu par exemple à partir d'un calcul de stabilité pseudo-statique avec une loi de comportement non linéaire intégrant un critère de rupture, ou par une méthodologie de type analyse limite.

L'utilisateur peut également ne pas fournir le coefficient sismique k_y . Dans ce cas, il est estimé à partir de l'évolution du facteur de sécurité avec l'accélération moyenne (cf. cas-test sdlp200). L a régression est faite pour une plage comprise entre 0.8 et 1.2 de la valeur du facteur de sécurité, et la valeur d'accélération critique est retenue de façon conservative car à -3 écarts-type de la moyenne de la régression.

3.1 Calcul du facteur de sécurité en statique et dynamique

La macro-commande POST_NEWMARK permet d'estimer le facteur de sécurité statique et dynamique d'une zone potentiellement glissante définie à partir :

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

- d'un maillage auxiliaire définissant la zone potentiellement glissement ou directement des données fournies par l'utilisateur de la positon du cercle de glissement. Dans ce dernier cas, la macro-commande construit directement le maillage auxiliaire,
- d'un champ de contraintes statique issue de la pesanteur.

Pour cela on utilise la définition de facteur de sécurité global F_s^g de Kulhawy [2] :

$$F_s^g = \frac{\sum_i^N \left(c' + \sigma'_{n,s} \tan(\varphi')\right) \Delta L}{\sum_i^N \sigma_{t,s} . \Delta L} \quad (3)$$

où c' et φ' sont la cohésion et l'angle de frottement effectifs du matériau, $\sigma'_{n,s}$ est la contrainte normale et σ_t la contrainte tangentielle à la ligne de glissement,, toutes les deux obtenues à partir d'un calcul statique de pesanteur, N la discrétisation spatiale de la ligne de glissement et ΔL la longueur de chaque élément discrétisé.

Pour un calcul dynamique, l'estimation du facteur de sécurité prend en compte les variations des contraintes normales et tangentielles le long de la ligne de glissement, via la formule suivante :

$$F_s^g = \frac{\sum_i^N \left(c' + \sigma'_{n,s} \tan(\varphi')\right) \Delta L + \sum_i^N \left(\sigma'_{n,d} \tan(\varphi')\right) \Delta L}{\sum_i^N \sigma_{t,s} . \Delta L + \sum_i^N \sigma_{t,d} . \Delta L} \quad (4)$$

où $\sigma'_{n,d}$ est la contrainte normale et $\sigma_{t,d}$ la contrainte tangentielle à la ligne de glissement pour le calcul dynamique. L'utilisateur doit donc fournir le champ de contraintes statiques issue d'une mise en pesanteur. La macro-commande réalise l'estimation du facteur de sécurité pour chaque pas de temps.

3.2 Cas-tests

`sslp119` [V3.02.119] Calcul du facteur de sécurité statique pour un remblai homogène.
`zzzz402` [V1.01.402] Réponse dynamique d'un ouvrage en remblai sur séisme.
`s dlp200` [V 2 .0 3 . 200] Comparaison de la tenue au séisme d'un remblai homogène entre POST_NEWMARK et GeoSlope

3.3 Bibliographie

[1] Newmark, N.M. 1965. Effects of earthquakes on dams and embankments. Géotechnique, 15(2): 139-160.

[2] Kulhawy. F.H. 19,69. Finite element analysis of the behavior of embankments .PhD. Thesis, the Universiry of Califomia, at. Berkley, California. U,S.A.

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

4 Opérandes

4.1 Opérandes RAYON, CENTRE_X, CENTRE_Y

◊ RAYON = rayon

Rayon du cercle de glissement pour lequel l'ouvrage doit être vérifié

♦ CENTRE_X = posx

Position selon la coordonnée X du centre du cercle de glissement

♦ CENTRE_Y = posy

Position selon la coordonnée Y du centre du cercle de glissement

Remarque 1 :

La commande POST_NEWMARK traite uniquement les ouvrages modélisés selon une géométrie 2D. La commande s'arrête en erreur fatale si le maillage utilisé est 3D.

Remarque 2 :

L'utilisateur doit vérifier l'adéquation de la position fournie du cercle de glissement et du maillage sur lequel le calcul dynamique a été effectué.

4.2 Opérande RAFF_CERCLE

◊ RAFF_CERCLE = n, [I]

Cet opérande permet de choisir le niveau de raffinement du maillage du cercle de glissement qui sera utilisé pour le calcul du facteur de sécurité. Le raffinement est contrôlé par la valeur entière n, qui contrôle la taille du secteur angulaire α [°] des mailles de la manière suivante : $\alpha = \frac{45}{2^n}$.

4.3 Opérande RESULTAT

◊ RESULTAT = resultat

Cet opérande permet de renseigner le concept résultat intégrant la réponse sismique de l'ouvrage.

Remarque :

Dans le cas d'un resultat de type dyna_ trans , il faut que l'utilisateur calcule préalablement le champ de contraintes de type SIEF_ELGA . Cette opération s'effectue avec la commande CALC_CHAMP (voir cas test zzzz402a).

4.4 Opérande KY

◊ KY = ky

Cet opérande permet de renseigner la valeur du coefficient sismique obtenu pour le cercle de glissement à partir d'un calcul de stabilité statique (e.g. analyse limite) et pour lequel l'ouvrage

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

doit être vérifié. Si non renseigné, la macro-commande le calculera automatiquement et la valeur sera affichée dans une colonne de la table en sortie de la macro-commande.

4.5 Opérande POSITION

◊ POSITION = /'AVAL', [DEFAUT]
/' AMONT '

Cet opérande permet de distinguer un cercle de glissement en parement aval ou en parement amont. La macro-commande considère par convention le parement amont à gauche de l'ouvrage et le parement aval à droite. Cette information permet de calculer correctement le facteur de sécurité, car le signe des contraintes de cisaillement le long du cercle de glissement dépendent si le cercle est en parement amont ou aval.

Remarque :

L'utilisateur pourra voir le cas test sslp119 pour l'utilisation de cette opérande .

4.6 Opérande GROUP_MA_CALC

♦ GROUP_MA_CALC = grma

Cet opérande obligatoire permet de renseigner l'ensemble des groupes de mailles sur lequel le calcul dynamique a été effectué. Ces groupes de mailles sont utilisés afin de déterminer les m ailles appartenant au cercle de glissement. L'usage de cet opérande permet d'accélérer sensiblement les étapes de projection si calcul de facteur de sécurité par la macro-commande.

4.7 Opérande MAILLAGE_GLIS

◊ MAILLAGE_GLIS = mail

Cet opérande permet de fournir le maillage auxiliaire qui sera utilisé comme « patch » pour le calcul de stabilité. Ce maillage doit être positionné géométriquement sur la zone qui glisse et disposer des mailles SEG2 ou SEG3 pour la ligne de glissement.

4.8 Opérande GROUP_MA_GLIS

◊ GROUP_MA_GLIS = grma_gls

Cet opérande permet à l'utilisateur de fournir le groupe de mailles surfacique grma_gls du maillage mail sur lequel il veut définir le patch. Si le mot-clé n'est pas renseigné, le patch est constitué de toutes les mailles surfaciques du maillage mail.

4.9 Opérande GROUP_MA_LIGNE

◊ GROUP_MA_LIGNE = grma_lgn

Cet opérande permet à l'utilisateur de fournir le groupe de mailles linéiques grma_lgn du maillage mail définissant la ligne de glissement . Si le mot-clé n'est pas renseigné, la ligne de glissement est constituée de toutes les mailles linéiques de type SEG2 et SEG3 du maillage mail .

4.10 Opérande RESULTAT_PESANTEUR

◊ RESULTAT_PESANTEUR = resu_pes

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

Cet opérande obligatoire permet de renseigner le concept résultat intégrant la réponse à la pesanteur de l'ouvrage (contraintes statiques).

Remarque :

Dans le cas d'un `resultat` *de type* `evol _ elas` *, il faut que l'utilisateur calcule préalablement le champ de contraintes de type* `SIEF_ELGA` *. Cette opération s'effectue avec la commande* `CALC_CHAMP` *(voir cas test zzzz402a).*

4.11 Opérandes CHAM_PHI et CHAM_COHESION

- CHAM_PHI = cham_phi
- CHAM_COHESION = cham_coh

Ces opérandes, obligatoire si RESULTAT_PESANTEUR renseigné, permet à l'utilisateur de fournir le s champs aux nœuds de type NOEU_NEUT_R qui définissent les propriétés matériaux (φ' et c') nécessaires pour l'évaluation du facteur de sécurité. φ' Doit être stocké à la variable X1 et c' à la variable X2 .

Remarque 1 :

L'utilisateur pourra s'inspirer du cas-test sslp119a pour voir l'enchaînement de commandes à utiliser pour la définition de `CHAM_PHI` *et* `CHAM_COHESION` *.*

Remarque 2 :

La valeur de φ' *devra être fournie par l'utilisateur en dégrée [°].*
La valeur de c' *devra être en cohérence avec la modélisation réalisée.*

4.12 Opérande CHAM_ FS

◊ CHAM_ FS = CO(cham_fs)

Cet opérande permet d'obtenir de produire en sortie de la macro-commande le champ du facteur de sécurité statique local.

4.13 Opérande VERI_MASSE

```
◊  VERI_MASSE                    = /'NON',      [DEFAUT]
                                   /' OUI '
```

Cet opérande permet d'activer l'option de vérification du calcul de la masse de la zone potentiellement glissante. Pour cela, la macro-commande réalise des raffinement successifs via MACR_ADAP_MAIL, de manière à mieux estimer la masse de cette zone. Pour cela, deux stratégies de raffinement sont déployées :

- Si option RAYON , on raffine une zone circulaire avec un rayon 20 % plus important que celui définissant le cercle de glissement,
- Si option MAILLAGE_GLISS , raffinement uniforme de tout le maillage (ce qui peut être potentiellement coûteux).

4.14 Opérande s RESI_RELA et ITER_MAXI

```
◊ RESI_RELA            = resi,          [R]
◊ ITER_MAXI            = iter,          [I]
```

Dans le cas où VERI_MASSE='OUI' , c e s opérande s permet tent de contrôler le processus de raffinement du maillage via deux critères :

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

- RESI_RELA : résidu relatif maximal entre deux itérations de vérification.
- ITER_MAXI : nombre maximal d'itérations.

On arrête le processus dès qu'un de deux critères est atteint.

4.15 Opérande CHAM_MATER

◊ CHAM_MATER = cham_mat [cham_mater]

Dans le cas où le calcul dynamique a été réalisé directement à partir des matrices de masse, raideur et amortissement, cet opérande permet à l'utilisateur de fournir un champ matériau si VERI_MASSE='OUI'.

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