

Manuel d'Utilisation
Fascicule U4.4- : Modélisation
Document : U4.42.04

Opérateur *DEFI_CABLE_BP*

1 But

Calculer les profils initiaux de tension le long des câbles de précontrainte d'une structure béton. Les données du calcul sont la tension appliquée aux extrémités et d'autres paramètres caractéristiques des ancrages et des matériaux. Les relations utilisées sont celles prescrites par le BPEL 91.

Le concept `cabl_precont` produit peut ensuite être utilisé par l'opérateur `AFFE_CHAR_MECA` [U4.44.01], afin de définir un chargement mécanique de type `RELA_CINE_BP`, dans le but de calculer l'état d'équilibre de l'ensemble structure béton / câbles de précontrainte. La résolution est effectuée par l'opérateur `STAT_NON_LINE` [U4.51.03], option `COMP_INCR`.

Produit une Structure de Données de type `cabl_precont`.

2 Syntaxe

```
cabl_pr    [cabl_precont] = DEFI_CABLE_BP    (  
  
    ♦    MODELE                    :            modele            [modele]  
  
    ♦    CHAM_MATER               :            chmat            [cham_mater]  
  
    ♦    CARA_ELEM                :            caelem            [cara_elem]  
  
    ♦    GROUP_MA_BETON         :            grmabe            [gr_maille]  
  
    ♦    DEFI_CABLE               :            (  
        ♦    /    GROUP_MA         :    grmaca            [gr_maille]  
             /    MAILLE          :    l_maca            [l_maille]  
  
        ♦    /    NOEUD_ANCRAGE     :    l_noa            [l_noeud]  
             /    GROUPE_NO_ANCRAGE :    l_gnoa            [l_gr_noeud]  
  
        ♦        TYPE_ANCRAGE     :    l_tya            [l_tx]  
                                     )  
  
    ♦    TENSION_INIT            :            f0                [R]  
  
    ♦    RECUL_ANCRAGE            :            delta            [R]  
  
    ◇    RELAXATION               :            (  
        ♦        R_J                :    rj                [R]  
                                     )  
  
    ◇    TITRE                    :            l_titr            [l_tx]  
  
                                     );
```

3 Opérandes

3.1 Opérande **MODELE**

- ◆ **MODELE** : `modele`

Concept produit par l'opérateur **AFFE_MODELE** [U4.41.01] permettant de définir les types d'éléments finis affectés aux mailles du maillage.

3.2 Opérande **CHAM_MATER**

- ◆ **CHAM_MATER** : `chmat`

Concept produit par l'opérateur **AFFE_MATERIAU** [U4.43.02] permettant d'affecter des matériaux aux mailles du maillage.

3.3 Opérande **CARA_ELEM**

- ◆ **CARA_ELEM** : `caelem`

Concept produit par l'opérateur **AFFE_CARA_ELEM** [U4.42.01] permettant d'affecter des caractéristiques mécaniques et géométriques aux éléments de la structure étudiée.

3.4 Opérande **GROUP_MA_BETON**

- ◆ **GROUP_MA_BETON** : `grmabe`

Nom du groupe de mailles du maillage représentant la structure béton. On définit ainsi précisément le lieu géométrique de projection des câbles, étape préliminaire à la détermination des relations cinématiques entre les DDL des nœuds des câbles et les DDL des nœuds de la structure béton.

3.5 Mot-clé **DEFI_CABLE**

- ◆ **DEFI_CABLE**

Mot-clé facteur permettant la définition d'un câble par désignation des entités topologiques du maillage qui le représentent. Les occurrences multiples sont autorisées, afin de pouvoir définir plusieurs câbles.

- ◆ / **GROUP_MA** : `grmaca`

Nom du groupe de mailles du maillage représentant le câble.

- / **MAILLE** : `l_maca`

Liste des mailles du maillage représentant le câble.

- ◆ / **NOEUD_ANCRAGE** : `l_noa`

Liste des nœuds définissant les ancrages du câble, i.e. les extrémités. Cette liste doit comporter 2 arguments, ni plus ni moins.

- / **GROUPE_NOEUD_ANCRAGE** : `l_gnoa`

Liste de groupes de nœuds définissant les ancrages. Le cardinal de cette liste doit être inférieur ou égal à 2. Dans chaque groupe de nœud, on ne retiendra comme ancrage que le premier nœud du groupe.

◆ TYPE_ANCRAGE : l_tya

Liste d'arguments de type texte caractérisant les ancrages du câble : 'ACTIF' ou 'PASSIF' (seuls arguments licites). Cette liste doit comporter 2 arguments, ni plus ni moins, et doit être ordonnée en regard de la liste des nœuds définissant les ancrages (opérande NOEUD_ANCRAGE ci-dessus).

Remarque :

L'opérateur reconstitue le chemin connexe menant du premier au second ancrage du câble en parcourant les mailles qui le représentent. La non existence d'un chemin connexe entre les deux ancrages provoque un arrêt du programme en erreur fatale. Les ancrages actifs sont ceux où l'on applique une tension initiale.

3.6 Opérande TENSION_INIT

◆ TENSION_INIT : f0

Valeur de la tension initiale appliquée aux ancrages actifs des câbles.
Cette valeur doit être positive.

3.7 Opérande REcul_ANCRAGE

◆ REcul_ANCRAGE : delta

Valeur du recul aux ancrages actifs des câbles.
Cette valeur doit être positive.

3.8 Mot-clé RELAXATION

◇ RELAXATION

Mot-clé facteur permettant la définition d'un paramètre pour la prise en compte des pertes de tension par relaxation de l'acier. Ce mot-clé facteur étant facultatif, par défaut les pertes de tension par relaxation de l'acier ne sont pas prises en compte.

◆ R_J : rj

Valeur de la fonction adimensionnelle $r(j)$ caractérisant l'évolution de la relaxation de l'acier dans le temps ; par exemple le BPEL 91 recommande :

$$r(j) = \frac{j}{j + 9 \times r_m} \text{ avec } j \text{ en jours}$$

$$\text{et } r_m = \frac{\text{aire de la section de béton}}{\text{périmètre de la section de béton}} \equiv \text{rayon moyen}$$

Cette valeur doit être positive ou nulle.

j correspond à la date (en jours) pour laquelle on veut estimer l'état de contrainte dans la structure. Pour le cas où, dans le calcul de structures, les barres seraient modélisées avec un comportement de type fluage, il ne faut pas renseigner ce mot-clé dans DEFI_CABLE_BP.

3.9 Opérande TITRE

◇ TITRE : l_titr

Liste d'arguments de type texte définissant un titre attaché au concept [cabl_precont].

4 Complément théorique : estimation des pertes de tension dans un câble de précontrainte suivant les prescriptions du BPEL

L'évolution de la tension le long d'un câble de précontrainte est calculée en utilisant les relations prescrites par le BPEL. Ces relations sont les suivantes :

4.1 Evolution de la tension au voisinage de l'ancrage

$$F(s) = \tilde{F}(s) - \left\{ x_{flu} \times F_0 + x_{ret} \times F_0 + r(j) \times \frac{5}{100} \times \rho_{1000} \left[\frac{\tilde{F}(s)}{S_a \times \sigma_y} - \mu_0 \right] \times \tilde{F}(s) \right\}$$

où s désigne l'abscisse curviligne le long du câble. Les paramètres introduits dans cette expression sont :

- F_0 tension initiale ;
- x_{flu} taux forfaitaire de perte de tension par fluage du béton, par rapport à la tension initiale ;
- x_{ret} taux forfaitaire de perte de tension par retrait du béton, par rapport à la tension initiale ;
- ρ_{1000} relaxation de l'acier à 1000 heures, exprimée en % ;
- S_a aire de la section droite du câble définie dans *AFFE_CARA_ELEM* ;
- σ_y contrainte limite élastique de l'acier ;
- μ_0 coefficient adimensionnel de relaxation de l'acier précontraint.

$r(j)$ est une fonction adimensionnelle caractérisant l'évolution de la relaxation dans le temps :

$$r(j) = \frac{j}{j + 9 \times r_m} \text{ avec } j \text{ en jours et } r_m = \frac{\text{aire de la section de béton}}{\text{périmètre de la section de béton}} \equiv \text{rayon moyen}$$

La fonction $r(j)$ dépendant de la géométrie de la structure, la valeur utilisée est définie dans l'opérateur *DEFI_CABLE_BP*.

$\tilde{F}(s)$ est l'évolution de la tension au voisinage de l'ancrage après prise en compte de la perte par recul d'ancrage et des pertes par contact entre le câble et le béton.

$\tilde{F}(s)$ est définie par la relation : $F_c(s) \times \tilde{F}(s) = [F_c(d)]^2$

$F_c(s)$ désigne l'évolution de la tension le long du câble après prise en compte des pertes par contact entre le câble et le béton : $F_c(s) = F_0 \exp(-f\alpha - \varphi s)$

α désigne la déviation angulaire cumulée et les paramètres introduits dans l'expression de $F_c(s)$ sont :

- f coefficient de frottement du câble sur le béton en partie courbe, en rad^{-1} ;
- φ coefficient de frottement par unité de longueur.

Remarques :

- Les coefficients $f, \varphi, \rho_{1000}, \sigma_y$ et μ_0 sont à renseigner dans l'opérateur *DEFI_MATERIAU* sous le mot-clé *BPEL_ACIER*,
- x_{flu} et x_{ret} sont à renseigner dans l'opérateur *DEFI_MATERIAU* sous le mot-clé *BPEL_BETON*.

La longueur d intervenant dans l'expression de $\tilde{F}(s)$ est la longueur sur laquelle s'applique la perte de tension par recul à l'ancrage. Cette longueur est estimée à l'aide de la relation

$$E_a S_a \Delta = \int_0^d (F_c(s) - \tilde{F}(s)) ds$$

où E_a est le module d'Young de l'acier et Δ la valeur du recul à l'ancrage. Ainsi $E_a S_a \Delta$ représente l'énergie de déformation (du câble) due au recul à l'ancrage.

4.2 Evolution de la tension au-delà de la longueur où s'appliquent les pertes de tension par recul à l'ancrage

$$F(s) = F_c(s) - \left\{ x_{flu} \times F_0 + x_{ret} \times F_0 + r(j) \times \frac{5}{100} \times \rho_{1000} \left[\frac{F_c(s)}{S_a \times \sigma_y} - \mu_0 \right] \times F_c(s) \right\}$$

avec les mêmes notations que celles introduites au paragraphe précédent.