

---

## Opérateur DEFI\_GLRC

---

### 1 But

---

L'opérateur `DEFI_GLRC` permet de définir les paramètres des modèles de comportement de béton armé `GLRC_DAMAGE` [R7.01.31] et `GLRC_DM` [R7.01.32].

Il permet de déterminer les caractéristiques du béton armé homogénéisées à partir des propriétés du béton et de plusieurs types d'armature (armatures passives, câbles de précontrainte, liner métallique).

Dans cette commande, on renseigne les propriétés physiques (coefficients élastiques, limites élastiques) et géométriques (section et positions d'acier) du béton armé, et également le choix d'une option pour la méthode d'identification (cas `GLRC_DM`). En sortie, on dispose d'un concept « matériau », qu'on peut affecter ensuite aux différentes mailles de plaques avec la commande `AFFE_MATERIAU`.

Il est important de noter qu'avant de faire appel à `DEFI_GLRC`, il est nécessaire d'utiliser `DEFI_MATERIAU` pour renseigner l'ensemble des paramètres matériau concernant les composants en acier et en béton.

Produit une Structure de données de type `mater`.

## Table des Matières

<a href="#">1 But.....</a>	<a href="#">1</a>
<a href="#">2 Syntaxe générale.....</a>	<a href="#">4</a>
<a href="#">3 Description générale de la coque en béton armé.....</a>	<a href="#">6</a>
<a href="#">4 Opérandes RELATION = GLRC_DM.....</a>	<a href="#">7</a>
<a href="#">4.1 Mot clé BETON.....</a>	<a href="#">7</a>
<a href="#">4.1.1 Opérande MATER.....</a>	<a href="#">7</a>
<a href="#">4.1.2 Opérande EPAIS.....</a>	<a href="#">7</a>
<a href="#">4.2 Mot clé NAPPE.....</a>	<a href="#">7</a>
<a href="#">4.2.1 Opérande MATER.....</a>	<a href="#">7</a>
<a href="#">4.2.2 Opérandes OMX et OMY.....</a>	<a href="#">7</a>
<a href="#">4.2.3 Opérandes RX et RY.....</a>	<a href="#">8</a>
<a href="#">4.3 Opérande RHO.....</a>	<a href="#">8</a>
<a href="#">4.4 Opérandes AMOR_ALPHA, AMOR_BETA et AMOR_HYST.....</a>	<a href="#">8</a>
<a href="#">4.5 Mot clé COMPR.....</a>	<a href="#">9</a>
<a href="#">4.5.1 Opérandes GAMMA_C.....</a>	<a href="#">9</a>
<a href="#">4.5.2 Opérandes NYC.....</a>	<a href="#">9</a>
<a href="#">4.6 Mot clé PENTE.....</a>	<a href="#">9</a>
<a href="#">4.6.1 Opérande EPSI_MEMB.....</a>	<a href="#">10</a>
<a href="#">4.6.2 Opérande KAPP_FLEX.....</a>	<a href="#">10</a>
<a href="#">4.7 Mot clé CISAIL.....</a>	<a href="#">10</a>
<a href="#">4.8 Mot clé METHODE_ENDO.....</a>	<a href="#">11</a>
<a href="#">4.9 Mot clé INFO.....</a>	<a href="#">11</a>
<a href="#">4.10 Exemple d'utilisation.....</a>	<a href="#">11</a>
<a href="#">5 Opérandes RELATION = GLRC_DAMAGE.....</a>	<a href="#">12</a>
<a href="#">5.1 Mot clé BETON.....</a>	<a href="#">12</a>
<a href="#">5.1.1 Opérande MATER.....</a>	<a href="#">12</a>
<a href="#">5.1.2 Opérande EPAIS.....</a>	<a href="#">12</a>
<a href="#">5.1.3 Opérande GAMMA.....</a>	<a href="#">12</a>
<a href="#">5.1.4 Opérandes QP1 et QP2.....</a>	<a href="#">14</a>
<a href="#">5.1.5 Opérandes C1N1/C1N2/C1N3/C2N1/C2N2/C2N3.....</a>	<a href="#">14</a>
<a href="#">5.1.6 Opérandes C1M1/C1M2/C1M3/C2M1/C2M2/C2M3.....</a>	<a href="#">14</a>
<a href="#">5.1.7 Opérandes BT1/BT2 et EAT/OMT.....</a>	<a href="#">15</a>
<a href="#">5.1.8 Opérandes MP1X/MP1Y/MP2X/MP2Y et MP1X_FO/MP1Y_FO/MP2X_FO/MP2Y_FO.....</a>	<a href="#">16</a>
<a href="#">5.2 Mot clé ARMA.....</a>	<a href="#">16</a>
<a href="#">5.2.1 Opérande MATER.....</a>	<a href="#">16</a>
<a href="#">5.2.2 Opérandes OMX et OMY.....</a>	<a href="#">16</a>
<a href="#">5.2.3 Opérandes RX et RY.....</a>	<a href="#">16</a>
<a href="#">5.3 Mot clé CABLE_PREC.....</a>	<a href="#">17</a>

5.3.1 Opérande MATER.....	17
5.3.2 Opérandes OMX et OMY.....	17
5.3.3 Opérandes RX et RY.....	17
5.3.4 Opérandes PREX et PREY.....	17
5.4 Mot clé LINER.....	18
5.4.1 Opérande MATER.....	18
5.4.2 Opérande OML.....	18
5.4.3 Opérande RLR.....	18
5.5 Mot clé ALPHA.....	18
5.6 Mot clé INFO.....	18
6 Exemple d'utilisation.....	19

## 2 Syntaxe générale

```
ma [mater] = DEFI_GLRC (  
reuse      = mat, [mater]  
◆ RELATION = / GLRC_DM  
# Définition des paramètres béton  
  ◆ BETON = ( _F(◆ MATER = mat_beton, [mater]  
                ◆ EPAIS   = ep, [R]  
              ),  
# Définition des paramètres des armatures  
  ◆ NAPPE = ( _F(◆ MATER = mat_acier, [mater]  
                ◆ OMX     = Wx, [R]  
                ◆ OMY     = Wy, [R]  
                ◆ RX      = rx, [R]  
                ◆ RY      = ry, [R]  
              ),  
  ◆ RHO      = rho [R]  
  ◆ AMOR_ALPHA = amor_alpha [R]  
  ◆ AMOR_BETA  = amor_beta [R]  
  ◆ AMOR_HYST  = amor_hyst [R]  
  ◆ COMPR     = / GAMMA [DEFAULT]  
                ◆ GAMMA_C = gc, [R]  
                / SEUIL  
                ◆ NYC = nyc, [R]  
  ◆ PENTE     = / RIGI_ACIER [DEFAULT]  
                / PLAS_ACIER  
                / UTIL  
                ◆ EPSI_MEMB = em, [R]  
                ◆ KAPP_FLEX = kf, [R]  
  ◆ CISAIL    = / OUI [DEFAULT]  
                / NON  
  ◆ METHODE_ENDO = / ENDO_INTER [DEFAULT]  
                  / ENDO_NAISS  
                  / ENDO_LIM  
  ◆ INFO = / 1 [DEFAULT]  
          / 2  
  
◆RELATION = / GLRC_DAMAGE  
# Définition des paramètres béton  
  ◆ BETON = ( _F(◆ MATER = mat_beton, [mater]  
                ◆ EPAIS = ep, [R]  
                ◆ GAMMA = gamma, [R]  
                ◆ QP1   = qp1, [R]  
                ◆ QP2   = qp2, [R]  
  
                ◆ C1N1 = c1n1, [R]  
                ◆ C1N2 = c1n2, [R]  
                ◆ C1N3 = c1n3, [R]  
                ◆ C2N1 = c2n1, [R]  
                ◆ C2N2 = c2n2, [R]  
                ◆ C2N3 = c2n3, [R]  
                ◆ C1M1 = c1m1, [R]  
                ◆ C1M2 = c1m2, [R]  
                ◆ C1M3 = c1m3, [R]  
                ◆ C2M1 = c2m1, [R]  
                ◆ C2M2 = c2m2, [R]  
                ◆ C2M3 = c2m3, [R]
```

```

        ◇ BT1      = bt1,          [R]
        ◇ BT2      = bt2,          [R]

        ◇ EAT      = eat,          [R]
        ◇ OMT      = omt,          [R]

        ◇ MP1X     = mp1x,         [1_R]
        ◇ MP1Y     = mp1y,         [1_R]
        ◇ MP2X     = mp2x,         [1_R]
        ◇ MP2Y     = mp2y,         [1_R]

        ◇ MP1X_FO  = mp1x_fo,     [1_R]
        ◇ MP1Y_FO  = mp1y_fo,     [1_R]
        ◇ MP2X_FO  = mp2x_fo,     [1_R]
        ◇ MP2Y_FO  = mp2y_fo,     [1_R]
    ),

# Définition des paramètres armatures passives
    ◇ NAPPE = ( _F(◇ MATER = mat_acier, [mater]
                  ◇ OMX   = Wxa,      [R]
                  ◇ OMY   = Wya,      [R]
                  ◇ RX    = rxa,      [R]
                  ◇ RY    = rya,      [R]
                ),

# Définition des paramètres câbles de précontrainte
    ◇ CABLE_PREC = ( _F(◇ MATER = mat_cable, [mater]
                       ◇ OMX   = Wxp,      [R]
                       ◇ OMY   = Wyp,      [R]
                       ◇ RX    = rxp,      [R]
                       ◇ RY    = ryp,      [R]
                       ◇ PREX  = precx,     [R]
                       ◇ PREY  = precy,     [R]
                     ),

# Définition des paramètres liner métallique
    ◇ LINER = ( _F(◇ MATER = mat_liner, [mater]
                  ◇ OML   = W l,      [R]
                  ◇ RLR   = rlr,      [R]
                ),

# Définition du coefficient de dilatation thermique "moyen" :
    ◇ ALPHA = alpha, [R]

    ◇ INFO = / 1 [DEFAULT]
            / 2
    )

```

## 3 Description générale de la coque en béton armé

On décrit dans ce paragraphe la géométrie de la coque considérée.

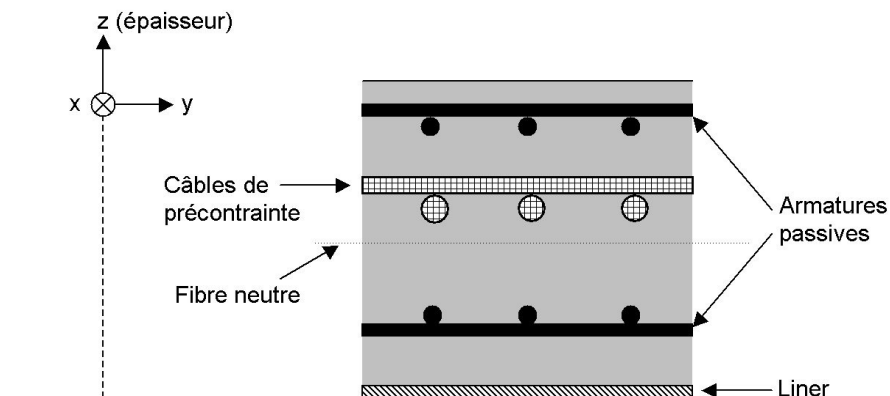


Figure 3-a: Section courante de la coque en béton armé.

La section de base d'une dalle en béton armé (Figure 3-a) est composée :

- de la coque en béton
- des armatures passives

et dans le cas de `GLRC_DAMAGE`, la section peut contenir en plus :

- des câbles de précontrainte
- un liner métallique

Le liner est une plaque en acier placée en peau interne de l'enceinte garantissant notamment l'étanchéité en cas de fuite accidentelle.

La précontrainte permet de comprimer le béton de la structure de génie civil. Cette précontrainte est appliquée à l'aide de câbles de précontrainte en acier mis sous tension.

## 4 Opérandes RELATION = GLRC\_DM

On consultera la documentation du modèle GLRC\_DM [R7.01.32].

### 4.1 Mot clé BETON

Le mot clé facteur BETON permet de définir les caractéristiques géométriques et matériau du béton.

#### 4.1.1 Opérande MATER

MATER = mat\_beton

Définit le nom du matériau produit par DEFI\_MATERIAU utilisé pour le béton. Cet opérande permet de vérifier que les paramètres associés aux comportements du béton existent bien dans le matériau. On attend de trouver les propriétés : ELAS et BETON\_ECRO\_LINE.

#### 4.1.2 Opérande EPAIS

EPAIS = ep

Définit l'épaisseur de la plaque de béton. On vérifie que  $ep \geq 0$ .

Remarque :

La valeur de cette épaisseur doit être identique à celle donnée dans AFFE\_CARA\_ELEM pour les éléments de coque utilisant le matériau mat\_beton (défini par DEFI\_GLRC).

### 4.2 Mot clé NAPPE

Le mot clé facteur NAPPE permet de définir les caractéristiques géométriques et matériau des armatures passives. Ce mot clé peut être défini seulement une seule fois. En effet, sous l'hypothèse d'isotropie en élasticité de la loi de comportement GLRC\_DM, toutes les armatures sont nécessairement identiques et à équidistance de la fibre neutre.

#### 4.2.1 Opérande MATER

MATER = mat\_acier

Définit le nom du matériau produit par DEFI\_MATERIAU utilisé pour les armatures passives. Cet opérande permet de récupérer les paramètres matériau utilisés pour les armatures passives (module d'Young  $E_a$ , coefficient de Poisson  $\nu_a$  et limite élastique  $\sigma_{ya}$ ) que l'on trouve dans les propriétés : ELAS et ECRO\_LINE.

#### 4.2.2 Opérandes OMX et OMY

OMX = Wx

OMY = Wy

Définissent les sections d'acier  $\Omega_x$  et  $\Omega_y$  d'un quelconque des deux lits d'armatures donné suivant les directions  $x$  et  $y$  (en  $m^2/m$  linéaire si l'épaisseur est donnée en  $m$ ). On rappelle que la formulation du modèle GLRC\_DM impose que les deux nappes d'armatures soient identiques.

On vérifie que  $\Omega_x > 0$  et  $\Omega_x = \Omega_y$ . Avec les deux nappes d'armatures dans la section de béton armé, on aura donc un taux de ferrailage total égal à  $2\Omega_x = 2\Omega_y$ .

### 4.2.3 Opérandes RX et RY

RX = rx  
RY = ry

Définissent la position adimensionnée d'un lit d'armatures par rapport à l'épaisseur de la coque en béton, donnée dans les directions  $x$  et  $y$  ( $-1 \leq rx \leq 1$ ,  $-1 \leq ry \leq 1$ , Figure 4.2.3-a).

On vérifie que  $rx = ry$ .

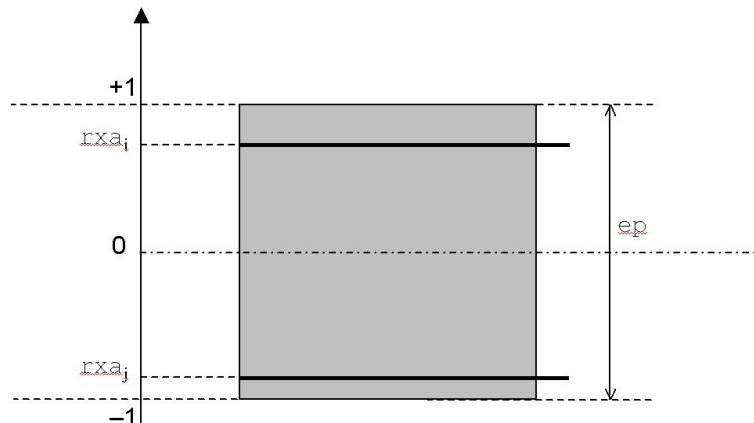


Figure 4.2.3-a: Définition de la position adimensionnée des lits d'armatures.

### 4.3 Opérande RHO

RHO = rho

Opérande facultatif permettant à l'utilisateur de définir la masse volumique équivalente de la dalle en béton armé. Dans le cas où l'opérande n'est pas défini, la masse volumique est calculée de la manière suivante :

$$\rho_{eq} = \rho_b + \frac{\rho_a}{h} (\Omega_x^{\text{sup}} + \Omega_x^{\text{inf}} + \Omega_y^{\text{sup}} + \Omega_y^{\text{inf}})$$

Où  $\rho_a$  désigne la masse volumique de l'acier et est récupérée dans le concept `mat_acier` fourni par l'opérande `MATER` du mot clé `NAPPE`.

Où  $\rho_b$  désigne la masse volumique du béton et est récupérée dans le concept `mat_beton` fourni par l'opérande `MATER` du mot clé `BETON`.

Où  $h$  est l'épaisseur fournie par le mot clé `EPAIS`.

### 4.4 Opérandes AMOR\_ALPHA, AMOR\_BETA et AMOR\_HYST

AMOR\_ALPHA = amor\_alpha  
AMOR\_BETA = amor\_beta  
AMOR\_HYST = amor\_hyst

Opérande facultatif permettant à l'utilisateur de définir les coefficients  $\alpha$  et  $\beta$  qui servent à construire la matrice de l'amortissement de Rayleigh et  $\eta$  pour l'amortissement hystérétique.

$$C = \alpha K + \beta M$$



On se reportera aux documents de modélisation de l'amortissement mécanique [U2.06.03] et [R5.05.04].

Si les opérandes ne sont pas renseignées dans la commande, elles prennent les valeurs définies dans le concept `mat_beton` fourni par l'opérande `MATER` du mot clé `BETON`.

## 4.5 Mot clé COMPR

Le mot clé simple `COMPR` permet de définir deux options pour calculer les différents paramètres de la loi en compression membranaire :

si `COMPR='GAMMA'` on utilise directement le paramètre d'endommagement en compression  $\gamma_c$  ou si `COMPR='SEUIL'` le seuil d'endommagement en compression du béton `NYC`.

Il existe une relation forte entre ces deux grandeurs qui est explicitée dans la documentation de référence [R7.01.32].

### 4.5.1 Opérandes GAMMA\_C

`GAMMA_C = gc`

Définit la valeur du paramètre d'endommagement en compression  $\gamma_c$ . On vérifie que  $0 \leq gc \leq 1$ .

### 4.5.2 Opérandes NYC

`NYC = nyc`

Définit la valeur absolue du seuil d'apparition de l'endommagement en compression de la dalle en béton armé (force par longueur).

## 4.6 Mot clé PENTE

Le mot clé facteur `PENTE` permet de définir la méthode de calcul de la pente post-élastique. En effet, il est possible de réaliser ce calcul suivant trois méthodes dénommées `RIGI_ACIER`, `PLAS_ACIER` et `UTIL`. Ces trois calculs de pentes permettent de mettre en place trois méthodes de recalage différentes en fonction des propriétés matériaux renseignées. Dans le cas où la limite élastique des aciers n'est pas connue, les méthodes de recalage `RIGI_ACIER`, i.e. pente post-élastique égale à la pente de reprise de raideur des aciers, et `UTIL`, i.e. pente post-élastique coupe la pente de reprise de raideur des aciers à une déformation maximale dont la valeur est imposée par l'utilisateur, sont accessibles (cette méthode n'est pas adaptée pour des déformations maximales plus faibles que le creux de la courbe de référence, voir Figure 4.6-b). Dans le cas où la limite d'élasticité des aciers est connue, il est possible d'utiliser la méthode de recalage à la limite de plasticité des aciers (`PLAS_ACIER`). Les différentes méthodes de recalage sont illustrées par les figures qui suivent.

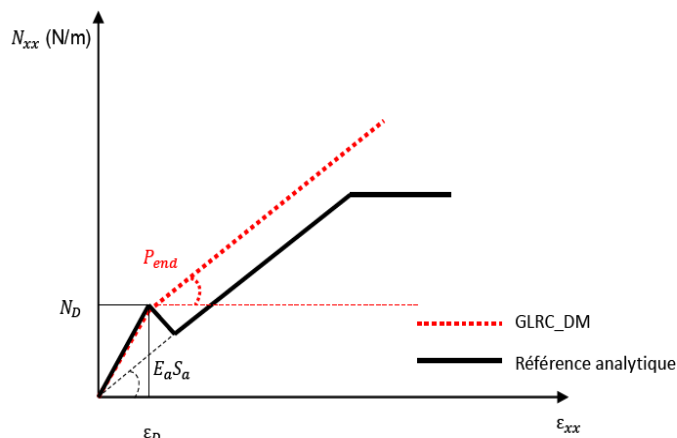


Figure 4.6-a: Courbe de traction (GLRC\_DM vs Référence) Recalage PENTE = RIGI\_ACIER

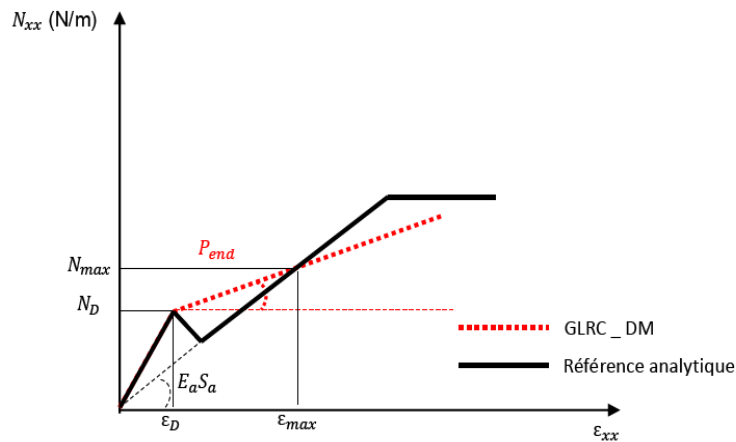


Figure 4.6-b: Courbe de traction (GLRC\_DM vs Référence) Recalage PENTE = UTIL

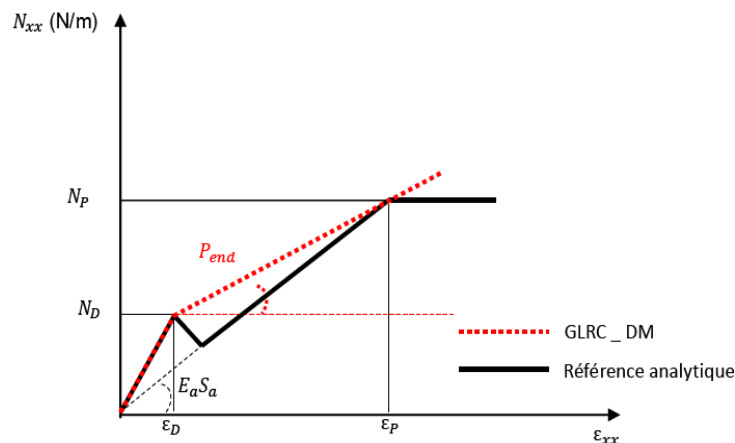


Figure 4.6-c: Courbe de traction (GLRC\_DM vs Référence) Recalage PENTE = PLAS\_ACIER

Dans le cas du recalage à la déformation maximale (PENTE=UTIL), il est nécessaire de renseigner la déformation maximale en membrane (EPSI\_MEMB) et la courbure maximale en flexion (KAPP\_FLEX).

#### 4.6.1 Opérande EPSI\_MEMB

EPSI\_MEMB = em

Définit la valeur de la déformation maximale en membrane dans le cas PENTE=UTIL.

#### 4.6.2 Opérande KAPP\_FLEX

KAPP\_FLEX = kf

Définit la valeur de la courbure maximale en flexion (inverse d'une longueur) dans le cas PENTE=UTIL.

## 4.7 Mot clé CISAIL

Le mot clé simple `CISAIL` permet de définir si les paramètres élastiques homogénéisés sont ceux calculés par homogénéisation pour une application standard du modèle de comportement (`CISAIL=NON`) ou ceux calculés pour une application particulière afin de respecter le fait quand on est en cisaillement plan pur la rigidité des aciers n'intervient pas dans le comportement élastique (`CISAIL=OUI`).

## 4.8 Mot clé `METHODE_ENDO`

A partir de la connaissance des pentes post-élastiques, plusieurs méthodes sont disponibles pour remonter aux valeurs des paramètres d'endommagement  $\gamma_t$ ,  $\gamma_c$  et  $\gamma_f$ , selon la gamme de chargements visée en termes de déformations généralisées atteintes. Le détail des différentes méthodes peut être trouvé dans [R7.01.32] :

- `ENDO_INTER` est la méthode par défaut (et conseillée) et correspond à un rapport de pente
- `ENDO_NAISS` correspond au cas de l'hypothèse de l'endommagement naissant, en considérant l'évolution infinitésimale juste après l'apparition du premier endommagement,
- `ENDO_LIM` correspond au cas de l'hypothèse de valeurs d'endommagement infinies, pour des déformations généralisées importantes.

## 4.9 Mot clé `INFO`

Avec `INFO = 2`, on obtient l'Impression au format `RESULTAT` de la liste des paramètres homogénéisés utilisés en entrée du modèle de comportement `GLRC_DM` : élasticité, seuils et comportement endommageant.

## 4.10 Exemple d'utilisation

On pourra consulter l'exemple d'utilisation reporté dans le test `SSNS106A`, en situation de traction-compression, et dans le test `SSNS106B`, en situation de flexion alternée, cf. [V6.05.106]. Il peut être utilisé afin de vérifier sur le cas à étudier les conséquences en termes de réponse pour des chargements élémentaires en statique alternée du choix des paramètres et des méthodes d'identification.

## 5 Opérandes RELATION = GLRC\_DAMAGE

On consultera la documentation du modèle GLRC\_DAMAGE [R7.01.31].

### 5.1 Mot clé BETON

Le mot clé facteur BETON permet de définir les caractéristiques géométriques et matériau du béton.

#### 5.1.1 Opérande MATER

MATER = mat\_beton

Définit le nom du matériau produit par DEFI\_MATERIAU utilisé pour le béton. Cet opérande permet de vérifier que les paramètres associés aux comportements choisis sous les mots-clés ECOULEMENT, ECRO\_ISOT, ECRO\_CINE et ELAS existent bien dans le matériau.

#### 5.1.2 Opérande EPAIS

EPAIS = ep

Définit l'épaisseur de la plaque de béton. On vérifie que  $ep \geq 0$ .

Remarque :

La valeur de cette épaisseur doit être identique à celle donnée dans AFFE\_CARA\_ELEM pour les éléments de coque utilisant le matériau mat\_beton (défini par DEFI\_GLRC).

#### 5.1.3 Opérande GAMMA

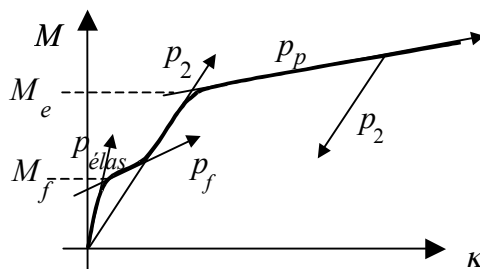
GAMMA = gamma

Définit le paramètre d'endommagement qui caractérise la pente de la courbe moment – courbure pendant la fissuration du béton (figure 2).  $gamma$  peut être considéré comme étant le rapport entre la pente durant la fissuration sur la pente élastique. Si  $gamma > 0$ , la pente est positive. Si  $gamma < 0$ , la pente décroît et la stabilité n'est plus garantie. Dans tous les cas, nous devons avoir  $gamma < QP1$  et  $gamma < QP2$ . La valeur par défaut est 0. Ce paramètre est utilisé uniquement pour le calcul de l'endommagement :

$$\gamma = \frac{p_f}{p_{élas}}$$

avec :

- $\gamma$  : GAMMA
- $p_{élas}$  : pente élastique
- $p_f$  : pente pendant la fissuration



**Figure 5.1.3-a: Courbe moment – courbure du comportement d'une plaque en béton armé en flexion.**

## 5.1.4 Opérandes QP1 et QP2

QP1 = qp1  
QP2 = qp2

Définissent des ratios de pentes pour une flexion positive ou négative. Le ratio est supposé être le rapport de la pente de la courbe courbure – moment après fissuration sur la pente élastique. Ils ne sont utilisés que pour le calcul de l'endommagement :

$$Q_p = \frac{p_2}{p_{elas}}$$

Avec :

- $Q_p$  : ratio des pentes
- $p_{elas}$  : pente élastique
- $p_2$  : pente après la fissuration

On vérifie que  $0 < QP_i < 1$  .

## 5.1.5 Opérandes C1N1/C1N2/C1N3/C2N1/C2N2/C2N3

C1N1 = c1n1  
C1N2 = c1n2  
C1N3 = c1n3  
C2N1 = c2n1  
C2N2 = c2n2  
C2N3 = c2n3

Définissent les composantes du tenseur d'écroissage cinématique de Prager liant les tenseurs des déformations plastiques membranaires avec les efforts de membrane de rappel cinématique.

$$N = CN_1 \epsilon_1^p + CN_2 \epsilon_2^p$$

Avec :

$$\bullet CN_1 = \begin{pmatrix} CIN1 & 0 & 0 \\ 0 & CIN2 & 0 \\ 0 & 0 & CIN3 \end{pmatrix}$$
$$\bullet CN_2 = \begin{pmatrix} C2N1 & 0 & 0 \\ 0 & C2N2 & 0 \\ 0 & 0 & C2N3 \end{pmatrix}$$

- $\epsilon_1^p$  et  $\epsilon_2^p$  sont les tenseurs de déformation plastique membranaire pour le critère de plasticité 1 et 2.

On vérifie que  $CiNj \geq 0$  .

## 5.1.6 Opérandes C1M1/C1M2/C1M3/C2M1/C2M2/C2M3

C1M1 = c1m1  
C1M2 = c1m2  
C1M3 = c1m3  
C2M1 = c2m1  
C2M2 = c2m2

C2M3 = c2m3

Définissent les composantes du tenseur d'écroissage cinématique de Prager liant les tenseurs des courbures plastiques avec les moments de rappel cinématique.

$$M = CM_1 \kappa_1^p + CM_2 \kappa_2^p$$

Avec :

$$\bullet CM_1 = \begin{pmatrix} CIM1 & 0 & 0 \\ 0 & CIM2 & 0 \\ 0 & 0 & CIM3 \end{pmatrix}$$
$$\bullet CM_2 = \begin{pmatrix} C2M1 & 0 & 0 \\ 0 & C2M2 & 0 \\ 0 & 0 & C2M3 \end{pmatrix}$$

•  $\kappa_1^p$  et  $\kappa_2^p$  sont les tenseurs de courbure plastique pour les critères de plasticité 1 et 2.

Le calcul des  $C_i M_j$  est effectué en utilisant MOCO.

$$C_i M_j = \frac{P_{\text{élas}} P_p}{P_{\text{élas}} - P_p}$$

avec :

- $p_{\text{élas}}$  : pente élastique
- $p_p$  : pente plastique

On vérifie que  $C_i M_j \geq 0$ .

## 5.1.7 Opérandes BT1/BT2 et EAT/OMT

BT1 = bt1

BT2 = bt2

EAT = eat

OMT = omt

Dans le cas où les éléments finis supportent le calcul des efforts tranchants, ces opérandes servent à définir la matrice élastique de rigidité de cisaillement transverse. Les efforts tranchants  $V$  sont reliés aux distorsions  $\gamma$  par :

$$V = \begin{bmatrix} BT1 & 0 \\ 0 & BT2 \end{bmatrix} : \gamma$$

Si l'utilisateur renseigne le module de Young des aciers transversaux EAT ainsi que la section d'acier transversaux par mètre linéique OMT alors on déduit les coefficients de la matrice de rigidité par la relation suivante :

$$bt_i = \frac{5}{6} \frac{ep}{2} \left( \frac{eb}{1+nub} + eat \times omt \right)$$

L'utilisateur ne peut pas renseigner à la fois BT1, BT2 et les paramètres EAT, OMT.

On vérifie que ces opérandes sont des réels strictement positifs.

## 5.1.8 Opérandes `MP1X/MP1Y/MP2X/MP2Y` et `MP1X_FO/MP1Y_FO/MP2X_FO/MP2Y_FO`

```
MP1X = mp1x  
MP1Y = mp1y  
MP2X = mp2x  
MP2Y = mp2y
```

```
MP1X_FO = mp1x_fo  
MP1Y_FO = mp1y_fo  
MP2X_FO = mp2x_fo  
MP2Y_FO = mp2y_fo
```

Définissent les moments plastiques limites du critère généralisé de Johansen utilisé dans le modèle de comportement `GLRC_DAMA`. Ils peuvent être définis soit par des valeurs constantes soit par des fonctions. Il n'est pas possible de mélanger des fonctions et des constantes. De plus dès qu'une des opérands est renseignée, il est obligatoire de toutes les renseigner. Quand celles-ci ne sont pas spécifiées, elles sont calculées de manière automatique.

## 5.2 Mot clé `ARMA`

Le mot clé facteur `ARMA` permet de définir les caractéristiques géométriques et matériau des armatures passives.

### 5.2.1 Opérande `MATER`

```
MATER= mat_acier
```

Définit le nom du matériau produit par `DEFI_MATERIAU` utilisé pour les armatures passives. Cet opérande permet de récupérer les paramètres matériau utilisés pour les armatures passives (module de Young  $E_a$ , coefficient de Poisson  $\nu_a$  et limite élastique  $\sigma_{ya}$ ).

### 5.2.2 Opérandes `OMX` et `OMY`

```
OMX = Wxa  
OMY = Wya
```

Définissent les sections d'acier d'un lit d'armatures donné suivant les directions  $x$  et  $y$  (en  $m^2/m$  linéaire, l'épaisseur étant alors donnée en  $m$ ).  
On vérifie que  $Wxa \geq 0$  et  $Wya \geq 0$ .

### 5.2.3 Opérandes `RX` et `RY`

```
RX = rxa  
RY = rya
```

Définissent la position adimensionnée d'un lit d'armatures par rapport à l'épaisseur de la coque en béton, donnée dans les directions  $x$  et  $y$  ( $-1 \leq rxa \leq 1$ ,  $-1 \leq rya \leq 1$ , figure 3).



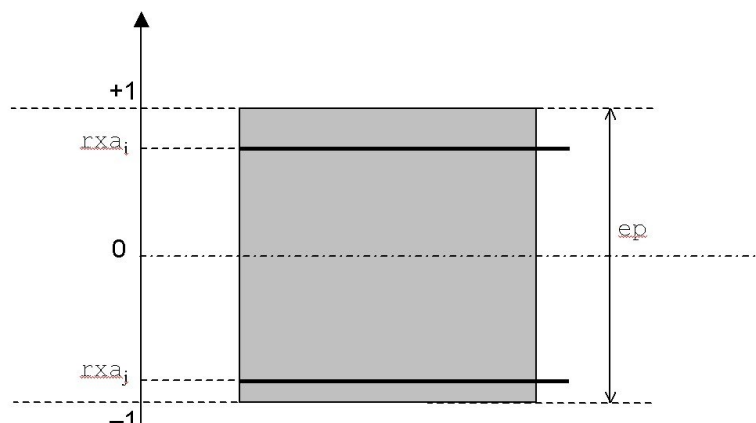


Figure 5.2.3-a: Définition de la position adimensionnée des lits d'armatures.

### 5.3 Mot clé CABLE\_PREC

Le mot clé facteur CABLE\_PREC permet de définir les caractéristiques géométriques et matériau des câbles de précontrainte ainsi que l'effort de précontrainte utilisé.

#### 5.3.1 Opérande MATER

MATER = mat\_cable

Définit le nom du matériau produit par DEFI\_MATERIAU utilisé pour les câbles de précontrainte. Cet opérande permet de récupérer les paramètres matériau utilisés pour les câbles de précontrainte (module de Young  $E_p$ , coefficient de Poisson  $\nu_p$  et limite élastique  $\sigma_{yp}$ ).

#### 5.3.2 Opérandes OMX et OMY

OMX = W xp

OMY = W yp

Définissent les sections d'acier d'un lit de câbles de précontrainte donné suivant les directions  $x$  et  $y$  (en  $m^2/m$  linéaire, l'épaisseur étant alors donnée en  $m$ ).

On vérifie que  $Wxp \geq 0$  et  $Wyp \geq 0$ .

#### 5.3.3 Opérandes RX et RY

RX = rxp

RY = ryp

Définissent la position adimensionnée d'un lit de câbles de précontrainte par rapport à l'épaisseur de la coque en béton, donnée dans les directions  $x$  et  $y$  ( $-1 \leq rxp \leq 1$ ,  $-1 \leq ryp \leq 1$ ).

#### 5.3.4 Opérandes PREX et PREY

PREX = precx,

PREY = precy,

Définissent les forces de précontrainte (en Newton) dans les directions  $x$  et  $y$  (elles doivent être normalement négatives car on applique un effort de compression).

## 5.4 Mot clé LINER

Le mot clé facteur LINER permet de définir les caractéristiques géométriques et matériau du liner métallique.

### 5.4.1 Opérande MATER

MATER = mat\_liner

Définit le nom du matériau produit par DEFI\_MATERIAU utilisé pour le liner métallique. Cet opérande permet de récupérer les paramètres matériau utilisés pour le liner métallique (module de Young  $E_l$ , coefficient de Poisson  $\nu_l$  et limite élastique  $\sigma_{yl}$ ).

### 5.4.2 Opérande OML

OML = Wl

Définit l'épaisseur du liner (en mètres selon le choix opéré pour le autres paramètres dimensionnés). On vérifie que  $Wl \geq 0$ .

### 5.4.3 Opérande RLR

RLR = rlr,

Définit la position adimensionnée du liner par rapport à l'épaisseur de la coque en béton (en pratique,  $rlr = -1$  ou  $rlr = 1$ , car le liner métallique est disposé en face inférieure ou supérieure de la coque en béton).

## 5.5 Mot clé ALPHA

Ce mot clé permet de définir un coefficient de dilatation thermique « moyen » (et isotrope) pour l'élément de coque.

## 5.6 Mot clé INFO

Impression au format RESULTAT de la liste des paramètres homogénéisés utilisés en entrée du modèle de comportement GLRC\_DAMAGE.

## 6 Exemple d'utilisation

L'exemple suivant est issu du test SDNS106A:

```
MAT = DEFI_GLRC ( RELATION = GLRC_DAMAGE,
                 BETON = _F (
                   MATER = MAT_B,
                   EPAIS = EP,
                   GAMMA = 0.0,
                   QP1 = 0.15,
                   QP2 = 0.15,

                   C1N1 = 87.3E6, C1N2 = 87.3E6, C1N3 = 87.3E6,
                   C2N1 = 87.3E6, C2N2 = 87.3E6, C2N3 = 87.3E6,
                   C1M1 = 14.8E6, C1M2 = 14.8E6, C1M3 = 14.8E6,
                   C2M1 = 14.8E6, C2M2 = 14.8E6, C2M3 = 14.8E6, ) ,

                 NAPPE = (
                   _F (MATER = MAT_A1,
                      OMX = 5.65E-4,
                      OMY = 5.65E-4,
                      RX = 0.95,
                      RY = 0.95, ) ,

                   _F (MATER = MAT_A1,
                      OMX = 5.65E-4,
                      OMY = 5.65E-4,
                      RX = -0.95,
                      RY = -0.95, ) , ) ,

                 LINER = _F (
                   MATER = MAT_A2,
                   OML = 6.E-3,
                   RLR = -1. , ) ,

                 CABLE_PREC = _F (
                   MATER = MAT_A2,
                   OMX = 4.56E-3,
                   OMY = 1.35E-2,
                   RX = 0.0,
                   RY = 0.0,
                   PREX = -3.0E6,
                   PREY = -3.0E6, ) ,

                 INFO = 2, ) ;
```

### Remarque :

Dans cet exemple, on utilise 3 matériaux différents : MAT\_B (béton), MAT\_A1 (armatures passives) et MAT\_A2 (liner métallique et câbles de précontrainte). Avant de définir les paramètres de DEFI\_GLRC, il est obligatoire d'utiliser DEFI\_MATERIAU pour renseigner tous les paramètres concernant ces matériaux:

```
MAT_B=DEFI_MATERIAU (
                    ELAS = _F (
                        E      = 30000.E6,
                        NU     = 0.2,
                        RHO    = 2500.0, ) ,
```

```
BETON_ECRO_LINE = _F(  
    D_SIGM_EPSI = 0.0,  
    SYT      = 5E6,  
    SYC      = -35.E6,)) ;  
  
MAT_A1=DEFI_MATERIAU(  
    ELAS = _F(  
        E      = 2.E11,  
        NU     = 0.0,)) ,  
    ECRO_LINE = _F(  
        D_SIGM_EPSI = 0.0,  
        SY      = 3.E9,)) ;  
  
MAT_A2=DEFI_MATERIAU(  
    ELAS = _F(  
        E      = 2.E11,  
        NU     = 0.3,)) ,  
    ECRO_LINE = _F(  
        D_SIGM_EPSI = 0.0,  
        SY      = 5.E8,)) ;
```

Bien que les formules d'homogénéisation utilisées dans DEFI\_GLRC n'exploitent que les valeurs de seuil SY pour ECRO\_LINE et SYT, SYC pour BETON\_ECRO\_LINE de DEFI\_MATERIAU, on est obligé de renseigner aussi les valeurs D\_SIGM\_EPSI comme indiqué ci-dessus, puisque il s'agit de mots-clés obligatoires.