

Titre : SSNS114 – Dégradation d'une plaque en béton armé s[...] Responsable : MICHEL-PONNELLE Sylvie Version

# SSNS114 – Dégradation d'une plaque en béton armé sous sollicitations variées avec la loi BETON REGLE PR

Résumé :

Ce test valide la loi de comportement non-linéaire du béton BETON\_REGLE\_PR (voir [R7.01.27]) pour des chargements cycliques variés : traction/compression, flexion alternée, cisaillement dans le plan et leurs combinaisons. On utilise une modélisation multicouche, dans laquelle on représente les aciers des nappes d'armatures par des GRILLE\_EXCENTRE. Les analyses sont faites en statique (STAT\_NON\_LINE). Les résultats sont comparés avec ceux d'une modélisation avec le modèle de comportement ENDO\_ISOT\_BETON (voir [R7.01.04]).

La modélisation H teste la thermomécanique. Dans cette modélisation, on vérifie que les deux chargements de dilatation thermique (température homogène dans l'épaisseur et gradient de température constant dans l'épaisseur) conduisent au même état de contrainte que deux chargements mécaniques simples : extension selon Ox et flexion autour de Oy.

Les modélisations E à G correspondent aux modélisations A à C pour d es niveaux de sollicitations plus élevés.

*Titre : SSNS114 – Dégradation d'une plaque en béton armé s[…] Responsable : MICHEL-PONNELLE Sylvie*  Version

## 1 Problème de référence

#### 1.1 Géométrie



#### Figure 1.1-a: géométrie de la plaque carrée en béton armé

Longueur : L = 1.0 m; Épaisseur de la plaque : e = 0.1 m. Diamètre des aciers : 0.01 m. Enrobage des nappes d'armature inférieure et supérieure des aciers selon l'axe z : 0.01 m.

La modélisation est basée sur une modélisation semi-globale en plaque multicouche. On modélise le béton et les armatures séparément. Pour chaque nappe d'armatures, on considère une couche qui se comporte uniquement dans le sens longitudinal des armatures. Donc on aura 4 couches pour les armatures.

Sur le même maillage on définit 5 modèles représentant la plaque en béton armé : 1 modèle DKT pour le béton et 4 modèles GRILLE pour les armatures (2 suivant la direction X, 2 suivant la direction X

*Y* pour les parties inférieure et supérieure). Le taux de ferraillage pour chaque nappe d'armatures est de  $8.0 \times 10^{-4} m^2/m$ .

La position des armatures (inférieure ou supérieure) est définie par le mot clé EXCENTREMENT sous le mot clé facteur GRILLE dans l'opérateur AFFE\_CARA\_ELEM, qui vaut  $\pm 0.04 m$ : on admet donc ici que les aciers en X et en Y sont à la même position, ce qui constitue l'approximation habituelle des modèles multicouches.

### 1.2 Propriétés du matériau

La fissuration du béton est modélisée par la loi de comportement BETON\_REGLE\_PR, tandis que l'acier modélisé par la loi GRILLE\_ISOT\_LINE.

**Béton (modèle BETON\_REGLE\_PR)**: Module de Young:  $E_b = 32308.0 MPa$ Coefficient de Poisson :  $v_b = 0.20$ Seuil d'endommagement en traction simple  $\sigma_y^t$  : 3.4 MPa Pente adoucissante :  $E_T = -0.2 E_b$ Seuil d'endommagement en compression simple  $\sigma_y^c$  : 32.308 MPa Déformation au seuil de compression  $\varepsilon_c$  : 0.002 Exposant de la loi d'écrouissage en compression n : 2

Titre : SSNS114 – Dégradation d'une plaque en béton armé s[...] Responsable : MICHEL-PONNELLE Sylvie

Acier :

### 1.3 Conditions aux limites et chargements

On considère différentes modélisations *A* à *H* pour différents types de chargements caractéristiques et différents comportements de la plaque. Dans tous les cas, les chargements sont des déplacements (ou des rotations) imposés aux bords de la plaque, différemment pour chaque modélisation.

Les modélisations considérées sont :

modélisation A (§3) : traction – compression - traction pure ;
 modélisation B (§4) : flexion pure alternée ;
 modélisation C (§5) : couplage de traction - compression et flexion ;
 modélisation D (§6) : cisaillement pur et distorsion dans le plan ;
 modélisation E (§7) : traction – compression pure, sollicitations élevées ;
 modélisation F (§8) : flexion pure alternée, sollicitations élevées ;
 modélisation G (§9) : couplage traction/compression et flexion, sollicitations élevées ;

#### 1.4 Conditions initiales

Initialement, les déplacements et les contraintes sont identiquement nuls.

Date : 21/07/2017 Page : 3/39 Clé : V6.05.114 Révision : eab9e1291a8d

Titre : SSNS114 – Dégradation d'une plaque en béton armé s[...] Responsable : MICHEL-PONNELLE Sylvie Date : 21/07/2017 Page : 4/39 Clé : V6.05.114 Révision : eab9e1291a8d

Version

default

## 2 Solution de référence

La solution de référence est obtenue avec l'utilisation de la loi de comportement ENDO\_ISOT\_BETON.

#### 2.1 Modèles

La modélisation est identique à celle du modèle multicouche avec la loi BETON\_REGLE\_PR présenté précédemment.

#### 2.2 Propriétés des matériaux

Les propriétés du béton sont identiques à celle de la loi BETON\_REGLE\_PR

#### Béton (modèle ENDO ISOT BETON) :

Module de Young:  $E_b = 32308.0 MPa$ Coefficient de Poisson :  $v_b = 0.20$ Seuil d'endommagement en traction simple  $\sigma_{y, EIB}^t$  : 3.4 MPa Pente adoucissante :  $-0.2 E_b$ .

Les propriétés de l'acier sont identiques à celle utilisé pour le modèle avec la loi BETON\_REGLE\_PR.

Titre : SSNS114 – Dégradation d'une plaque en béton armé s[...] Responsable : MICHEL-PONNELLE Sylvie Date : 21/07/2017 Page : 5/39 Clé : V6.05.114 Révision : eab9e1291a8d

## 3 Modélisation A

### 3.1 Caractéristiques de la modélisation

Le chargement est de type traction - compression - traction pure.



Figure 3.1-a: maillage et conditions aux limites.

Modélisation : DKT

Conditions aux limites :

- Encastrement en  $A_1$  ;
- DX = 0.0 sur l'arête  $A_1 A_3$  ;
- •
- $DX = U_0 \times f(t)$  sur l'arête  $A_2 A_4$  ;

où  $U_0 = 2.0 \times 10^{-4} m$  et f(t) représentent l'amplitude du chargement cyclique en fonction du paramètre (de pseudo-temps) t. Pour bien vérifier le modèle, on considère deux fonctions de chargement comme suit :



#### Figure 3.1-b: fonctions de chargement f1 (gauche) et f2 (droite).

Note : la déformation extrémale est :  $2.0 \times 10^{-4}$ , soit bien en-deçà du passage en plasticité des aciers. Pas de temps d'intégration : 0.05.

Titre : SSNS114 – Dégradation d'une plaque en béton armé s[]	
Responsable : MICHEL-PONNELLE Sylvie	

Date : 21/07/2017 Page : 6/39 Clé : V6.05.114 Révision eab9e1291a8d

### 3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 9. Nombre de mailles : 8 TRIA3 ; 8 SEG2.

#### 3.3 Grandeurs testées et résultats pour la fonction de chargement f1

On compare la somme des forces de réactions selon l'axe Ox en A1-A3 et les déplacements selon l'axe Oy en A4 (effet Poisson) obtenus par la modélisation multicouche avec la loi ENDO\_ISOT\_BETON et par celle reposant sur la loi BETON\_REGLE\_PR, en termes de différences relatives ; la tolérance est prise en valeur absolue sur ces différences relatives :

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
TRAC PHASE CHAR. ELAS. $t=0,25$			
Différence relative des efforts $N_{xx}$	AUTRE_ASTER	0	1 10 <sup>-2</sup>
Différence relative des déplacements DY	NON-REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
TRAC PHASE CHAR. ENDO. $t=1,0$			
Différence relative des efforts $N_{xx}$	AUTRE_ASTER	0	1 10 <sup>-2</sup>
TRAC PHASE DECHAR. ELAS. $t=1,5$			
Différence relative des efforts $N_{xx}$	AUTRE_ASTER	0	1.1
COMPR PHASE CHAR. ELAS. $t=3,0$			
Différence relative des efforts $N_{xx}$	AUTRE_ASTER	0	1 10 <sup>-2</sup>
COMPR PHASE DECHAR. ELAS $t=3,5$			
Différence relative des efforts $N_{xx}$	AUTRE_ASTER	0	3 10 <sup>-2</sup>





Diagrammes comparés déplacement DY (dû à l'effet de Poisson) en fonction du temps :



Titre : SSNS114 – Dégradation d'une plaque en béton armé s[...] Responsable : MICHEL-PONNELLE Sylvie Version

### 3.4 Grandeurs testées et résultats pour la fonction de chargement f2

On compare les forces de réaction selon l'axe Ox et les déplacements selon l'axe Oy en A4 obtenus par la modélisation multicouche avec la loi ENDO\_ISOT\_BETON et par celle reposant sur la loi BETON\_REGLE\_PR, en termes de différences relatives ; la tolérance est prise en valeur absolue sur ces différences relatives :

Identification	Type de référence	Valeur de référence	tolérance
COMPR PHASE CHAR. ELAS. $t=0,25$			
Différence relative des efforts $N_{xx}$	AUTRE_ASTER	0	3 10 <sup>-2</sup>
COMPR PHASE CHAR. ENDO. $t=1,0$			
Différence relative des efforts $N_{xx}$	AUTRE_ASTER	0	5 10 <sup>-2</sup>
COMPR PHASE DECHAR. ELAS. $t=1,5$			
Différence relative des efforts $N_{xx}$	AUTRE_ASTER	0	3 10 <sup>-2</sup>
COMPR PHASE DECHAR. ELAS. $t=2,25$			
Différence relative des efforts $N_{xx}$	AUTRE_ASTER	0	1 10 <sup>-2</sup>
TRAC PHASE CHAR. ELAS. $t=3,0$			
Différence relative des efforts $N_{xx}$	AUTRE_ASTER	0	1 10 <sup>-1</sup>
<b>TRAC.</b> - <b>PHASE DECHAR.</b> ELAS. $t=3,5$			
Différence relative des efforts $N_{xx}$	AUTRE_ASTER	0	1.1

Diagrammes comparés  $N_{xx}$  – déplacement DX en traction/compression pour le chargement f2 :



Titre : SSNS114 – Dégradation d'une plaque en béton armé s[...] Responsable : MICHEL-PONNELLE Sylvie Date : 21/07/2017 Page : 9/39 Clé : V6.05.114 Révision : eab9e1291a8d

#### 3.5 Remarques

D'après les courbes précédentes, on constate que le modèle multicouche avec la loi BETON\_REGLE\_PR représente le comportement global du béton armé en traction – compression pure d'une manière satisfaisante en charge. Cependant en décharge, la loi BETON\_REGLE\_PR suit la même courbe que la charge à la différence de la loi ENDO ISOT BETON.

L'effet de Poisson n'est pas modélisé par la loi BETON\_REGLE\_PR, on obtient donc un déplacement nul dans la direction transverse DY.

On observe une symétrie de la réponse selon le sens choisi de charge compression-traction ou inverse, selon le chargement fl ou f2 pour la loi BETON\_REGLE\_PR.

Titre : SSNS114 – Dégradation d'une plaque en béton armé s[...] Responsable : MICHEL-PONNELLE Sylvie Date : 21/07/2017 Page : 10/39 Clé : V6.05.114 Révision eab9e1291a8d

## 4 Modélisation B

### 4.1 Caractéristiques de la modélisation

Le chargement est de type flexion pure alternée.



Figure 4.1-a: maillage et conditions aux limites

Modélisation : DKT

Conditions aux limites :

- DRY = 0.0 sur l'arête  $A_1 A_3$
- $DRY = R_0 \times f(t)$  sur l'arête  $A_2 A_4$  ,

où  $R_0 = 6 \times 10^{-3}$  et f(t) est l'amplitude du chargement cyclique en fonction du paramètre (de pseudo-temps) t, Pour bien vérifier le modèle, on considère trois fonctions de chargements comme :



Figure 4.1-b: flexion négative, puis flexion positive



Figure 4.1-c: flexion positive, puis flexion négative

Version default

Titre : SSNS114 – Dégradation d'une plaque en béton armé s[...] Responsable : MICHEL-PONNELLE Sylvie

Date : 21/07/2017 Page : 11/39 Clé : V6.05.114 Révision : eab9e1291a8d



Figure 4.1-d: deux cycles de flexion alternée

Note : la déformation extrémale des aciers est :  $2.4 \times 10^{-3}$ , soit en-deçà du passage en plasticité des aciers. Incrément d'intégration : 0.05 s.

#### 4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 9. Nombre de mailles : 8 TRIA3.

#### 4.3 Grandeurs testées et résultats pour la fonction de chargement f1

On compare la somme des moments selon l'axe Oy en A1-A3 et les rotations selon l'axe Ox en A4 obtenus par la modélisation multicouche avec la loi ENDO\_ISOT\_BETON et par celle reposant sur la loi BETON\_REGLE\_PR, en termes de différences relatives ; la tolérance est prise en valeur absolue sur ces différences relatives.

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
<b>FLEXION NEG - PHASE CHAR. ELAS.</b> $t=0,25$			
Différence relative des moments $M_{yy}$	AUTRE_ASTER	0	3 10 <sup>-2</sup>
Différence relative des rotations DRX	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
FLEXION NEG - PHASE CHAR. ENDO. $t=1,0$			
Différence relative des moments $M_{yy}$	AUTRE_ASTER	0	1 10 <sup>-2</sup>
Différence relative des rotations DRX	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
FLEXION NEG - PHASE DECHAR. ELA $t=1,5$	AS.		
Différence relative des moments $M_{_{VV}}$	AUTRE_ASTER	0	6 10 <sup>-1</sup>
Différence relative des rotations DRX	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
FLEXION POS PHASE CHAR. ELAS. $t=2,23$	5		
Différence relative des moments $M_{_{VV}}$	AUTRE_ASTER	0	3 10 <sup>-2</sup>
Différence relative des rotations DRX	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
FLEXION POS PHASE CHAR. ENDO. $t=3,0$			
Différence relative des moments $M_{_{VV}}$	AUTRE_ASTER	0	$2 \ 10^{-2}$
Différence relative des rotations DRX	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
FLEXION POS PHASE DECHAR. ELA $t=3,5$	AS.		
Différence relative des moments $M_{_{VV}}$	AUTRE_ASTER	0	6 10 <sup>-1</sup>
Différence relative des rotations DRX	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>

Titre : SSNS114 – Dégradation d'une plaque en béton armé s[...] Responsable : MICHEL-PONNELLE Sylvie Date : 21/07/2017 Page : 12/39 Clé : V6.05.114 Révision : eab9e1291a8d

Diagrammes comparés moment/rotation en flexion cyclique pour le chargement fl:



Diagrammes comparés rotation

n DRX (due à l'effet de Poisson) en fonction du temps pour le chargement fl :



Version default

Fascicule v6.05: Statique non linéaire des plaques et des coques

Titre : SSNS114 – Dégradation d'une plaque en béton armé s[...] Responsable : MICHEL-PONNELLE Sylvie Date : 21/07/2017 Page : 13/39 Clé : V6.05.114 Révision : eab9e1291a8d

#### 4.4 Grandeurs testées et résultats pour la fonction de chargement f2

On compare les moments selon l'axe Oy en A1-A3 et les rotations selon l'axe Ox en A4 obtenus par la modélisation multicouche avec la loi ENDO\_ISOT\_BETON et par celle reposant sur la loi BETON\_REGLE\_PR, en termes de différences relatives ; certaines tolérances sont prises en valeur absolue :

Identification		Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
FLEXION NEG PHASE CHAR. ELAS.	<i>t</i> =0,25			
Différence relative des moments $M_{yy}$		AUTRE_ASTER	0	3 10 <sup>-2</sup>
Différence relative des rotations DRX		NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
FLEXION NEG PHASE CHAR. ENDO.	t = 1,0			
Différence relative des moments $M_{yy}$		AUTRE_ASTER	0	1 10 <sup>-2</sup>
Différence relative des rotations DRX		NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
FLEXION NEG PHASE DECHAR. ELA	<b>S.</b> $t = 1,5$			
Différence relative des moments $M_{yy}$		AUTRE_ASTER	0	6 10 <sup>-1</sup>
Différence relative des rotations DRX		NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
FLEXION POS PHASE CHAR. ELAS.	t = 2,25			
Différence relative des moments $M_{yy}$		AUTRE_ASTER	0	3 10 <sup>-2</sup>
Différence relative des rotations DRX		NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
FLEXION POS PHASE CHAR. ENDO.	t = 3,0			
Différence relative des moments $M_{yy}$		AUTRE_ASTER	0	2 10 <sup>-2</sup>
Différence relative des rotations DRX		NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
FLEXION POS PHASE DECHAR. ELA	<b>S.</b> <i>t</i> =3,5			
Différence relative des moments $M_{yy}$		AUTRE_ASTER	0	6 10 <sup>-1</sup>
Différence relative des rotations DRX		NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>

On vérifie bien que ces résultats sont identiques à ceux obtenus avec le chargement fl (en sens opposé).

#### 4.5 Grandeurs testées et résultats pour la fonction de chargement f3

On compare les moments selon l'axe Oy en A1-A3 et les rotations selon l'axe Ox en A4 obtenus par la modélisation multicouche avec la loi ENDO\_ISOT\_BETON et par celle reposant sur la loi BETON\_REGLE\_PR, en termes de différences relatives :

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
<b>FLEXION NEG PHASE CHAR. ELAS.</b> $t = 4,25$			
Différence relative des moments $M_{yy}$	AUTRE_ASTER	0	7 10 <sup>-1</sup>
Différence relative des rotations DRX	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
FLEXION NEG PHASE CHAR. ENDO. $t=5,0$			
Différence relative des moments $M_{yy}$	AUTRE_ASTER	0	3 10 <sup>-2</sup>
Différence relative des rotations DRX	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
FLEXION NEG PHASE DECHAR. ELAS. $t=1,5$			
Différence relative des moments $M_{yy}$	AUTRE_ASTER	0	6 10 <sup>-1</sup>
Différence relative des rotations DRX	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
FLEXION POS PHASE CHAR. ELAS. $t=2,25$			

Manuel de validation

Fascicule v6.05: Statique non linéaire des plaques et des coques

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

Version default

Titre : SSNS114 – Dégradation d'une Responsable : MICHEL-PONNELLE	e plaque en béto Sylvie	n armé s[] Date Clé	e : 21/07/2017 : V6.05.114	Page : 14/39 Révision : eab9e1291a8d
Différence relative des moments	$M_{vv}$	AUTRE_ASTER	0	3 10 <sup>-2</sup>
Différence relative des rotations	DRX	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
FLEXION POS PHASE CHAR. I	<b>ENDO.</b> $t = 3,0$			
Différence relative des moments	$M_{vv}$	AUTRE_ASTER	0	2 10 <sup>-2</sup>
Différence relative des rotations	DRX	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
FLEXION POS PHASE DECHA	<b>R. ELAS.</b> <i>t</i> =3	,5		
Différence relative des moments	$M_{\nu\nu}$	AUTRE_ASTER	0	6 10 <sup>-1</sup>
Différence relative des rotations	DRX	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>

#### Diagrammes comparés moment/rotation en flexion cyclique pour le chargement f3 :



Code_Aster		Version default
Titre : SSNS114 – Dégradation d'une plaque en béton armé s[] Responsable : MICHEL-PONNELLE Sylvie	Date : 21/07/2017 Clé : V6.05.114	Page : 15/39 Révision : eab9e1291a8d

# Diagrammes comparés rotation DRX (due à l'effet de Poisson) en fonction du temps pour le chargement f3:



#### 4.6 Remarques

D'après les courbes précédentes, on constate que le modèle multicouche avec la loi BETON\_REGLE\_PR représente le comportement global du béton armé en flexion – + d'une manière satisfaisante en charge. Cependant en décharge, la loi BETON\_REGLE\_PR suit la même courbe que la charge à la différence de la loi ENDO ISOT BETON.

L'effet de Poisson n'est pas modélisé par la loi BETON\_REGLE\_PR, on obtient donc une rotation nulle dans la direction DRX.

On observe une symétrie de la réponse selon le sens choisi de charge flexion – et + ou le cas opposé, selon le chargement fl ou f2 pour la loi BETON\_REGLE\_PR.

Titre : SSNS114 – Dégradation d'une plaque en béton armé s[...] Responsable : MICHEL-PONNELLE Sylvie Date : 21/07/2017 Page : 16/39 Clé : V6.05.114 Révision eab9e1291a8d

## 5 Modélisation C

### 5.1 Caractéristiques de la modélisation

Le chargement est un couplage traction – compression et flexion.



Figure 5.1-a: maillage et conditions aux limites

Modélisation : DKT

Conditions aux limites : couplage de Traction - Compression et Flexion :

• DX = 0.0 et DRY = 0.0 sur l'arête  $A_1 - A_3$ 

• 
$$DX = U_0 \times f(t)$$
 et  $DRY = R_0 \times f(t)$  sur l'arête  $A_2 - A_4$ ,

où  $U_0 = 1.5 \times 10^{-4} m$ ,  $R_0 = 5. \times 10^{-3} rad$  et f(t) est l'amplitude du chargement cyclique en fonction du paramètre (de pseudo-temps) t. On considère deux types de chargement :

• La même fonction *f1* de chargement pour la membrane et la flexion (cas synchrone) :



Figure 5.1-b: fonction de chargement f1

La fonction  $f^2$  de chargement de membrane deux fois plus rapide que celui de flexion (en pratique les fréquences de membrane d'une dalle sont supérieures à celles de flexion) :



Figure 5.1-c: fonction de chargement f2

Manuel de validation

Fascicule v6.05: Statique non linéaire des plaques et des coques

*Titre : SSNS114 – Dégradation d'une plaque en béton armé s[...] Responsable : MICHEL-PONNELLE Sylvie*  Date : 21/07/2017 Page : 17/39 Clé : V6.05.114 Révision : eab9e1291a8d

### 5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 9. Nombre de mailles : 8 TRIA3 ; 8 SEG2.

# 5.3 Grandeurs testées et résultats : premier chargement (même fonction de chargement pour membrane et flexion)

On compare la somme des forces selon l'axe Ox en A1-A3, les déplacements selon l'axe Oy en A4, les moments selon l'axe Oy en A1-A3 et les rotations selon l'axe Ox en A4 obtenus par la modélisation multicouche avec la loi ENDO\_ISOT\_BETON et par celle reposant sur la loi BETON\_REGLE\_PR, en termes de différences relatives ; les tolérances sont prises en valeur absolue:

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
<b>PHASE ELASTIQUE</b> $t=0,25$			
Différence relative des efforts $N_{xx}$	NON_REGRESSION	_	1 10 <sup>-6</sup>
Différence relative des déplacements DY	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
Différence relative des moments $M_{yy}$	NON_REGRESSION	_	1 10 <sup>-6</sup>
Différence relative des rotations DRX	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
<b>PHASE ENDOMMAGEMENT</b> $t=1,0$			
Différence relative des efforts $N_{xx}$	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
Différence relative des déplacements DY	NON_REGRESSION	_	1 10 <sup>-6</sup>
Différence relative des moments $M_{_{VV}}$	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
Différence relative des rotations DRX	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
<b>PHASE DECHARGEMENT</b> $t=1,5$			
Différence relative des efforts $N_{xx}$	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
Différence relative des déplacements DY	NON_REGRESSION	_	1 10 <sup>-6</sup>
Différence relative des moments $M_{yy}$	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
Différence relative des rotations DRX	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
<b>PHASE ELASTIQUE</b> $t=2,25$			
Différence relative des moments $M_{yy}$	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
Différence relative des rotations DRX	NON_REGRESSION	_	1 10 <sup>-6</sup>
<b>PHASE RECHARGEMENT</b> $t=3,0$			
Différence relative des efforts $N_{xx}$	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
Différence relative des déplacements DY	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
Différence relative des moments $M_{yy}$	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
Différence relative des rotations DRX	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
<b>PHASE DECHARGEMENT</b> $t=3,5$			
Différence relative des efforts $N_{xx}$	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
Différence relative des déplacements DY	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
Différence relative des moments $M_{yy}$	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
Différence relative des rotations DRX	NON_REGRESSION	_	1 10 <sup>-6</sup>

*Titre : SSNS114 – Dégradation d'une plaque en béton armé s[...] Responsable : MICHEL-PONNELLE Sylvie* 

Date : 21/07/2017 Page : 18/39 Clé : V6.05.114 Révision : eab9e1291a8d

Diagrammes comparés des efforts  $N_{xx}$  – en fonction du déplacement DX imposé pour le chargement fl :



Diagrammes comparés du moment  $M_{yy}$  en fonction de la rotation DRY imposée pour le chargement fl:



Fascicule v6.05: Statique non linéaire des plaques et des coques



÷



Diagrammes comparés rotation DR

DRX (due à l'effet de Poisson) pour le chargement fl :



*Titre : SSNS114 – Dégradation d'une plaque en béton armé s[...] Responsable : MICHEL-PONNELLE Sylvie* 

Date : 21/07/2017 Page : 20/39 Clé : V6.05.114 Révision : eab9e1291a8d

# 5.4 Grandeurs testées et résultats : deuxième chargement (membrane deux fois plus rapide que flexion)

On compare les forces selon l'axe Ox en A1-A3, les déplacements selon l'axe Oy en A4, les moments selon l'axe Oy en A1-A3 et les rotations selon l'axe Ox en A4 obtenus par la modélisation multicouche avec la loi ENDO\_ISOT\_BETON et par celle reposant sur la loi BETON\_REGLE\_PR, en termes de différences relatives ; les tolérances sont prises en valeur absolue:

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
<b>PHASE ELASTIQUE</b> $t=0,2$			
Différence relative des efforts $N_{xx}$	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
Différence relative des déplacements DY	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
<b>PHASE ELASTIQUE</b> $t=0,25$			
Différence relative des moments $M_{yy}$	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
Différence relative des rotations DRX	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
<b>PHASE ENDOMMAGEMENT</b> $t=0,5$			
Différence relative des efforts $N_{xx}$	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
Différence relative des déplacements DY	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
PHASE ENDOMMAGEMENT $t=1,0$			
Différence relative des moments $M_{yy}$	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
Différence relative des rotations DRX	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
<b>PHASE DECHARGEMENT</b> $t=1,5$			
Différence relative des efforts $N_{xx}$	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
Différence relative des déplacements DY	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
Différence relative des moments $M_{yy}$	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
Différence relative des rotations DRX	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
<b>PHASE ELASTIQUE</b> $t=2,25$			
Différence relative des moments $M_{yy}$	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
Différence relative des rotations DRX	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
<b>PHASE ELASTIQUE</b> $t=2,5$			
Différence relative des efforts $N_{xx}$	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
Différence relative des déplacements DY	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
<b>PHASE RECHARGEMENT</b> $t=3,0$			
Différence relative des moments $M_{yy}$	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
Différence relative des rotations DRX	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
<b>PHASE DECHARGEMENT</b> $t=3,5$			
Différence relative des efforts $N_{xx}$	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
Différence relative des déplacements DY	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
Différence relative des moments $M_{_{VV}}$	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
Différence relative des rotations DRX	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>

Code_Aster		Version default
Titre : SSNS114 – Dégradation d'une plaque en béton armé s[] Responsable : MICHEL-PONNELLE Sylvie	Date : 21/07/2017 Clé : V6.05.114	Page : 21/39 Révision : eab9e1291a8d

Diagrammes comparés de la force FX (efforts  $N_{xx}$ ) – en fonction du déplacement DX imposé pour le chargement f2:



Diagrammes comparés moment  $M_{yy}$  en fonction de la rotation DRY imposée pour le chargement f2 :



Titre : SSNS114 – Dégradation d'une plaque en béton armé s[...] Responsable : MICHEL-PONNELLE Sylvie Date : 21/07/2017 Page : 22/39 Clé : V6.05.114 Révision eab9e1291a8d

Diagrammes comparés déplacement DY (dû à l'effet de Poisson) pour le chargement f2:



#### Diagrammes comparés rotation DRX (due à l'effet de Poisson) pour le chargement f2 :



Titre : SSNS114 – Dégradation d'une plaque en béton armé s[...] Responsable : MICHEL-PONNELLE Sylvie

Date : 21/07/2017 Page : 23/39

Révision eab9e1291a8d

Clé : V6.05.114

# 5.5 Remarques

D'après les courbes précédentes, on constate que le modèle multicouche avec la loi BETON\_REGLE\_PR représente le comportement global du béton armé en flexion et traction d'une manière satisfaisante en charge. Les mêmes seuils d'endommagement sont identifiés. Cependant en décharge, la loi BETON\_REGLE\_PR suit la même courbe que la charge à la différence de la loi ENDO ISOT BETON.

L'effet de Poisson n'est pas modélisé par la loi BETON\_REGLE\_PR, on obtient donc une rotation nulle dans la direction DRX et un déplacement DY nul.

Pour le second chargement, on observe un comportement similaire pour le couplage de membraneflexion entre BETON\_REGLE\_PR et ENDO\_ISOT\_BETON en charge (réponse élastique, endommagement et compression). Les mêmes seuils d'endommagement sont identifiés.

# Code Aster

Titre : SSNS114 – Dégradation d'une plaque en béton armé s[...] Responsable : MICHEL-PONNELLE Sylvie

	uciuui
Date : 21/07/2017	Page : 24/39
Clé : V6.05.114	Révision
	eab9e1291a8d

#### Modélisation D 6

#### 6.1 Caractéristiques de la modélisation

Le chargement est de type distorsion et cisaillement pur dans le plan.



Figure 6.1-a: maillage et conditions aux limites

Modélisation : DKT. L = 1.0 m .

Conditions aux limites (voir figure ci-dessus à droite) de telle sorte que la plaque soit soumise à une distorsion pure :  $\epsilon_{_{XY}}$  doit être constant ou à un cisaillement pur donc on applique des efforts. Par conséquent, on applique le champ de déplacement suivant sur les bords de la plaque pour la distorsion :

$$\begin{vmatrix} u_x = D_0 \cdot y \\ u_y = D_0 \cdot x \end{vmatrix} \Rightarrow \epsilon_{xy} = \frac{1}{2} \left( u_{x, y} + u_{y, x} \right) = D_0$$

Donc :

• on impose un encastrement en  $A_1$  ,

- $u_x = D_0 \cdot y$ ,  $u_y = 0$  sur l'arête  $A_1 A_3$ ,  $u_x = 0$ ,  $u_y = D_0 \cdot x$  sur l'arête  $A_1 A_2$ ,  $u_x = D_0 \cdot y$ ,  $u_y = D_0 \cdot L$  sur l'arête  $A_2 A_4$ ,  $u_x = D_0 \cdot L$ ,  $u_y = D_0 \cdot x$  sur l'arête  $A_3 - A_4$  ,

où  $D_0 = 3.310^{-4}$  et f(t) représentent l'amplitude du chargement cyclique en fonction du paramètre (de pseudo-temps) t, définie comme :





Fascicule v6.05: Statique non linéaire des plaques et des coques

Manuel de validation

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

Version

Code Aster Titre : SSNS114 – Dégradation d'une plaque en béton armé s[...]

Responsable : MICHEL-PONNELLE Sylvie

Date : 21/07/2017 Page : 25/39 Clé : V6.05.114 Révision eab9e1291a8d

Incrément d'intégration : 0.05 s .

#### 6.2 Caractéristiques du maillage

Nœuds : 121. Mailles: 200 TRIA3; 40 SEG2.

#### 6.3 Grandeurs testées et résultats

 $N_{xy}$ Pour la distorsion, on compare l'effort tranchant В obtenu par les deux en modélisations ; les tolérances sont prises en valeur absolue sur ces différences relatives :

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
DIST. POS PHASE CHAR. ELAS. $t=0,25$			
Différence relative des efforts $N_{xy}$	AUTRE_ASTER	0	2 10 <sup>-1</sup>
DIST. POS PHASE CHAR.ENDO. $t=1,0$			
Différence relative des efforts $N_{xy}$	AUTRE_ASTER	0	1 10 <sup>-1</sup>
DIST. POS PHASE DECHAR. ELAS. $t=1,5$			
Différence relative des efforts $N_{xy}$	AUTRE_ASTER	0	4 10 <sup>-1</sup>
DIST. NEG PHASE CHAR. ELAS. $t=3,0$			
Différence relative des efforts $N_{xy}$	AUTRE_ASTER	0	1 10 <sup>-1</sup>
DIST. NEG PHASE DECHAR. ELAS. $t=3,5$			
Différence relative des efforts $N_{xy}$	AUTRE_ASTER	0	4 10 <sup>-1</sup>

Diagramme effort tranchant  $N_{_{XY}}$  (dans le plan) en fonction du temps :



Titre : SSNS114 – Dégradation d'une plaque en béton armé s[...] Responsable : MICHEL-PONNELLE Sylvie Date : 21/07/2017 Page : 26/39 Clé : V6.05.114 Révision : eab9e1291a8d

Version

default





#### 6.4 Remarques

On observe un comportement similaire en cisaillement pour les lois BETON\_REGLE\_PR et ENDO\_ISOT\_BETON en charge : la raideur en cisaillement est cependant plus élevée pour la loi BETON REGLE PR (~15%).

La réponse en décharge n'est pas prise en compte par la loi BETON REGLE PR (réponse élastique).

La réponse en cisaillement pour BETON\_REGLE\_PR est symétrique à la différence de la loi ENDO\_BETON\_ISOT pour laquelle on conserve la mémoire de la fissuration dans une direction.

Titre : SSNS114 – Dégradation d'une plaque en béton armé s[...] Responsable : MICHEL-PONNELLE Sylvie 
 default

 Date : 21/07/2017
 Page : 27/39

 Clé : V6.05.114
 Révision : eab9e1291a8d

Version

## 7 Modélisation E

#### 7.1 Caractéristiques de la modélisation

Le chargement est de type traction – compression pure.



Figure 7.1-a: maillage et conditions aux limites.

Modélisation : DKTG Conditions aux limites :

- Encastrement en  $A_1$ ;
- DX = 0.0 sur l'arête  $A_1 A_3$  ;
- $DX = U_0 \times f(t)$  sur l'arête  $A_2 A_4$ ;

où  $U_0 = 1.0 \times 10^{-3} m$  et f(t) représentent l'amplitude du chargement cyclique en fonction du paramètre (de pseudo-temps) t. Pour bien vérifier le modèle, on considère une fonction de chargement comme suit :



compression

Note : la déformation extrémale est :  $1.0 \times 10^{-3}$  , soit environ le tiers de la déformation de passage en plasticité des aciers. Pas de temps d'intégration : 0.025 .

### 7.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 9. Nombre de mailles : 8 TRIA3 ; 8 SEG2.

*Titre : SSNS114 – Dégradation d'une plaque en béton armé s[...] Responsable : MICHEL-PONNELLE Sylvie*  Date : 21/07/2017 Page : 28/39 Clé : V6.05.114 Révision : eab9e1291a8d

### 7.3 Grandeurs testées et résultats

On compare les forces de réactions selon l'axe Ox en A1-A3 et les déplacements selon l'axe Oy en A4 obtenus par la modélisation multicouche avec la loi ENDO\_ISOT\_BETON et par celle reposant sur la loi BETON\_REGLE\_PR, en termes de différences relatives ; les tolérances sont prises en valeur absolue :

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
<b>TRACTION - ELASTIQUE</b> $t=0,25$			
Différence relative FX	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
Différence relative DY	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
<b>TRACTION - ENDOMMAGEMENT</b> $t=1,0$			
Différence relative FX	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
<b>TRACTION - DECHARGEMENT</b> $t=1,5$			
Différence relative FX	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
<b>COMPRESSION - CHARGEMENT</b> $t=2,5$			
Différence relative FX	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
<b>COMPRESSION</b> - <b>DECHARGEMENT</b> <i>t</i> =3,5			
Différence relative FX	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>

#### Diagrammes comparés des efforts

# $N_{xx}$ – déplacement DX en traction – compression pour le chargement f :



Version

default

#### Diagrammes comparés déplacement DY (dû à l'effet de Poisson) en fonction du temps :



#### 7.4 Remarques

Le cas test effectué ici vise à tester le modèle BETON REGLE PResous des sollicitations assez importantes pour qu'apparaisse effectivement la reprise de raideur des aciers.

Le comportement est similaire en traction pour les lois BETON REGLE PR et ENDO ISOT BETON en charge : les différences apparaissent pour une compression importante en raison de la réponse parabolique de la loi BETON REGLE PR. En traction, après la ruine du béton, on retrouve la raideur correspondant à la reprise des efforts par l'acier.

La réponse en décharge n'est pas prise en compte par la loi BETON REGLE PR (réponse élastique) La déformation due à l'effet poisson n'est pas prise en compte par la loi BETON REGLE PR . Pour la loi ENDO ISOT BETON, les déplacements DY sont non nuls avant l'apparition de la ruine du béton autour de 0.1 s.

La convergence du modèle avec la loi BETON REGLE PR est difficile autour de l'instant 0.6 s (reprise de raideur) avec la matrice TANGENTE, on utilise alors la matrice ELASTIQUE .

Titre : SSNS114 – Dégradation d'une plaque en béton armé s[...] Responsable : MICHEL-PONNELLE Sylvie Date : 21/07/2017 Page : 30/39 Clé : V6.05.114 Révision eab9e1291a8d

## 8 Modélisation F

### 8.1 Caractéristiques de la modélisation

Le chargement est de type flexion pure alternée.



Figure 8.1-a: maillage et conditions aux limites

Modélisation : DKTG Conditions aux limites :

- DRY = 0.0 sur l'arête  $A_1 A_3$
- $DRY = R_0 \times f(t)$  sur l'arête  $A_2 A_4$ ,

où  $R_0 = 3.0 \times 10^{-2}$  et f(t) est l'amplitude du chargement cyclique en fonction du paramètre (de pseudo-temps) t.

Pour vérifier le modèle, on considère la fonction de chargement suivante :



Figure 8.1-b: fonction de chargement

# 8.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 9. Nombre de mailles : 8 TRIA3 ; 8 SEG2.

Manuel de validation

Version default

*Titre : SSNS114 – Dégradation d'une plaque en béton armé s[...] Responsable : MICHEL-PONNELLE Sylvie*  Date : 21/07/2017 Page : 31/39 Clé : V6.05.114 Révision eab9e1291a8d

#### 8.3 Grandeurs testées et résultats

On compare les moments de réactions selon l'axe Oy en A1-A3 et les rotations selon l'axe Ox en A4 obtenus par la modélisation multicouche avec la loi ENDO\_ISOT\_BETON et par celle reposant sur la loi BETON\_REGLE\_PR, en termes de différences relatives ; les tolérances sont prises en valeur absolue :

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
<b>FLEXION POSITIVE - ELASTIQUE</b> $t=0,25$			
Différence relative MY	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
Différence relative DRX	NON_REGRESSION	_	1 10 <sup>-6</sup>
FLEXION POSITIVE - ENDOMMAGEMENT $t=1,0$			
Différence relative MY	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
FLEXION POSITIVE - DECHARGEMENT $t=1,5$			
Différence relative MY	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>
<b>FLEXION NEGATIVE – ELASTIQUE</b> $t=2,25$			
Différence relative MY	NON_REGRESSION	_	1 10 <sup>-6</sup>
FLEXION NEGATIVE - ENDOMMAGEMENT			
t=3,0 Différence relative MY FLEXION NEGATIVE - DECHARGEMENT t=3,5	NON_REGRESSION	-	1 10 -6
Différence relative MY	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>

Diagrammes comparés moment MY – rotation DRY en flexion alternée pour le chargement f :



# Code Aster

Titre : SSNS114 – Dégradation d'une plaque en béton armé s[...] Responsable : MICHEL-PONNELLE Sylvie

Date : 21/07/2017 Page : 32/39 Clé : V6.05.114 Révision eab9e1291a8d

Modélisation F Chargement 1 0.0014 ENDO ISOT BETON 0.0012 BETON\_REGLE\_PR 0.0010 0.0008 Rotation DRX 0.0006 0.0004 0.0002 0.0000 -0.0002 -0.0004 L 0.5 2.5 3.5 4.0 1.0 1.5 2.0 3.0

#### **Diagrammes comparés rotation** DRX (dû à l'effet de Poisson) en fonction du temps :

#### 8.4 Remarques

Le cas test effectué ici vise à tester le modèle BETON REGLE PR sous des sollicitations assez importantes pour qu'apparaisse effectivement la reprise de raideur des aciers.

Le comportement est similaire en flexion pour les lois BETON REGLE PR et ENDO ISOT BETON en charge : les différences apparaissent pour les chargements importants en raison de la différence de comportement en compression.

La réponse en décharge n'est pas prise en compte par la loi BETON REGLE PR (réponse élastique). On observe une symétrie de la réponse pour la loi BETON REGLE PR.

La rotation *DRX* est nul avec la loi BETON REGLE PR car l'effet Poisson n'est pas pris en compte.



# Code Aster

Titre : SSNS114 – Dégradation d'une plaque en béton armé s[...] Responsable : MICHEL-PONNELLE Sylvie

default Date : 21/07/2017 Page : 33/39 Révision

eab9e1291a8d

Clé : V6.05.114

#### Modélisation G 9

#### Caractéristiques de la modélisation 9.1

Le chargement est un couplage traction - compression et flexion.



Figure 9.1-a: maillage et conditions aux limites

Modélisation : DKTG

Conditions aux limites : couplage de Traction - Compression et Flexion :

- DX = 0.0 et DRY = 0.0 sur l'arête  $A_1 A_3$
- $DX = U_0 \times f(t)$  et  $DRY = R_0 \times f(t)$  sur l'arête  $A_2 A_4$  ,

 $U_0 = 1. \times 10^{-3} m$ ,  $R_0 = 3. \times 10^{-2} rad$  et f(t) est l'amplitude du chargement cyclique en оù fonction du paramètre (de pseudo-temps) t.

On considère le chargement suivant :

La même fonction f de chargement pour la membrane et la flexion :



Figure 9.1-b: fonction de chargement

#### 9.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 9. Nombre de mailles : 8 TRIA3 ; 8 SEG2.

Titre : SSNS114 – Dégradation d'une plaque en béton armé s[...] Responsable : MICHEL-PONNELLE Sylvie Date : 21/07/2017 Page : 34/39 Clé : V6.05.114 Révision : eab9e1291a8d

#### 9.3 Grandeurs testées et résultats

On compare les forces selon l'axe Ox en A1-A3, les déplacements selon l'axe Oy en A4, les moments selon l'axe Oy en A1-A3 et les rotations selon l'axe Ox en A4 obtenus par la modélisation multicouche (référence) et par celles reposant sur le modèle ENDO\_ISOT\_BETON, en terme s de différences relatives; la tolérance est prise en valeur absolue sur ces différences relatives :

	Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance		
FLEXION POSITIV	E - ELASTIQUE $t=0,25$					
Différence relative	MY	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>		
Différence relative	DRX	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>		
Différence relative	FX	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>		
Différence relative	DY	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>		
FLEXION POSITIV	E - ENDOMMAGEMENT $t=1,0$					
Différence relative	MY	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>		
Différence relative	FX	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>		
FLEXION POSITIV	<b>E - DECHARGEMENT</b> $t=1,5$					
Différence relative	MY	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>		
Différence relative	FX	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>		
FLEXION NEGATIV	<b>/E – ELASTIQUE</b> $t=2,25$					
Différence relative	MY	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>		
Différence relative	FX	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>		
FLEXION NEGATIV	<b>FE - ENDOMMAGEMENT</b> $t=3,0$					
Différence relative	MY	NON_REGRESSION	-	1 10 -6		
Différence relative	FX	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>		
FLEXION NEGATIVE - DECHARGEMENT $t=3,5$						
Différence relative	MY	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>		
Différence relative	FX	NON_REGRESSION	-	1 10 <sup>-6</sup>		

Diagrammes comparés force FX – déplacement DX pour le chargement f :



Manuel de validation

Fascicule v6.05: Statique non linéaire des plaques et des coques

Code_Aster		Version default
Titre : SSNS114 – Dégradation d'une plaque en béton armé s[] Responsable : MICHEL-PONNELLE Sylvie	Date : 21/07/2017 Clé : V6.05.114	Page : 35/39 Révision : eab9e1291a8d





0.00

BETON\_REGLE\_PR

0.02

0.03

0.01



-80 – -0.03

-0.02

-0.01

Titre : SSNS114 – Dégradation d'une plaque en béton armé s[...] Responsable : MICHEL-PONNELLE Sylvie Date : 21/07/2017 Page : 36/39 Clé : V6.05.114 Révision : eab9e1291a8d

Diagrammes comparés rotation DRX (dû à l'effet de Poisson) en fonction du temps :



#### 9.4 Remarques

Le cas-test effectué ici vise à tester le modèle BETON\_REGLE\_PR sous des sollicitations assez importantes pour qu'apparaisse effectivement la reprise de raideur des aciers.

Le comportement est similaire en flexion et traction pour les lois BETON\_REGLE\_PR et ENDO\_ISOT\_BETON en charge : les différences apparaissent pour les chargements importants en raison de la différence de comportement en compression.

La réponse en décharge n'est pas prise en compte par la loi  $BETON_REGLE_PR$  (réponse élastique). La rotation DRX et le déplacement DY sont nuls avec la loi  $BETON_REGLE_PR$  car l'effet de Poisson n'est pas pris en compte.

Titre : SSNS114 – Dégradation d'une plaque en béton armé s[...] Responsable : MICHEL-PONNELLE Sylvie 
 default

 Date : 21/07/2017
 Page : 37/39

 Clé : V6.05.114
 Révision : eab9e1291a8d

Version

## 10 Modélisation H

### **10.1** Caractéristiques de la modélisation

Dans cette modélisation, on vérifie que les deux chargements de dilatation thermique (température homogène dans l'épaisseur et gradient de température constant dans l'épaisseur) conduisent au même état de contrainte que deux chargements mécaniques simples : extension selon Ox et flexion autour de Oy.

Remarque : cette vérification est valable quelque soit la relation de comportement.



Figure 10.1-a: maillage et conditions aux limites (chargement 1)

Modélisation : DKT Relations de comportement : BETON\_REGLE\_PR Conditions aux limites :

- Encastrement en  $A_1$  ;
- DX = 0.0 sur l'arête  $A_1 A_3$ ;
- DRY = 0.0 sur l'arête  $A_1 A_3$

Chargement 1 (extension) :

Le calcul de référence est fait avec le chargement mécanique suivant :

• DX = 2.e - 4 sur l'arête  $A_2 - A_4$ 

Le chargement thermo-mécanique équivalent est :

- DX = 0.0 sur l'arête  $A_2 A_4$
- Température de référence :  $+10^{\circ}C$
- Température homogène imposée :  $-10^{\circ}C$
- Coefficient de dilatation thermique :  $\alpha = 1.e 5/{}^{o}C$

Chargement 2 (flexion, voir modélisation B) :

Le calcul de référence est fait avec le chargement mécanique suivant :

• DRY = 6.e - 3 sur l'arête  $A_2 - A_4$ 

Le chargement thermo-mécanique équivalent est :

Manuel de validation

٠

*Titre : SSNS114 – Dégradation d'une plaque en béton armé s[...] Responsable : MICHEL-PONNELLE Sylvie* 

Date : 21/07/2017 Page : 38/39 Clé : V6.05.114 Révision eab9e1291a8d

- DRY = 0.0 sur l'arête  $A_2 A_4$
- Température de référence :  $+10^{\circ}C$
- Gradient de température homogène imposé :  $T_{inf} = +40^{\circ}C$ ,  $T_{mil} = +10^{\circ}C$ ,  $T_{sup} = -20^{\circ}C$

Coefficient de dilatation thermique :  $\alpha = 1.e - 5/^{\circ}C$ 

• Rappel : l'épaisseur de la coque est 0.1 m

#### 10.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 9. Nombre de mailles : 8 TRIA3 ; 8 SEG2.

### 10.3 Grandeurs testées et résultats pour le chargement 1

Pour les chargements mécanique et thermique équivalents, on vérifie que l'effort (homogène dans la plaque) est le même. La composante significative est ici NXX.

Les résultats sont très bons. Les chargements thermo-mécaniques donnent les mêmes résultats que les chargements mécaniques équivalents pour les relations de comportement GLRC\_DM et ENDO\_ISOT\_BETON (voir cas test ssns106o).

Identification				Type de référence	Valeur de référence	Tolérance	
Effort EFGE_ELNO	NXX	pour la maille	M8	, nœud	AUTRE_ASTER	278768.0	1 10 <sup>-3</sup>

N7

## **10.4 Grandeurs testées et résultats pour le chargement 2**

Pour les chargements mécanique et thermique équivalents, on vérifie que l'effort (homogène dans la plaque) est le même. La composante significative est ici MXX.

Les résultats sont très bons. Les chargements thermo-mécaniques donnent les mêmes résultats que les chargements mécaniques équivalents pour les relations de comportement <code>GLRC\_DM</code> et <code>ENDO\_ISOT\_BETON</code> voir cas test ssns106o).

Identification				Type de référence	Valeur de référence	Tolérance		
Effort	EFGE_ELNO	MXX	pour la maille	M8	, nœud	AUTRE_ASTER	8366.7994	1 10 <sup>-3</sup>
N7								

Titre : SSNS114 – Dégradation d'une plaque en béton armé s[...] Responsable : MICHEL-PONNELLE Sylvie Date : 21/07/2017 Page : 39/39

Révision eab9e1291a8d

Clé : V6.05.114

# 11 Synthèse des résultats

Ces tests ayant pour but de valider la loi de comportement du béton BETON\_REGLE\_PR servent aussi à montrer un certain nombre de ses faiblesses. Les différentes modélisations permettent de tester :

A et E : le comportement en traction/compression

**B** et F: le comportement en flexion cyclique

C et G: le comportement couplant les phénomènes de membrane et de flexion

D :le comportement pour le cisaillement et la distorsion dans le plan

*H* : un chargement thermique.

Dans la plupart de ces situations, les efforts et moments prédits par le modèle BETON\_REGLE\_PR sont cohérents avec le modèle ENDO\_ISOT\_BETON pour la charge. En cas de décharge, le modèle BETON\_REGLE\_PR, qui est élastique, présente des erreurs importantes en comparaison avec le modèle ENDO\_ISOT\_BETON. Par ailleurs l'effet de Poisson n'étant pas modélisé par le modèle BETON\_REGLE\_PR, on mesure des différences importantes dans les déplacements perpendiculaires à la direction de chargement.

Par rapport au cas test ssns106, on ne modélise pas ici le cas de couplage flexion et cisaillement dans le plan (modélisations D et M du cas test ssns106). En effet on constate des difficultés de convergence avec la loi BETON\_REGLE\_PR pour ces cas.