

## SSNL120 - Réponse cyclique de lois de comportement du béton en 1D

---

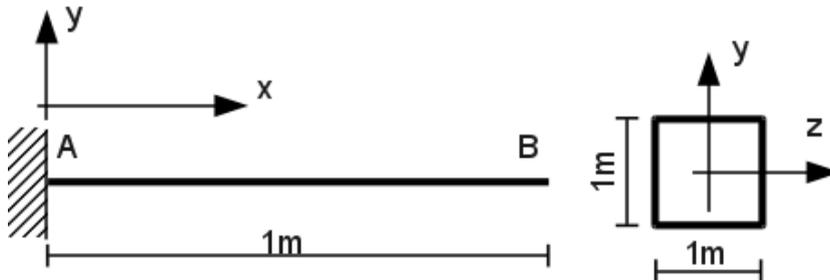
### Résumé :

Dans cet exemple on teste les modèles de comportement du béton de La Borderie [R7.01.07] et de Mazars [R7.01.08] dans leur version 1D à l'aide d'un élément de poutre multifibres [R3.08.08] sous sollicitation axiale. Le chargement est composé de traction avec chargement et déchargement suivi de compression également avec chargement-déchargement. Il permet de tester les résistances en traction et en compression, de mettre en évidence les phénomènes de refermeture de fissures et de tester les déformations anélastiques.

# 1 Caractéristiques générales

## 1.1 Géométrie

Poutre console de longueur unité, de section carrée de côté unité :



## 1.2 Propriétés de matériaux

Module de Young du béton :  $E = 3,7272 \cdot 10^{10} \text{ Pa}$

Résistance en traction du béton :  $R_t = 4 \cdot 10^6 \text{ Pa}$

Résistance en compression du béton :  $R_c = 40 \cdot 10^6 \text{ Pa}$

## 1.3 Conditions aux limites

Encastrement en  $A$  :  $dx = dy = dz = 0$  et  $drx = dry = drz = 0$ .

## 1.4 Chargements

On fait croître et décroître la déformation axiale en imposant un déplacement en  $B$  dans la direction  $x$ . Deux fonctions sont définies, la première sollicite le matériau en traction puis en compression, la seconde sollicite le matériau en chargement cyclique.

Instants n°1	Déformation n°1	Instants n°2	Déformation n°2
0	0.00E+00	0	0.00E+00
1	1.40E-04	1	1.40E-04
2	5.00E-05	2	-4.00E-03
3	1.00E-03	3	1.00E-03
4	-4.00E-03	4	-5.00E-03
5	-2.00E-03		
6	-5.00E-03		
7	0.00E+00		

## 2 Solution de référence

---

Pour la modélisation A : La solution de référence est la réponse uni-axiale de la loi de comportement de La Borderie pour les paramètres matériaux choisis. Cette solution a été obtenue à l'aide du code Eficos (code de poutres multicouches 2D [bib1]) dans lequel cette loi a été implantée.

Pour la modélisation B : La solution de référence est la réponse uni-axiale de la loi de comportement de Mazars pour les paramètres matériaux choisis. Cette solution est analytique.

## 3 Bibliographie

---

[1GHAVAMIAN Sh., MAZARS J. : Stratégie de calculs simplifiés pour l'analyse du comportement des structures en béton armé : le code EFICOS. Revue française de génie civil 1998 ; 2 : 61-90.

## 4 Modélisation A

### 4.1 Caractéristiques de la modélisation A

Maillage longitudinal de la poutre : 2 nœuds et 1 élément (POU\_D\_EM).

La partie béton de la section transversale de la poutre est maillée par 4 fibres.

**Remarque :**

Le problème est 1D, une seule fibre pourrait sembler suffisante, mais cela conduirait à avoir des termes nuls dans la matrice de rigidité (l'inertie propre des fibres n'étant pas prise en compte) et à une erreur lors de la résolution du système d'équations.

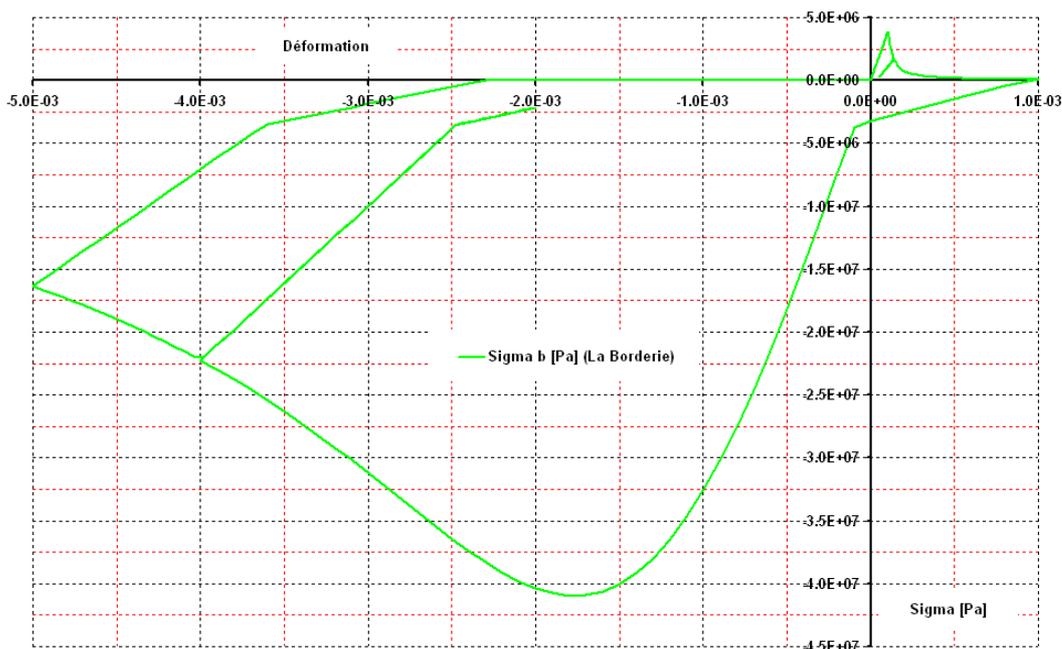
Le béton est modélisé avec le modèle d'endommagement de Christian La Borderie en version 1D (LABORD\_1D) [R7.01.07]. Les paramètres matériau utilisés sont les suivants :

$$Y_{01}=310 \text{ Pa} \quad Y_{02}=7000 \text{ Pa} \quad A_1=9,0 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}^{-1} \quad A_2=5,2 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}^{-1}$$

$$B_1=1,2 \quad B_2=2,0 \quad \beta_1=10^6 \text{ Pa} \quad \beta_2=-40 \cdot 10^6 \text{ Pa} \quad \sigma_f=3,5 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

### 4.2 Grandeurs testées et résultats

La courbe contrainte-déformation est représentée sur la figure ci-dessous :



On teste les contraintes obtenues pour les déformations imposées aux instants indiqués dans le paragraphe 2, chargement n°1:

Instant	Référence	Type Référence	Tolérance %
1	1,707816 10 <sup>6</sup>	SOURCE_EXTERNE	10 <sup>-3</sup>
2	0,247022 10 <sup>6</sup>	SOURCE_EXTERNE	10 <sup>-3</sup>
3	0,068862 10 <sup>6</sup>	SOURCE_EXTERNE	10 <sup>-3</sup>
4	-22,2404 10 <sup>6</sup>	SOURCE_EXTERNE	10 <sup>-3</sup>
5	-2,14356 10 <sup>6</sup>	SOURCE_EXTERNE	10 <sup>-3</sup>

On teste également les contraintes maximales (traction et compression) et les déformations correspondantes :

Pics en contrainte	Référence	Type Référence	Tolérance %
<b>Traction</b>			
Contrainte	3,86138 10 <sup>6</sup>	SOURCE_EXTERNE	10 <sup>-3</sup>
Déformation	1,036 10 <sup>-4</sup>		10 <sup>-3</sup>
<b>Compression</b>			
Contrainte	-40,9496 10 <sup>6</sup>	SOURCE_EXTERNE	10 <sup>-3</sup>
Déformation	-1,8.10 <sup>-3</sup>		10 <sup>-3</sup>

## 5 Modélisation B

### 5.1 Caractéristiques de la modélisation

Maillage longitudinal de la poutre : 2 nœuds et 1 élément (POU\_D\_EM).

La partie béton de la section transversale de la poutre est maillée par 4 fibres.

**Remarque :**

*Le problème est 1D, une seule fibre pourrait sembler suffisante, mais cela conduirait à avoir des termes nuls dans la matrice de rigidité (l'inertie propre des fibres n'étant pas prise en compte) et à une erreur lors de la résolution du système d'équations.*

Le béton est modélisé avec le modèle d'endommagement de MAZARS en version 1D [R7.01.08]. Les paramètres matériau utilisés sont les suivants :

Partie élasticité :

$$E = 3.72720E+10 \text{ Pa}, \quad \nu = 2.0E-01$$

Partie non-linéaire :

$$\begin{aligned} AC &= 1.71202987E+00, \quad BC = 2.01163780E+03, \quad BT = 1.21892353E+04, \\ BETA &= 1.10E+00, \quad AT = 7.00E-01, \quad EPSD0 = 8.20396008E-05, \\ SIGM\_ELS &= 35.0E+06 \text{ Pa}, \quad EPSI\_ELU = 3.5E-03 \end{aligned}$$

Cela correspond à un béton avec :

- une contrainte pic de compression de 40.963MPa, correspondant à une déformation pic de  $1.75754E-03$ .
- une contrainte pic de traction de 3.05778MPa

### 5.2 Grandeurs testées et résultats

Les 2 chargements sont testés.

Les figures ci-dessous donnent les réponses en contraintes et déformations aux 2 chargements.

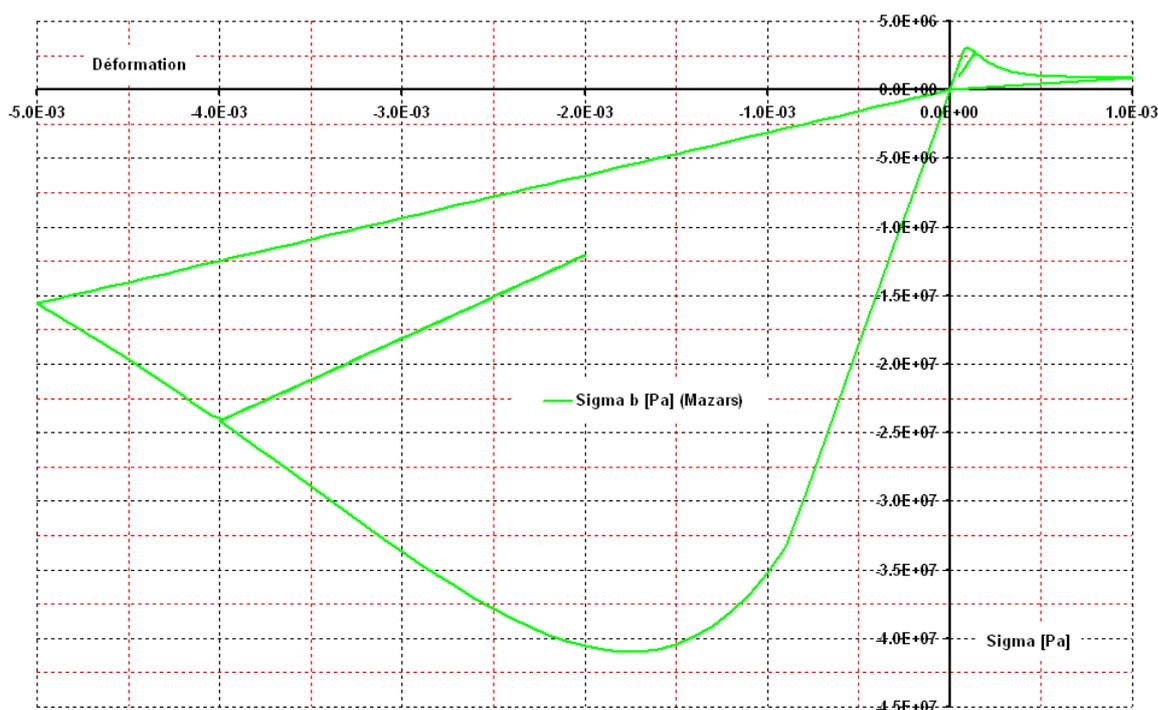


Figure 5.2-a :  volution contrainte en fonction de la déformation, chargement n 1.

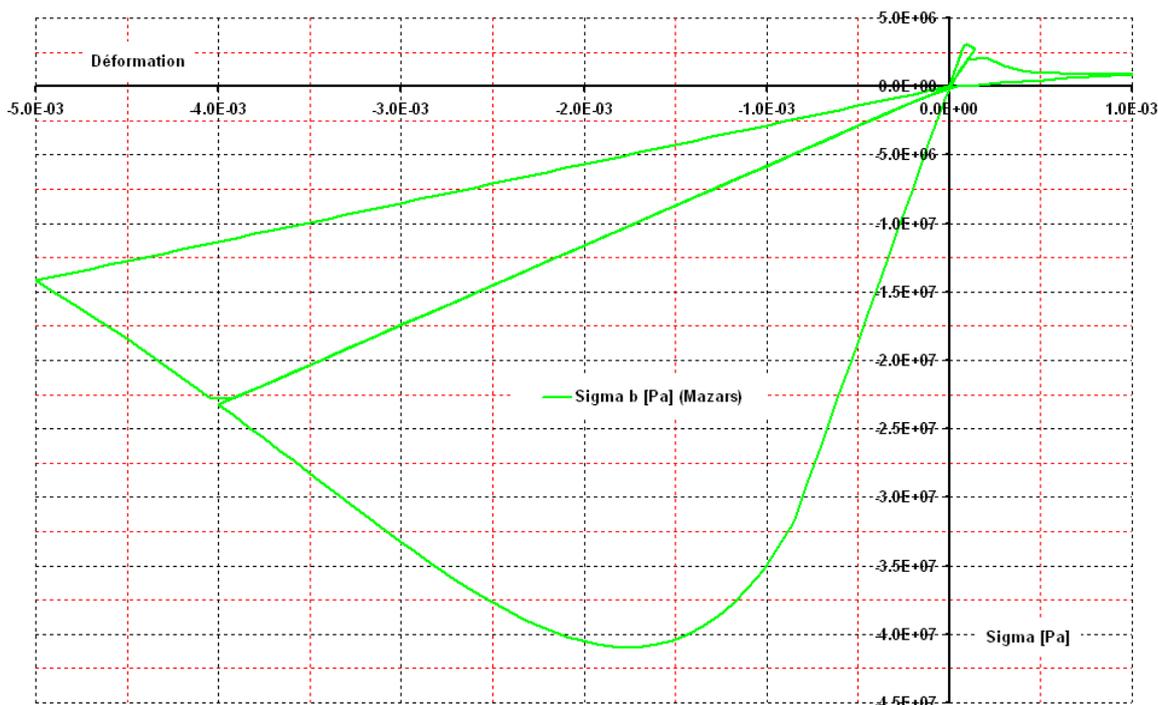


Figure Évolution de la contrainte chargement n°2.

Les figures ci-dessous donnent les évolutions des endommagements.

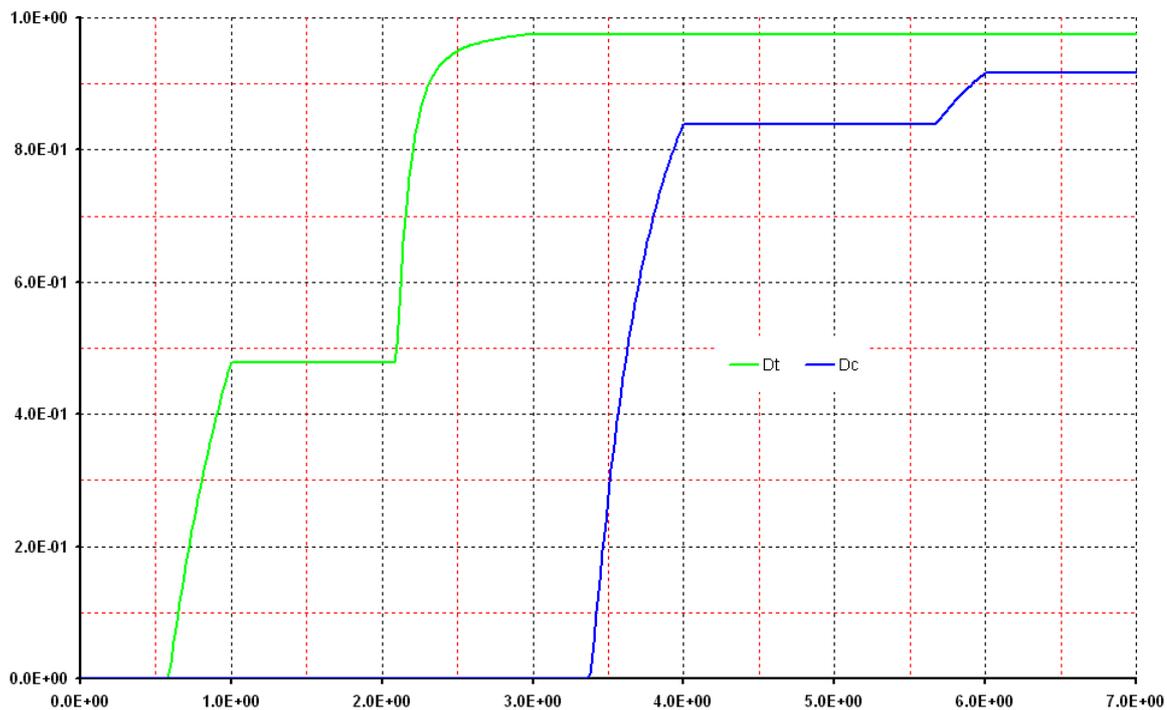


Figure 5.2-c : Évolution chargement n°1.

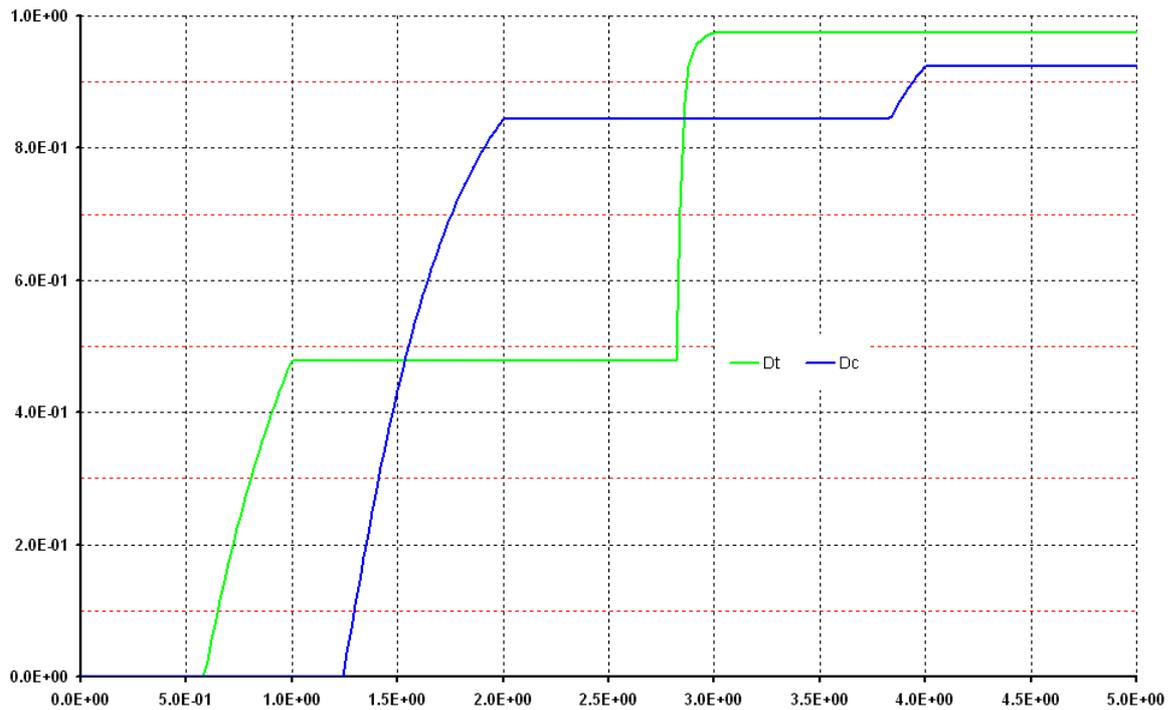


Figure : Évolution chargement n° 2 .

Le tableau ci-dessous donne pour plusieurs instants la contrainte, l'endommagement de traction et de compression, pour le chargement n°1. Ces valeurs sont analytiques.

Instant	Grandeur	Type Référence	Référence	Tolérance
0.60	SIXX	ANALYTIQUE	3.0572E+06	1.00E-04
0.60	Dt	ANALYTIQUE	2.3500E-02	2.00E-03
0.60	Dc	ANALYTIQUE	0.0000E+00	2.00E-03
1.00	SIXX	ANALYTIQUE	2.7195E+06	1.00E-04
1.00	Dt	ANALYTIQUE	4.7880E-01	2.00E-03
1.00	Dc	ANALYTIQUE	0.0000E+00	2.00E-03
2.00	SIXX	ANALYTIQUE	9.7120E+05	1.00E-04
2.00	Dt	ANALYTIQUE	4.7880E-01	2.00E-03
2.00	Dc	ANALYTIQUE	0.0000E+00	2.00E-03
2.10	SIXX	ANALYTIQUE	2.6735E+06	1.00E-04
2.10	Dt	ANALYTIQUE	5.0530E-01	2.00E-03
2.10	Dc	ANALYTIQUE	0.0000E+00	2.00E-03
3.00	SIXX	ANALYTIQUE	9.1770E+05	1.00E-04
3.00	Dt	ANALYTIQUE	9.7540E-01	2.00E-03
3.00	Dc	ANALYTIQUE	0.0000E+00	2.00E-03
0.00	SIXX	ANALYTIQUE	-4.0949E+07	1.00E-04
3.56	Dt	ANALYTIQUE	9.7540E-01	2.00E-03
3.56	Dc	ANALYTIQUE	3.8960E-01	2.00E-03
4.00	SIXX	ANALYTIQUE	-2.3220E+07	1.00E-04
4.00	Dt	ANALYTIQUE	9.7540E-01	2.00E-03
4.00	Dc	ANALYTIQUE	8.4430E-01	2.00E-03
5.00	SIXX	ANALYTIQUE	-1.1610E+07	1.00E-04
5.00	Dt	ANALYTIQUE	9.7540E-01	2.00E-03
5.00	Dc	ANALYTIQUE	8.4430E-01	2.00E-03
5.68	SIXX	ANALYTIQUE	-2.2827E+07	1.00E-04
5.68	Dt	ANALYTIQUE	9.7540E-01	2.00E-03
5.68	Dc	ANALYTIQUE	8.4840E-01	2.00E-03
6.00	SIXX	ANALYTIQUE	-1.4181E+07	1.00E-04
6.00	Dt	ANALYTIQUE	9.7540E-01	2.00E-03
6.00	Dc	ANALYTIQUE	9.2390E-01	2.00E-03

Le tableau ci-dessous donne pour plusieurs instants le critère ELS, pour le chargement n°1. Ces valeurs sont analytiques.

Instant	Grandeur	Type Référence	Référence	Tolérance
0.60	V1 = CRITELS	ANALYTIQUE	0.00000	2.00000E-03
1.00	V1 = CRITELS	ANALYTIQUE	0.00000	2.00000E-03
2.00	V1 = CRITELS	ANALYTIQUE	0.00000	2.00000E-03
2.10	V1 = CRITELS	ANALYTIQUE	0.00000	2.00000E-03
3.00	V1 = CRITELS	ANALYTIQUE	0.00000	2.00000E-03
3.56	V1 = CRITELS	ANALYTIQUE	1.16997	2.00000E-03
4.00	V1 = CRITELS	ANALYTIQUE	0.66344	2.00000E-03
5.00	V1 = CRITELS	ANALYTIQUE	0.33172	2.00000E-03
5.68	V1 = CRITELS	ANALYTIQUE	0.65220	2.00000E-03
6.00	V1 = CRITELS	ANALYTIQUE	0.40517	2.00000E-03

Le tableau ci-dessous donne pour plusieurs instants le critère ELU, pour le chargement n°1. Ces valeurs sont analytiques.

Instant	Grandeur	Type Référence	Référence	Tolérance
1.00	V2 = CRITELU	ANALYTIQUE	0.00000	2.00000E-03
2.00	V2 = CRITELU	ANALYTIQUE	0.00000	2.00000E-03
3.00	V2 = CRITELU	ANALYTIQUE	0.00000	2.00000E-03
4.00	V2 = CRITELU	ANALYTIQUE	1.14286	2.00000E-03
4.00	V2 = CRITELU	ANALYTIQUE	0.57143	2.00000E-03
6.00	V2 = CRITELU	ANALYTIQUE	1.42857	2.00000E-03
7.00	V2 = CRITELU	ANALYTIQUE	0.00000	2.00000E-03

Le tableau ci-dessous donne pour plusieurs instants la contrainte, l'endommagement de traction et de compression, pour le chargement n°2. Ces valeurs sont analytiques.

Instant	Grandeur	Type Référence	Référence	Tolérance
1.00	SIXX	ANALYTIQUE	2.7195E+06	1.00E-04
1.00	Dt	ANALYTIQUE	4.7880E-01	2.00E-03
1.00	Dc	ANALYTIQUE	0.0000E+00	2.00E-03
2.00	SIXX	ANALYTIQUE	-2.3220E+07	1.00E-04
2.00	Dt	ANALYTIQUE	4.7880E-01	2.00E-03
2.00	Dc	ANALYTIQUE	8.4430E-01	2.00E-03
3.00	SIXX	ANALYTIQUE	9.1770E+05	1.00E-04
3.00	Dt	ANALYTIQUE	9.7540E-01	2.00E-03
3.00	Dc	ANALYTIQUE	8.4430E-01	2.00E-03
4.00	SIXX	ANALYTIQUE	-1.4181E+07	1.00E-04
4.00	Dt	ANALYTIQUE	9.7540E-01	2.00E-03
4.00	Dc	ANALYTIQUE	9.2390E-01	2.00E-03

Le tableau ci-dessous donne pour plusieurs instants le critère ELS, pour le chargement n° 2. Ces valeurs sont analytiques.

Instant	Grandeur	Type Référence	Référence	Tolérance
1.00	V1 = CRITELS	ANALYTIQUE	0.00000	1.00000E-04
2.00	V1 = CRITELS	ANALYTIQUE	0.66344	1.00000E-04
3.00	V1 = CRITELS	ANALYTIQUE	0.00000	1.00000E-04
4.00	V1 = CRITELS	ANALYTIQUE	0.40517	1.00000E-04

Le tableau ci-dessous donne pour plusieurs instants le critère ELU, pour le chargement n° 2. Ces valeurs sont analytiques.

Instant	Grandeur	Type Référence	Référence	Tolérance
1.00	V2 = CRITELU	ANALYTIQUE	0.00000	2.00000E-03
2.00	V2 = CRITELU	ANALYTIQUE	1.14286	2.00000E-03
3.00	V2 = CRITELU	ANALYTIQUE	0.00000	2.00000E-03
4.00	V2 = CRITELU	ANALYTIQUE	1.42857	2.00000E-03

## 6 Synthèse des résultats

---

Pour la modélisation A, les résultats obtenus avec *Code\_Aster* sont en très bon accord avec ceux du code EFICOS.

Pour la modélisation B, les résultats sont en très bon accord avec les valeurs analytiques.