

SDNL130 - Réponse sismique d'une poutre en béton armé (section rectangulaire) à comportement non linéaire

Résumé :

Le problème consiste à analyser la réponse sismique d'une poutre en béton armé par l'intermédiaire d'une modélisation poutre multifibres [R3.08.08]. Le comportement de la poutre *BA* est non linéaire. Deux loi de comportement pour le béton sont utilisées :

- La Borderie dans sa version 1D [R7.01.07] pour la modélisation A.
- Mazars dans sa version 1D [R7.01.08] pour la modélisation B.

1 Caractéristiques générales

1.1 Géométrie

La géométrie est identique à celle des cas test SSNL119 et SDLL130 sauf pour les armatures longitudinales qui sont identiques : 4 HA32

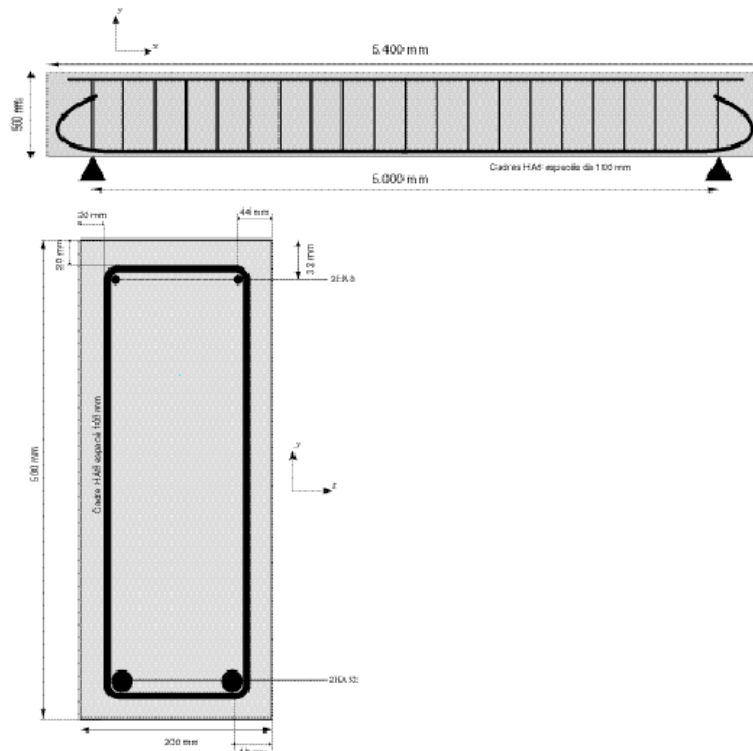


Figure 1.1-a : Géométrie de la structure

NB : les armatures transversales ne sont pas prises en compte dans les calculs

1.2 Propriétés de matériaux

Pour la modélisation A :

Pour le béton, loi de comportement de La Borderie dans sa version 1D :

$$E = 37272 \text{ MPa}, \nu = 0.2, \sigma_{ft} = 3.9 \text{ MPa}, \sigma_{fc} = 38.3 \text{ Mpa}, \varepsilon_{fc} = 2.0 \cdot 10^{-3}, \\ G_f^1 = 110 \text{ J/m}, \rho = 2400 \text{ kg/m}^3$$

Pour la modélisation B :

Pour le béton, loi de comportement de Mazars dans sa version 1D :

Partie élasticité :

$$E = 3.72720 \text{E}+10, NU = 2.0 \text{E}-01, RHO = 2.40 \text{E}+03,$$

Partie non-linéaire :

$$AC = 1.71202987, BC = 2.01163780 \text{E}+03, BT = 1.21892353 \text{E}+04, \\ BETA = 1.10, AT = 1.00, EPSD0 = 8.20396008 \text{E}-05,$$

Pour les modélisations A et B :

Loi de comportement ECRO_LINE pour l'acier :

$$E = 200000 \text{ MPa}, \nu = 0.33, \sigma_e = 400 \text{ MPa}, E_T = 3280 \text{ MPa}, \rho = 7800 \text{ kg/m}^3$$

Amortissement : de type Rayleigh ($\alpha K + \beta M$), avec 5% sur les modes 1 et 2.

1.3 Conditions aux limites et chargements

Appui simple en B : $dy=0$

Appui "double" en A : $dx=dy=0$

Pour éviter les modes propres hors plan, on bloque les degrés de liberté suivants sur toute la poutre :
 $rx=ry=dz=0$

Chargement : séisme `ac_s2_c_1` [Figure 1.3-a], dans l'axe OY appliqué aux deux appuis, avec un facteur d'amplification du signal de 45.

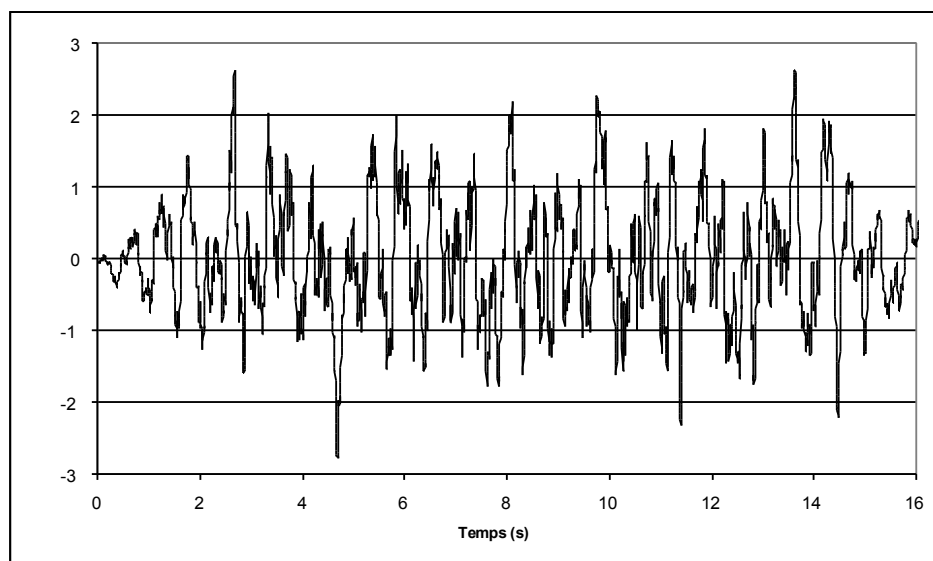


Figure 1.3-a : Accélérogramme `ac_s2_c_1` imposé à la structure

2 Solution de référence

La solution de référence est un calcul réalisé à l'aide du code de calcul EFICOS [bib1]. Il s'agit d'un calcul multicouches (2D) avec les mêmes modèles pour les matériaux. Les éléments ne comportent qu'un point de Gauss selon leur axe et la résolution globale est faite par un algorithme à matrice sécante.

Pour avoir des résultats comparables en termes de localisation et en termes de résultats locaux (contraintes et déformations au point de Gauss le plus proche du milieu de la poutre), le calcul avec EFICOS (1 point par élément) est réalisé avec 10 éléments par demi-travée alors que le calcul avec *Code_Aster* (2 points par élément) est réalisé avec 8 éléments par demi-travée.

Cette différence dans l'intégration est la principale source des différences constatées dans le paragraphe [§4].

2.1 Références bibliographiques

[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.

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Maillage longitudinal de la poutre :

Il est composé de 17 nœuds et 16 paires d'éléments POU_D_EM (16 éléments pour le béton et 16 pour l'acier).

Section transversale de la poutre :

Le béton est modélisé par un maillage (DEFI_GEOM_FIBRE / SECT) composé de 2×20 quadrilatères (40 fibres)

L'acier est modélisé par 4 fibres ponctuelles (DEFI_GEOM_FIBRE / FIBRE)

Les coefficients α et β pour l'amortissement sont calculés à l'aide de la formule suivante :

$$\begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} = 2 \frac{\omega_1 \omega_2}{\omega_2^2 - \omega_1^2} \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ \omega_2 & \omega_1 \\ \omega_2 & -\omega_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \end{bmatrix}$$

où ω_1 et ω_2 sont les deux premières pulsations propres ($\omega = 2\pi f$) et ξ_1 et ξ_2 sont les amortissements désirés sur les deux premiers modes.

Avec $f_1 = 39.9 \text{ Hz}$ et $f_2 = 157.6 \text{ Hz}$ (calculées avec Code_Aster), pour des amortissements modaux de 5%, nous trouvons : $\alpha = 8.10^{-5}$ et $\beta = 20$.

Pour le calcul de la réponse temporelle, le pas de temps choisi est $1/100^{\text{ème}}$ de seconde.

3.2 Grandeurs testées et résultats

Les courbes de réaction en fonction du temps et flèche au centre en fonction du temps sont présentées sur les figures [Figure 3.2-a] à [Figure 3.2-d].

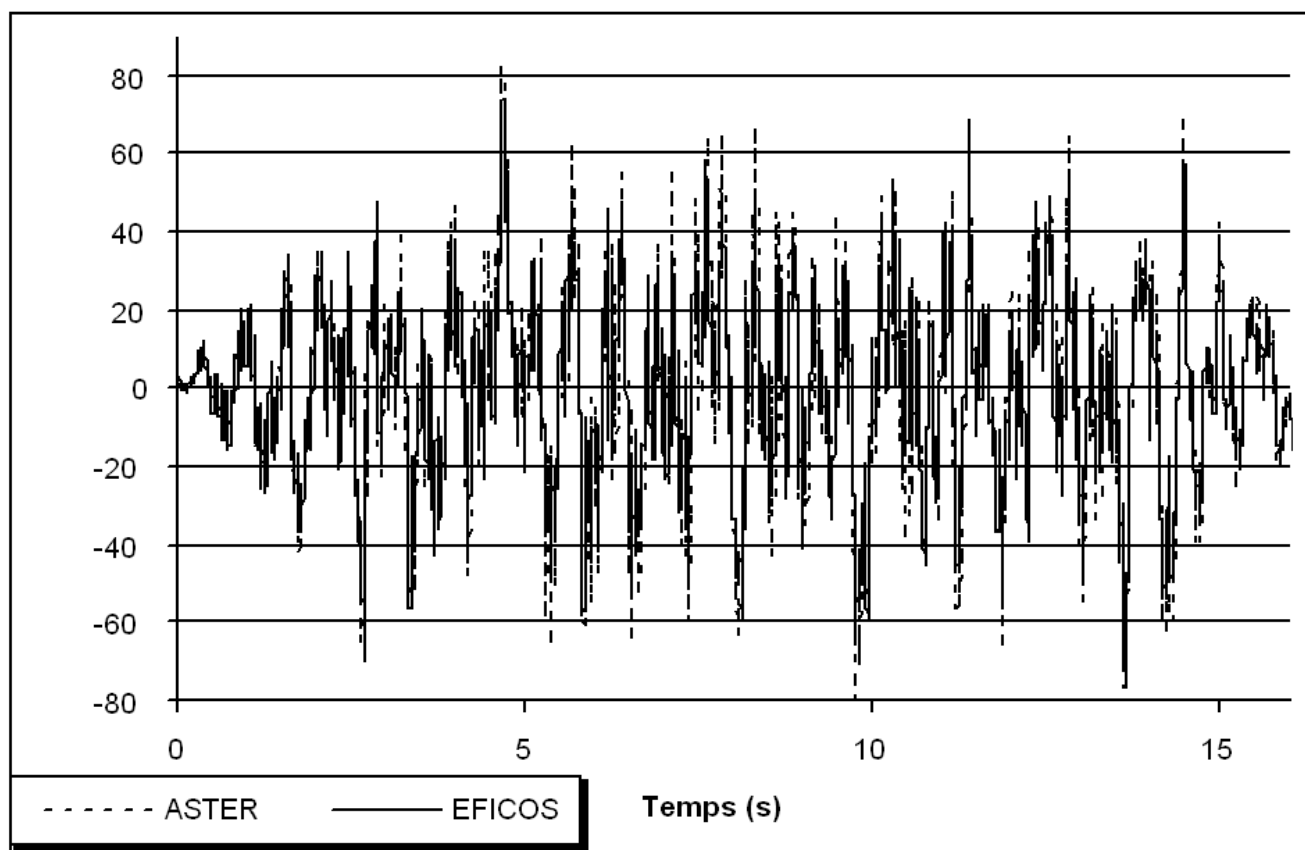


Figure 3.2-a : Réaction au premier appui en fonction du temps

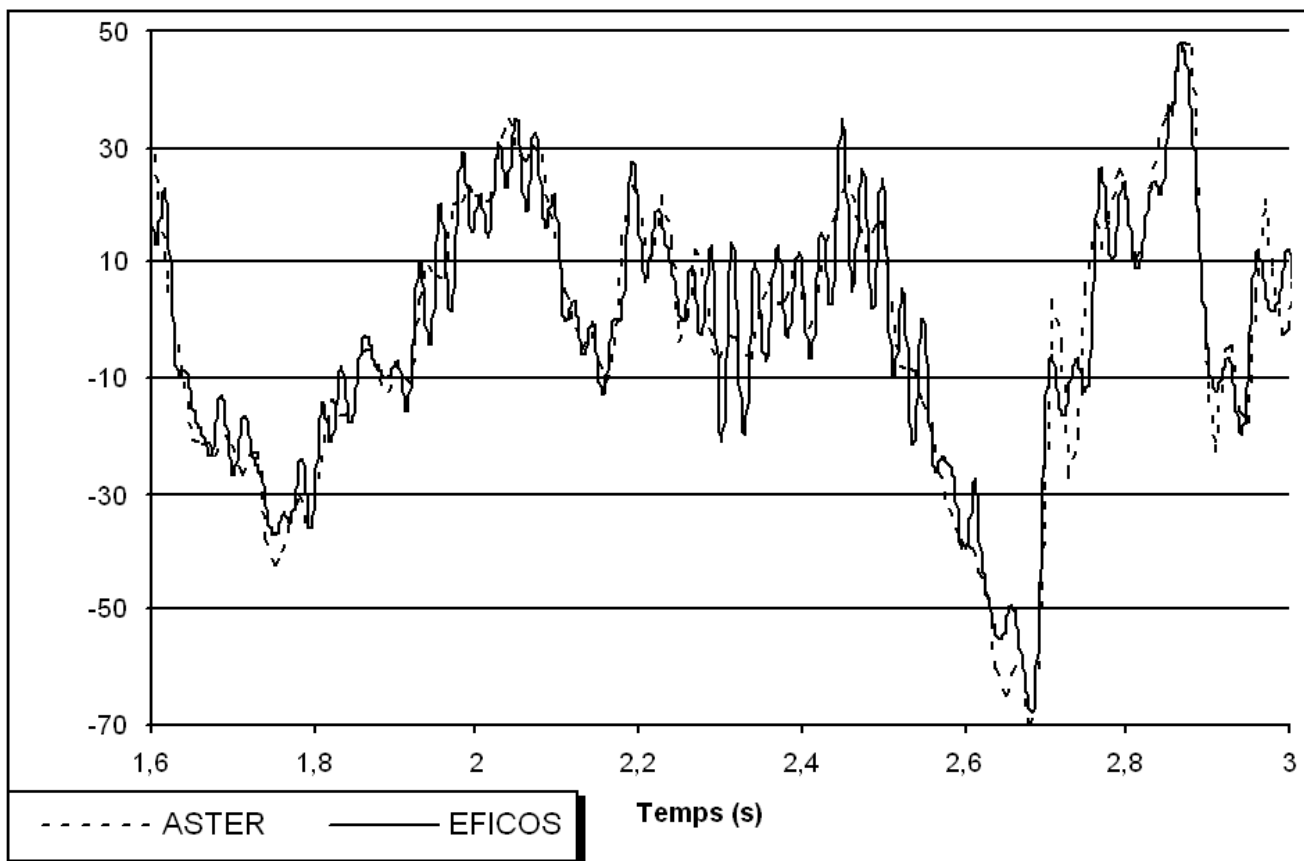


Figure : Détail de la réaction entre 1,6 et 3 secondes

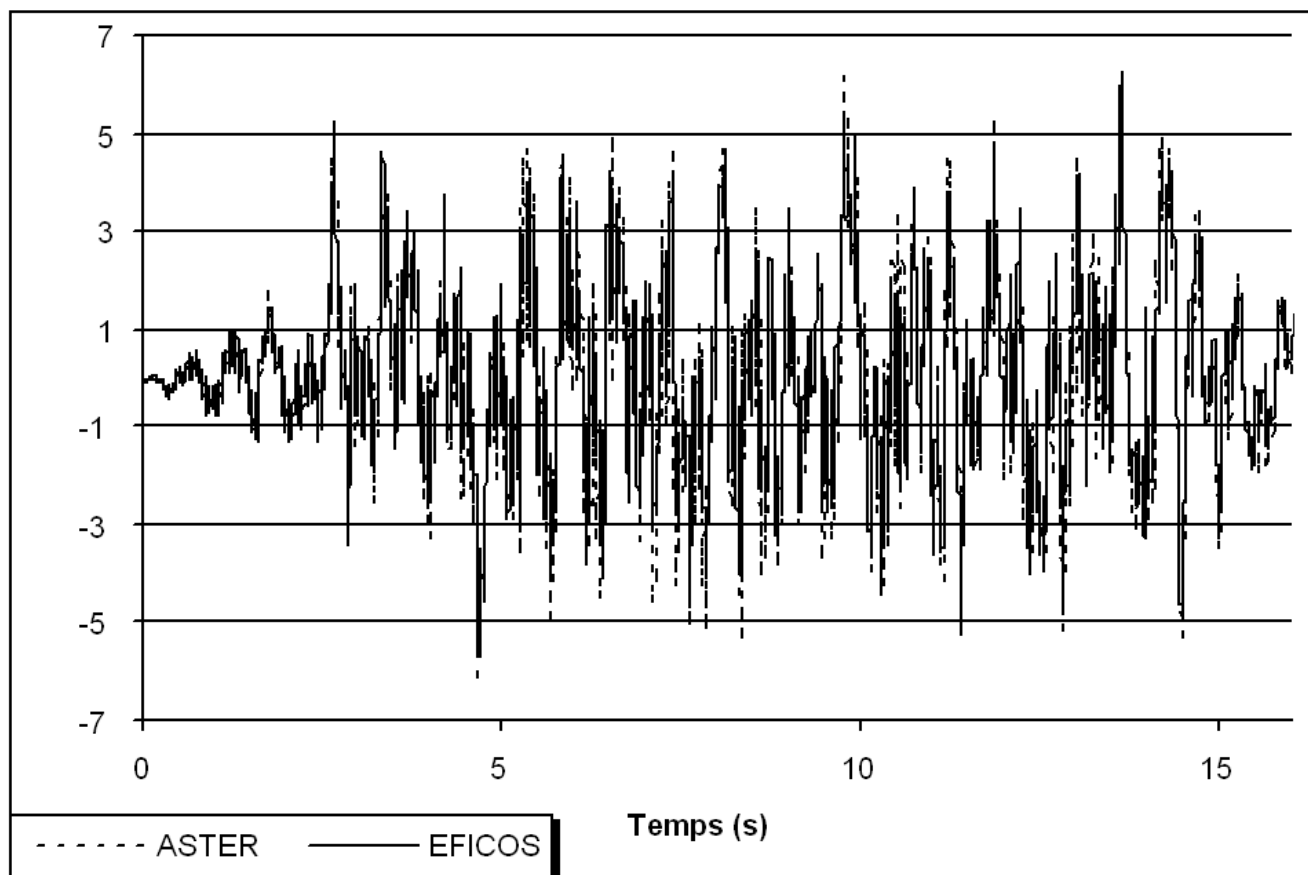


Figure 3.2-cFlèche au centre en fonction du temps

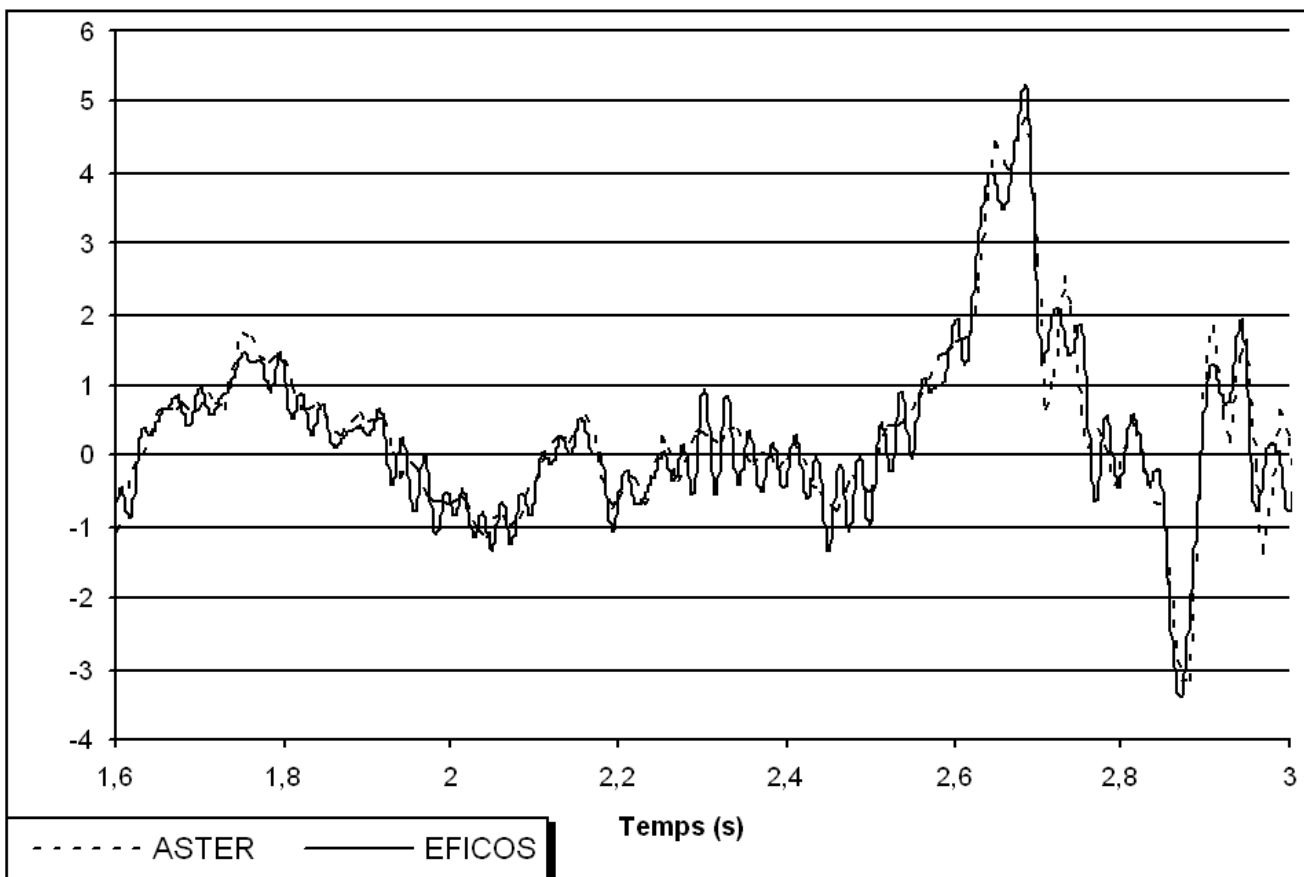


Figure : Détail de la flèche entre 2,5 et 2,8 secondes

Remarque :

La solution EFICOS est plus oscillante car le pas de temps choisi avec ce code était 1/1000ème de seconde.

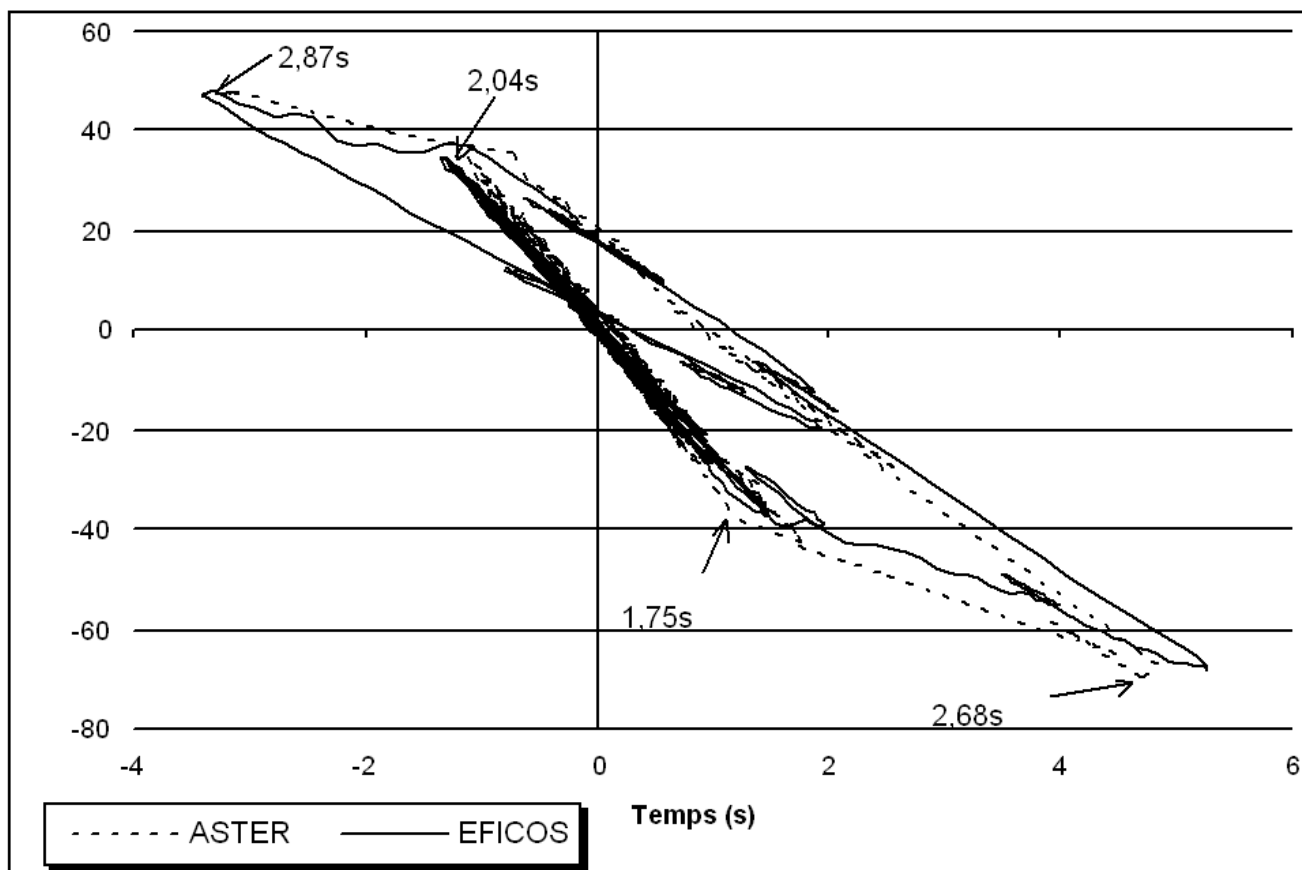


Figure Courbe réaction-flèche pour les 3 premières secondes

On effectue des tests de résultats (TEST_RESU) pour la réaction sur le premier appui et la flèche au centre. On teste ces valeurs pour quelques extremums dans les 3 premières secondes de séisme, c'est-à-dire aux alentours des temps 1,75 s (tout début du domaine non linéaire), puis 2,04 s, 2,68 s et 2,87 s lorsque la structure est déjà fortement endommagée.

Remarque :

Pour avoir un cas test ne consommant pas inutilement du temps CPU, seules les 3 premières secondes de séisme sont testées.

| FLECHE | EFICOS | ASTER | Erreur relative % |
|--------|-------------|----------|-------------------|
| 1.75 s | 1.5E-03 | 1.7 E-03 | 13.3 |
| 2.04 s | -1.3E-03 | -1.1E-03 | 13.1 |
| 2.68 s | 5.2 E - 0 3 | 4.7 E-03 | 9.6 |
| 2.87 s | -3.4E-03 | -3.1E-03 | 7.9 |

| REACTION | EFICOS | ASTER | Erreur relative % |
|----------|----------|----------|-------------------|
| 1.75 s | -3.7E+04 | -4.2E+04 | 14.3 |
| 2.00 s | 3.5E+04 | 3.5E+04 | 0.3 |
| 2.69 s | -6.8E+05 | -6.7E+05 | 1.7 |
| 2.87 s | 4.8E+05 | 4.8E+05 | 0.2 |

On constate que les différences en effort dans le domaine non linéaire sont très faibles, alors qu'il y a une différence certaine pour les déplacements. Cette différence est très certainement due aux effets de l'amortissement qui joue un grand rôle sur les déplacements.

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

Identique à la modélisation A, sauf :

- la loi pour le comportement du béton est Mazars dans sa version 1D .
- lors du calcul avec `DYNA_NON_LINE` mot clef `NEWTON` la matrice au comportement est la tangente, avec une réactualisation à chaque itération.

4.2 Grandeurs testées et résultats

Les courbes de réaction en fonction du temps et flèche au centre en fonction du temps sont présentées sur les figures 4.2-a à 4.2-c ..

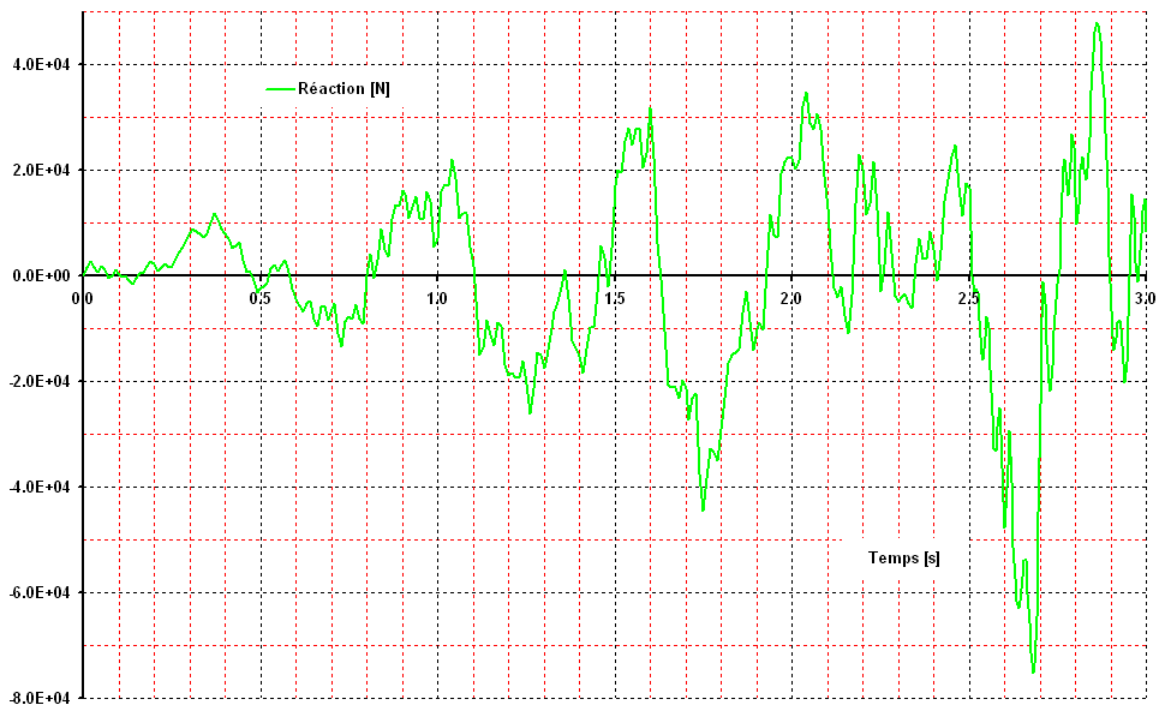


Figure Réaction appuis A en fonction du temps, pour les 3 premières secondes.

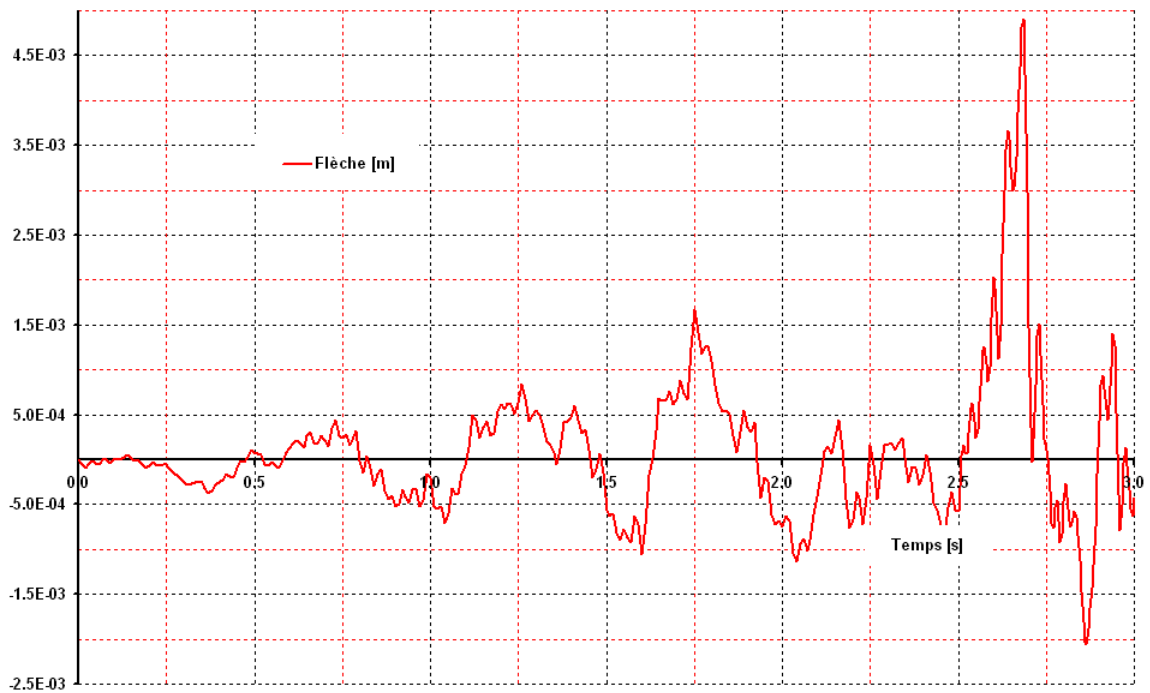


Figure 4.2-b : Flèche au centre en fonction du temps, pour les 3 premières secondes.

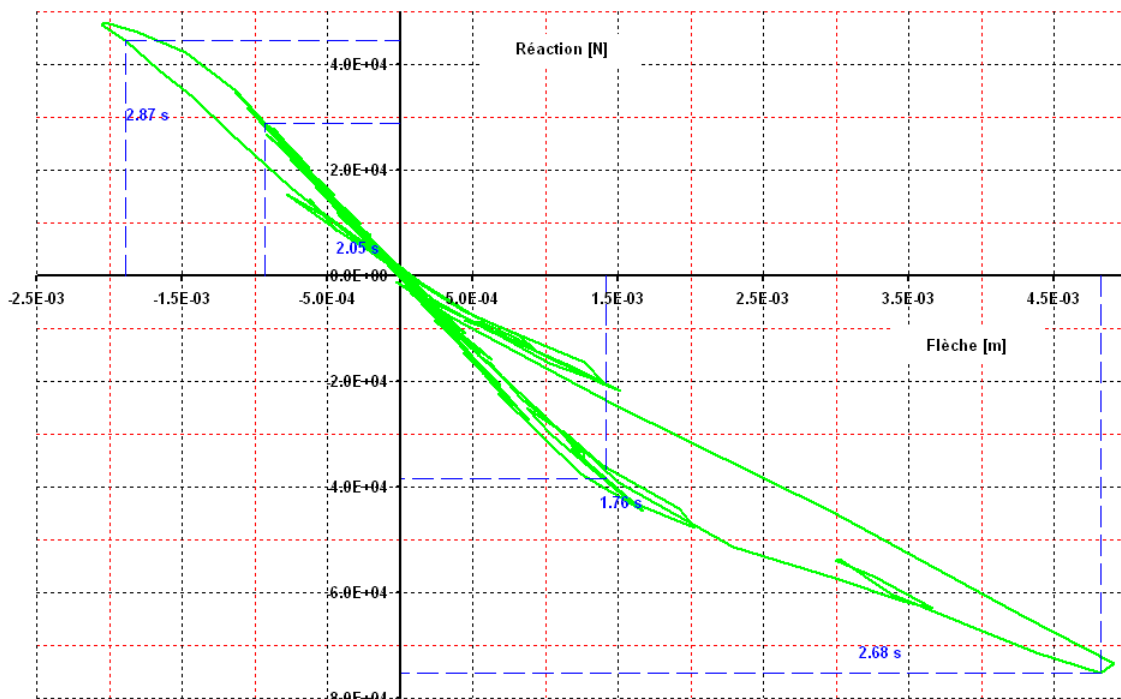


Figure : Courbe réaction-flèche pour les 3 premières secondes.

On effectue des tests de résultats (TEST_RESU) pour la réaction sur le premier appui et la flèche au centre. On teste ces valeurs pour quelques instants dans les 3 premières secondes de séisme, c'est-à-dire aux temps 1.76s (tout début du domaine non linéaire), puis 2.05s, 2.68s et 2.87s lorsque la structure est déjà fortement endommagée.

Remarque s :

Dans le cas de la loi de Mazars, il n'existe pas de référence, les TEST_RESU sont donc des non régressions.

| Instant | Grandeur | Lieu | Type Référence | Référeces | Tolérance |
|---------|----------------|----------|----------------|-------------|-----------|
| 1.76 s | FORC NODA : DY | groupe:A | NON REGRESSION | -3.8516E+04 | 1.0E-06 |
| 1.76 s | DEPL : DY | groupe:C | NON REGRESSION | 1.4170E-03 | 1.0E-06 |
| 2.05 s | FORC NODA : DY | groupe:A | NON REGRESSION | 2.8814E+04 | 1.0E-06 |
| 2.05 s | DEPL : DY | groupe:C | NON REGRESSION | -9.3312E-04 | 1.0E-06 |
| 2.68 s | FORC NODA : DY | groupe:A | NON REGRESSION | -7.5183E+04 | 1.0E-06 |
| 2.68 s | DEPL : DY | groupe:C | NON REGRESSION | 4.8174E-03 | 1.0E-06 |
| 2.87 s | FORC NODA : DY | groupe:A | NON REGRESSION | 4.4564E+04 | 1.0E-06 |
| 2.87 s | DEPL : DY | groupe:C | NON REGRESSION | -1.8913E-03 | 1.0E-06 |

Les figures ci-dessous donnent les évolutions de la réaction sur l'appui A et de la flèche au centre, pour 15 secondes.



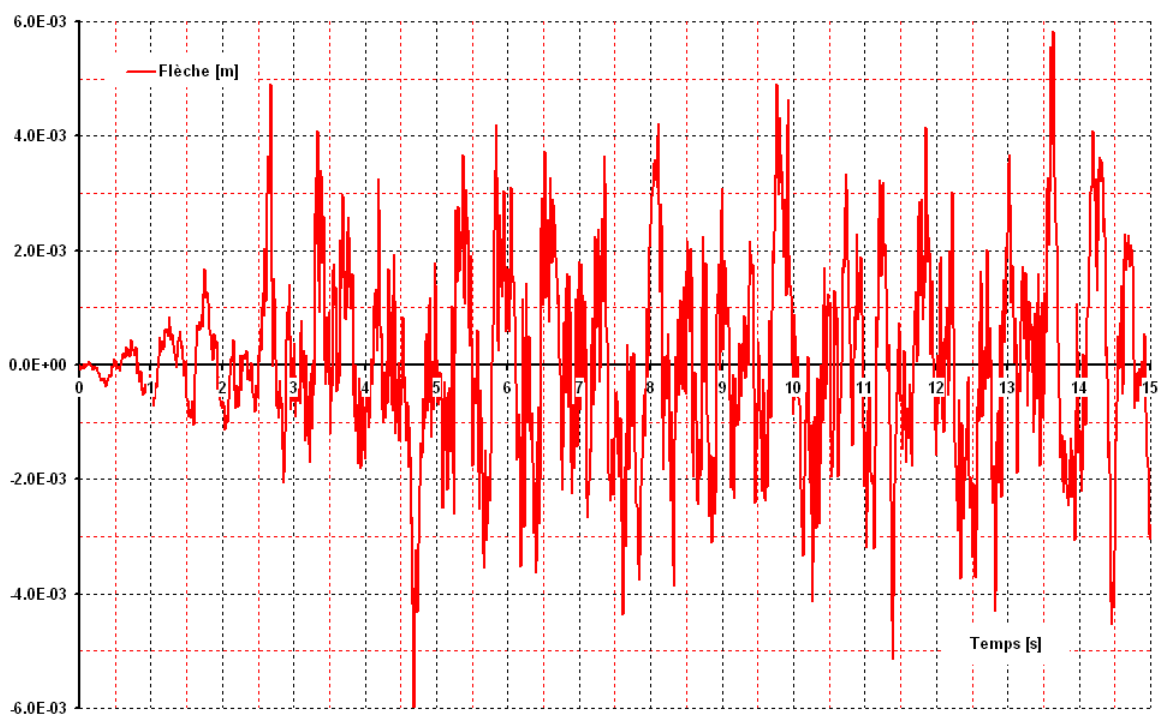


Figure : Flèche au centre en fonction du temps, pour 15 seconde s .

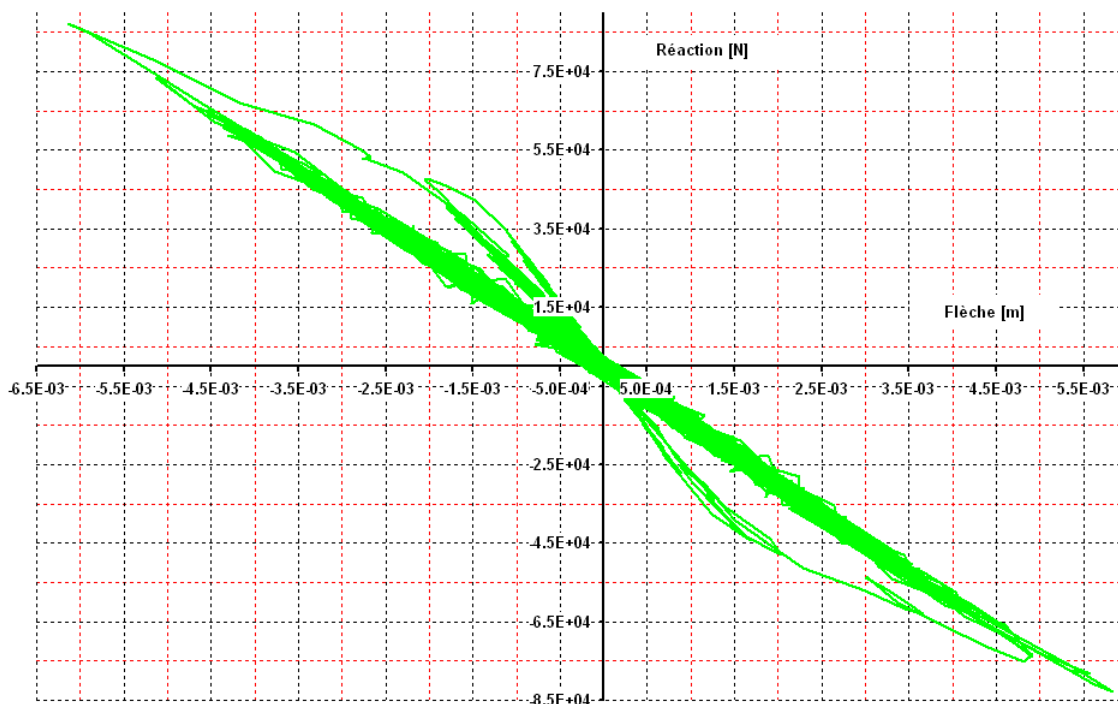


Figure : Courbe réaction-flèche, pour 15 secondes.

5 Synthèse des résultats

Les résultats obtenus avec *Code_Aster* sont en assez bon accord avec ceux du code EFICOS.

L'utilisation de la loi de Mazars (modélisation B) permet de diminuer fortement les coûts CPU (rapport supérieur à 3) , pour des résultats similaires .