

## PLEXU06 – Validation du chaînage Code\_Aster - Europlexus

---

### Résumé :

Ce test a pour but de valider le chaînage d'un calcul transitoire non-linéaire où la première partie de la résolution est menée par Europlexus via la commande `CALC_EUROPLEXUS`, puis se poursuit dans `Code_Aster` avec l'utilisation de l'opérateur `DYNA_NON_LINE`, avec une étape de rééquilibrage explicite vers implicite effectuée par la commande `MACRO_BASCULE_SCHEMA..`

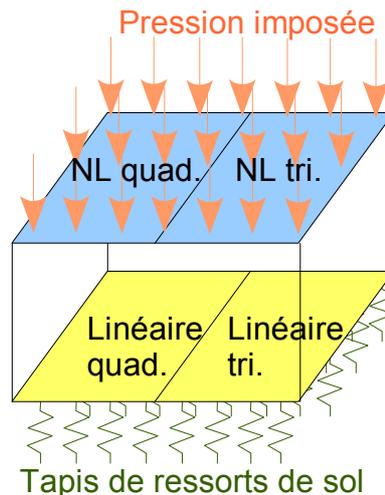
Plus précisément, le modèle mis en œuvre comporte les spécificités suivantes :

- éléments finis de type poutre ( `POU_D_E` ),
- éléments finis de type `Q4GG` sur mailles triangulaires ou quadrangulaires,
- tapis de ressorts de sol pour modéliser le sol sous la fondation,
- chargement de type pression imposée variable en temps,
- zone linéaire,
- zone non-linéaire avec loi de comportement `GLRC_DAMAGE` .

## 1 Description

### 1.1 Description générale

La structure est de type portique en béton armé carré de  $10\text{ m}$  de côté et  $2\text{ m}$  de haut dont les 4 poteaux sont reliés à leur base à un radier de même taille et reposant sur un tapis de ressorts de sol. Le radier et le toit sont représentés en éléments coques de type Q4GG. Seul le toit peut être non-linéaire (loi de comportement GLRC\_DAMAGE) et il est soumis à une pression variable en temps.



L'objectif de ce type d'étude est de traiter la partie dynamique rapide de la réponse dans Europlexus, pour ensuite basculer vers Code\_Aster (en implicite) pour la phase d'ébranlement induit, dont la durée en temps est trop grande pour permettre une résolution en un temps raisonnable en restant en explicite dans Europlexus.

En post-traitement, on analysera les déplacements, accélération et le spectre de réponse d'oscillateur (SRO) au point *PP2* qui est au milieu de la dalle supérieure.

### 1.2 Propriétés des matériaux

Les dalles sont en béton armé et les poteaux en acier.

Matériau	Béton	Acier
Module d'Young	$E_b = 42824,5\text{ MPa}$	$E_a = 2.10^{11}\text{ Pa}$
Coefficient de Poisson	$\nu_b = 0$	$\nu_a = 0.3$
Masse volumique	$m_b = 2500\text{ Kg/m}^3$	$m_a = 7800\text{ Kg/m}^3$
D_SIGM_EPSI	0	0
SY T	$4,2.10^5\text{ MPa}$	Sans objet
SY C	$-35.10^5\text{ MPa}$	Sans objet
SY	Sans objet	$5.10^7\text{ MPa}$

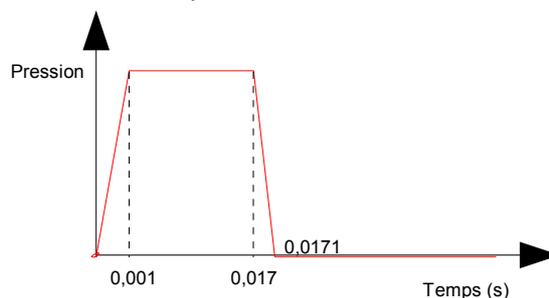
La partie linéaire des dalles se voit affectée les caractéristiques linéaires du béton définie ci-dessus. La partie complémentaire est caractérisée par un comportement de type GLRC\_DAMAGE., dont la phase béton et les armatures en acier ont les caractéristiques ci-dessus aussi.

Les paramètres spécifiques de la loi GLRC\_DAMAGE sont spécifiés avec l'opérateur DEFI\_GLRC .

BETON		NAPPE	
EPAIS	1,3	OMX	$5,027.10^{-3}$
GAMMA	0	OMY	$5,027.10^{-3}$
QP1	0,152	RX	0,877
QP2	0,152	RY	0,877
OMT	$5.10^{-3}$		
EAT	$2.10^{11}$		
C1N1 =C1N2=C1N3 =C2N1=C2N2=C2N3	$87,3.10^6$		
C =C1M2=C1M3 =C2 1=C2M2=C2M3	$14,8.10^6$		
		1M1	
		M	

## 1.3 Conditions aux limites et chargement

La pression imposée sur la dalle supérieure suit cette allure en temps :



La radier repose sur un tapis de ressorts de sol (de type  $K_{TR\_D\_N}$ ) défini avec le mot-clé RIGI\_PARASOL d'AFFE\_CARA\_ELEM . Les six composantes de la raideur globale en entrée valent :

$$K_x = 0,13572.10^{12} Pa$$

$$K_y = 0,13428.10^{12} Pa$$

$$K_z = 0,13467.10^{12} Pa$$

$$K_{rx} = 0,24722.10^{15} Pa$$

$$K_{ry} = 0,22386.10^{15} Pa$$

$$K_{rz} = 0,30600.10^{15} Pa$$

## 1.4 Limitations imposées par le temps CPU

Pour des raisons purement liées à un temps CPU court pour ce cas-test, on va volontairement raccourcir la durée totale qui sera simulée numériquement lors de la résolution transitoire. Cela va aussi induire un instant de bascule entre les code qui sera situé trop « tôt » : le régime initial de réponse dynamique rapide ne se sera pas transformé en mode d'ébranlement d'ensemble. Le cas-test aura donc le désavantage de basculer de schéma en temps à un instant défavorable où les non-

linéarités seront encore en phase de propagation, ce qui ne devrait pas être le cas pour une étude industrielle réelle où la phase d'ébranlement traitée en implicite devrait rester linéaire.

Logiquement, la bascule devrait donc se produire après le retour à 0 de la pression imposée (suffisamment tard pour être en régime d'ébranlement), donc après  $0,0171 s$ . La condition CFL imposant un pas de temps explicite de l'ordre de  $5 \mu s$ , le nombre de pas de temps serait prohibitif pour un cas-test. Afin de réduire le temps CPU, on place la bascule bien plus tôt, vers  $0,007 s$ , donc quand la pression imposée est à son plateau maximal. En implicite le pas de temps sera de  $50 \mu s$ .

## 1.5 Stratégie de passage Europlexus vers Code\_Aster

Dans ce chapitre on va aborder deux problématiques :

- la relecture et la construction de champs pour passer de la résolution Europlexus (via `CALC_EUROPLEXUS`) à `DYNA_NON_LINE` : on validera cette étape en comparant des calculs en explicite (on reste à schéma en temps semblable entre les codes),
- la bascule d'un schéma explicite vers un schéma implicite.

### 1.5.1 Construction des champs pour la poursuite

Le modèle comporte une zone linéaire et une zone non-linéaire. Sur la zone linéaire, les champs que l'on va récupérer au dernier instant calculé avec Europlexus sont les champs cinématiques, donc uniquement des champs aux nœuds. Les contraintes seront recalculées dans `Code_Aster`.

Sur la zone non-linéaire, il faut relire deux champs aux points de Gauss supplémentaires pour la contrainte et les variables internes liées à la loi matériaux employée : `GLRC_DAMAGE`. La zone non-linéaire ne comporte que des éléments de type `Q4GG` sur mailles triangulaires ou quadrangulaires.

Tous les champs générés par Europlexus seront relus à partir d'un fichier MED.

Pour la poursuite avec `DYNA_NON_LINE` (ou `MACRO_BASCULE_SCHEMA`) on définit comme état initial les champs suivants : déplacement, vitesse, accélération, contrainte (sur tout le modèle) et variables internes.

### 1.5.2 Bascule de schéma

On poursuit la résolution transitoire, à la suite d'Europlexus, dans `Code_Aster` en commençant par faire quelques pas avec le schéma explicite des différences centrées, avec matrice de masse lumpée, afin rester dans les mêmes hypothèses que le calcul Europlexus. Ensuite la transition vers une résolution implicite se fait avec une phase spécifique de rééquilibrage au sein de l'opérateur `MACRO_BASCULE_SCHEMA`. La résolution transitoire se termine donc en implicite avec matrice de masse consistante et pour un pas de temps dix fois plus grand qu'en explicite.

## 2 Solution de référence

---

On va comparer les résultats obtenus avec bascule de schéma aux résultats obtenus quand on conserve un unique schéma en temps. Afin de quantifier les écarts entre les codes, on va donc construire deux solutions de référence : la première calculée avec Europlexus, la seconde avec *Code\_Aster* en explicite.

### 2.1 Résultats de référence

On se compare aux solutions de référence en termes de déplacement, accélération et SRO (pour un coefficient d'amortissement de 5%) au point *PP2* qui est au milieu de la dalle supérieure. Pour les SRO, on va aussi comparer les résultats obtenus en se servant des tables d'OBSERVATION, en particulier celle générée par CALC\_EUROPLEXUS aux données de l'ARCHIVAGE.

### 2.2 Incertitude sur la solution

Les écarts imputables à la bascule de schéma seront comparés aux écarts entre les deux solutions de références (l'une obtenue avec Europlexus, l'autre avec *Code\_Aster* ). Dans l'idéal, la bascule devrait peu amplifier ces écarts entre les solutions de référence, qui eux, ne peuvent être réduits.

### 3 Modélisation A

Les dalles de béton sont modélisées en éléments Q4GG , sur des mailles quadrangulaires ou triangulaires . Les poteaux sont modélisés en éléments de type POU\_D\_E . Les ressorts de sol sont, quant à eux, du type K\_TR\_D\_N .

#### 3.1 Analyse des résultats

Dans ce chapitre, on va tracer les évolutions verticales du déplacement et de l'accélération du point *PP2* (au milieu de la dalle supérieure). À chaque fois, on va superposer les différentes réponses obtenues :

- 1.résolution avec CALC\_EUROPLEXUS puis poursuite avec DYNA\_NON\_LINE en explicite,
- 2.résolution avec CALC\_EUROPLEXUS sur tout l'intervalle d'étude,
- 3.résolution avec DYNA\_NON\_LINE explicite sur tout l'intervalle d'étude,
- 4.bascule CALC\_EUROPLEXUS vers DYNA\_NON\_LINE implicite,
- 5.bascule DYNA\_NON\_LINE explicite vers implicite.

Il sera ainsi possible de quantifier :

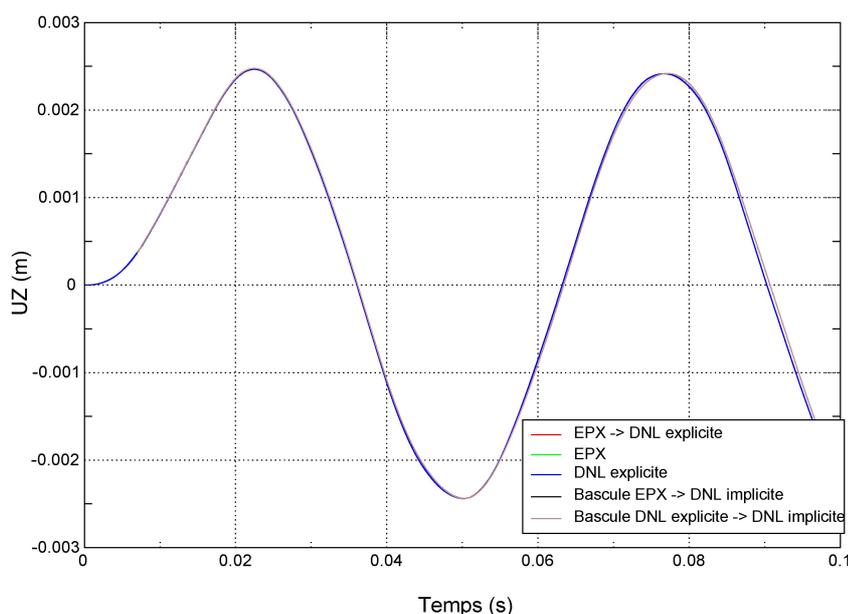
- la précision lors de la relecture de données MED entre les codes et la bonne concordance des modèles (courbe 1),
- les différences de modèle entre Europlexus et Code\_Aster (courbes 2 et 3) à schéma en temps identique,
- les différences entre solution explicite et solution avec la bascule de schéma (courbes 4 et 5).

L'analyse sur les accélérations devraient amplifier les écarts, comparativement aux différences sur les déplacements calculés.

Pour les graphes suivants, on a volontairement augmenté la durée de temps simulée, afin d'avoir une analyse plus pertinente. Dans le fichier de commande du cas-test, cette durée de simulation est bien plus réduite pour diminuer le temps CPU.

##### 3.1.1 Comparaison des déplacements calculés

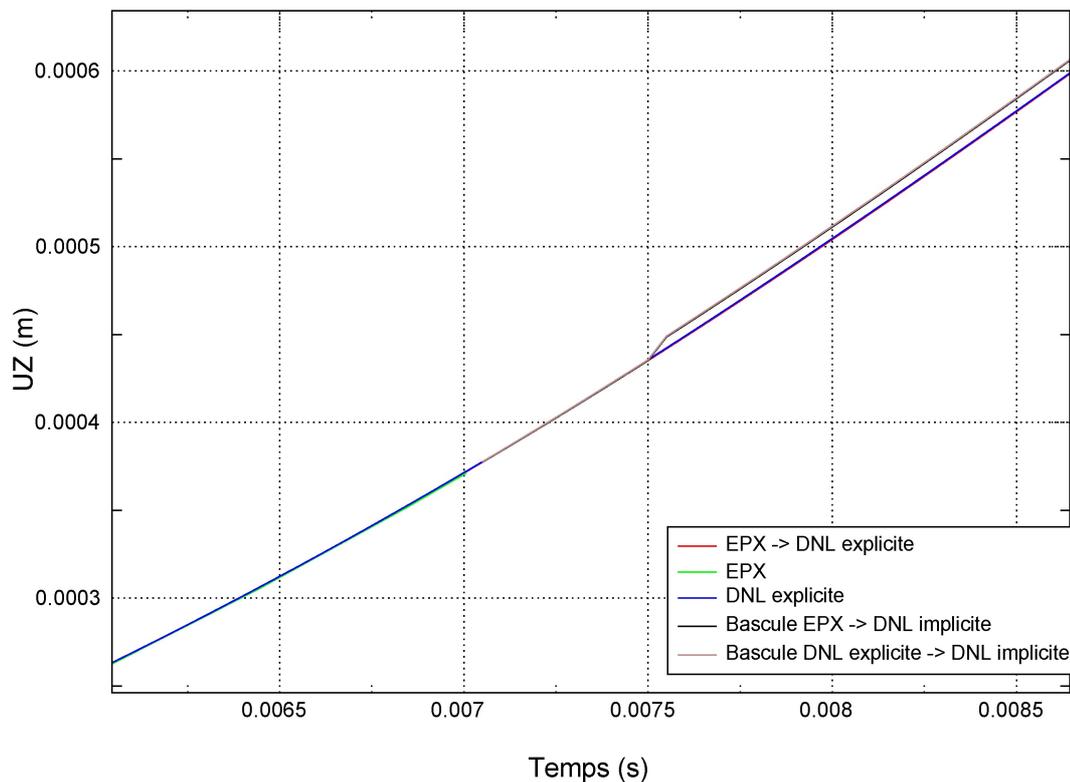
Déplacement vertical du noeud PP2



La réponse est de type oscillante et les écarts sont faibles. On observe juste un très léger déphasage entre les réponse explicites et implicites, qui est dû aux schémas en temps. L'écart en amplitude est négligeable.

Afin de compléter l'analyse on va zoomer sur l'instant de bascule à l'instant 0,0075 s :

## Déplacement vertical du noeud PP2

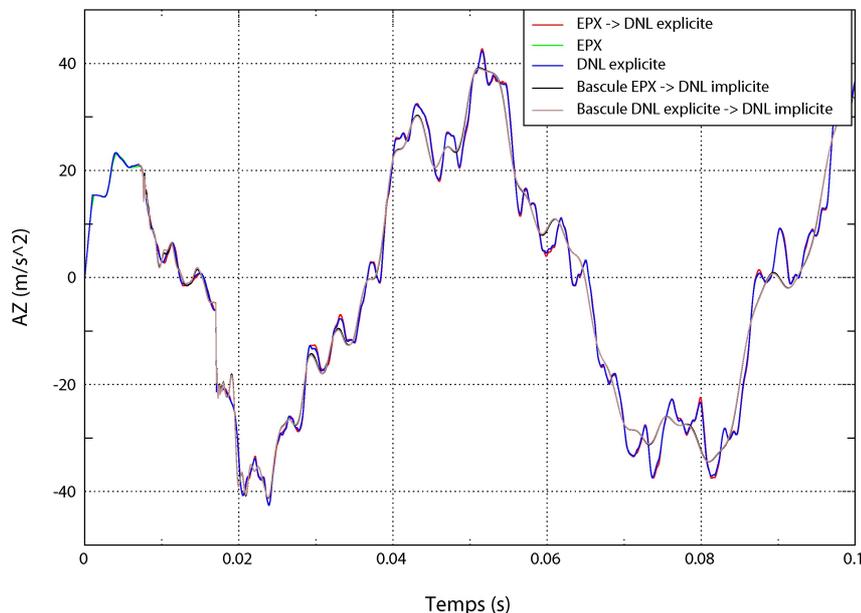


La bascule génère une légère perturbation, mais les réponses restent les mêmes, que l'on passe d'Europlexus à *Code\_Aster* (courbe noire) ou que toute la résolution se fasse dans *Code\_Aster* (courbe marron).

Il est important de noter que cette écart dû à la bascule ne va pas en s'amplifiant et que les réponses restent très proches des solutions de références (sans bascule).

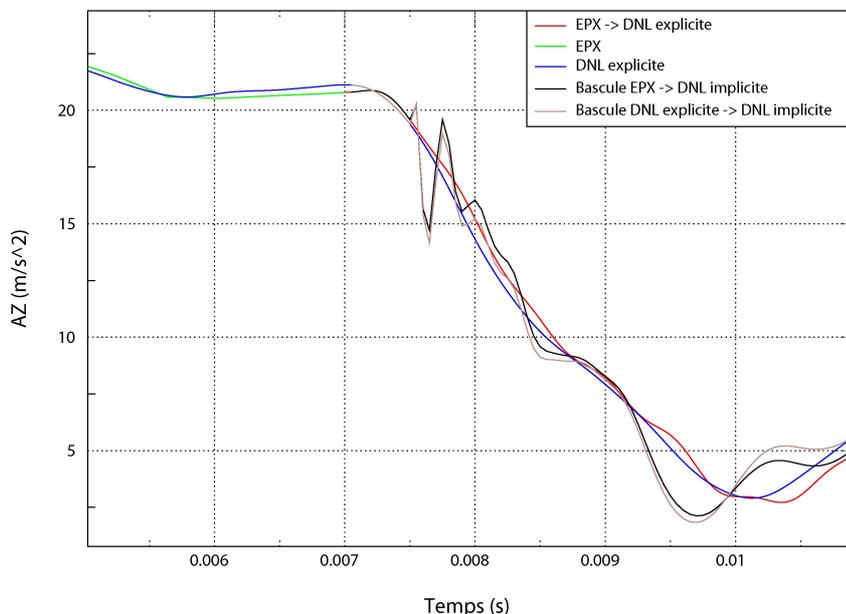
## 3.1.2 Comparaison des accélérations calculées

Accélération verticale du noeud PP2



Les accélérations ont des allures bien plus chahutées que les déplacements, mais les écarts entre les solutions numériques restent modérés. Plus exactement, on voit bien l'influence du schéma en temps implicite qui lisse la réponse (schéma dissipatif type HHT).

Accélération verticale du noeud PP2



En zoomant sur l'instant de bascule, des perturbations significatives de l'accélération apparaissent. Ces oscillations numériques ne peuvent être totalement annihilées, même en jouant sur les paramètres de la méthode de bascule de schéma (choix du schéma lors de la phase de l'équilibrage, paramètre de ce schéma, choix du schéma avant et après la bascule...). En fait, on a pu vérifier que ces oscillations sont très largement provoquées par le changement de matrice de masse : en explicite on utilise une matrice de masse lumpée, alors qu'en implicite c'est la matrice de masse consistante qui est choisie. Lors de la bascule, on passe brutalement d'une matrice de masse à l'autre

et cela vient perturber la solution. La stratégie de rééquilibrage ne parvient pas totalement à gommer ce saut.

Une parade pourrait être de basculer progressivement d'une matrice de masse à l'autre, en utilisant sur quelques pas de temps une matrice de masse variable qui serait une combinaison linéaire des deux matrices (lumpée et consistante). L'intérêt de cette évolution algorithmique restera à être quantifié sur ce cas-test, par exemple.

## 3.2 Valeurs testées

On va tester les valeurs obtenues (déplacements et accélérations) à l'instant final :  $0,007 s$ .

Chaque valeur testée sera en fait la valeur absolue de la différence relative entre le résultat à tester et la solution de référence considérée. Cette formule doit tendre vers 0 et c'est directement une valeur relative, ce qui explique que dans l'opérateur `TEST_FONCTION` on spécifie `CRITERE='ABSOLU'` car, sans cela, on chercherait à rendre relative la valeur une deuxième fois.

En pratique, ces valeurs testées ne peuvent tendre vers 0 que si l'écart entre le même calcul mené avec *Code\_Aster* ou Europlexus est nul, ce qui n'est pas le cas. Plus exactement, les écarts pour les solutions avec bascule en temps ne peuvent être moindre que les écarts entre les deux solutions de référence (calcul complet avec Europlexus et calcul complet avec *Code\_Aster* en explicite).

On commence donc par mesurer les écarts relatifs entre les deux solutions de références. En déplacement, on a :  $2,656188 \cdot 10^{-3}$  et en accélération :  $0,016270437$

Ensuite, on va analyser les écarts relatifs induits par la reprise de calcul entre Europlexus et *Code\_Aster* (explicite, donc sans bascule). En déplacement, on a :  $4,93101 \cdot 10^{-04}$  et en accélération :  $0,0380$ .

Les écarts induits par la bascule en temps devraient être du même ordre de grandeur. En effet, la bascule ne peut corriger ces écarts inhérents aux différences entre les codes.

On commence par comparer la solution avec bascule Europlexus vers *Code\_Aster* implicite. En déplacement, on a un écart relatif de :  $5,02195 \cdot 10^{-04}$  et en accélération :  $0,019848325$ .

Enfin, on donne les écarts relatifs avec la solution obtenue par bascule explicite vers implicite, mais en restant toujours dans *Code\_Aster*. En déplacement, on a un écart relatif de :  $0,011460178$  et en accélération :  $0,045500117$ .

On remarque que les écarts en accélérations sont plus grands que ceux sur les déplacements, ce qui est logique car les déplacements sont des quantités plus régulières que les accélérations, comme on peut le vérifier sur les graphes des paragraphes 6 et 8.

Ensuite, on constate que sur les déplacements, la bascule introduit très peu de perturbation, alors que sur les accélérations, des oscillations, certes amorties, apparaissent. Après analyse, il s'avère qu'elles sont principalement dues au passage brutal d'une matrice de masse lumpée à une matrice consistante.

Concernant le calcul de SRO, on va calculer l'écart relatif maximum (sur toute la plage de fréquence et pour un amortissement équivalent de 5 %) avec la solution de référence, que ce soit pour les SRO obtenus à partir de l'`OBSERVATION` et de l'`ARCHIVAGE`. Ces écarts relatifs sont de l'ordre de 5 à 8 % et sont imputables à la bascule et aux différences de pas de temps où sont archivées les données d'entrée des SRO.

## 4 Synthèse

Ce cas-test permet de valider la poursuite de calculs en passant d'Europlexus à *Code\_Aster*, sur un modèle de bâtiment en béton armé. Plus précisément, on commence par valider la relecture de champs aux nœuds ou aux points de Gauss pour poursuivre par un calcul explicite avec `DYNA_NON_LINE`. Ensuite, on valide cette poursuite en basculant vers un schéma en temps implicite. Les écarts observés sont satisfaisants et cohérents avec les différences de modélisation entre les codes (principalement au niveau de la matrice de masse qui peut être consistante ou lumpée). On valide aussi les post-traitements de type SRO calculés sur les données issues de l'`ARCHIVAGE` ou de l'`OBSERVATION`.