

# Couplage intégré explicite - implicite pour des calculs chaînés avec Code\_Aster et EUROPLEXUS

L. Idoux, N. Greffet (EDF / R&D / AMA)

## Implicite versus explicite

Lors de la résolution d'un problème de dynamique, on est amené à se poser la question du choix du schéma d'intégration temporelle, qui définit la discrétisation en temps de l'équation d'équilibre globale. Les schémas sont classés en deux grandes familles : les schémas explicites et les schémas implicites. Les premiers ont pour avantage de permettre, pour la résolution de l'équilibre, de n'avoir à inverser qu'une matrice de masse (lumpée). Il n'y a, de plus, pas de boucle de convergence car la résolution est directe. Le temps CPU par pas de temps est donc très réduit. L'inconvénient du schéma explicite est qu'il existe un pas de temps critique à ne pas dépasser. Ces caractéristiques expliquent pourquoi ces schémas sont très utilisés en dynamique rapide où la physique des phénomènes à observer impose déjà un pas de temps très petit (souvent de l'ordre de la microseconde).

Enfin, la qualité de la solution obtenue n'est pas garantie par un critère de résidu en équilibre. Les schémas implicites permettent au contraire d'utiliser des pas de temps très grands. La solution numérique reste stable et sa qualité est contrôlée par le critère de résidu en équilibre, tout comme en quasistatique. Cependant, la convergence s'avère parfois très délicate en présence de fortes non linéarités.

## Complémentarité des schémas

Selon la nature du problème à résoudre, le choix de l'un ou l'autre des schémas s'impose. En dynamique rapide (chocs, explosions, ...), le phénomène est très violent et induit de fortes non linéarités sur un temps très court. Les schémas explicites sont alors bien adaptés : la prise en compte fine du phénomène

impose l'utilisation de petits pas de temps et la convergence est très difficile à obtenir avec un schéma implicite. En dynamique lente (vibrations, ébranlements des structures), on est en présence d'un comportement linéaire des matériaux, pour une durée des phénomènes s'étalant sur plusieurs secondes. Les schémas implicites ont cette fois-ci tout leur intérêt. Lorsqu'on est confronté à la fois à un problème de dynamique rapide et à un problème de dynamique lente au sein d'une même étude, aucun des deux schémas n'est complètement pertinent. On souhaiterait pouvoir traiter la phase de dynamique rapide avec un schéma explicite et la phase de dynamique lente avec un schéma implicite. C'est l'objet des développements réalisés dans Code\_Aster et dans EUROPLEXUS.

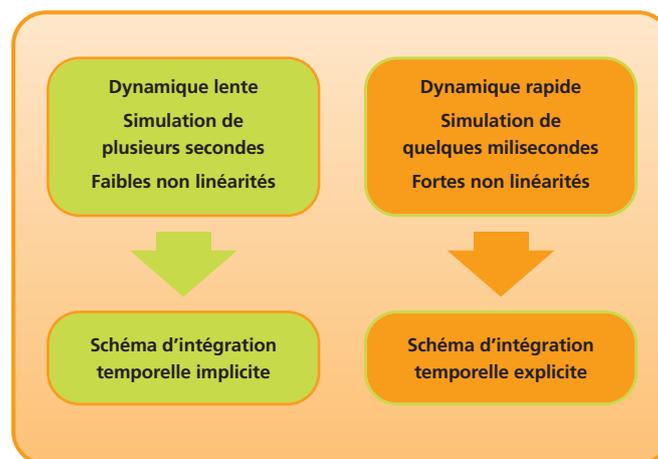


Figure 1 : Choix des schémas d'intégration temporelle.

# Couplage intégré explicite - implicite pour des calculs chaînés avec *Code\_Aster* et EUROPLEXUS

L. Idoux, N. Greffet (EDF / R&D / AMA)

## Chaînage de codes

EUROPLEXUS est un code adapté aux problèmes de dynamique rapide qui utilise le schéma d'intégration temporelle explicite des différences centrées, tandis que *Code\_Aster* s'avère performant pour traiter les problèmes de dynamique lente grâce à son solveur implicite. Ces deux codes font partie de la plate-forme Salome-Meca. *Code\_Aster* dispose de la macro-commande CALC\_EUROPLEXUS dont le rôle est de procéder au lancement d'un calcul EURO-

PLEXUS depuis l'environnement de *Code\_Aster*. Jusqu'à présent, le concept résultat obtenu n'était utilisé qu'à des fins de post-traitement. Le développement de la macro-commande MACRO\_BASULE\_SCHEMA a permis d'étendre ce fonctionnement : il est dorénavant possible de réaliser un calcul en explicite dans EUROPLEXUS via la macro-commande CALC\_EUROPLEXUS puis de continuer ce calcul en implicite avec *Code\_Aster*. La transition explicite - implicite nécessite une attention particulière du point de vue de l'équilibrage de la solution.

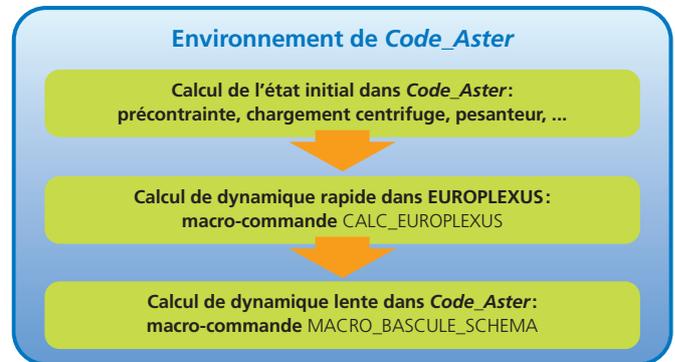


Figure 2 : Chaînage entre *Code\_Aster* et EUROPLEXUS, au sein de l'environnement de *Code\_Aster*.

## Ebranlement d'un cylindre soumis à une pression extérieure

A titre d'exemple, on considère un cylindre surmonté d'un dôme constitué de béton armé et de câbles de précontrainte. Le béton armé est modélisé par la loi globale GLRC\_DAMA tandis que les câbles de précontrainte restent en régime élastique. La première phase consiste à calculer l'état initial précontraint de la structure dans *Code\_Aster* en quasistatique, à l'aide de la macro-commande CALC\_PRECONT. La structure précontrainte est ensuite soumise à une pression extérieure localisée sur une petite partie de sa surface latérale. A l'aide de la macro-commande CALC\_EUROPLEXUS, l'état précontraint et les caractéristiques du calcul sont transmis à EUROPLEXUS qui procède au calcul de dynamique rapide en explicite. Cette phase est la seule phase non linéaire de l'étude, au cours de laquelle le béton armé s'endommage.

Lorsqu'elle est terminée, *Code\_Aster* récupère le résultat et la macro-commande MACRO\_BASCULE\_SCHEMA est utilisée pour basculer du schéma explicite au schéma implicite et poursuivre par un calcul d'ébranlement de la structure. Cette dernière phase permet par exemple d'obtenir les spectres d'accélération en diverses zones éloignées de la zone de chargement. Bien que le comportement du béton soit toujours modélisé par la loi GLRC\_DAMA par souci de conformité avec la précédente phase, les non linéarités n'évoluent quasiment plus et le calcul est linéaire. L'étude complète permet ainsi d'illustrer le chaînage entre deux codes de calcul et deux schémas d'intégration temporelle différents, auxquels s'ajoute une première phase de calcul d'un état initial non vierge. L'intégralité de l'étude est réalisée dans *Code\_Aster* : il n'est donc pas nécessaire de connaître la mise en données d'un calcul dans EUROPLEXUS et cela assure aussi la conformité totale de la mise en donnée entre les deux codes.

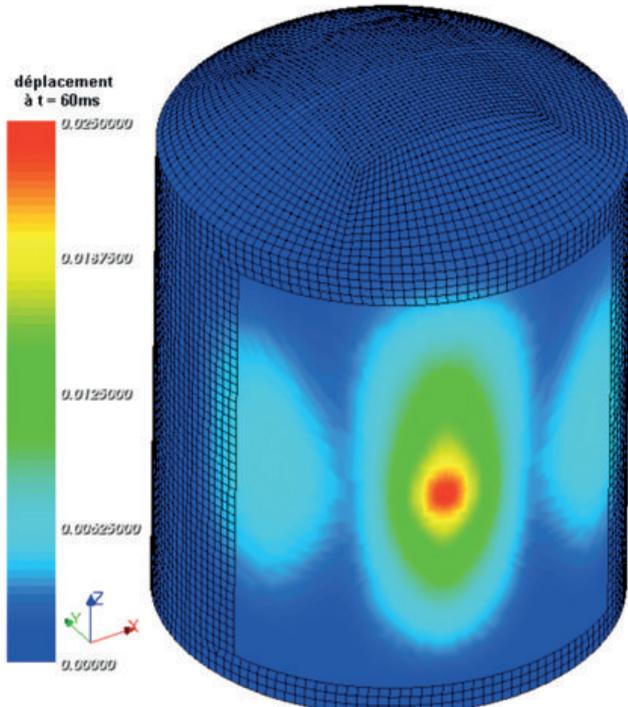


Figure 3 : Déplacement à  $t = 60\text{ms}$  (2<sup>ème</sup> phase de calcul en explicite dans EUROPLEXUS). La zone de chargement en pression correspond à la zone de déplacement maximal.