

# Calcul parallèle pour l'interaction fluide-structure en situation explosive

V. Faucher<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CEA, DEN, DM2S, SEMT, DYN, France, [vincent.faucher@cea.fr](mailto:vincent.faucher@cea.fr)

**Résumé** — La présente contribution propose de faire une revue des problématiques de recherche et développement dans le domaine du calcul parallèle en dynamique rapide avec couplage de modélisations et interaction fluide structure. Sont en particulier présentées les questions relatives à la gestion générique des connexions cinématiques par multiplicateurs de Lagrange, ainsi que la concurrence des différents algorithmes au niveau de la résolution parallèle. Les recherches en cours et les solutions proposées sont illustrées sur des applications industrielles avec le code EUROPLEXUS.

**Mots clefs** — Dynamique rapide explicite, IFS, connexions cinématiques.

## 1 Eléments de contexte

La simulation des transitoires brutaux issus de situations accidentelles requiert fréquemment la modélisation simultanée de fluides (liquides ou gazeux), en interaction avec des structures pouvant se déformer jusqu'à la ruine. Ceci conduit à coupler des modélisations différentes, telles que des éléments finis, des volumes finis ou des particules SPH pour le fluide, et des éléments finis volumiques ou surfaciques, des particules SPH ou des éléments discrets pour la structure (cf. figure 1). Des exemples de tels couplages en interaction fluide-structure figurent dans [1][2].

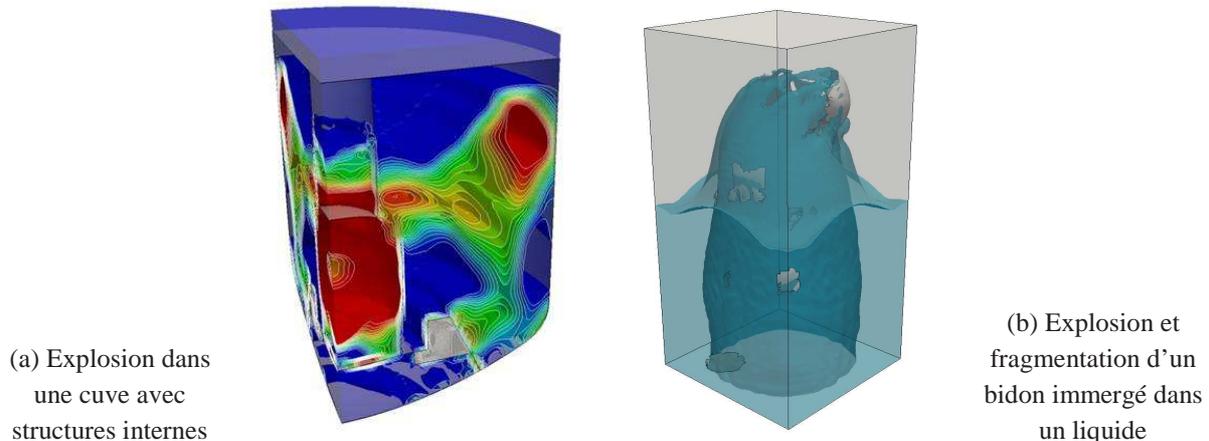


Fig. 1 : Interaction fluide-structure en situation explosive

La question des connexions cinématiques entre les différentes modélisations est fondamentale et le choix est fait dans EUROPLEXUS de vérifier les équations de liaisons de manière exacte au moyen de multiplicateurs de Lagrange, sans recourir à des paramètres de pénalisation à fixer par l'utilisateur. Au niveau algorithmique, ceci introduit une spécificité forte au niveau de la résolution temporelle : le schéma d'intégration est classiquement le schéma des différences centrées, mais la résolution d'un système linéaire est nécessaire pour le calcul des forces de connexion, ce qui produit un algorithme de résolution partiellement implicite.

La gestion en parallèle de l'assemblage et de la résolution du problème posé sur les multiplicateurs de Lagrange pour l'ensemble des connexions autorisées par le programme entre en concurrence avec le parallélisme classique des codes de calcul en dynamique rapide et fait l'objet du présent document.

## 2 Connexions cinématiques par multiplicateurs de Lagrange

### 2.1 Algorithme général

D'une manière générale, la conservation de la quantité de mouvement à l'instant  $t^{n+1}$  du processus d'intégration en temps, toutes les quantités étant supposées connues aux instants  $t^n$  (déplacements) et  $t^{n+1/2}$  (vitesses), se présente sous la forme :

$$\begin{aligned} \mathbf{M}^{n+1} \dot{\mathbf{U}}^{n+1} + \mathbf{F}_i(\mathbf{U}^n, \dot{\mathbf{U}}^{n+1/2}) + \mathbf{C}^{n+1 T} \boldsymbol{\Lambda}^{n+1} &= \mathbf{F}_{\text{ext}}^{n+1} \\ \mathbf{C}^{n+1} \dot{\mathbf{U}}^{n+3/2} &= \mathbf{B}^{n+1} \\ \dot{\mathbf{U}}^{n+3/2} &= \dot{\mathbf{U}}^{n+1/2} + \Delta t \ddot{\mathbf{U}}^{n+1} \end{aligned} \quad [\text{Eq. 1}]$$

Les forces  $\mathbf{F}_i$  représentent les forces internes pour les structures ou les forces de transport pour les fluides. Le système est complété pour les fluides par les équations de conservation de la masse et de l'énergie.

La matrice  $\mathbf{C}^{n+1}$  représente la matrice des connexions, variable en dimensions et coefficients en fonction du temps. Les multiplicateurs de Lagrange sont obtenus par condensation à partir d'un système de la forme :

$$\mathbf{C}^{n+1} \mathbf{M}^{n+1-1} \mathbf{C}^{n+1 T} \boldsymbol{\Lambda}^{n+1} = \mathbf{H}^{n+1} \boldsymbol{\Lambda}^{n+1} = \mathbf{S}^{n+1} \quad [\text{Eq. 2}]$$

### 2.2 Résolution parallèle à mémoire distribuée

Le parallélisme classique en dynamique transitoire explicite repose sur une décomposition de domaine visant à répartir la charge de calcul du vecteur  $\mathbf{F}_i$  sur les différents processeurs disponibles, les contributions élémentaires étant ensuite sommées sur la frontière des sous-domaines.

La décomposition de domaine rend complexe le traitement du problème [Eq. 2], car la matrice des connexions couple des inconnues réparties sur différents sous-domaines. La stratégie retenue est d'identifier les blocs diagonaux dans l'opérateur  $\mathbf{H}^{n+1}$  pouvant être résolu à l'intérieur d'un sous-domaine, i. e. correspondant à des groupes de liaisons couplant uniquement des degrés de liberté locaux à ce sous-domaine. Il reste dans la majorité des cas un bloc de l'opérateur qui ne peut être traité localement et requiert une solution globale, dégradant le parallélisme. Définir un mode de résolution extensible du problème [Eq. 2], nécessairement fondé sur une approche de type gradient conjugué avec préconditionneur distribué, est un sujet de recherche actif qui sera détaillé.

## 3 Vers un parallélisme hybride

En complément de la recherche d'extensibilité pour la solution du problème sur les connexions cinématiques avec décomposition de domaine, l'évolution des architectures matérielles propose un parallélisme alternatif : un traitement à mémoire distribuée avec décomposition de domaines entre des nœuds interconnectés par un réseau à haute performance, couplé à une accélération à mémoire partagée utilisant les cœurs locaux d'un nœud, avec une accélération locale supplémentaire éventuelle sur GPU. D'un point de vue théorique, cela permet de réduire la concurrence entre la décomposition de domaine et le traitement de connexions cinématique à nombre de cœurs constant, à condition de disposer d'un parallélisme multi-CPU/GPU à mémoire partagée performant. L'examen des approches de cette nature est réalisé pour EUROPLEXUS dans le cadre du projet ANR RePDyn [3] et l'avancement des travaux sera présenté.

### Références

- [1] F. Casadei. *Fast Transient Fluid-Structure Interaction with Failure and Fragmentation*, 8th World Congress on Computational Mechanics, June 30-July 5, 2008.
- [2] V. Faucher, S. Kokh. *Explosive Fluid-Structure Interaction using Multi-Component Flows with Anti-Dissipation*. IV European Conference on Computational Mechanics, May 16-21, 2010.
- [3] <http://www.repdyn.fr>