



HAL
open science

Raffinement adaptatif de maillage pour la simulation en dynamique rapide avec couplages multiples

Vincent Faucher, Folco Casadei

► To cite this version:

Vincent Faucher, Folco Casadei. Raffinement adaptatif de maillage pour la simulation en dynamique rapide avec couplages multiples. 12e Colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2015, Giens, France. hal-01516626

HAL Id: hal-01516626

<https://hal.science/hal-01516626>

Submitted on 2 May 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Public Domain

Raffinement adaptatif de maillage pour la simulation en dynamique rapide avec couplages multiples

V. Faucher^{1,2}, F. Casadei³

¹ CEA, DEN, DANS, DM2S, SEMT, DYN, Gif sur Yvette, France, F-91191, vincent.faucher@cea.fr

² IMSIA, UMR 8193 CNRS-EDF-CEA-ENSTA, Université Paris Saclay, 828 bd des Maréchaux, Palaiseau, France, F-91762

³ European Commission, Joint Research Center, Via Enrico Fermi 2749, Ispra, Italia, I-21027, casadeifolco@gmail.com

Résumé — On s'intéresse aux techniques de raffinement adaptatif de maillage (*Adaptive Mesh Refinement* ou *AMR*) appliquées à la simulation de transitoires rapides impliquant des fluides et des structures en interaction. La présente contribution est ainsi consacrée à la gestion parallèle générique de l'AMR sur une grille non-structurée, sur la base de critères de raffinement multiples combinant notamment le suivi de front d'ondes et d'interfaces entre fluide et structure ou entre fluides non-miscibles. Les méthodes proposées sont illustrées à l'aide du code EUROPLEXUS.

Mots clés — Dynamique rapide, raffinement adaptatif de maillage, critères combinés

1. Eléments de contexte

La présente contribution est dédiée à la prise en compte de techniques de raffinement automatique de maillage (*Adaptive Mesh Refinement* ou *AMR* dans la suite) dans un contexte de simulation en dynamique rapide avec couplages multiples (interaction fluide-structure et contact unilatéral par exemple). Le maillage est non-structuré dans tous les cas, les structures sont représentées avec une approche lagrangienne et les fluides avec une approche eulérienne ou ALE (*Arbitrary Lagrange Euler*).

L'approche proposée pour l'adaptation du maillage suit les travaux antérieurs de Díez, Verdugo et Casadei [1][2] dans le logiciel EUROPLEXUS (couramment abrégé EPX, <http://www-epx.cea.fr>, copropriété du CEA et de la Commission Européenne via le JRC/Ispra). Elle repose sur une subdivision non-conforme des cellules (cf. Figure 1), faisant classiquement apparaître des nœuds sans vis-à-vis au milieu des arêtes ou au centre des faces, ou *hanging nodes*, dont la gestion est assurée à l'aide de contraintes cinématiques spécifiques prises en compte par l'intermédiaire de multiplicateurs de Lagrange dans EPX.

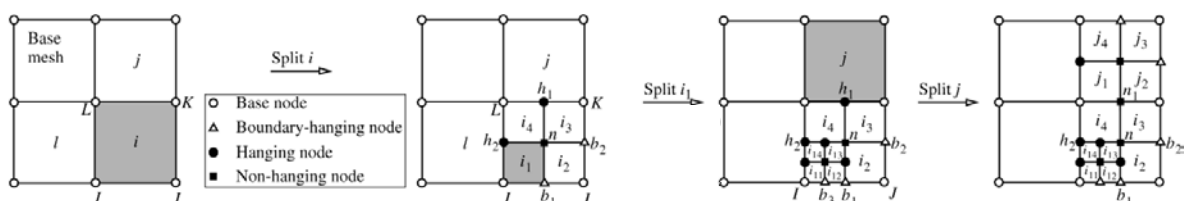


Figure 1 – Exemple de raffinement local d'un quadrangle

Les travaux présentés dans les paragraphes suivants sont consacrés à l'intégration de l'AMR dans l'algorithme parallèle à mémoire distribuée d'EPX et à l'utilisation générique de critères de raffinement combinés (par exemple, suivi de fronts d'onde et d'interfaces entre fluide et structure).

2. Algorithme parallèle avec AMR en dynamique rapide

On s'intéresse spécifiquement à la résolution parallèle à mémoire distribuée fondée sur une décomposition de domaine, pour laquelle l'introduction d'un maillage à topologie variable présente le plus de contraintes, le parallélisme à mémoire partagée étant notoirement moins impacté.

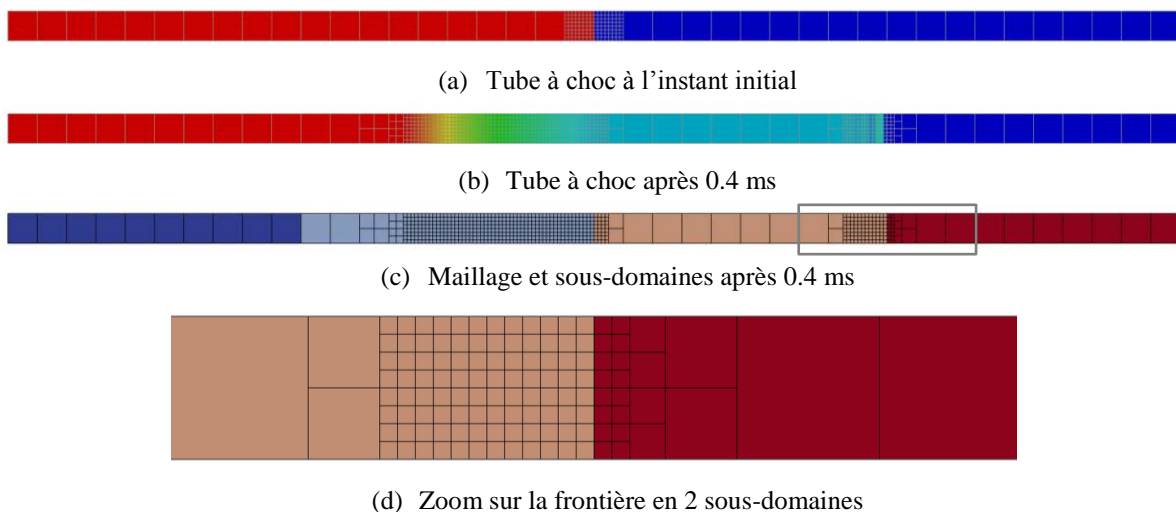
On résume sur la Table 1 les problématiques posées par l'insertion de l'AMR dans le formalisme multi-domaines.

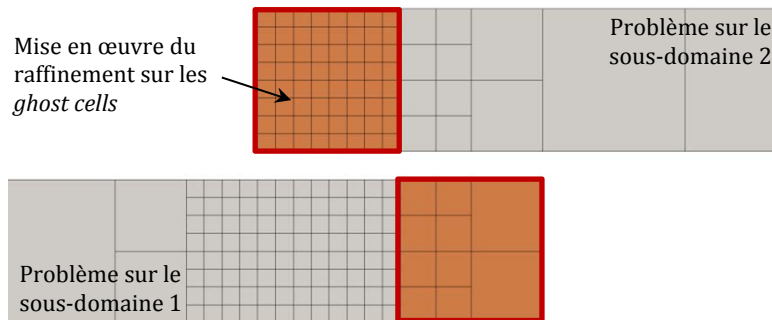
Table 1 – Problématiques pour la l'AMR en parallèle avec décomposition de domaine

Problématiques	Caractéristiques et verrous associés
Reconstruction des frontières entre les sous-domaines	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identification des nouveaux nœuds sur la frontière 2. Echange efficace des données pour les nouveaux flux ALE 3. Calcul des critères de raffinement au voisinage des frontières
Gestion des contraintes cinématiques	<ol style="list-style-type: none"> 1. Gestion des contraintes sur les <i>hanging nodes</i> à travers les frontières et interaction avec les autres contraintes du système 2. Gestion efficace de l'augmentation du nombre de contraintes cinématiques dans le problème à résoudre
Equilibrage de la charge	Evolution nécessaire des procédures de mise à jour de la décomposition de domaine en cours de simulation

Pour la première problématique, il est choisi d'étendre le processus de raffinement/déaffinement sur une couche d'éléments supplémentaire à l'extérieur des sous-domaines, selon une technique classique pour transférer les informations à travers les frontières (*ghost cells*), comme l'illustre la Figure 2 dans le cas simple d'un tube à choc.

Le calcul des critères de raffinement fondés sur des indicateurs d'erreur locaux liés à des calculs de gradient demande une prise d'information sur le voisinage de chaque cellule. Ceci requiert un traitement spécifique lorsque ces informations sont disponibles à travers la frontière d'un sous-domaine, ce que permet à nouveau l'approche étendue par *ghost cells*.





(e) Gestion des *ghost cells* avec raffinement étendu pour reconstruire l'interface entre les sous-domaines

Figure 2 – Gestion des frontières avec AMR

La deuxième problématique est gérée en tirant parti des travaux récents sur la gestion parallèle de la prise en compte duale des contraintes cinématiques quelconques dans EPX, intégrant la nature intermittente dans le temps des contraintes portant sur les *hanging nodes* [3]. Un solveur présentant l'extensibilité requise en présence de contraintes nombreuses et impliquant des inconnues distribuées sur les sous-domaines, est mis en œuvre, sur la base d'un gradient conjugué avec un préconditionneur spécifique (solveur GPCG [3]). Il est remarqué que le processus de raffinement est très sensible à la précision de la solution, ce qui oblige à utiliser des critères d'arrêt plus exigeants que pour des cas sans AMR si on cherche à faire coïncider les solutions séquentielle et parallèle.

Enfin, la troisième problématique s'appuie sur des résultats obtenus dans [3] en termes d'amélioration de l'extensibilité et de l'équilibrage de la charge en reconstruisant périodiquement la décomposition de domaine. Une adaptation de cette approche intégrant les variations locales du nombre de cellules est en cours.

A titre d'illustration, la Figure 3 présente la propagation d'une onde de choc dans un maillage 3D avec AMR et décomposition de domaine, pour une résolution parallèle avec 8 processus MPI.

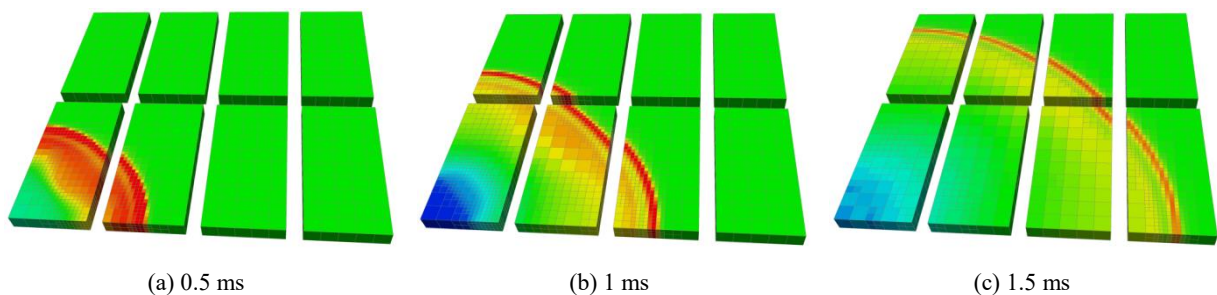
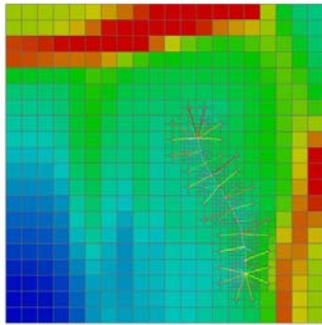


Figure 3 – Propagation d'une onde de choc en 3D en parallèle avec AMR

3. Critères de raffinement combinés en parallèle

Les simulations considérées en dynamique rapide des systèmes fluide-structure intègrent couramment de multiples modélisations pouvant bénéficier simultanément des apports de l'AMR.

On peut citer le besoin de disposer de la précision requise pour suivre des fronts d'onde, des surfaces entre fluide et structure ou des interfaces physiques entre fluides non-miscibles par exemple. Pour atteindre cet objectif, tout en conservant une performance parallèle satisfaisante, une famille de critères de raffinement spécifiques est développée, dont le principe est donné par la Figure 4 (illustration dans le cas de l'interaction fluide-structure). On y indique également la méthode de combinaisons des critères ainsi formulés.



Réponse d'une coque mince à une onde de pression

Raffinement de la grille fluide en suivant un maillage de coque : niveau de raffinement défini par la distance entre le centre des cellules soumis à l'adaptation de maillage et un nuage de points représentant l'interface à suivre (distances représentées sur la figure)

Cas ci-contre : nuage construit à partir des éléments de structure

Autres interfaces possibles : points du nuage au centre des cellules contenant une discontinuité pour le suivi d'interfaces entre fluides, localisation des gradients maximaux pour le suivi des fronts d'onde

Combinaison des critères : simple maximum dans chaque cellule sur les niveaux de raffinement cibles données par les critères individuellement

Figure 4 – Principe des critères de raffinement par ‘nuage de points’

La mise en œuvre parallèle de tels critères est aisée via une simple communication des points pertinents de chaque nuage entre les processus MPI, sans recourir à une gestion particulière des frontières. Pour limiter les communications, la sélection des points à transmettre est effectuée sur la base de *bounding boxes* associées aux sous-domaines.

Enfin, la Figure 5 présente un exemple illustratif de mise en œuvre des critères combinés, en parallèle, avec à nouveau 8 processus MPI dans le cas présent.

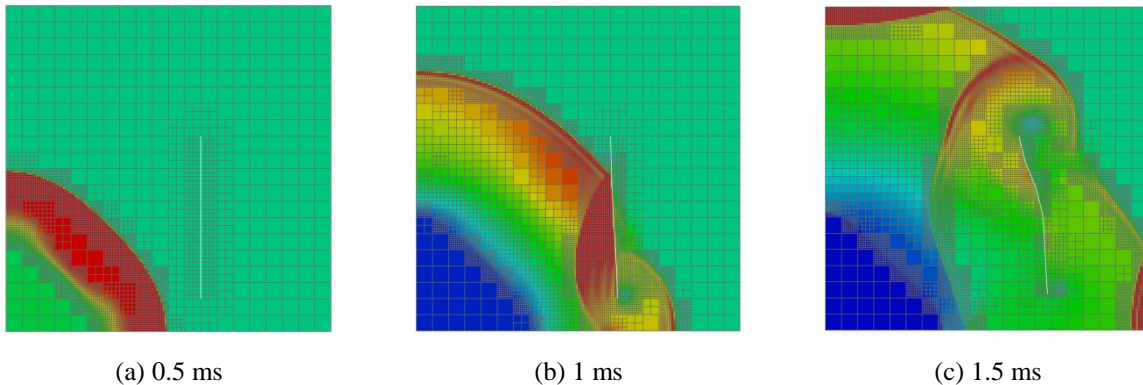


Figure 5 - Interaction d'une onde de choc avec une structure, en parallèle avec critères combinés pour l'AMR

4. Perspectives

Les approches proposées sont en cours d'extension pour le raffinement au voisinage de surfaces de contact. La question de la maîtrise complète de l'équilibrage de la charge est un sujet de recherche actif.

Références

- [1] F. Verdugo, Error assessment and adaptivity for structural transient dynamics, PhD thesis from, Universitat Politècnica de Catalunya (director: P. Díez), 2013.
- [2] F. Casadei, P. Díez, F. Verdugo, An algorithm for mesh refinement and un-refinement in fast transient dynamics, Int. J. Comput. Methods, vol. 10, 2013.
- [3] V. Faucher, Advanced parallel strategy for strongly coupled fast transient fluid-structure dynamics with dual management of kinematic constraints, Advances in Engineering Software, vol. 67: 70-89, 2014.