

Colloque du Groupe de Recherche 2902
Interaction Fluide Structure

Conservatoire National des Arts et Métiers

14 et 15 mai 2007

Traitement numérique des interfaces

Comité local d'organisation

Roger OHAYON, Jean-François DEÛ, Antoine LEGAY, Olivier THOMAS
Laboratoire de Mécanique des Structures et des Systèmes couplés
LMSSc - EA3196 - Cnam Paris
<http://www.cnam.fr/lmssc>



Objectif du GDR

L'objectif du GDR "Interaction Fluide Structure" est de réunir au sein d'un réseau très ouvert, différentes communautés universitaires et industrielles impliquées dans le développement des méthodes théoriques et numériques pour la résolution de nouveaux problèmes multi-physiques posés par les différentes applications académiques ou industrielles et impliquant des interactions fortes ou faibles entre fluide et structure. Le projet du GDR IFS est né de l'expression d'un besoin d'une structure nationale permettant les rencontres à intervalles réguliers sur les sujets liés aux problèmes de couplage, et participant à la formation des doctorants impliqués dans cette thématique. Alors que très souvent les chercheurs dans les laboratoires industriels (département R&D, Recherche et Développement) et les chercheurs dans les laboratoires CNRS ou universitaires étudient indépendamment les mêmes modèles mécaniques liés à des problèmes de couplage, de nombreux travaux incitent à un rapprochement plus fort. Le but du projet GDR IFS est donc de faciliter ces échanges et de contribuer à ce rapprochement.

Thèmes abordés lors des journées des 14 et 15 mai 2007

- Thème 1 : Méthodes particulières (SPH, EFG, ...)
- Thème 2 : Méthodes ALE et remaillage
- Thème 3 : Lattice Boltzmann
- Thème 4 : Méthodes d'enrichissement (XFEM, PUM, ...)
- Thème 5 : Schémas numériques de couplage

PROGRAMME DU LUNDI 14 MAI 2007

- 9h00 - 9h45 : Accueil
- 9h45 - 10h00 : Présentation et objectifs scientifique du GDR
Mhamed SOULI, Aziz HAMDOUNI
- 10h00 - 10h35 : Couplage de codes et applications en interaction fluide structure
Elisabeth LONGATTE (EDF, Clamart)
- 10h35 - 11h10 : Technique de déformation de maillages par analogie à un pseudo-milieu élastique au sein d'un solveur Navier-Stokes volumes finis
Guillaume DE NAYER (Laboratoire de Mécanique des fluides, EC Nantes)
- 11h10 - 11h45 : Sur le traitement des interfaces avec la méthode des éléments naturels
Elias CUETO, Andres GALAVIS, David GONZALES (Aragon Institute of Engineering Research. University of Zaragoza, Spain), **Francisco CHINESTA** (LMSP, ENSAM Paris, France)
- 11h45 - 12h20 : Interaction fluide structure appliquée aux éoliennes
Nicolas CAPRON (Laboratoire de Mécanique de Lille)
- 12h20 - 14h00 : Repas
- 14h00 - 14h35 : Une introduction aux gaz de Boltzmann sur réseau
François DUBOIS (Cnam, Paris)
- 14h35 - 15h10 : Computational aeroacoustic including fluid-structure coupling with the finite element and the lattice Boltzmann method
Barbara NEUHIERL (Siemens AG, Munich, Allemagne)
- 15h10 - 15h45 : Application de la décomposition orthogonale aux valeurs propres (POD) aux domaines mobiles
Erwan LIBERGE (LEPTAB université de La Rochelle / EIGSI)
- 15h45 - 16h15 : Pause
- 16h15 - 16h50 : Approche semi-analytique pour les problèmes linéaires d'interaction onde de choc/coque élastique
Cédric LEBLOND, Jean-François SIGRIST (DCN Propulsion, Nantes)
- 16h50 - 17h25 : Modeling of accumulation of fluid borne particles upstream of conduit constrictions
Andrew PARRY (Schlumberger, Clamart)

PROGRAMME DU MARDI 15 MAI 2007

- 9h00 - 9h35 : Développement d'un élément poutre incorporé pour les sols renforcés
Hussein MROUEH (Laboratoire de Mécanique de Lille)
- 9h35 - 10h10 : Méthodes particulières avec remaillage pour le calcul d'interfaces
Georges-Henri COTTET (Laboratoire Jean Kuntzmann, Grenoble)
- 10h10 - 10h30 : Pause
- 10h30 - 12h30 : **Visite du musée des arts et métiers**
- 12h30 - 14h15 : Repas
- 14h15 - 14h50 : Enriched Space Time method for large motion of thin flexible structures immersed in a flow fluid
Andreas KÖLKE (TU Braunschweig, Allemagne)
- 14h50 - 15h25 : Etude de la stabilité de représentation d'interfaces linéaire et non linéaire avec X-FEM
Nicolas MOËS (Institut GeM, Ecole Centrale de Nantes)
- 15h25 - 15h55 : Pause
- 15h55 - 16h30 : Calcul d'interfaces par Level Set et réinitialisation convective
Thierry COUPEZ, Hugues DIGONNET (CEMEF, Ecole des Mines, Sophia Antipolis), **Patrice LAURE** (JAD, UMR CNRS-Université de Nice), **Luisa SILVA, Rudy VALETTE** (CEMEF, Ecole des Mines, Sophia Antipolis)
- 16h30 - 17h05 : Simulations numériques directes de suspensions concentrées de corps solides
Patrice LAURE (JAD, UMR CNRS-Université de Nice), **Gregory BEAUME** (CEMEF, Ecole des Mines, Sophia-Antipolis ; Schneider Electric, Grenoble), **Thierry COUPEZ, Hugues DIGONNET** (CEMEF, Ecole des Mines, Sophia-Antipolis)
- 17h05 - 17h30 : Bilan et discussion
Mhamed SOULI, Aziz HAMDOUNI

Couplage de codes et applications en interaction fluide structure

Elisabeth LONGATTE

EDF, Clamart
elisabeth.longatte@edf.fr

Sur le parc nucléaire, le respect des critères de sûreté, l'optimisation de la maintenance et la maîtrise de la durée de vie des composants passent par une prévision fiable des mécanismes de vieillissement et d'endommagement, comme l'usure ou la fatigue vibratoire des structures mécaniques que les seules approches expérimentales actuelles ne permettent pas de prévoir dans leur globalité. La mise au point de nouvelles méthodes s'inscrit dans une perspective d'amélioration continue des processus de conception, d'exploitation et de maintenance des matériels. Elle fait l'objet d'un projet engagé depuis 2001 à EDF R&D et consacré à la préparation d'outils numériques prédictifs pour les études des composants de REP¹, en particulier les études faisant intervenir des couplages multi-physiques comme les couplages fluide structure.

Les méthodologies à mettre en oeuvre sont de natures différentes suivant le type de problèmes multi-physiques considérés. On distingue trois classes de configurations couplées :

1. Physiques découplées
2. Physiques chaînées ou faiblement couplées
3. Physiques fortement couplées.

Après une présentation des méthodologies adaptées à chaque type de physique, des premiers éléments de qualification des méthodes sont proposés sur la base de cas tests semi-industriels, représentatifs de tout ou partie des composants de REP considérés. Quelques résultats marquants obtenus sur des applications industrielles sont présentés. Enfin, l'apport de la simulation numérique est mis en évidence, tout particulièrement pour l'accès à des informations nouvelles, fondamentales pour la compréhension des phénoménologies intervenant dans les couplages fluide structure et inaccessibles au travers des modélisations semi-empiriques mises en oeuvre actuellement.

La présentation est principalement consacrée à la simulation de couplages faibles ou forts par couplages de codes. Les principales applications présentées sont relatives au calcul des vibrations de structures induites par écoulements. La procédure de couplage retenue consiste en un couplage externe entre les codes fluide et structure avec une gestion adaptée de l'interface pouvant reposer sur une formulation fluide de type A.L.E.². Les problématiques posées par la modélisation de la physique au niveau de l'interface des systèmes couplés et les méthodes numériques associées sont abordées.

Les développements réalisés ont abouti à l'élaboration d'un coupleur fluide structure appelé Cosmethyc (Coupleur pour la Simulation Mécanique et Thermohydraulique). Quelques

¹Réacteur à Eau Pressurisée

²Arbitraire Lagrange Euler

résultats obtenus avec l'outil sont présentés, comme l'identification numérique des caractéristiques vibratoires de tubes et faisceaux de tubes en présence de fluide et d'écoulements en termes de fréquences et d'amortissements vibratoires. Sur la base de confrontations calculs / mesures expérimentales / théories analytiques, on conclut que le coupleur développé et en cours d'évolution constitue un outil à caractère prédictif pour des configurations académiques. Les développements à venir des capacités de calculs permettront d'envisager son exploitation dans le cadre plus large des études industrielles.

On peut dire que les outils de chaînages et de couplages conçus, développés et mis en oeuvre seront opérationnels à court ou moyen terme pour la réalisation d'études locales des composants de REP faisant intervenir simultanément des problématiques aussi diverses que l'acoustique, la thermohydraulique, la mécanique, la dynamique, la thermique. Ils fourniront des informations nouvelles qui permettront de progresser dans la compréhension des phénoménologies en interaction fluide structure et favoriseront l'identification de paramètres inaccessibles par la mesure et cependant fondamentaux pour raison de sûreté. On peut citer la vitesse critique de départ en instabilité des tubes de générateurs de vapeur ou les caractéristiques de dimensionnement des grilles de mélange des assemblages combustibles.

Parmi les principales perspectives de ces travaux, outre l'amélioration des performances des codes, via le parallélisme notamment, et leurs nombreuses applications potentielles dans le cadre d'études industrielles, on peut mentionner la généralisation de ces développements au cas des écoulements diphasiques, domaine dans lequel on dispose également de nombreuses données expérimentales qui pourront être à la base de campagnes de qualification des outils numériques. L'extension des méthodes numériques et le recours à des méthodes alternatives seront également envisagés pour la simulation de nouveaux types de phénomènes de couplages multi-physiques multi-échelles. Les couplages de modèles et de méthodes numériques pourront être à la base de ces généralisations d'outils, avec une gestion adaptée des interfaces associées.

Technique de déformation de maillages par analogie à un pseudo-milieu élastique au sein d'un solveur Navier-Stokes Volumes-Finis

Guillaume DE NAYER

Laboratoire de mécanique des fluides
Ecole Centrale de Nantes
1 rue de la Noë BP 92101 - 44321 Nantes Cedex 3 - FRANCE
Guillaume.de-nayer@ec-nantes.fr

La plupart des solveurs RANSE utilisent des maillages qui s'appuient sur la surface des corps et qui conservent leur topologie. Pour des applications d'interaction fluide-structure, on a alors besoin de déformer le maillage au cours du temps pour l'adapter à la nouvelle forme et/ou position des corps. Pour cela, une des techniques consiste à considérer le maillage fluide comme une pseudo-structure élastique dont les frontières ont des déplacements imposés par la déformation des corps.

Cette communication décrira la mise en place de cette méthode basée ici sur une discrétisation Volume-Finis afin de pouvoir utiliser les mêmes connectivités et les mêmes modules de résolution que ceux développés pour résoudre l'écoulement.

Sur le traitement des interfaces avec la méthode des éléments naturels

Andres GALAVÍS*, David GONZÁLES*, Elias CUETO*[†] et Francisco CHINESTA**[‡]

* Aragon Institute of Engineering Research, University of Zaragoza, Spain

** LMSP, UMR CNRS 8106, ENSAM Polytech'Orléans, Paris, France

[†]ecueto@unizar.es, [‡]francisco.chinesta@paris.ensam.fr

In this paper we address the problem of the numerical treatment of interphases in the framework of the Natural Element Method (NEM). This method, despite being considered meshless, presents several differences when compared to other meshless or meshfree methods. Noteworthy, the interpolant character of the approximation makes the imposition of essential and interphase boundary conditions straightforward, as in the FEM.

In this paper we investigate the issue of imposing interphase boundary conditions when the model is constructed upon a suitable α -shape of the cloud of points. α -shapes are an instance of shape constructors, geometrical entities that give a shape to a cloud of points with no boundary information.

A particular highlight will be made in the problem of Fluid-Structure interactions, where the solid could possibly be modelled by Finite Elements, whereas the fluid is simulated by NE methods. The application to other problems involving evolving interphases (the so-called Stefan problems, for instance) will be also addressed.

Interaction fluide structure appliquée aux éoliennes

Nicolas CAPRON

Laboratoire de Mécanique de Lille
nicolas.capron@ed.univ-lille1.fr

Nous nous intéressons au comportement dynamique de la structure 'rotor-pale' d'une éolienne soumise à l'écoulement de l'air environnant. Les concepteurs d'éoliennes emploient des techniques de couplage faible, en supposant que la déformation de la structure n'intervient pas ou très peu dans la perturbation de l'écoulement. Notre approche consiste à utiliser une méthode de couplage fort à l'aide d'un code monolithique afin de prendre en compte les déplacements des pales au cours du temps. Le terme pression-vitesse des équations de Navier Stokes est découplé en employant une méthode de projection. Ceci permet de calculer la pression s'exerçant sur la structure de manière implicite et d'assurer l'incompressibilité de l'air. Les termes de cisaillement des équations gouvernant la structure et le fluide sont obtenus explicitement. Afin de prendre en compte la complexité du mouvement de la structure, le domaine d'étude auquel nous nous intéressons est constitué d'un maillage fixe et d'un maillage mobile. Le déplacement du maillage mobile correspond à la rotation des pales de l'éolienne autour de l'axe du rotor. Pour conserver une bonne qualité de maillage au niveau de l'interface 'maillage fixe-maillage mobile', nous effectuons une opération de remaillage consistant à permuter la connectivité des éléments distordus. Dans un premier temps, nous nous limitons à un modèle simplifié d'éolienne rigide pour lequel nous déterminons la vitesse de rotation en fonction de la vitesse du vent.

Une introduction aux gaz de Boltzmann sur réseau

François DUBOIS

Cnam, Paris
fdubois@cnam.fr

On présente d'une part le cheminement intellectuel qui a permis de passer des "automates cellulaires" dans les années 70 aux "schémas de Boltzmann sur réseau", en reformulant ces algorithmes avec le langage classique de l'analyse numérique. On montre ensuite grâce à la méthode de l'équation équivalente que ce type de schéma est d'ordre deux en espace et en temps pour la mécanique des fluides. Enfin, un lien avec les volumes finis nous permet d'introduire un nouveau traitement numérique des conditions limites de parois.

Computational Aeroacoustics including Fluid-Structure-Coupling with the Finite Element and the Lattice Boltzmann Method

Barbara NEUHIERL

Siemens AG, CT PP 2, Otto-Hahn-Ring 6, 81739 München
barbara.neuhierl@siemens.com

In this presentation a bidirectional coupling procedure, enabling the calculation of aeroacoustic phenomena in connection with coupled effects that can occur if structure and fluid influence each other mutually, is discussed. The approach is useful to describe problems typically occurring e.g. in the area of aviation and railway, in devices containing fans like computers or household appliances, or in pipes or HVAC systems. Fluid flows can lead to sound generation often experienced as disagreeable, at the same time exciting vibrations of structures. Examples for such vibrating structures, in turn generating sound themselves, are i.e. pipe walls or components outside cars, trains or airplanes (like mirrors, antennas, pantographs).

Both flow and structure, as well as the interaction between them are to be considered. For the computation of the structural behavior, the finite element method was applied, calculating vibrations caused by fluctuating flow pressures acting onto the surfaces. On the fluid side, instead of so-called "classical CFD", where a macroscopic model is used by solving the discretized Navier-Stokes equations, an alternative approach was chosen : The lattice-Boltzmann method, a 'mesoscopic' formulation based on a strongly simplified kinetic theory and likewise approximating the Navier-Stokes equations, enables time explicit and very fast computation of compressible flows. As it is also able to represent acoustic wave propagation, enabling the concurrent approximation of flow and acoustic field, it was considered as extremely suitable for the purpose.

It was decided to use commercially available programs both for the Finite Element part (ANSYS) and the Lattice Boltzmann part (ExaPowerflow) of the calculations in order to benefit from the large number of possibilities offered by this software packages.

A special coupling routine was developed, that provides interfaces for the bidirectional exchange of result data, considering the typical differences between CFD grids and finite element meshes and controlling time step sizes as well as result output etc.

Coupled computations have been performed for theoretical models like flows around certain obstacles (i.e. bars or cylinders, causing the well-known "von Kármán vortex streets" or harmonic eddy separation as sources of sound). Furthermore, to demonstrate the suitability of the method for more complex models, representative industrial problems were examined.

Application de la décomposition orthogonale aux valeurs propres (POD) aux domaines mobiles

Erwan LIBERGE^{*,**,†}, M. BENAOUICHA^{*,**}, Aziz HAMDOUNI^{*}

*LEPTAB, Université de la Rochelle, Avenue Michel Crépeau, 17042 La Rochelle Cedex 1, France

**EIGSI, 26 rue de Vaux de Foletier, 17041 La Rochelle Cedex 1, France

†eliberge@univ-lr.fr

Afin de remédier aux aspects prohibitifs en stockage et en temps de calcul des modélisations et résolutions par méthode numérique de problèmes de mécanique, de nombreuses méthodes dites de réduction de modèle permettant d'obtenir des systèmes dynamiques d'ordre bas ont été introduites. Une méthode en particulier a émergé en mécanique des fluides, la décomposition orthogonale aux valeurs propres (POD). Nous avons choisi d'étudier les performances de cette méthode en interaction fluide-structure, et sa capacité à reproduire les phénomènes se produisant aux interfaces fluide-solide. Pour cela nous avons choisi d'appliquer la POD suivant la formulation continue du problème mécanique, ceci impliquant la recherche de modes spatiaux alors que les domaines sont mobiles. Pour cela un domaine de référence fixe au cours du temps, contenant toutes les configurations des domaines mobiles, a été introduit. Les champs de vitesse fluide et solide sont ainsi interpolés sur le maillage fixe afin d'obtenir un champ de vitesse global. Les modes POD sont alors recherchés pour ce champ de vitesse globale. Cette solution permet d'obtenir une bonne reconstruction du champ de vitesse simulé avec un nombre de modes relativement faible.

Une méthode de réduction du système dynamique utilisant les modes POD est ensuite développée pour les problèmes d'interaction entre un fluide et des solides rigides. Cette méthode utilise une approche type domaines fictifs afin de considérer le problème fluide solide rigide comme un problème multiphasique, donc de considérer le domaine rigide comme un domaine fluide. Pour cela on utilise une viscosité élevée pour le domaine solide qui joue le rôle de coefficient de pénalisation de la contrainte de corps rigide et on introduit un multiplicateur de Lagrange associé à cette contrainte dans la formulation faible. Le problème fluide est formulé sur le domaine de référence et les modes PODs sont introduits dans la formulation variationnelle. La méthode est testée sur le cas bidimensionnel d'un solide rigide immergé dans un fluide.

Approche semi-analytique pour les problèmes linéaires d'interaction onde de choc / coque élastique

Cédric LEBLOND[†], Jean-François SIGRIST[‡]

Service Technique et Scientifique, DCN Propulsion, 44620 La Montagne.
[†]cedric.leblond@dcn.fr, [‡]jean-francois.sigrist@dcn.fr



CONTEXTE :

La question de la tenue au choc hydrodynamique des bâtiments de surface et des sous-marins en environnement militaire est primordiale dès la phase de conception amont. Les phénomènes impliqués dans ce problème sont complexes de part leur caractère instationnaire et requièrent une approche multiphysique. L'onde de compressibilité incidente interagit avec la structure pouvant engendrer sa déformation élastique, plastique voire sa rupture. Du côté du fluide, les ondes de pression réfléchiée et radiée peuvent atteindre des valeurs négatives et donner naissance à des phénomènes de cavitation. La résolution complète de ce problème soulève des questions fondamentales encore ouvertes concernant le comportement transitoire des milieux solides et fluides, et demeure par ailleurs hors d'atteinte numériquement. Dans le but de fournir une base indispensable à la compréhension du problème d'interaction complet, il est utile, dans un premier temps, d'étudier son approximation linéaire.

MÉTHODES DE RÉOLUTION :

Deux méthodes de résolution seront présentées. La première, principalement analytique, se limite à des géométries cylindriques pour lesquelles les équations sont à variables séparables. Elle est basée sur la transformation de Laplace pour la dépendance temporelle et la décomposition en série de Fourier pour la dépendance orthoradiale. Le problème étant linéaire, la pression totale dans le domaine fluide est la superposition de la pression induite par l'onde de choc incidente (la donnée du problème), la pression réfléchiée par la coque comme si elle était rigide et enfin la pression radiée par les déformations de la coque. Les réponses impulsionnelles des champs de pression sont obtenues analytiquement pour chaque mode de Fourier dans le domaine de Laplace. Ainsi, les efforts fluides sur la paroi de la coque peuvent être exprimés en fonction des déplacements modaux de la coque sans résolution numérique du domaine fluide. L'inversion numérique des transformées de Laplace et la recombinaison des modes de Fourier permettent d'exprimer la solution du problème d'interaction fluide structure dans le domaine temporel. Un exemple des résultats obtenus par cette méthode est fourni sur la Fig. 1, dans le cas de deux coques minces concentriques couplées par un anneau fluide et baignant dans un milieu fluide infini.

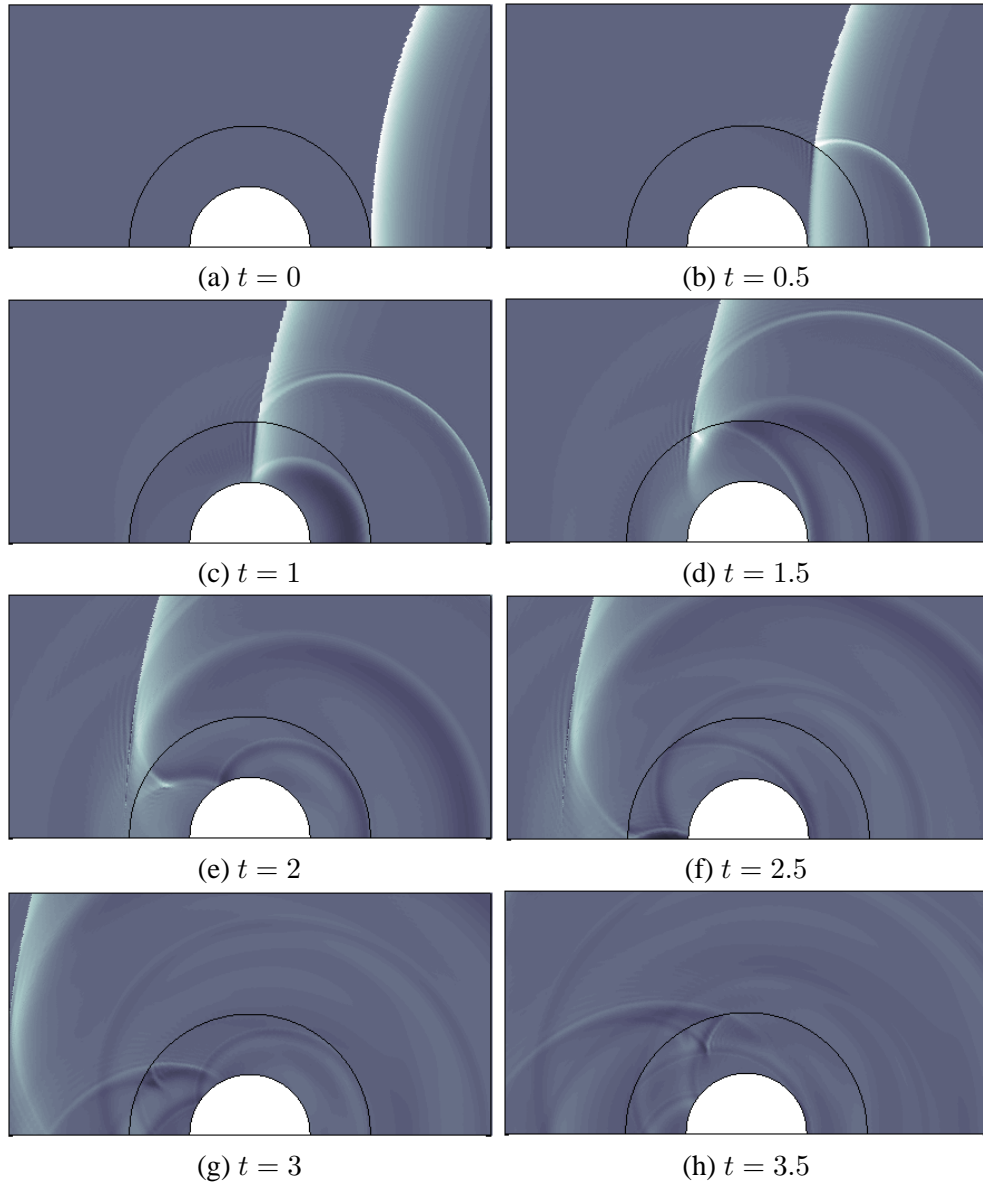


FIG. 1 – Champs de pression issus de l'interaction d'une onde de choc sphérique avec deux coques élastiques concentriques séparées par un fluide.

La deuxième méthode, en cours de développement, vise à étendre ce type de simulation aux cas de coques bidimensionnelles et tridimensionnelles quelconques, pour lesquelles la méthode de séparation des variables ne peut plus être utilisée et les réponses impulsionnelles ne sont plus accessibles analytiquement. La résolution est basée sur l'expansion en vecteurs propres *in-vacuo* des variables de la coque, avec des coefficients dépendants du temps. Le chargement fluide sur la coque est exprimé à l'aide de l'intégrale de Kirchhoff, qui est ensuite projetée sur la base des vecteurs propres. Le champ de pression prend alors la forme d'une somme modale de produits de convolution, dont les noyaux sont les réponses impulsionnelles du système couplé pour chacun des modes. Ces noyaux sont alors calculés numériquement dans le domaine de Laplace à l'aide d'une méthode d'éléments de frontière et le problème d'interaction peut être résolu de manière forte, sans discrétisation du domaine fluide.

Modeling of accumulation of fluid borne particles upstream of conduit constrictions

Andrew PARRY

Schlumberger, Clamart
AParry@clamart.oilfield.slb.com

The paper describes the simulation of particle laden flows in conduits with focus on analyzing the phenomenon of partial blockage of the flow path by large particles upstream of constrictions in the conduit. The features of the procedure are calculation of particle and fluid motion in the Lagrangian and Eulerian frames of reference respectively, finite particle size effects on inter-particle and particle wall interactions and calculation of smooth momentum source terms for the fluid.

Développement d'un élément poutre incorporé pour les sols renforcés

Hussein MROUEH

Laboratoire de Mécanique de Lille
hussein.mroueh@polytech-lille.fr

Le calcul des ouvrages de géotechnique renforcés par micropieux avec la méthode des éléments finis pose des difficultés majeures notamment pour la construction des maillages. En effet, les programmes d'éléments finis classiques permettent la modélisation des renforcements par des éléments poutres qui passent par les noeuds du maillage, ce qui nécessite pour le calcul des micropieux inclinés de réaliser des maillages complexes avec des noeuds alignés le long des micropieux (figure 1). Cette opération devient très délicate dans le calcul d'un massif de sol renforcé par un réseau de micropieux disposés d'une manière inclinée avec éventuellement des intersections (figure 2).

Dans cette communication, on présente la formulation d'un élément poutre appelé « Élément Poutre Incorporé (EPI) ». Cet élément permet de modéliser le renforcement dans une configuration tridimensionnelle. Il est incorporé dans un élément massif sans passer obligatoirement par ses noeuds. Il offre un grand intérêt pour le calcul des sols renforcés, car on peut l'utiliser avec des maillages simples en y ajoutant des éléments représentant le renforcement (figure 3).

On présente d'abord la formulation de cet élément en adoptant l'hypothèse d'un contact parfait entre le sol et l'élément poutre. Ensuite, on introduit des éléments d'interface pour modéliser la possibilité de glissement entre le sol et le renforcement.

La vérification de l'EPI est réalisée par confrontation des calculs menés à l'aide de cet élément aux calculs effectués avec l'élément poutre classique.

Une application à l'étude d'un réseau de micropieux sera également proposée, incluant une étude paramétrique sur l'influence de l'inclinaison des inclusions.

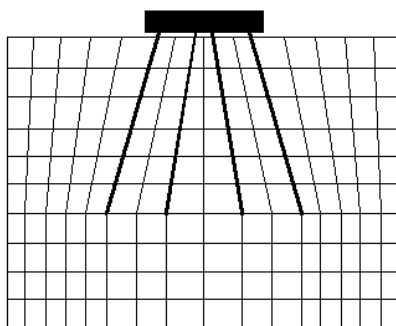


Fig. 1 - Maillage conventionnel avec micropieux inclinés

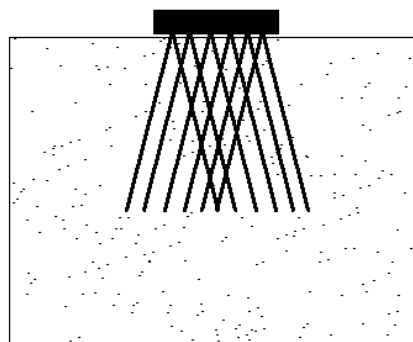


Fig. 2 - Réseau de micropieux

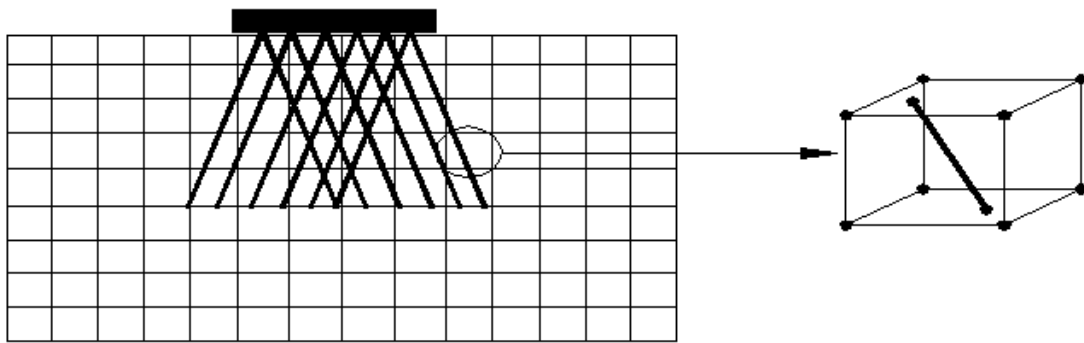


Fig. 3 - Modélisation des réseaux de micropieux à l'aide de l'élément poutre incorporé (EPI)

Méthodes particulières avec remaillage pour le calcul d'interfaces

Georges-Henri COTTET

Laboratoire Jean Kuntzmann, Grenoble
Georges-Henri.Cottet@imag.fr

L'exposé abordera deux questions. Dans un premier temps on rappellera la motivation et les formules pour remailler des particules en simulation directe d'écoulements, compressibles ou non. On présentera notamment des travaux récents montrant le parallèle entre méthodes particulières avec remaillage et méthodes de différences finies d'ordre élevé pour les lois de conservation (travail en collaboration avec L. Weynans).

Ensuite on présentera une méthode particulière pour le calcul d'interaction entre un fluide incompressible et un solide rigide soumis à la gravité. Cette méthode s'appuie d'une part sur une formulation tourbillon du système fluide-solide, et d'autre part sur des techniques de pénalisation et de level-set. On montrera des applications en synthèse d'images et en simulation de dynamique d'auto-propulsion résultant du battement d'un objet dans un fluide (travail en collaboration avec M. Coquerelle).

Enriched Space Time method for large motion of thin flexible structures immersed in a flow fluid

Andreas KÖLKE

Institute for Structural Analysis
Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig
Beethovenstr. 51, 38106 Braunschweig, Germany
a.koelke@tu-bs.de, <http://www.tu-braunschweig.de/fsi>

Key words : Fluid-structure interaction, thin-walled structures, simultaneous solution

This contribution discusses a weighted residual based approach for the numerical analysis of fluid flow around flexible thin-walled structures. The presented method enables the investigation of flow-induced vibrations of strongly coupled systems involving large structural motion and deformation of multiple flow-immersed solid objects.

The fluid is modeled in terms of the incompressible Navier-Stokes equations. The current configuration of the thin structure of linear elastic material with nonlinear kinematics is mapped to the flow domain using the zero iso-contour of an updated level set function. The formulation of fluid, structure and coupling conditions uniformly uses velocities as unknowns. The integration of the fluid weak form is performed on a space-time finite element discretization. The strong coupling of the multi-field problem is ensured by distributed Lagrange multipliers. Finally, the proposed formulation and discretization technique leads to a monolithic algebraic system.

Embedding a thin-walled structure into the flow field results in non-smooth fields of the physical state variables of the fluid. The characteristics of the non-smooth solution depend mainly on geometrical properties and the modeling of coupling conditions between fluid and structure. Within this work weak and strong discontinuities in the pressure and velocity solution to the flow are under consideration. Based on the concept of the partition of unity and the extended finite element method (XFEM), the space-time approximations of the fluid pressure and velocity are properly enriched to capture resulting weakly and strongly discontinuous solutions. This leads to the introduced enriched space-time (EST) method for applications in fluid-structure interaction.

Numerical examples of fluid-structure interaction show the eligibility of the developed numerical approach in order to describe the behavior of such coupled systems. Several test cases demonstrate the application of the proposed technique flow-induced vibrations and the inflation of thin-walled structures where traditional mesh moving strategies often fail.

Etude de la stabilité de représentation d'interfaces linéaire et non linéaire avec X-FEM

Nicolas MOËS

Institut GeM, Nantes
nicolas.moes@ec-nantes.fr

L'approche X-FEM permet de représenter des discontinuités placées arbitrairement sur un maillage. Ces discontinuités peuvent être par exemple de type saut de vitesse de déformation sur une interface fluide-structure.

Pour modéliser ce saut, on peut par exemple enrichir le champ de vitesse de manière à le rendre discontinu sur l'interface puis recoller les vitesses avec des multiplicateurs. Nous montrerons que le choix des multiplicateurs doit être fait avec soin pour éviter le blocage de l'interface. Une autre voie consiste à enrichir le champ de vitesse sur l'interface avec un champ continu mais à dérivée discontinue sur l'interface. A nouveau, un soin doit être apporté sur la définition de l'enrichissement pour obtenir une convergence optimale. Les deux approches ci-dessus seront détaillées et comparées.

Calcul d'interfaces par Level Set et réinitialisation convective

Thierry COUPEZ^{*†}, Hugues DIGONNET^{*}, Patrice LAURE^{**}, Luisa SILVA^{*},
Rudy VALETTE^{*}

^{*} CEMEF, Ecole des Mines de Paris, Sophia-Antipolis, France

^{**} JAD, UMR CNRS-Université de Nice, Nice, France

[†]Thierry.Coupez@cemef.cma.fr

On utilise et on apporte certaines améliorations à la méthode Level Set dans le cadre du calcul d'interfaces, de surface libre et de calcul fluide structure. Ceci permet de simplifier la mise en oeuvre numérique de ce type de méthode et améliore nettement la stabilité. On illustre l'efficacité et la robustesse en utilisant cette technique pour résoudre des problèmes d'écoulement incluant des problèmes à trois phases : gaz liquide solide.

Dans les méthodes Level Set standard, telles qu'utilisées en CFD, on utilise souvent une étape de réinitialisation afin de rétablir la régularité des fonctions distances. Cette régularité est une propriété fondamentale de la technique Level Set, car elle permet de garantir une bonne stabilité des schémas numériques utilisés pour traiter les termes de convection. Les caractéristiques principales de la méthode proposée sont d'une part d'éviter l'étape de réinitialisation des méthodes Level Set standard et d'autre part de proposer une façon de tronquer la fonction distance au voisinage de son zéro. On montre qu'il est relativement simple de changer l'équation de transport (convection) qui permet de réactualiser la fonction distance par un modèle plus complet qui transporte vraiment les propriétés métriques de la fonction distance. Enfin on montre aussi qu'il est plus intéressant de remplacer la fonction distance par une fonction de type sinus. Celle-ci conserve les propriétés distance au voisinage de zéro, mais permet de tronquer facilement la fonction ailleurs tout en conduisant à des raccordements réguliers. Enfin il est possible de définir implicitement cette fonction à l'aide d'une équation différentielle, que l'on résout comme une équation de transport avec les schémas éléments finis P1 stabilisés (SUPG, RFB).

Simulations numériques directes de suspensions concentrées de corps solides

Patrice LAURE*[†], Grégory BEAUME**⁺, Thierry COUPEZ** et Hugues DIGONNET**

* JAD, UMR CNRS-Université de Nice, Nice, France

** CEMEF, Ecole des Mines de Paris, Sophia-Antipolis, France

⁺ Schneider Electric, Schneider Electric-Technopôle 38 TEC Grenoble

[†]Patrice.Laure@ensmp.fr

Les suspensions chargées de particules solides de formes et de tailles variées interviennent dans de nombreuses applications industrielles. On peut citer par exemple, la fabrication de matériaux composites par le procédé d'injection.

On propose une méthode éléments finis multidomaine qui permet de calculer le comportement de ce type de suspensions. Le moyen d'imposer le mouvement de corps rigide dans le domaine solide a été déjà présenté lors d'une précédente réunion.

Cette fois nous allons axer notre présentation sur les points suivants :

- *La manière d'imposer des conditions aux limites périodiques pour un écoulement de cisaillement.* En effet, il est important de pouvoir imposer de telles conditions pour pouvoir avoir des informations sur le comportement macroscopique des suspensions sur un volume élémentaire. La méthode proposée permet d'utiliser le « solveur » de Stokes parallèle développé dans le groupe CIM.
- *La prise en compte du cas où les particules se touchent.* Une zone de sécurité est définie autour des particules afin d'empêcher qu'il y ait un recouvrement lors du déplacement sous l'action de l'écoulement. Pour cela on active une force de répulsion basée sur la théorie de la lubrification hydrodynamique. Cette zone de sécurité va dépendre de la taille du maillage et du pas de temps.
- *Le calcul précis de la contrainte sur les particules solides.* La connaissance de la contrainte d'origine hydrodynamique sur la particule solide permet d'étudier le phénomène de dispersion ou de désagrégation de gros amas sous l'action d'un champ de cisaillement.