

Programme des présentations du séminaire UME-LaMSID du 13 juin sur le thème de la mécanique vibratoire

09h45 – 10h15 / Yujie Liu (CIFRE EDF): Computing water-hammer flows with a two-fluid model. Directeur de thèse: Jean-Marc Hérard (EDF R&D / MFEE, LATP - Université Aix Marseille), co-Directeur de thèse: Philippe Helluy (IRMA- Université Strasbourg), encadrement : Fabien Crouzet, Frédéric Daude (AMA/EDF, LaMSID), et Pascal Galon (SEMT/CEA, LaMSID)

In piping systems of nuclear power plants, water-hammer transients may occur for specific operating conditions and lead to installation damages. Computations of this phenomenon concern the compressible two-phase flows (water-vapor) modeling with fluid-structure interactions. We look for one or more models dedicated to water-hammer flows among which the two-fluid approach, five-equation models, etc., before considering any fluid-structure interaction. This presentation focuses on the computation of water-hammer flows with the two-fluid model. The model contains a non-linear convective part under non-conservative form, with stiff source terms associated with pressure-velocity-temperature-Gibbs potential relaxation. Thus the computation of the whole model is rather difficult, and it requires the development of specific algorithms. Though the mass transfer is not yet considered, the computation is nonetheless already complicated.

10h15 – 10h45 / Assaf Ghanem (CIFRE EDF): Aspects dynamiques du couplage 3d-1d dans la méthode Arlequin. Directeurs de thèse : A. Combescure, T. Baranger (LaMCOS), encadrement : Mohamed Torkhani (AMA/EDF, LaMSID).

La méthode Arlequin est une méthode de couplage basée sur la combinaison de modèles de finesse et/ou de modélisations différentes. L'opérateur de couplage défini sur la zone commune aux différents modèles a une grande importance. L'application de cette méthode dans des études réalisées en régime dynamique peut être avantageuse en temps de calcul si le choix de l'opérateur de couplage permet de bien traiter l'aspect de propagation d'énergie. Dans ce contexte, on propose un cadre permettant l'utilisation de schémas d'intégration en temps différents avec des échelles de temps différentes dans un contexte de raccord spatial avec recouvrement basé sur la méthode Arlequin.

10h45 – 11h00 Pause

11h00 – 11h30 / El Hadi Moussi (CIFRE EDF): Etude des modes non-linéaires d'un système à 2DDL avec contact bilatéral. Directeur de thèse : B. Cochelin, S. Bellizzi (LMA), encadrement : Ionel Nistor (AMA/EDF, LaMSID)

Dans les installations de centrale nucléaire, les structures vibrantes avec conditions de contact sont très fréquentes. On peut citer, entre autres, les tubes du Générateur de Vapeur qui sont maintenus par des plaques entretoises. La théorie des vibrations linéaires est insuffisante pour appréhender les problèmes d'instabilité qu'on a pu observer expérimentalement, pour ce type de structure. L'utilisation des modes non-linéaires semble être un outil utile dans l'étude de système dynamique non-linéaire. Aussi, on propose comme première étape, l'analyse d'un système à 2degrés de liberté avec contact bilatéral issu d'une analogie avec un modèle simplifié de tube GV. Après une présentation brève de la procédure numérique utilisée, une étude détaillée des deux modes non-linéaires sera exposée.

11h30 – 12h00 / Alex Nieto Ferro (CIFRE EDF): Approche hybride Laplace-temps pour les calculs dynamiques d'interaction sol-structure. Directeur de thèse : D. Clouteau (LMSSMat), encadrement : G. Devesa, N. Greffet (AMA/EDF, LaMSID).

Lorsque des non-linéarités apparaissent dans les systèmes dynamiques d'interaction sol-structure, le problème est souvent résolu dans le domaine temporel. On s'intéresse ici au cas où le sous-domaine correspondant à la partie de sol à comportement linéaire n'est connu que par une impédance de bord. Dans ce cadre, les effets sur la structure non-linéaire se traduisent sous la forme d'intégrales de convolution en temps. Pour les calculer, la littérature propose, entre autres, des méthodes hybrides basées sur un couplage du domaine temporel avec celui de Fourier ou de Laplace.

L'approche hybride Laplace-temps que l'on présente utilise une méthode de quadratures de convolution pour l'évaluation de ce type d'intégrales. Cette évaluation est effectuée sous la forme d'une somme de termes d'inertie, d'amortissement et de raideur qui interviennent directement sur le schéma d'intégration en temps. Ainsi, la convergence du schéma doit être améliorée. Pour illustrer cet effet, un cas d'application avec sol-structure sera présenté.

12h00 – 12h30 / Mélodie Monteil : Vibrations non linéaires géométriques de coques minces précontraintes : effets des procédés de fabrications - applications aux steelpan. Directeurs de thèse : Cyril Touzé UME(DFA)-ENSTA - Joël Frelat IJLRDA(MISES)-UPMC

Les steelpan sont des instruments de musique caribéens, percussions mélodiques fabriquées à partir de bidons métalliques. Au cours de la facture instrumentale, les fûts subissent une succession de transformations (emboutissage, martelage, poinçonnage, chauffage, accordage). L'instrument finalisé a l'allure d'une coque sphérique concave de fine épaisseur, à l'intérieur de laquelle sont réparties les différentes notes qui sont des dômes (convexes) successifs organisés en cercles concentriques et où deux notes consécutives sont en rapport harmonique (fondamentale (f), octave (2f), quinte (3f) ...). En conditions normales, les notes sont percutées à l'aide de baguettes munies d'une extrémité en caoutchouc.

L'objectif global consiste à modéliser ces étapes de fabrications de sorte à quantifier leur influence sur les propriétés vibratoires de l'instrument.

Notre étude s'est d'abord concentrée sur la première étape qui consiste à transformer la surface du baril, une plaque circulaire initialement plane, en une coque sphérique, dont la déflexion maximale atteint environ 100 fois l'épaisseur initiale de la plaque. Des modèles de flambage de structures minces précontraintes, analytique (Von Kármán suivi par continuation) et numérique (éléments finis), qui tiennent compte de cette grande déformation sont proposés. Une attention particulière est donnée à l'influence que peut avoir l'état de contrainte résiduel de la structure déformée sur ses fréquences propres.

D'autre part, une étude expérimentale et théorique a été menée sur un steelpan fini afin de caractériser les échanges d'énergie par couplage non linéaires résonants caractéristiques du timbre de l'instrument. L'étude analytique et numérique de ces résonances (1:2:2 et 1:2:4), peu étudiées dans la littérature, a amené des résultats nouveaux. La campagne de mesures a également mis en évidence des couplages forts et de dynamiques encore plus complexes.

12h30 – 13h45 : Repas Ecole Polytechnique

13h45 – 14h15 / Mathieu GRANDEMANGE (UME-ENSTA, CIFRE PSA): Réduction de traînée aérodynamique automobile par contrôle du sillage turbulent. Directeur de thèse : Olivier Cadot (UME), encadrement Marc Gohlde (PSA)

Dans l'industrie automobile, la réduction de la traînée aérodynamique est un des leviers importants contribuant à la baisse des émissions de CO₂. Pour diminuer le C_x, le moyen le plus simple est de jouer sur la silhouette du véhicule, mais les marges de manœuvre sont souvent limitées par des contraintes de style ou d'architecture. Une alternative possible consiste alors à utiliser des artifices aérodynamiques qui génèrent des perturbations dans l'écoulement et permettent de contrôler le sillage pour réduire la traînée, sans modifier la silhouette.

Le sillage d'une maquette représentant un véhicule est étudié expérimentalement à un nombre de Reynolds de 100 000. L'écoulement naturel présente des zones massivement décollées responsables d'une grande partie de la traînée. Des modes globaux sont observés dans le sillage et correspondent à des oscillations verticales et latérales de l'écoulement. A cela s'ajoutent des phénomènes à basse fréquence reliés à une bi-stabilité. En effet, la zone de recirculation sur l'arrière corps possède deux positions asymétriques préférentielles et passe de l'une à l'autre de manière aléatoire. La coexistence de ces états génère un sillage symétrique en moyenne qui est indépendant de la turbulence et du nombre de Reynolds. Des expériences en régime laminaire montrent que le sillage bifurque vers une solution asymétrique à $Re = 340$ persiste jusqu'à haut Reynolds.

14h15 – 14h45 / Lise Divaret (UME-ENSTA, CIFRE EDF): Forces normales s'exerçant sur un cylindre oscillant dans un écoulement axial. Directeur de thèse : Olivier Cadot (UME), encadrement Pierre Moussou (AMA/EDF, LaMSID) et Olivier Doaré (UME)

Des cylindres oscillant latéralement dans un écoulement axial présentent de forts taux d'amortissement. Des amortissements de plusieurs dizaines de pour cent ont ainsi été observés lors de campagnes de mesures effectuées sur les installations du CEA Cadarache pour des tests de lâcher et d'excitation harmonique d'assemblages combustibles sous écoulement axial. Afin d'accéder à une meilleure compréhension des phénomènes physiques mis en jeu, le cas d'un unique cylindre, oscillant latéralement dans un écoulement axial en l'absence de confinement est étudié expérimentalement.

La force normale s'exerçant sur un cylindre oscillant en écoulement axial dépend de la vitesse de l'écoulement axial U et de l'angle $\alpha(t)$ entre les vitesses axiales et latérales. Deux séries d'expériences ont été réalisées : dans la première, un cylindre est placé dans un écoulement axial ($U=0.5$ à 9 m/s) et oscille latéralement à faible amplitude (rapport amplitude sur diamètre $A/D < 0.3$) et dans la seconde, un cylindre est placé dans un écoulement oblique ($U=20$ m/s) à faible angle ($\alpha < 10^\circ$). La variation de la force normale avec la vitesse axiale U et l'angle $\alpha(t)$ est étudiée et les coefficients d'amortissement et de masse ajoutée identifiés. Pour de faibles angles, les résultats expérimentaux montrent une variation linéaire de la composante d'amortissement de la force normale avec la vitesse axiale et l'angle.

14h45 – 15h15 / Quentin DESBONNETS (CEA) : Méthode d'homogénéisation pour la vibration de faisceaux de tubes en présence de fluide. Directeur de thèse : Olivier LE MAITRE (LIMSI). Encadrement : Daniel BROU (CEA).

De nombreux domaines sont concernés par les problèmes d'interaction fluide-structure. Parmi les problématiques de sûreté nucléaire, les comportements des assemblages combustibles dans les cœurs de réacteurs nucléaires ou des échangeurs de vapeur sous sollicitation sismiques doivent être maîtrisés. Il a été montré qu'un système en présence de fluide voit son comportement vibratoire modifié. Les écoulements subis ou induits par le système provoquent des effets inertiels et dissipatifs qui affectent leurs valeurs propres de ces systèmes et leurs amortissements. De par leur géométrie complexe, la simulation numérique de tels systèmes nécessite des temps de calculs extrêmement importants (par exemple un cœur de réacteur à eau pressurisé comporte 157 assemblages combustibles qui sont des faisceaux de 289 gaines et tubes guide de 1 cm de diamètre et 4 m de haut, confiné dans une cuve de 5 m de diamètre). Afin de surmonter ce problème, des modèles homogénéisés ont été mis en place. Ces modèles sont basés sur les équations d'Euler linéarisées pour le fluide. Ils ont permis de réduire efficacement les temps de calculs. Cependant ils ne prennent en compte que les effets inertiels. Pour y remédier, on développe donc de nouveaux modèles à partir des équations de Navier-Stokes.

Les systèmes ciblés sont de type faisceau de tubes en présence de fluide. Des analyses du comportement d'un faisceau oscillant dans du fluide sont réalisées à partir de simulations numériques. Seule la dynamique d'ensemble est prise en compte. Le comportement des écoulements fluides est modélisé en utilisant le code élément finis CAST3M. Les mécanismes à homogénéiser sont identifiés. L'obtention d'un modèle demande des approximations et des hypothèses qui sont détaillées. Un modèle homogénéisé basé sur les équations de Navier-Stokes incompressible est proposé. Des cas de validation sont réalisés.

15h15 – 15h30 Pause

15h30 – 16h00 / Armand Leroux (CNRS-CEA) : Application à la ruine de structures en béton armé sous impacts. Directeur de thèse : R. Desmorat (LMT-Cachan), encadrement : Daniel Guilbaud (CEA/SEMT, LaMSID), Serguei Potapov (AMA/EDF, LaMSID)

L'objet du travail est de reproduire les mécanismes de déformation d'endommagement et de fissuration des zones fortement sollicitées d'une structure en béton armé. La modélisation 3D prend en compte l'anisotropie de l'endommagement induite par le chargement. Les calculs doivent pouvoir être menés jusqu'à la ruine complète de la structure. Pour répondre à cet objectif, la loi de comportement du béton (appelée par la suite modèle initial), développée par R. Desmorat (2004) puis par M. Chambart (2009), a été reprise et des améliorations ont été effectuées. Ce modèle, développé dans le cadre thermodynamique, possède une seule variable d'endommagement (un tenseur d'ordre 2) et une loi d'évolution de l'endommagement gouvernée par les extensions positives.

En effet, le modèle initial ne rend bien compte que des chargements peu confinés. Ce constat est valable pour la plupart des modèles d'endommagement sans plasticité, il est observable aussi bien sur la surface définissant le domaine élastique que sur la surface de rupture (lieu des contraintes ultimes). Pour bien prendre en compte ces chargements confinés, une nouvelle fonction critère d'élasticité, modulaire, est proposée. L'effet de la tri-axialité des contraintes y est introduit. Le phénomène de désactivation des dommages lors de chargements alternés est modélisé (rendre compte de ce phénomène est essentiel en vue du dimensionnement aux séismes ou aux impacts).

Une nouvelle procédure de gestion de la rupture (gestion du cas "l'endommagement atteint 1") avec endommagement anisotrope induit a été proposée et implantée au sein du code EF EUROPLEXUS. L'intérêt majeur est de pouvoir borner les valeurs propres D_i du tenseur d'endommagement \mathbf{D} , d'ordre 2, exactement à 1. Cet apport permet d'obtenir numériquement une transition continue jusqu'à contrainte nulle (exactement) et ainsi d'éviter une récupération de raideur non physique rencontrée

dans les travaux antérieurs lorsque les endommagements principaux D_i sont bornés à $D_c=0,999$. Un cas test numérique, appelé "essai tirant", permet de valider cette gestion de la rupture jusqu'à plastification des aciers (Figure 1).

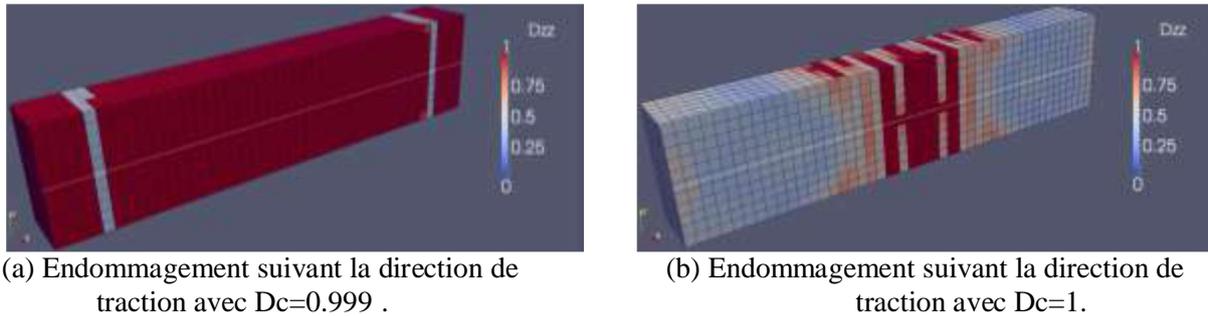


Figure 1: Vue de coupe d'un essai tirant suivant la direction z (de traction) à $t=0.2s$.

Le fait d'avoir endommagé sur l'ensemble du tirant (Figure 1a) a pour conséquence d'avoir une déformation plastique diffuse le long d'acier alors que pour la modélisation avec $D_c=1$ (Figure 1b), la déformation plastique est, comme souhaitée, beaucoup plus localisée. Ce cas test numérique met en avant l'importance de réaliser des calculs avec $D_c=1$, ce qui aujourd'hui est très peu souvent le cas pour des calculs avec une loi de comportement intégrant de l'endommagement isotrope et qui est rendu possible pour l'endommagement anisotrope grâce à la nouvelle gestion de la rupture. Ce nouveau modèle permet de mieux prendre en compte les chargements confinés et l'identification des paramètres de la loi est plus aisée, notamment lorsque l'on souhaite modifier la dissymétrie traction/compression.

16h00 – 16h30 / Thomas Humbert (UME-ENSTA, IJLRA-UPMC) : Turbulence d'ondes dans les plaques vibrantes : effet de l'amortissement. Directeur de thèse : Christophe Josserand (IJLRA), Co-directeurs : Olivier Cadot (UME) et Cyril Touzé (UME)

Les expériences de turbulence d'ondes dans les plaques vibrantes ont montré des désaccords avec les prédictions théoriques pouvant être attribués à différents phénomènes comme la taille finie du système expérimental, une séparation incorrecte des échelles temporelles, et peut être l'amortissement. Après avoir rappelé quelques éléments fondamentaux de la turbulence d'ondes, cette présentation s'attachera à montrer dans quelle mesure l'amortissement joue un rôle dans les transferts d'énergie entre les ondes se propageant dans notre système. Pour finir, une méthode expérimentale en développement permettant de décrire à la fois en temps et en espace l'évolution du système, et ce afin de mieux caractériser le régime turbulent, sera introduite.

16h30 – 17h00 / Michele Ducceschi (ENSTA UME): vibrations non linéaires de plaques minces rectangulaires.

Approche modale et étude de la turbulence d'ondes. Directeurs de thèse : C. Touzé et O. Cadot

Le développement de schémas numériques pour le calcul des vibrations non linéaires des plaques minces (grandes amplitudes) est mis à l'étude pour différents types de conditions aux limites. En particulier une comparaison systématique d'une approche modale et d'une approche par différences finies, est au cœur de cette étude, et pour une vaste gamme de régimes vibratoires non linéaires, allant des réponses résonantes faiblement non linéaires à la turbulence d'ondes.

Une approche modale a été développée pour différentes types de conditions aux limites. Il est connu que le problème aux valeurs propres ne connaît pas de solutions analytiques simples dans les cas autres que simplement supporté, si bien que des méthodes originales ont dû être mise en œuvre. Au stade non linéaire,

le modèle de Von Kármán est utilisé. L'approche modale permet un calcul exact des coefficients de couplage non linéaire, ce qui permet des calculs précis des réponses libres et forcées du système, en régime faiblement non linéaire. Des diagrammes de bifurcation complets seront montrés pour illustrer la méthode.

Lorsque les non linéarités sont très fortes, la plaque peut entrer dans un régime vibratoire turbulent, caractérisé par une cascade d'énergie des basses vers les hautes fréquences. Cet état est simulé numériquement en utilisant une méthode aux différences finies avec un schéma temporel conservatif. Des résultats de simulations seront montrés dans un cas sans amortissement.