



IFSTTAR

inria



Journée thématique du GDR MecaWave, 5 octobre 2018

Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique, Marseille

Propagation d'ondes dans les milieux dispersifs : application aux liquides à bulles et aux matériaux de second gradient

Présentation et objectifs

En présence de microstructure, les équations hyperboliques de propagation d'ondes font intervenir des dérivées d'ordre élevé, conduisant à des équations dispersives. Ces dérivées peuvent être temporelles : on parle alors de dispersion inertielle. On retrouve ce type de structure dans les liquides en présence d'un grand nombre de bulles, mais également dans le cadre des équations de Serre-Green-Nagdhi pour les tsunamis. Ces dérivées d'ordre élevé peuvent également être spatiales, comme dans le cas des fluides capillaires, des équations de Schrödinger non linéaire ou des matériaux de second gradient.

Cette journée thématique du GDR MecaWave (<http://mecawave.cnrs.fr/>) sera l'occasion de montrer les liens existants entre les différentes formes de dispersion, leur compétition avec les non-linéarités et leur effet sur les structures des solutions (solitons, ondes de choc dispersives). Nous nous intéresserons en particulier aux liquides en présence de bulles.

Organisation et renseignements pratiques

Organisateurs et comité scientifique :

- Nicolas Favrie (IUSTI, Marseille), nicolas.favrie@univ-amu.fr
- Bruno Lombard (LMA, Marseille), lombard@lma.cnrs-mrs.fr

Les présentations auront lieu dans l'amphithéâtre François Canac du Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique. L'inscription est gratuite mais obligatoire. Pour cela, merci d'**envoyer un mail aux organisateurs**. Le déjeuner et les pauses café seront offerts à l'ensemble des inscrits.

Programme de la Journée

8h30-9h : Accueil

9h-9h45 : Sergey Gavriluk (IUSTI, Marseille) (IUSTI, Marseille) « **Fluids containing small gas bubbles and Co** »

9h45-10h30 : Mathieu Cavarro, Lilian d'Hondt (CEA Cadarache, DEN/DTN/STCP/LISM) : « **Nuages de microbulles : génération et caractérisation acoustiques** »

10h30 -11h : pause café

11h-11h45 : Angéla Madéo, Marco d'Agostino (GEOMAS, INSA Lyon) : « **Transparent relaxed micromorphic description of anisotropy in metamaterials** »

11h45-12h30 : Nicolas Favrie (IUSTI, Marseille) « **Simulation numérique des équations dispersives, approche du Lagrangien étendu** »

12h30-14h15 : buffet

14h15-15h : Valentin Leroy (Laboratoire Matière et Systèmes Complexes, Paris Diderot) : « **Propagation du son dans les milieux bulleux** »

15h-15h45 : Pascal Noble (Institut de Mathématiques de Toulouse) « **Absorbing boundary conditions for water waves models** »

15h45-16h30 : discussions

Résumés

- **Mathieu Cavarro, Lilian d'Hondt** (CEA Cadarache, DEN/DTN/STCP/LISM) :
« Nuages de microbulles : génération et caractérisation acoustiques »

Dans le cadre du développement des réacteurs nucléaires refroidis au sodium liquide (4^{ème} génération), le CEA Cadarache travaille depuis plusieurs années sur des techniques acoustiques de caractérisation des milieux fluides diphasiques. La particularité de ces milieux diphasiques est de présenter de très faibles taux de vide (entre 10^{-5} et 10^{-7}) et d'être constitués de microbulles.

Nous vous présentons ici les différents dispositifs expérimentaux – innovants pour certains – que nous avons développés afin de mener nos travaux. Basés sur la cavitation et la microfluidique, ces dispositifs permettent de générer des chapelets, rideaux et nuage de microbulles sur lequel il est possible de faire varier certains paramètres. Un dispositif optique – avec traitement d'images particulier – a été développé afin d'avoir une mesure de référence.

L'objectif de nos développements acoustiques est de caractériser le taux de vide et l'histogramme des rayons des bulles. Différentes techniques issues de l'acoustique linéaire et non linéaire ont été expérimentées :

- La mesure de célérité acoustique à basse fréquence (vitesse de Wood)
- L'inversion de mesure spectroscopique d'atténuation et de célérité
- Le mixage de fréquences non linéaires
- La spectroscopie de résonance non linéaire (*via* un résonateur de Helmholtz)
- La mesure acousto-élastique dynamique (DAET) de paramètres non linéaires

Nous vous présentons ces différentes techniques ainsi que les résultats qu'elles nous ont permis d'obtenir. Les perspectives à court terme concernent l'application de certaines d'entre elles sur une installation sodium liquide micro-engazée. La génération de microbulles dans du sodium liquide est un challenge que nous sommes en passe de relever.

- **Nicolas Favrie** (IUSTI, Marseille) **« Simulation numérique des équations dispersives, approche du Lagrangien étendu »**

L'approche du Lagrangien étendu pour les équations dispersives (inertielle ou second gradient) sera présentée. Dans un premier temps, j'évoquerai la

méthode numérique d'inversion de l'opérateur elliptique pour la résolution des équations de Serre Green Nagdhi pour les écoulements cisailés. La méthode dite du Lagrangien étendu pour ces équations et pour les liquides à bulles sera détaillée. Cette méthode consiste à transformer le modèle dispersif en modèle hyperbolique en introduisant un terme de pénalisation. Le traitement des fluides du second gradient par cette méthode sera ensuite présenté. Des applications aux équations de Schrödinger Non Linéaire défocalisantes analogue à celle des écoulements de fluides capillaire seront présentées.

- [Sergey Gavriluk](#) (IUSTI, Marseille) « **Fluids containing small gas bubbles and Co** »

An abstract variational formulation of equations describing, in particular, fluids containing small gas bubbles or fluids endowed with capillary effects is given. The corresponding governing equations are Euler-Lagrange equations for a constrained Lagrangian. The constraint is the mass conservation law. The Lagrangian depends not only on the fluid velocity and density, but also on the material time derivative of density and its gradient. This class of Lagrangians contains also approximate models of surface gravity waves.

Important notions of generalized vorticity and generalized potential motion are introduced for the corresponding Euler-Lagrange equations. General properties of the governing equations are discussed.

Applications to bubbly fluids are presented. In particular, traveling wave solutions in the case of discrete and continuous bubble size distribution are studied. The Landau damping is discovered in the case of continuous bubble size distribution.

- [Valentin Leroy](#) (Laboratoire Matière et Systèmes Complexes, Paris Diderot) : « **Propagation du son dans les milieux bulleux** »

Une bulle de gaz dans un liquide est un diffuseur acoustique très efficace. Elle présente notamment une résonance, appelée résonance de Minnaert, qui lui permet d'interagir fortement avec une onde de grande longueur d'onde : pour une bulle d'air dans l'eau de 0.1mm de rayon, la fréquence de Minnaert est d'environ 30kHz, soit une longueur d'onde de 50mm. Une conséquence est que la présence de bulles dans un liquide modifie fortement la propagation du son. Cela peut avoir des applications pratiques, pour détecter et caractériser la présence de bulles par ultrasons par exemple. Mais cela permet aussi de tester

les modèles de diffusion multiple dans un régime de diffusion forte. Une des questions qui se posent est le rôle des boucles de diffusions, négligé dans la plupart des modèles. On présentera des mesures de la vitesse et de l'atténuation du son obtenues pour des milieux bulleux monodisperses à résonance. De façon surprenante, on trouve que l'approximation des diffusions indépendantes (ISA) offre un accord remarquable avec les observations. On montrera également des résultats obtenus dans des milieux élastiques (pâte à pain, élastomères) pour lesquels l'ISA ne donne, cette fois, pas de prédiction satisfaisante.

- **Angéla Madéo, Marco d'Agostino** (GEOMAS, INSA Lyon) :
« Transparent relaxed micromorphic description of anisotropy in metamaterials »

Metamaterials are attracting today growing attention in the scientific community due to their numerous possible astonishing applications. They are obtained by suitably assembling different microstructural components in such a way that the resulting macroscopic material possesses completely new properties with respect to the original one. By their intrinsic nature, metamaterials show strong heterogeneities at the level of the microstructure and, except for few particular cases, their mechanical behaviour is definitely anisotropic. This is often the case when dealing with band-gap metamaterials, since it is very likely that the band-gap properties strongly depend on the direction of propagation of the traveling wave. While the most common discrete models allow to account for such anisotropy, things are much different when dealing with continuum models that have the ambition of describing the mechanical behaviour of metamaterials. Indeed, enriched continuum models have been often proposed in the literature as a suitable compromise between the accuracy at which microstructural features can be described and the efficiency of (meta-) structural design at large scales.

As a matter of fact, such enriched continuum models only provide few constitutive parameters with respect to models which account for all the details of the microstructure. This globally results in a most effective computational performance of enriched continuum models with respect to discrete ones. Nevertheless, the study of anisotropy in the framework of enriched continuum mechanics is often subjected to unnecessary complexifications which are mainly related to the study of the symmetries of higher order tensors. In our work, we propose a transparent framework for the study of anisotropy in metamaterials through the introduction of the anisotropic relaxed micromorphic model. In this model, only fourth order elastic tensors are featured, so remaining in the framework of the class of symmetries of classical continuum mechanics.

Notwithstanding this simple formulation, the anisotropic relaxed micromorphic model allows to realistically describe the anisotropic mechanical behaviour of a large class of metamaterials, including those exhibiting band-gap behaviours. We support such claims by providing precise examples of the efficacy of such model on actual metamaterials, by showing that the anisotropic relaxed micromorphic model is able to globally reproduce i) the dispersion curves for all direction of propagation ii) the band gap properties as function of the direction of propagation iii) the polar diagrams of the velocity for all modes of interest (also those at higher frequencies).

- **Pascal Noble** (Institut de Mathématiques de Toulouse) :
« Absorbing boundary conditions for water waves models »

In this talk, we consider dispersive equations which model propagation of water waves in various regimes: Korteweg-de Vries, Serre-Green-Naghdi one-dimensional system of equations. While the original system/equations are set on the whole space, usually for practical applications the area of study is restricted and we should fix artificial boundary conditions. We propose continuous and discrete explicit boundary conditions that are nonlocal in time. The dissipation property is shown and the validity of the technique is proved numerically on various test cases, in particular the problem of wave generation in the computational domain. An alternative method, based on PML type techniques, will be presented on scalar dispersive equations.