

Colloque LMA – 6 & 7 octobre 2016 – Amphithéâtre François Canac
HOMOGÉNÉISATION ET MILIEUX CONTINUS GÉNÉRALISÉS
EN RÉGIME DYNAMIQUE

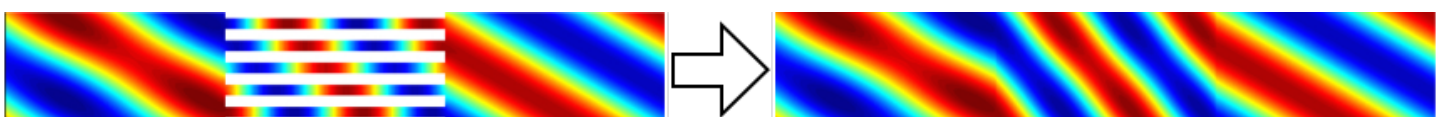
PROGRAMME :

Jeudi 6 octobre

9h–9h10	Accueil	
9h10–10h	Sonia Fliss	Conditions de transmission d'ordre élevé pour l'homogénéisation de problèmes d'interface entre un milieu homogène et un milieu périodique.
10h00–10h50	Angela Madéo	Dispersion and band-gaps in micromorphic media and metamaterials.
10h50–11h30	Pause/Discussions	
11h30–12h20	Agnès Maurel	Modèle d'interface homogénéisée pour la propagation d'ondes à travers une rangée d'inclusions sublongueur d'onde.
12h20–14h20	Déjeuner	
14h20–15h10	Régis Cottureau	Upscaling of the wave equation and strong localization in a ballasted railway track.
15h10–16h	Claude Boutin	Milieus à résonance interne.

Vendredi 7 octobre

9h–9h10	Accueil	
9h10–10h	Bérengère Delourme	On the homogenization of a thin perforated wall of finite length.
10h–10h50	Yann Capdeville	Homogenization for forward modelling and inverse problems in seismology.
10h50–11h30	Pause/Discussions	
11h30–12h20	Pierre Seppecher	Réalisation de matériaux composites ayant des effets de gradient de déformation.
12h20–14h20	Déjeuner	
14h20–15h10	Jean-Jacques Marigo	Homogenized interface model describing inhomogeneities located on a surface.
15h10–16h	Guy Bouchitté	Resonance-induced transmission of acoustic/electromagnetic waves through subwavelength hole arrays.





PROGRAMME	1
PRÉSENTATION ET OBJECTIFS	2
COMITÉ	2
PRATIQUE	2
RÉSUMÉS	3

PRÉSENTATION ET OBJECTIFS :

Les méthodes d'homogénéisation et les théories de milieux continus généralisés sont largement répandues en mécanique des solides. Elles sont généralement construites en régime statique. Une tendance actuelle est d'envisager des problèmes dynamiques de propagation d'ondes. Cela concerne de nouvelles disciplines (acoustique, sismologie, etc.) et rend possible des développements originaux, comme la construction de métamatériaux élastiques.

L'objectif de ce colloque est de faire un point sur ces sujets et de faire se rencontrer différentes communautés : mécaniciens théoriciens, mathématiciens appliqués, acousticiens. Parmi les sujets traités, nous aborderons en particulier :

- 1) l'homogénéisation dynamique de couches minces et les effets de couche-limite,
- 2) le lien entre les milieux continus généralisés et l'homogénéisation d'une microstructure, conduisant à des effets dynamiques de type passe-bande.

COMITÉ :

- Agnès Maurel (ESPCI)
- Jean-Jacques Marigo (École Polytechnique)
- Bruno Lombard (LMA)
- Cédric Bellis (LMA)

PRATIQUE :

Le colloque se tiendra dans l'amphithéâtre François Canac du Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique. **L'inscription est gratuite mais obligatoire.** Les déjeuners et les pauses café du jeudi 6 et du vendredi 7 seront offerts pour l'ensemble des inscrits.

RÉSUMÉS :

SONIA FLISS : Conditions de transmission d'ordre élevé pour l'homogénéisation de problèmes d'interface entre un milieu homogène et un milieu périodique.

Pour des problèmes de transmission, il est connu que les modèles issus de l'homogénéisation perdent en précision du fait de la présence de couches limites à l'interface. Nous proposons un modèle enrichi au niveau de l'interface. En combinant la méthode d'homogénéisation double-échelle et celle des développements asymptotiques raccordés, nous construisons des conditions de transmission non standards faisant intervenir des opérateurs différentiels le long de l'interface. Le calcul de ces conditions nécessite la résolution de problèmes de cellule et de problèmes posés dans des bandes périodiques infinies. Une analyse d'erreur confirme l'amélioration de la précision du modèle. Des simulations numériques illustrent l'efficacité de ces nouvelles conditions. Enfin, cette démarche est reproduite formellement dans le cas des matériaux à fort contraste se comportant comme des métamatériaux.

ANGELA MADÉO : Dispersion and band-gaps in micromorphic media and metamaterials.

We discuss the interest of using enriched continuum models of the micromorphic type for the description of dispersive phenomena in metamaterials. Dispersion is defined as that phenomenon according to which the speed of propagation of elastic waves is not a constant, but depends on the wavelength of the traveling wave. In practice, all materials exhibit dispersion if one considers waves with sufficiently small wavelengths, since all materials have a discrete structure when going down at a suitably small scale. Given the discrete substructure of matter, it is easy to understand that the material properties vary when varying the scale at which the material itself is observed. It is hence not astonishing that the speed of propagation of waves changes as well when considering waves with smaller wavelengths. In an effort directed towards the modeling of dispersion in materials with architected microstructures (metamaterials), different linear-elastic, isotropic, micromorphic models are introduced and their peculiar dispersive behaviors are discussed by means of the analysis of the associated dispersion curves. The role of different micro-inertias related to both independent and constrained motions of the microstructure is also analyzed. A special focus is given to those metamaterials which have the unusual characteristic of being able to stop the propagation of mechanical waves and which are usually called band-gap metamaterials. We show that, in the considered linear-elastic, isotropic case, the relaxed micromorphic model, recently introduced by the authors, is the only enriched model simultaneously allowing for the description of non-localities and multiple band-gaps in mechanical metamaterials. We finally propose to apply our relaxed micromorphic model to the study of real phononic crystals thus showing how the proposed model is able to effectively describe band-gaps in realistic scenarios. This comparison with experimental results allows for the fitting of the parameters of the considered model for specific band-gap metamaterials by inverse approach. This fitting, when successfully concluded for some specific metamaterials will allow the setting up of the design of metastructures (i.e. structures which are themselves made of metamaterials) by means of tools which are familiar to engineers, such as Finite Element codes.

AGNÈS MAUREL, BRUNO LOMBARD, JEAN-JACQUES MARIGO & KIM PHAM : Modèle d'interface homogénéisée pour la propagation d'ondes à travers une rangée d'inclusions sublongueur d'onde.

On présente une méthode d'homogénéisation adaptée à des interfaces minces structurées à une échelle sublongueur d'onde. On se limite à des ondes scalaires décrites par l'équation de Helmholtz, typiquement les ondes acoustiques (le résultat est donc limité au cas 2D des ondes de cisaillement en élasticité ou aux cas d'ondes polarisées TE ou TM en électromagnétisme).

La méthode s'appuie sur un développement à deux échelles d'espace de la solution en champ proche et un raccordement asymptotique de cette solution intérieure avec la solution écrite en champ lointain. Le problème se réduit à la détermination de coefficients associés à des conditions de saut (du déplacement et de la contrainte normale en élasticité ou de la pression et de la vitesse normale en acoustique) au passage d'une interface équivalente d'épaisseur nulle. La méthode sera présentée pour des inclusions placées périodiquement le long d'une surface dans une matrice, et présentant par rapport à cette matrice un contraste modéré (et donc un effet modéré) ou un contraste fort (et fort signifie qui donne lieu à des résonances de Mie dans les inclusions). La validité du modèle homogénéisé sera illustré en régime fréquentiel dans les deux cas (faible et fort contraste). Pour des inclusions de faible contraste, le problème en temps sera également discuté.

RÉGIS COTTEREAU : Upscaling of the wave equation and strong localization in a ballasted railway track.

Depending on the relative magnitudes of the wavelength λ , correlation length ℓ_c and propagation length L , wave propagation in random media leads to very different physical behaviors. In the low-frequency regime ($\lambda \approx L$), classical homogenization for rapidly fluctuating properties ($\ell_c \ll \lambda$) predicts a wave propagation regime with slowly-fluctuating homogenized coefficients, and anisotropic behavior. In the higher frequency regime ($\lambda \ll L$), the wave field is not statistically stable and energy densities are more meaningful. The appropriate mathematical tool is then the Wigner measure of the displacement field, which is a wavenumber resolved energy density. For slowly-fluctuating mechanical properties ($\lambda \ll \ell_c$), this Wigner measure follows a Fokker-Planck equation. In the stochastic regime ($\lambda \approx \ell_c$), the Wigner measure verifies a radiative transfer equation. In the long-time limit, the latter regimes are well approximated by diffusion equations. Finally, when the amplitude σ of the fluctuations of the properties are large, localization can occur. In this regime, the energy is trapped close to the source and cannot propagate away. This talk will briefly introduce these different regimes of wave propagation in random media and illustrate their appearance in the case of wave propagation in a ballasted railway track. As already evidenced by experimental works of ultrasound wave propagation in granular samples, low-frequency homogenization and diffusion can be clearly observed. More difficult to observe experimentally because of material damping, strong localization can be more easily observed in numerical analyses. Although rapidly damped in real life, acknowledging its presence is important to model the general pattern of the waves generated in the vicinity of a ballasted railway track.

CLAUDE BOUTIN : Milieux à résonance interne.

Cet exposé traite des milieux à résonance interne dans lesquels coexistent des phénomènes dynamiques aux échelles microscopiques et macroscopiques. Un tel régime "co-dynamique" n'apparaît que dans des milieux hétérogènes bien particuliers.

Ces matériaux/métamatériaux ne peuvent être décrit dans le cadre des milieux continus standards. Il s'agit de fait de milieux continus généralisés dont la description de s'écarte notablement des formulations classiques en dynamique. En particulier, des paramètres effectifs constants et positifs dans les milieux standards varient avec la fréquence et peuvent devenir négatifs dans les milieux à résonance interne. Ces propriétés inusuelles ouvrent de nouvelles perspectives en propagation d'onde et rendent ces matériaux particulièrement attractifs.

Cette question est abordée à l'aide de la méthode d'homogénéisation combinée à l'analyse dimensionnelle. Cette approche permet, d'une part de préciser les conditions (sur les paramètres mécaniques et/ou morphologiques) qui conduisent aux situations de résonance interne, et d'autre part d'en donner la description macroscopique.

Les caractéristiques essentielles du phénomène de résonance interne seront mises en évidence au travers des différents cas suivants :

Composites élastiques à fort contraste,
Milieux réticulés,
Milieux à double porosité,
Milieux poreux avec résonateurs d'Helmholtz

Enfin, on montrera comment – et jusqu'à quel point – le phénomène de résonance interne s'apparente à celui des modulations hautes fréquences, dont la description à été obtenue récemment par méthode asymptotique pour des milieux à contraste modéré.

BÉRENGÈRE DELOURME : On the homogenization of a thin perforated wall of finite length.

This talk deals with the resolution of a scattering problem in a domain made of a thin and periodic layer of finite length placed into an homogeneous medium. The presence of this thin periodic layer of holes is responsible for the appearance of two different kinds of singular behaviors. First, a highly oscillatory boundary layer appears in the vicinity of the periodic layer. Additionally, since the thin periodic layer has a finite length, corners singularities come up in the neighborhood of its extremities. Based on an approach mixing matched asymptotic expansions and (surface) periodic homogenization, we provide and justify a high order asymptotic expansion which takes into account these two phenomena. Numerical experiments are carried out to illustrate the method.

YANN CAPDEVILLE : Homogenization for forward modelling and inverse problems in seismology.

The modelling of seismic elastic wave full waveform in a limited frequency band is now well established with a set of efficient numerical methods like the spectral element, the discontinuous Galerking or the finite difference methods. The constant increase of computing power with time has now allowed the use of seismic elastic wave full waveforms to image the elastic properties of the earth. Nevertheless, heterogeneities of scale much smaller than the minimum wavelength of the seismic wavefield are still a challenge for both forward and inverse problems. In this work, we tackle the problem of elastic properties and topography varying much faster than the minimum wavelength. Using a non periodic homogenization technique, we show how to compute effective elastic properties and local correctors in the case of general deterministic elastic media presenting no scale separation. The implications of this homogenization process on the inverse problem will be presented.

PIERRE SEPPECHER & HOUSSAM ABDOUL ANZIZ : Réalisation de matériaux composites ayant des effets de gradient de déformation.

On sait du point de vue théorique que l'homogénéisation d'un matériau élastique inhomogène peut donner lieu à des effets de gradient de déformation : l'énergie élastique effective dépend, à l'ordre principal, du gradient du tenseur de déformation. Cependant la démonstration abstraite de ce résultat ne permet pas de savoir comment réaliser de tels matériaux en pratique. Nous montrons que cette réalisation nécessite un compromis entre la nécessité d'une résistance très faible à des déformations uniformes et une résistance forte à une déformation non uniforme. Des exemples de telles structures sont étudiés.

JEAN-JACQUES MARIGO : Homogenized interface model describing inhomogeneities located on a surface.

We study the influence of heterogeneities located near a planar surface on the elastic response of a three-dimensional elastic medium. These heterogeneities can be either reinforcements, like steel reinforcements in concrete, or defects, like micro-cracks periodically distributed. We prove that their influence is of the second

order from an energetic viewpoint. Then, we propose an “up to second order effective model” in which the influence of the heterogeneities is given by a surface energy contribution involving both the jump of displacement across the surface and the tangential strain components on the surface. The effective coefficients entering in the definition of the surface energy are obtained by solving “elementary” elastic problems formulated on an infinite representative cell containing the defects. We analyze this model, in particular the properties of the effective surface coefficients, and establish its coherence with limit models previously described in the literature for stiff or soft interfaces. This approach is finally applied to several kinds of heterogeneities.

GUY BOUCHITTÉ : Resonance-induced transmission of acoustic/electromagnetic waves through subwavelength hole arrays.

We study a device that consists of a bidimensional array of holes inside a matrix with a very high permittivity. This kind of structure gave rise to a very large amount of theoretical and experimental publications after the discovery that they could transmit waves at certain wavelengths larger than the diameter of holes. This phenomena can also be observed for acoustic waves. In the present work, we study the low frequency behavior, i.e. the homogenization, of scalar waves. More precisely, the structure is periodic with a period η much smaller than the wavelength. It is illuminated by an incident scalar field u^i satisfying Helmholtz equation. It gives rise to a total field u_η satisfying a Helmholtz equation of type $\nabla \cdot (a_\eta \nabla u_\eta) + k^2 u_\eta = 0$. The coefficient a_η is equal to 1 inside the holes and to η^2 inside, i.e. the permittivity of the matrix in which the holes are made is very high. We study the limit of u_η when η tends to 0. A homogenized model is derived where the array is described by a strongly anisotropic and dispersive homogenized permittivity : the field can only propagate in the direction of the holes. Resonances are shown to exist as poles of the homogenized permeability, leading to sharp peaks in the transmission. These resonances correspond to frequency that are the eigenvalues of a spectral problem taking place on the basic cell of the device.