

---

## PhD thesis proposal

**Title:** Mesoscopic wave physics in a fish school

**Laboratories:** [Laboratoire de Physique et Modélisation des Milieux Condensés \(LPMMC\)](#) & [Institut des Sciences de la terre Terre \(ISTerre\)](#)

**Thesis co-directors:** [Sergey Skipetrov](#) & [Philippe Roux](#)

**Contact:** [Sergey.Skipetrov@lpmmc.cnrs.fr](mailto:Sergey.Skipetrov@lpmmc.cnrs.fr)  
[Philippe.Roux@univ-grenoble-alpes.fr](mailto:Philippe.Roux@univ-grenoble-alpes.fr)

### Description:

Wave scattering in disordered media is an interdisciplinary subject of great practical importance in such areas of science as condensed matter physics, optics, seismology, medical imaging, etc. In many situations, different types of waves (“Schrödinger waves” describing quantum particles, light, sound, seismic waves, etc.) exhibit very similar behavior when they propagate in a randomly inhomogeneous, disordered media. Of special interest are the so-called mesoscopic phenomena that originate from interferences of scattered waves which are made possible by the phase coherence that the waves preserve despite the disorder. Mesoscopic phenomena in wave scattering are vital for many practical applications, such as the modern miniaturized electronics, medical and seismic imaging, and nondestructive testing of industrially important materials.

Here we propose to study **the multiple scattering of ultrasound by a dense school of fish confined in a large sea farm cage**. It turns out that fishes can scatter sound very strongly, allowing one to achieve a scattering mean free path (= a distance between successive scattering event) comparable with the wavelength of ultrasound.

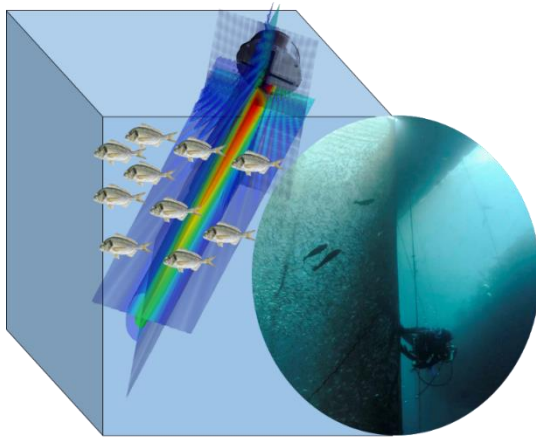


Image courtesy of S. Pasta

The strong scattering allows us to observe such mesoscopic phenomena as the coherent backscattering, field and intensity correlations, fluctuations of the local density of states, etc. and motivates the first objective of this thesis proposal: a **study of mesoscopic interference effects in multiple scattering from the wave field recorded on a 3D ultrasonic array**. On the other hand, we propose to use the statistical properties of the scattered ultrasound to **probe and monitor the behavior of fishes in a large school**. This second objective of the thesis proposal is motivated by potential applications in the science of animal behavior and in the aquaculture industry. Some preliminary results can be

found in Ref. 1.

The spatial and temporal correlations of scattered ultrasound contain information about the size and the number of fishes in the school, as well as about their collective motion. Extracting this information is a formidable inverse problem that we aim to solve.

This thesis project combines experimental activity with advanced data processing, development of theoretical tools in the field of wave scattering, and numerical simulations. A successful candidate is expected to have a strong background in mathematical physics and to be open to discover new and unexpected links between physics and life sciences. He or she will participate in the design and realization of experiments, formulation of mathematical models to describe the acquired data, numerical simulation of the experiment, and writing of scientific articles for specialized journals.

[1] B. Tallon, P. Roux, G. Matte, J. Guillard, S.E. Skipetrov, Mesoscopic wave physics in fish shoals, [arXiv:1912.12548](https://arxiv.org/abs/1912.12548)

### Proposition de sujet de thèse

**Titre :** Physique mésoscopiques des ondes dans un banc de poissons  
**Laboratoires :** [Laboratoire de Physique et Modélisation des Milieux Condensés \(LPMMC\)](#) & [Institut des Sciences de la terre Terre \(ISTerre\)](#)  
**Directeurs de thèse :** [Sergey Skipetrov](#) & [Philippe Roux](#)  
**Contact :** [Sergey.Skipetrov@lpmmc.cnrs.fr](mailto:Sergey.Skipetrov@lpmmc.cnrs.fr)  
[Philippe.Roux@univ-grenoble-alpes.fr](mailto:Philippe.Roux@univ-grenoble-alpes.fr)

#### Description :

La diffusion des ondes dans les milieux désordonnés est un sujet interdisciplinaire d'une grande importance pratique dans des domaines aussi variés que la physique de la matière condensée, l'optique, la sismologie, l'imagerie médicale, etc. Dans beaucoup de situations les différents types d'ondes (les « ondes de Schrödinger » décrivant les particules quantiques, la lumière, le son, les ondes sismiques, etc.) présentent un comportement très similaire lorsqu'elles se propagent dans un milieu hétérogène désordonné. Les phénomènes dits mésoscopiques qui proviennent des interférences des ondes diffusées, rendus possibles par la cohérence de phase que les ondes conservent malgré le désordre, sont particulièrement intéressants. Les phénomènes mésoscopiques en diffusion d'ondes sont vitaux pour de nombreuses applications pratiques, telles que l'électronique miniaturisée moderne, l'imagerie médicale et sismique, et la caractérisation non destructive de matériaux d'importance industrielle.

Nous proposons ici d'étudier **la diffusion multiple des ultrasons par un banc dense de poissons confiné dans une grande cage d'une ferme marine**. Il s'avère que les poissons peuvent diffuser très fortement le son, ce qui permet d'obtenir un libre parcours moyen de diffusion (= une distance entre les diffusions successives) comparable à la longueur d'onde de l'ultrason.

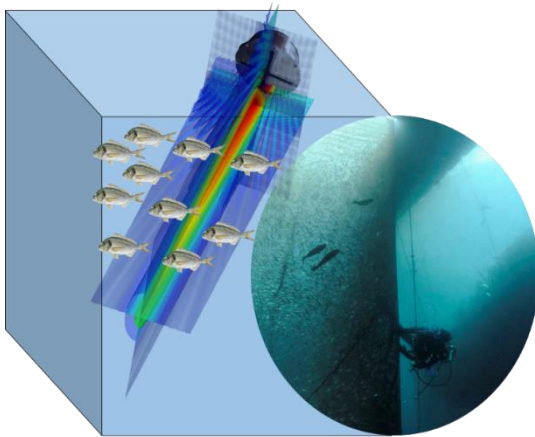


Image courtesy of S. Pasta

La forte diffusion permet d'observer des phénomènes mésoscopiques tels que la rétrodiffusion cohérente, les corrélations du champ et de l'intensité, les fluctuations de la densité locale d'états, etc. et motive le premier objectif de cette thèse : **étudier les effets d'interférence mésoscopique dans la diffusion multiple à partir du champ d'onde enregistré sur un réseau ultrasonore 3D**. D'autre part, nous proposons d'utiliser les propriétés statistiques de l'ultrason diffusé pour **sonder et surveiller le comportement des poissons dans un grand banc**. Ce deuxième objectif de la proposition de thèse est motivé par des applications potentielles dans la science du comportement animal et dans l'industrie de

l'aquaculture. Des résultats préliminaires peuvent être trouvés dans l'article [1].

Les corrélations spatiales et temporelles de l'ultrason diffusé contiennent des informations sur la taille et le nombre de poissons dans le banc, ainsi que sur leur mouvement collectif. Extraire cette information est un problème inverse redoutable que nous cherchons à résoudre.

Ce projet de thèse combine une activité expérimentale avec le traitement avancé des données, le développement d'outils théoriques dans le domaine de la diffusion des ondes, et les simulations numériques. Le candidat retenu devrait avoir de solides connaissances en physique mathématique et être ouvert à la découverte de liens nouveaux et inattendus entre la physique et les sciences de la vie. Il participera à la conception et à la réalisation d'expériences, à la formulation de modèles mathématiques pour décrire les données acquises, à la simulation numérique de l'expérience et à la rédaction d'articles scientifiques pour des revues spécialisées.

[1] B. Tallon, P. Roux, G. Matte, J. Guillard, S.E. Skipetrov, Mesoscopic wave physics in fish shoals, [arXiv:1912.12548](https://arxiv.org/abs/1912.12548)