



## Transfert radiatif des ondes ultrasonores en milieu hétérogène

**Responsables :** Arnaud DERODE (PR Université Paris Diderot - Paris 7, [arnaud.derode@espci.fr](mailto:arnaud.derode@espci.fr))  
Romain PIERRAT (CR CNRS, [romain.pierrat@espci.fr](mailto:romain.pierrat@espci.fr))

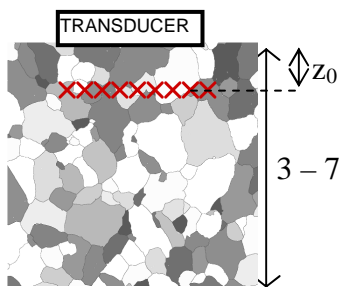
**Dépôt des candidatures :** avant le 17 décembre 2012.

**Durée du contrat :** 18 mois, débutant entre février et mai 2013

**Financement :** projet ANR DiAMAN, 2011-2015

### Contexte et objectifs scientifiques :

Le cadre général de cette étude est la **physique des ondes en milieux complexes**. A moyen terme, les applications visées concernent le contrôle des matériaux hétérogènes par ondes ultrasonores, mais pour le moment le sujet de cette étude se situe en amont des applications industrielles.



La situation modèle qui nous intéresse est schématisée sur la figure ci-contre. Une source ultrasonore cohérente (typiquement un transducteur piézo-électrique) de dimensions finies et supérieures à la longueur d'onde est placée au contact d'un milieu hétérogène, caractérisé notamment par son libre parcours moyen  $\ell$ . Pour déterminer l'intensité transmise ou rétrodiffusée, on emploie classiquement un formalisme de type transport fondé sur une Équation de Transfert Radiatif (ETR) voire de diffusion (ED) [1,2], dans lesquelles la source, supposée intrinsèquement diffuse donc « incohérente », est décrite par un terme simple de même géométrie que celle du transducteur.

Dans cet exemple, considérant que le champ est devenu pleinement diffus au-delà d'une profondeur  $z_0$ , la source incohérente équivalente (croix rouges) est placée dans l'ombre géométrique du transducteur, sous la surface du milieu. L'ED ou l'ETR sont alors résolues, avec des conditions aux limites appropriées.

**Or il est des situations où cette approche trop simple échoue.** En effet, au contraire de la source « physique » (ici, le transducteur), le terme source adéquat dans l'ETR n'est pas nécessairement localisé dans le temps et dans l'espace : lors des premiers événements de diffusion, la transition entre l'onde initialement cohérente et le régime pleinement diffus est progressive.

Le premier objectif de ce travail consiste donc à revisiter en détail le passage du formalisme ondulatoire au formalisme « transport » de façon à **modéliser correctement le terme source d'une ETR acoustique**. Il s'agira en particulier d'adapter à l'acoustique l'approche développée en optique [3], en se limitant dans un premier temps au cas des ondes scalaires. Le second objectif consistera en l'implémentation d'une résolution numérique de l'équation obtenue. Il s'agira donc, sur la base de l'expérience acquise en optique au laboratoire, de développer une stratégie de résolution numérique de l'ETR acoustique dans une géométrie de type tranche. Ceci permettra notamment d'étudier plus rigoureusement la dynamique aux temps courts de l'intensité rétrodiffusée par des milieux hétérogènes d'épaisseurs intermédiaires (quelques  $\ell$ ). Une comparaison à des données expérimentales ou issues de simulations de l'équation des ondes (à partir d'un logiciel existant au laboratoire) sera également menée pour tester la validité de l'approche.

Si le sujet est à tonalité fondamentale, les applications potentielles sont importantes dans le domaine du contrôle des matériaux hétérogènes par ondes ultrasonores. Par exemple, à l'heure actuelle, les propriétés spatio-temporelles du « bruit de structure » (c'est-à-dire de l'intensité du signal ultrasonore rétrodiffusé par les hétérogénéités structurales d'un matériau complexe comme par exemple le béton ou les aciers à grain) n'est toujours pas prédite de façon satisfaisante, en dehors des deux régimes limite  $z \ll \ell$  (régime de diffusion simple) et  $z \gg \ell$  (régime pleinement diffus).

**Mots-clés :** ondes en milieux complexes, transfert radiatif, transport, transformée de Wigner.

**Compétences demandées :** bonnes capacités de modélisation en physique des ondes ; motivation et autonomie ; selon le profil des candidats, des compétences numériques ou expérimentales sont bienvenues.

### Bibliographie sommaire :

- [1] J.H. Page et al, Phys. Rev. E, 52(3), 3106 (1995) ; Z.Q. Zhang et al, Phys. Rev. E, 60(4), 4843 (1999).
- [2] G. Ghoshal, J.A. Turner and R.L. Weaver, J. Acoust Soc. Am, 122, 4, (2007); L. Margerin, *Introduction to radiative transfer of seismic waves*, Geophysical Monograph Series, 157, chap. 14, AGU (2005).
- [3] R. Pierrat, *Propagation et émission du rayonnement diffusant: application à l'imagerie des milieux complexes*, Thèse de doctorat, Ecole Centrale (2007) ; C. Henkel, *Radiative transfer and atom transport*, <http://arxiv.org/abs/physics/0505023v1>.