

## Proposition de thèse

### Miroir analogique optique à retournement temporel de signaux radiofréquence

**Directrice de thèse :** Anne LOUCHET-CHAUVET ([anne.louchet-chauvet@espci.fr](mailto:anne.louchet-chauvet@espci.fr))

**Laboratoire :** Institut Langevin, CNRS / ESPCI, 1 rue Jussieu, 75005 PARIS <http://www.institut-langevin.espci.fr>

#### Sujet :

Le retournement temporel est une technique basée sur l'invariance de l'équation de propagation des ondes dans un milieu inhomogène. Il permet de focaliser spatialement et temporellement une onde dans un tel milieu, après avoir enregistré la signature du canal de transmission (ici la réponse du milieu à une impulsion courte). Lorsque le milieu de propagation est non stationnaire, le canal de transmission change constamment. Il faut envoyer le signal retourné avant que le canal de transmission ne change, sans quoi la focalisation ne sera pas effective. Il est donc crucial de limiter le temps de latence entre l'instant de mesure du signal étalé temporellement, et l'instant où l'on réémet le signal retourné. Les premières démonstrations de principe du RT d'ondes radiofréquence ont fait appel à une conversion analogique-numérique. Pour traiter de grandes bandes passantes (GHz), le temps de latence devient problématique car le taux d'échantillonnage des convertisseurs analogique-numérique actuels culmine à 6000MS/s. Une solution 100% analogique permettrait de s'affranchir de cette étape de conversion dans le domaine numérique.

Nous concevons et développons des architectures analogiques originales permettant de réaliser des fonctions de traitement de signaux radiofréquences sur porteuse optique. Ces architectures s'appuient sur l'interaction lumière matière dans des cristaux dopés avec des ions de terre rare et refroidis à quelques kelvins. En particulier, le phénomène d'écho de photon, qui permet de faire émettre par un ensemble atomique une impulsion lumineuse de forme temporelle contrôlée, est un ingrédient de choix pour réaliser le retournement temporel.

Nous venons de proposer une architecture particulièrement prometteuse [1] qui dépasse déjà en termes de bande passante les architectures précédemment publiées [2]. Si les premiers résultats sont encourageants, beaucoup reste à faire pour valider son potentiel pour la refocalisation d'ondes en milieu hétérogène non stationnaire. La fidélité du retournement temporel, sa robustesse à des signaux modulés en phase, ainsi que la bande passante et le temps de latence seront les figures de mérite qu'il nous faudra étudier et optimiser. Si les performances sont suffisantes, on pourra envisager une démonstration sur signaux RF réels dans une cavité réverbérante. La qualité de la refocalisation temporelle et/ou spatiale nous permettra alors de juger de la pertinence de notre approche.

L'objectif de la thèse, principalement expérimentale, sera de participer aux expériences en cours sur le retournement temporel d'ondes radiofréquence dans un cristal dopé. L'étudiant aura l'occasion de manipuler différentes sources lasers agiles en fréquence, composants optoélectroniques et appareils cryogéniques.

[1] A. Louchet-Chauvet, *Analog time-reversal of optically-carried RF signals with a rare earth ion-doped processor with broadband potential*, 2018 International Topical Meeting on Microwave Photonics (2018)

[2] H. Linget, L. Morvan, J.-L. Le Gouët and A. Louchet-Chauvet, *Time-reversal of optically-carried radiofrequency signals in the microsecond range*, Optics Letters 38, 643 (2013).

**Mots-clés:** Interaction lumière-matière, retournement temporel, écho de photon, cristal dopé aux ions de terre rare, cryogénie

**Financement assuré (ANR)**

## PhD thesis proposal

### Optical analog time reversal mirror for radiofrequency signals

**Thesis advisor :** Anne LOUCHET-CHAUVET ([anne.louchet-chauvet@espci.fr](mailto:anne.louchet-chauvet@espci.fr))

**Location :** Institut Langevin, 1 rue Jussieu, 75005 PARIS <http://www.institut-langevin.espci.fr>

#### PhD subject :

Time reversal is a technique based on the invariance of the wave propagation equation in an inhomogeneous medium. It ensures spatial and temporal refocusing of a wave in such a medium, after having recorded the transmission channel signature (*ie* the response to a short pulse). When the propagation medium is non-stationary, the transmission channel characteristics keep changing. The time-reversed signal must be sent before the medium has changed too much, otherwise the refocusing will not be effective. It is therefore crucial to minimize the latency time between the measurement of the impulse response and the emission of the time-reversed impulse response. In the first demonstrations of time-reversal with RF waves, analog-to-digital converters (ADC) were used, limiting the processing bandwidth. In the aim of reaching the GHz regime, the latency time becomes problematic because of the limited sampling rate of ADCs. We propose to design a fully analog solution to avoid this conversion step.

At Institut Langevin we design original analog architectures for the optically-carried radiofrequency signal processing. These architectures rely on light-matter interaction in rare-earth ion-doped crystals cooled down to a few kelvin. In these crystals, one can make the atomic medium emit a light pulse with a controlled temporal shape by using the photon echo phenomenon. We will use this photon echo process to generate the time-reversed waveform.

We recently proposed a promising time-reversal architecture [1] whose processing bandwidth already exceeds the previously published designs [2]. While the first results are encouraging, a lot remains to be done to validate its potential for wave refocusing in a non stationary medium. The time reversal fidelity, its robustness to phase modulation, the processing bandwidth and the latency time will be the figures of merit that we will have to study and optimize. If the results seem satisfactory, we will consider a demonstration with real RF signals generated in a reverberating cavity. The quality of the spatial and/or temporal refocusing will allow us to assess the potential of our approach.

The goal of this thesis will be to participate in the ongoing experimental work on the time-reversal of radiofrequency waves with this original architecture. The student will have the opportunity to manipulate various frequency agile laser sources, optoelectronic components and cryogenic equipment.

[1] A. Louchet-Chauvet, *Analog time-reversal of optically-carried RF signals with a rare earth ion-doped processor with broadband potential*, 2018 International Topical Meeting on Microwave Photonics (2018)

[2] H. Linget, L. Morvan, J.-L. Le Gouët and A. Louchet-Chauvet, *Time-reversal of optically-carried radiofrequency signals in the microsecond range*, Optics Letters 38, 643 (2013).

**Keywords:** Light-matter interaction, time reversal, photon echo, rare-earth ion-doped crystal, cryogenics

**Guaranteed PhD funding (ANR)**