

Stage de Master 1 ou 2 ou Ingénieur à l'INPHYNI (Nice):

Spectroscopie Résolue en Fréquence en configuration pompe-sonde appliquée aux fibres optiques amplificatrices dopées aux terres rares.

(english version in page 2)

Contexte :

La caractérisation spectroscopique des fibres optiques amplificatrices dopées aux ions de terres rares, s'effectue généralement dans le domaine temporel (*time resolved spectroscopy*, TRS) en utilisant plusieurs techniques complémentaires. Une méthode intégrée permettant d'extraire simultanément plusieurs paramètres serait intéressante pour en caractériser rapidement le potentiel d'un matériau en développement ou d'une application, comme un laser ou un amplificateur pour télécommunications. Des techniques alternatives opérant dans le domaine fréquentiel (FRS) ont montré des avantages intéressants dans les systèmes complexes, notamment la détermination de durées de vie multiples ou distribuées dans les domaines des semi-conducteurs et de la biophysique. [1]. Toutefois, la FRS n'a été appliquée aux matériaux amplificateurs dopés aux terres rares que très rarement [2], malgré sa grande adaptabilité à l'étude de phénomènes complexes [3].

Au laboratoire, nous explorons le potentiel d'une variante « pompe-sonde » de la FRS, récemment proposée [4]. Elle s'appuie sur la modélisation dynamique des équations de taux des ions de terre rare. Nous avons réussi à extraire simultanément au moins trois grandeurs spectroscopiques de l'ion erbium, avec une très bonne fidélité (voir figure). Mais la configuration pompe-sonde permet en principe d'atteindre un grand nombre de grandeurs spectroscopiques, grâce au nombre élevé de degrés de liberté orthogonaux des faisceaux optique traversant l'échantillon.

Stage:

Le premier objectif de ce stage expérimental est de consolider ces mesures encourageantes sur des échantillons dopés à l'erbium de compositions différentes. Le second objectif est d'appliquer la méthode à des ions de terre rare plus complexes et d'explorer le champ d'application de la méthode. Pour cela, l'expérience existante sera améliorée, et partiellement automatisée afin d'accélérer la collecte des données et leur traitement. Ensuite, si la durée du stage le permet, l'expérience sera adaptée à d'autres ions de terre rare.

Profil recherché :

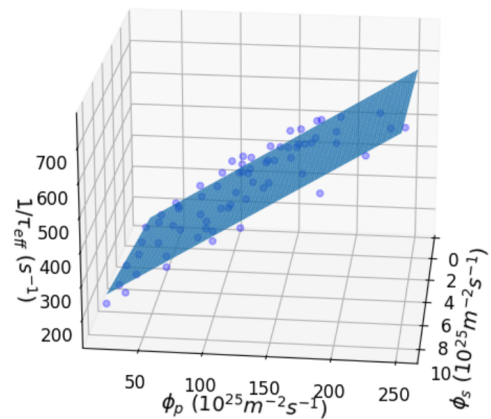
La/le candidat(e) sera en Master 1 ou Master 2 en physique/photonique, ou en dernière année d'école d'ingénieur. On recherche une personnalité rigoureuse, curieuse et communicante, tant à l'écrit qu'à l'oral. La connaissance du français n'est pas exigée, mais dans ce cas, un niveau en anglais B2 est demandé.

- **Durée** : 3 mois (M1) ou 5-6 mois (M2 ou Ingénieur). **Gratification**: ~ 614 €/mois.

Contact : Bernard DUSSARDIER : bernard.dussardier@univ-cotedazur.fr

Nom du Laboratoire : Institut de Physique de Nice (INPHYNI), 17 rue Julien Lauprêtre, 06200 Nice

Site Internet : <https://inphyni.univ-cotedazur.fr/>



Temps caractéristique de réponse fréquentielle ($1/\tau_{\text{eff}}$) d'un échantillon dopé à l'erbium en fonction des intensités de pompe et de sonde, en régime de basses fréquences (1 Hz-1 kHz). Des trois coefficients de la nappe ajustée aux données, on extrait directement trois caractéristiques spectroscopiques de la terre rare, dont les valeurs sont égales au résultats des méthodes de référence.

- [1] S. P. Depinna & D. J. Dunstan, "Frequency-resolved spectroscopy and its application to the analysis of recombination in semiconductors," *Philosophical Magazine B* 50, 579–597 (1984).
- [2] M. Brunel, et al. "A simple method to measure the lifetime of excited levels of rare earth ions: application to erbium ions in fluorophosphate glasses," *Optical Materials* 5, 209–215 (1996).
- [3] L. Strizik, et al., "Quadrature frequency resolved spectroscopy of upconversion photoluminescence in GeGaS:Er³⁺: I. Determination of energy transfer upconversion parameter," *J Mater Sci: Mater Electron* 28, 7053–7063 (2017).
- [4] E. Magden, P. Callahan, N. Li, J. Bradley, N. Singh, A. Ruocco, L. Kolodziejski, E. P. Ippen, and M. R. Watts, "Frequency Domain Spectroscopy in Rare-Earth-Doped Gain Media," *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics* PP, 1–1 (2018).

Proposal for a Master 1 or 2 internship or Engineering at INPHYNI (Nice) :

Frequency Resolved Spectroscopy in pump-probe configuration applied to rare-earth-doped amplifying optical fibres.

Context :

The spectroscopic characterization of amplifying rare-earth-doped optical fibres is generally carried out in the time domain (time resolved spectroscopy, TRS) using several complementary techniques. An integrated method allowing to simultaneously extract several parameters would be interesting to quickly characterize the potential of a material under development or an application, such as a laser or an amplifier for telecommunications. Alternative techniques operating in the frequency domain (FRS) have shown interesting advantages in complex systems, notably the determination of multiple or distributed lifetimes in the semiconductor and biophysics domains [1]. However, FRS has only very rarely been applied to amplifier materials doped with rare earths [2], despite its great adaptability to the study of complex phenomena [3].

In the laboratory, we are exploring the potential of a recently proposed "pump-probe" variant of the FRS [4]. It is based on dynamic modeling of rare earth ion rate equations. We managed to simultaneously extract at least three spectroscopic quantities of the erbium ion, with very good fidelity (see figure). Beyond that, the pump-probe configuration would in principle enable to reach a large number of spectroscopic quantities, thanks to the numerous orthogonal degrees of freedom concerning the optical beams passing through the sample.

Internship:

The first objective of this experimental internship is to consolidate these encouraging measurements on samples doped with erbium of different compositions. The second objective is to apply the method to more complex rare earth ions and to explore the field of application of the method. To do this, the existing experience will be improved and partially automated in order to speed up data collection and treatment. Then, if the duration of the internship allows it, the experiment will be adapted to other rare earth ions.

Required profile :

The candidate will be in Master 1 or Master 2 in physics/photonics, or in the final year of engineering school. We are looking for a rigorous, curious personality, with good written and oral communication skill. Knowledge of French is not required. In this case, a level in English B2 is required.

Duration : 5-6 months, starting from February/March 2024

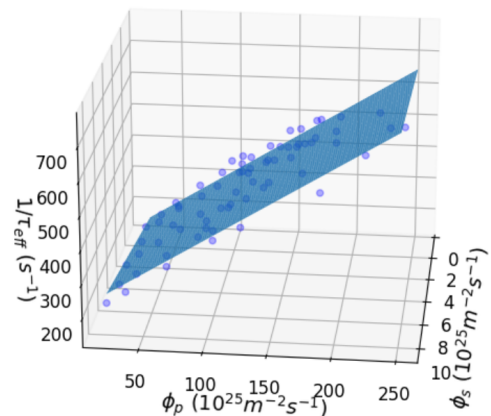
Internship stipend : ~614 €/month

Contact : Bernard DUSSARDIER : bernard.dussardier@univ-cotedazur.fr

Institute :

Institut de Physique de Nice (INPHYNI), 17 rue Julien Lauprêtre, 06200 Nice

Website: <https://inphyni.univ-cotedazur.fr/>



Characteristic frequency response time ($1/\tau_{\text{eff}}$) of an erbium-doped sample as a function of pump and probe intensities, in the low frequency regime (1 Hz-1 kHz). From the three coefficients of the flat surface adjusted to the data, one directly extracts three spectroscopic parameters of the rare earth ions, the values of which are equal to the results of the reference methods.

- [1] S. P. Depinna & D. J. Dunstan, "Frequency-resolved spectroscopy and its application to the analysis of recombination in semiconductors," *Philosophical Magazine B* 50, 579–597 (1984).
- [2] M. Brunel, et al. "A simple method to measure the lifetime of excited levels of rare earth ions: application to erbium ions in fluorophosphate glasses," *Optical Materials* 5, 209–215 (1996).
- [3] L. Strizik, et al., "Quadrature frequency resolved spectroscopy of upconversion photoluminescence in GeGaS:Er³⁺: I. Determination of energy transfer upconversion parameter," *J Mater Sci: Mater Electron* 28, 7053–7063 (2017).
- [4] E. Magden, P. Callahan, N. Li, J. Bradley, N. Singh, A. Ruocco, L. Kolodziejski, E. P. Ippen, and M. R. Watts, "Frequency Domain Spectroscopy in Rare-Earth-Doped Gain Media," *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics* PP, 1–1 (2018).