



**HAL**  
open science

# Spectroscopie de temps de déclin en cavité par peigne de fréquences optiques

Romain Dubroeuq, Aleksander Gluszek, Grzegorz Soboń, Lucile Rutkowski

## ► To cite this version:

Romain Dubroeuq, Aleksander Gluszek, Grzegorz Soboń, Lucile Rutkowski. Spectroscopie de temps de déclin en cavité par peigne de fréquences optiques. Optique Dijon, Jul 2021, Dijon, France. hal-03376039

**HAL Id: hal-03376039**

**<https://hal.science/hal-03376039v1>**

Submitted on 13 Oct 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# SPECTROSCOPIE DE TEMPS DE DÉCLIN EN CAVITÉ PAR PEIGNE DE FRÉQUENCES OPTIQUES

Romain Dubroeuq<sup>1</sup>, Aleksander Głuszek<sup>2</sup>, Grzegorz Soboń<sup>2</sup>, Lucile Rutkowski<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univ. Rennes 1, CNRS, IPR (Institut de Physique de Rennes) - UMR6251, F-35000 Rennes, France

<sup>2</sup> Laser & Fiber Electronics Group, Wrocław Univ. of Science and Technology, 50-370 Wrocław, Poland

lucile.rutkowski@univ-rennes1.fr

## RÉSUMÉ

Nous présentons les résultats préliminaires de spectroscopie de temps de déclin large bande, obtenus avec un dispositif reposant sur un peigne de fréquences optiques dans le proche infrarouge couplé à une cavité dont la transmission est analysée avec un spectromètre à transformée de Fourier résolu en temps.

**MOTS-CLEFS :** *Peignes de fréquences optiques ; Spectroscopie à transformée de Fourier ; Cavités optiques.*

## 1. INTRODUCTION

La spectroscopie à temps de déclin (*cavity ring-down spectroscopy*, CRDS) est une des techniques de mesures d'absorption moléculaire les plus sensibles, couramment utilisée en combinaison avec des lasers continus. Cependant, elle reste rarement mise en oeuvre avec des sources large bande : la mesure de déclins purement exponentiel avec un haut rapport signal sur bruit est complexe à réaliser. Pourtant, l'utilisation de peignes de fréquences (spectres caractéristiques des lasers femtosecondes) comme source directe d'illumination de l'échantillon gazeux permettrait d'obtenir des spectres d'absorption couvrant tout le peigne tout en bénéficiant de sa précision en fréquence et de la sensibilité de la technique CRDS.

Des travaux ont déjà été menés sur la possibilité de coupler CRDS et source large bande, reposant soit sur un laser picoseconde combiné à un spectromètre à transformée de Fourier (STF) résolu en temps [1], soit sur un élément dispersif à deux dimensions combiné à un peigne de fréquences [2]. Nous démontrons ici une nouvelle approche pour la CRDS large bande couplant un peigne de fréquences émettant dans le proche infrarouge, avec un STF résolu en temps. Le peigne est asservi sur la cavité optique afin d'avoir une transmission de cavité optimale, offrant ainsi une acquisition multiplexe des déclins dans la cavité.

## 2. MONTAGE EXPÉRIMENTAL

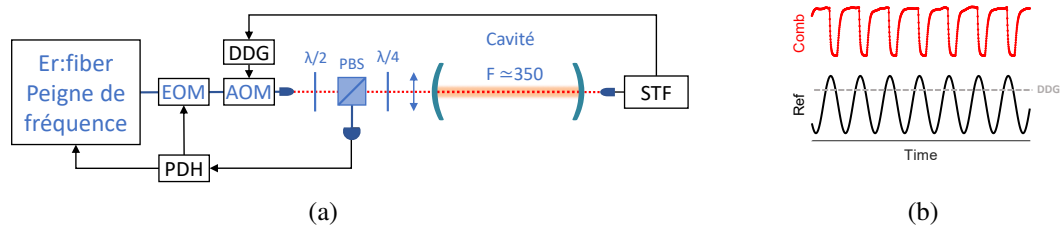


FIGURE 1: (a) Schéma du montage expérimental. **EOM**, *Electro-Optic Modulator*; **AOM**, *Acousto-Optic Modulator*; **DDG**, *Digital Delay Generator*;  $\lambda/2$ , lame demi-onde; **PBS**, *polarising beam splitter*;  $\lambda/4$ , lame quart-onde; **PDH**, Pound-Drever-Hall; **STF**, spectromètre à transformée de Fourier; **DAQ**, carte d'acquisition. (b) Principe de l'acquisition, se référer au texte pour plus de détails.

Le montage expérimental est décrit sur la figure 1a. La source lumineuse est un laser femtoseconde fibré Erbium avec un taux de répétition de 125 MHz dont le spectre couvre 10 nm autour de 1560 nm [3].

La cavité CRDS a une finesse  $\sim 450$  et une longueur de 1.2 m. Le peigne de fréquence est asservi sur la cavité avec la technique Pound-Drever-Hall (PDH) [4]. La transmission de la cavité est analysée avec un STF à scan continu dont la différence de marche est calibrée avec un laser He-Ne stabilisé en fréquence, qui se propage sur un chemin optique parallèle à celui du peigne. Les deux interférogrammes (peigne et He-Ne) sont enregistrés simultanément. Le faisceau du peigne de fréquence est périodiquement dévié par un modulateur acousto-optique (AOM) afin d’obtenir un déclin CRDS à chaque fois que la différence de marche du STF augmente de  $\lambda_{HeNe} = 633$  nm. Pour cela, l’AOM est déclenché par un générateur digital de retard (DDG) synchronisé sur l’interférogramme du signal de référence, voir figure 1b. La bande-passante de l’asservissement est ajustée pour ne pas être affectée par l’extinction régulière du peigne.

### 3. RÉSULTATS PRÉLIMINAIRES

L’interférogramme 3D (figure 2a) est construit à partir des données brutes tronquées à intervalles correspondants à  $\lambda_{HeNe}$ , et réassemblés dans une matrice où une dimension correspond au délai après le déclenchement de l’AOM et l’autre à la différence de marche. La figure 2a représente le centre de l’interférogramme, dont la composante continue a été soustraite. La répartition spectrale des déclins de la cavité (figure 2b) est obtenue en calculant la transformée de Fourier rapide (FFT) de l’interférogramme à chaque délai. La différence de marche totale est limitée à 21 cm actuellement, ce qui équivaut à une résolution spectrale de 1.4 GHz. La figure 2c montre le déclin obtenu à 1561 nm, ainsi que un modèle de décroissance exponentielle ajusté. La déviation standard du résidu est de  $1.5 \times 10^{-3}$ , le rapport signal sur bruit atteint donc 600. Le temps caractéristique de ce déclin est trouvé égale à 0.497  $\mu$ s, en accord avec la réflectivité des miroirs de la cavité donnée par le fabricant (99.3%, Layertec, réf. 114951).

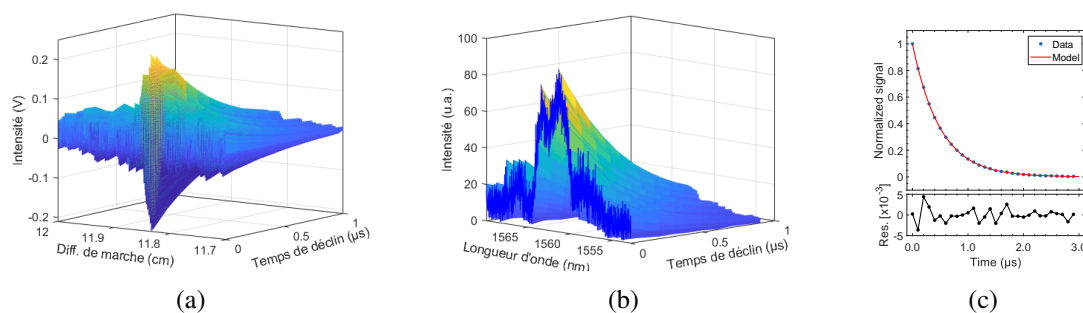


FIGURE 2: (a) Interférogramme 3D. (b) Spectre 3D des déclins CRDS. (c) Déclin à 1561 nm (marqueurs bleus), avec un modèle de décroissance exponentielle (ligne rouge) et son résidu.

### CONCLUSION

Nous avons démontré la possibilité de faire des mesures de CRDS avec une source peigne de fréquence et un FTS résolu en temps. Cette technique sera implémentée avec une source laser plus puissante et une cavité de plus haute finesse, afin de mesurer le spectre de petites molécules atmosphériques.

**Remerciements** : Ces travaux sont supportés par le projet ANR CECOSA (ANR-19-CE30-0038), l’Institut National de Physique (CNRS), et Rennes Métropole. G.S. and A.G. sont supportés par la Fondation pour la Science Polonaise (First TEAM/2017-4/39).

### RÉFÉRENCES

- [1] R. Engeln and G. Meijer, “A Fourier transform cavity ring down spectrometer,” *Review of Scientific Instruments*, vol. 67, no. 8, pp. 2708–2713, 1996.
- [2] M. J. Thorpe, K. D. Moll *et al.*, “Broadband cavity ringdown spectroscopy for sensitive and rapid molecular detection,” *Science*, vol. 311, no. 5767, pp. 1595–1599, 2006.
- [3] A. Gluszek, F. Vieira *et al.*, “Compact mode-locked Er-doped fiber laser for broadband cavity-enhanced spectroscopy,” *Applied Physics B*, vol. 126, 07 2020.
- [4] A. Foltynowicz, P. Maslowski *et al.*, “Cavity-enhanced optical frequency comb spectroscopy in the mid-infrared application to trace detection of hydrogen peroxide,” *Applied Physics B*, vol. 110, 02 2012.