



## Imagerie sans lentille ptychographique sur un laser de courte longueur d'onde

**Spécialité** Optique

**Niveau d'étude** Bac+5

**Formation** Master 2

**Unité d'accueil** [LIDYL/DICO](#)

**Candidature avant le** 29/03/2023

**Durée** 6 mois

**Poursuite possible en thèse** oui

**Contact** [BOUTU Willem](#)  
+33 1 69 08 51 63  
[willem.boutu@cea.fr](mailto:willem.boutu@cea.fr)

### Résumé

L'imagerie par diffraction cohérente est une imagerie sans lentille qui utilise la cohérence spatiale et l'optique de Fourier pour atteindre des résolutions de l'ordre de la dizaine à quelques nanomètres. L'objectif du stage est de mettre en œuvre la ptychographie, une technique particulière d'imagerie par diffraction cohérente par balayage, sur une nouvelle source de rayonnement laser à 20 nm.

### Sujet détaillé

L'imagerie par diffraction cohérente (CDI) est une technique d'imagerie sans lentille qui utilise la cohérence spatiale et l'optique de Fourier pour supprimer les objectifs traditionnellement utilisés en microscopie pour atteindre des résolutions spatiales nanométriques, non limitées par les imperfections de ces optiques. Développée pour les synchrotrons, son implémentation sur les sources de radiations de courtes longueurs d'onde basées sur des lasers intenses a permis le développement de l'imagerie nanométrique femtoseconde. Le CEA-LIDYL développe depuis plus de 15 ans de nouvelles techniques d'imagerie CDI sur de telles sources de laboratoire, telles que l'holographie par transformée de Fourier avec référence étendue [1], l'imagerie 3D stéréographique [2] ou l'imagerie CDI en tir unique pour les expériences résolues en temps [3,4].

Ces sources à l'échelle d'un laboratoire sont basées sur un phénomène ultra nonlinéaire appelé génération d'harmoniques laser d'ordre élevé (HHG). Lorsqu'un faisceau laser femtoseconde intense est focalisé dans un milieu gazeux, il est possible de générer un rayonnement cohérent spatialement et ultrabref (femto voir attoseconde) dans le domaine de l'extrême ultraviolet (100-10 nm). Ce processus est aujourd'hui bien compris, et est en voie de démocratisation rapide pour la réalisation d'expériences de spectroscopie ultrarapide. Cependant, les flux de photons limités constituent un frein important pour de nombreuses applications.

Au CEA-LIDYL, nous avons récemment développé une nouvelle source de rayonnement harmonique basé sur un laser femtoseconde à très haut taux de répétition. Le but du stage est de mettre en place un dispositif de ptychographie sur cette ligne de lumière. La ptychographie est une technique d'imagerie CDI particulière, basée sur le balayage de l'échantillon, qui permet d'atteindre des résolutions nanométriques sur des échantillons de grande taille

---

[5]. Dans un second temps, la technique sera étendue pour être compatible avec de larges bandes spectrales, afin d'augmenter le flux de photons et de permettre d'allier résolutions nanométriques et sub-femtosecondes.

1. Gauthier et al., Single-shot Femtosecond X-Ray Holography Using Extended References, PRL 105, 093901 (2010)
2. Duarte et al., Computed stereo lensless X-ray imaging, Nat. Photonics 13, 449 (2019)
3. Ravasio et al., Single-Shot Diffractive Imaging with a Table-Top Femtosecond Soft X-Ray Laser-Harmonics Source, PRL 103, 028104 (2008)
4. Boutu et al., Impact of noise in holography with extended references in the low signal regime, Opt. Express 24, 6318 (2016)
5. Thibault et al., High-Resolution Scanning X-ray Diffraction Microscopy, Science 321, 379 (2008)

### **Mots clés**

Laser femtoseconde, génération d'harmoniques d'ordre élevé, microscopie

### **Compétences**

Optique EUV, imagerie sans lentille, algorithmes itératifs de reconstruction de phase

### **Logiciels**

Python

---

## Ptychographic lensless imaging on a short wavelength laser

### Summary

Coherent diffractive imaging is a lensless imaging technique that makes use of spatial coherence and Fourier optics to reach spatial resolutions of the order of 10s to few nanometers. The aim of this internship will be to implement ptychography, a scanning coherent diffractive imaging technique, on a new laser high harmonic source working at 20 nm.

### Full description

Coherent diffractive imaging (CDI) is a lensless imaging technique that uses spatial coherence and Fourier optics to remove the traditionally used objective optics in order to reach wavelength limited spatial resolution in X-ray microscopy. First developed for synchrotron facilities, its implementation on laser based short wavelength sources has allowed for the rise of nanoscale femtosecond imaging. For more than 15 years the CEA-LIDYL has developed new CDI techniques on laboratory sources, such as Fourier Transform Holography with Extended Reference [1], Stereo 3D imaging [2], or single shot CDI for time resolved experiments [3,4].

Those small scale sources are based on an ultra nonlinear phenomenon called laser high order harmonic generation (HHG). When focusing a femtosecond infrared laser beam on a gas jet, one can generate ultrashort (femtosecond to attosecond) coherent radiation in the extreme ultraviolet domain (100-10 nm). This process is now well understood, and is currently undergoing a rapid democratization for ultrafast spectroscopy experiments. However, the low photon flux is a strong limitation for many applications.

At CEA-LIDYL we recently developed a new high harmonic source based on a high repetition rate femtosecond laser. The aim of the internship is to implement on this beamline a ptychography setup. Ptychography is a specific CDI technique that relies on scanning, enabling to reach nanometre scale resolutions on large-scale samples [5]. In a second step, the technique will be extending to very large spectral bandwidths, in order to increase the usable photon flux and reach sub-femtosecond time resolutions.

1. Gauthier et al., Single-shot Femtosecond X-Ray Holography Using Extended References, PRL 105, 093901 (2010)
2. Duarte et al., Computed stereo lensless X-ray imaging, Nat. Photonics 13, 449 (2019)
3. Ravasio et al., Single-Shot Diffractive Imaging with a Table-Top Femtosecond Soft X-Ray Laser-Harmonics Source, PRL 103, 028104 (2008)
4. Boutu et al., Impact of noise in holography with extended references in the low signal regime, Opt. Express 24, 6318 (2016)
5. Thibault et al., High-Resolution Scanning X-ray Diffraction Microscopy, Science 321, 379 (2008)

### Keywords

Femtosecond laser, high order harmonic generation, microscopy

### Skills

EUV optics, lensless imaging, iterative phase retrieval algorithms

### Softwares

Python