

Spécialité : OPTIQUE / Interaction laser-matière

[Laboratoire : /LIDYL/ATTO](#)

## Caractérisation temporelle des dynamiques électroniques attosecondes dans les cristaux pour l'électronique petahertz

Responsable de stage : BOUTU Willem

willem.boutu@cea.fr

Tel : +33 1 69 08 51 63

Stage pouvant se prolonger en thèse : Oui

Durée du stage : 5 mois

### Résumé:

L'objectif du stage est d'étudier les dynamiques électroniques ultrarapides au sein de cristaux semiconducteurs lors de l'interaction avec un champ laser femtoseconde intense. Il s'agira plus particulièrement d'obtenir la structure temporelle attoseconde de l'émission harmonique résultante, signature directe de ces dynamiques.

### Sujet :

Utiliser la lumière afin de contrôler le mouvement des électrons au sein d'un semiconducteur ouvre la voie vers l'optoélectronique petahertz, c'est-à-dire la fabrication de dispositifs électroniques commutant 1000 fois plus rapidement que les transistors les plus rapides actuellement. En effet, dans un cristal semiconducteur ou diélectrique, l'excitation des électrons de valence vers la bande de conduction crée des porteurs de charge qui peuvent transporter du courant électrique au sein de dispositifs électroniques. En utilisant une lumière laser intense, ces porteurs peuvent être accélérés au sein des différentes bandes électroniques, à volonté et de façon réversible. En mettant en forme le champ électromagnétique du laser à l'échelle du cycle optique, ces processus peuvent être contrôlés à l'échelle de l'attoseconde (1 attoseconde =  $10^{-18}$  seconde).

Lorsque ces électrons accélèrent sous l'effet du champ fort dans les bandes de conduction ou se recombinent vers la bande de valence un rayonnement de courte longueur d'onde est émis. Dans le domaine spectral, ce rayonnement cohérent est constitué des harmoniques d'ordre élevé du rayonnement incident [1]. Dans le domaine temporel, cela correspond à une émission d'impulsions ultrabrèves, a priori attosecondes, bien que cette mesure n'ait pas encore été réalisée à ce jour. Le rayonnement harmonique est une conséquence directe des dynamiques électroniques dans le champ laser. Caractériser temporellement l'émission harmonique permettrait par conséquent de déduire précisément la dynamique des électrons, notamment en différenciant les processus intra et inter-bandes. Cependant, le domaine d'émission de ce rayonnement (dans l'ultraviolet extrême, c'est-à-dire entre 100 et quelques 10s de nanomètres) rend la mesure du profil temporel non triviale. Basé sur l'expertise du groupe Attophysique du LIDYL [2,3], le stage consistera à mettre en œuvre un dispositif de mesure temporelle par la technique RABBITT, adapté aux spécificités de la génération d'harmoniques dans les cristaux. En outre, il s'agira d'étudier les dynamiques électroniques de matériaux présentant de très fortes corrélations entre électrons. Ainsi, un cristal de VO<sub>2</sub> présente une transition ultrarapide entre une phase isolante et une phase métallique, laquelle peut être induite optiquement. La caractérisation temporelle de l'émission harmonique nous permettra là aussi d'étudier ces dynamiques particulières. Ce degré de liberté et de contrôle supplémentaire fait de cette catégorie de matériaux des candidats sérieux pour de futurs dispositifs électroniques petahertz. Ce stage se déroulera sur l'installation NanoLight, un tout nouveau laboratoire du groupe Attophysique, équipé notamment d'un nouveau système laser, un OPCPA intense de 100kHz, délivrant des impulsions

de quelques cycles optiques dans l'infrarouge rouge proche.

[1] Ghimire et al., Nature Physics 7, 128 (2011)

[2] Mairesse et al., Sciences 302, 1540 (2003)

[3] Boutu et al., Nature Physics 4, 545 (2008)

---

## Temporal characterization of attosecond electron dynamics in crystals for petahertz electronics

### Abstract:

The internship aims at studying ultrafast electron dynamics in semiconducting crystals during their interaction with a strong femtosecond laser. More specifically, the objective will be to obtain the attosecond temporal structure of the resulting emission, direct signature of those dynamics.

### Subject :

Using light to control the motion of electrons in a semiconducting crystal opens the way towards petahertz optoelectronics, which would rely on electronic devices switching 1000 times faster than the current fastest transistors. In a semiconducting or dielectric crystal, the excitation of electrons from the valence to a conduction band generate charge carriers, which can carry electric current in electronic devices. Using intense laser light, those carriers can be accelerated in the different electronic bands in a controllable and reversible way. By shaping the laser electromagnetic field at the optical cycle level, these processes can be controlled at the attosecond time scale (1 attosecond =  $10^{-18}$  second).

When those electrons accelerate in the strong laser field inside the conduction bands or recombine towards the valence band, a short wavelength radiation is emitted. In the spectral domain, this coherent radiation consists in successive high order harmonics of the incident radiation [1]. In the temporal domain, this corresponds to the emission of ultrashort pulses, in the attosecond scale, although this measurement has not been performed up to now. The harmonic emission is a direct consequence of the electron dynamics in the laser field. The temporal characterization of the emission would therefore allow to precisely know the dynamics of the electrons, in particular by differentiating the intra and inter band processes. However, the spectral domain of this radiation (in the extreme ultraviolet domain, i.e. between 100 and a few 10s nm) complicates this measurement. Based on the expertise of the Attophysics group from LIDYL [2,3], the aim of the internship will be to perform temporal characterization of the emission using the RABBITT technique, adapted to the specificity of high order harmonic generation in crystals. Moreover, we will study electron dynamics in strongly correlated materials, where correlations between electrons dictate the global properties. More specifically, VO<sub>2</sub> crystals have a reversible ultrafast metal to insulator phase transition that can be optically addressed. This additional degree of freedom and of control makes this type of crystals serious candidates for the future smart devices for petahertz electronics. The temporal characterization of the harmonic emission will allow us to study this specific dynamics.

This internship will take place in the NanoLight facility, a brand new laboratory of the Attophysics group, equipped with a new OPCPA laser system that delivers intense ultrashort pulses of just a couple optical cycle duration at a 100kHz repetition rate, in the near infrared spectral domain.

[1] Ghimire et al., Nature Physics 7, 128 (2011)

[2] Mairesse et al., Sciences 302, 1540 (2003)

[3] Boutu et al., Nature Physics 4, 545 (2008)

---