



Sujet de thèse 2019

# Impulsions attosecondes portant un moment angulaire orbital pour la détection de dichroïsmes hélicoïdaux

(english version below)

## Exposé du Sujet

### Problématique

Depuis une dizaine d'années, les progrès de l'optique extrêmement non linéaire permettent d'explorer l'interaction des électrons d'un atome ou d'une molécule en phase gazeuse avec un champ laser à leur échelle de temps naturelle, l'attoseconde ( $1 \text{ as} = 10^{-18} \text{ s}$ ). Ces durées correspondent en effet aux dynamiques électroniques les plus brèves, inférieures à la durée du cycle optique dans le visible. Il est maintenant bien établi qu'en régime de champ laser fort, cette interaction génère des impulsions de lumière ultrabrèves d'une durée de quelques 10 à 100 attosecondes [MdF+03]. Selon les conditions particulières de l'interaction, l'émission attoseconde se présente sous la forme, soit d'un train d'impulsions produites à chaque demi-cycle du champ laser, soit d'une impulsion attoseconde isolée. Dans le cas d'un train d'impulsions, le spectre est une série discrète d'harmoniques de la fréquence du champ générateur, d'où le nom de Génération d'Harmoniques d'Ordre Élevé (GHOE ou HHG en anglais). Enfin, l'émission cohérente attoseconde couvre un grand intervalle de longueurs d'onde dans l'eXtrême-UV (XUV, typiquement 10-160 nm) particulièrement adapté aux expériences de photoionisation résolues en temps. Ainsi, une des nouvelles frontières de la physique attoseconde est la mesure de retards à la photoionisation [GBJG+16].

Le groupe Attophysique du LIDYL a été pionnier dans la génération et la caractérisation des impulsions attosecondes [MdF+03, KZR+13, BBBG+20], mais aussi dans leur utilisation pour des études de dynamique ultra-rapide [HFH+09, HCB+10, CMH+11, GBJG+16]. Récemment, nous avons enrichi les possibilités de sondes en développant et mettant en œuvre des sources attosecondes portant un moment angulaire, qu'il soit de spin (MAS) [FHD+15], ou orbital (MAO)[GCA+16, GRA+17, CBA+19]. Les premières, associées à une polarisation circulaire, sont parfaitement adaptées à l'étude de dynamiques de molécules chirales aux échelles attosecondes et femtosecondes encore inexploitées aujourd'hui. Les secondes, associées à des fronts d'onde hélicoïdaux, constituent un objet d'étude théorique extrêmement prometteur. En particulier, bien que prédits, ni le couplage entre MAS et MAO lors d'un processus hautement non linéaire comme la GHOE, ni des dichroïsmes associés au MAO en transmission ou photoionisation dans l'XUV n'ont été rapportés à ce jour. Au cours de cette thèse nous explorerons ces deux derniers fronts, très liés l'un à l'autre, par des développements expérimentaux originaux. D'une part nous développerons des outils permettant l'étude, dans le régime hautement



non linéaire de GHOE, des couplages MAS/MAO. Ceci sera basé sur l'utilisation de réseaux lumineux « actifs », formés par au moins deux faisceaux lasers interférant et générant les impulsions attosecondes. D'autre part, nous mettrons au point des expériences pour observer des dichroïsmes hélicoïdaux en phase diluée et condensée. En particulier nous essaierons de mettre en évidence un dichroïsme magnétique hélicoïdal que nous avons récemment prédit [FBV+]. Outre des aspects fondamentaux sur le processus de GHOE lui-même et l'interaction lumière matière en général, nous aurons ainsi accès à une nouvelle classe d'expériences de la physique attoseconde.

## Bibliographie

- [BBBG<sup>+</sup>20] Bourassin-Bouchet, C. *et al.*, 2020. *Phys. Rev. X*, **10**(3). [10.1103/physrevx.10.031048](https://doi.org/10.1103/physrevx.10.031048)
- [CBA<sup>+</sup>19] Chappuis, C. *et al.*, 2019. *Physical Review A*, **99**(3). [10.1103/physreva.99.033806](https://doi.org/10.1103/physreva.99.033806)
- [CMH<sup>+</sup>11] Caillat, J. *et al.*, 2011. *Phys Rev Lett*, **106**(9), 093002. [10.1103/PhysRevLett.106.093002](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.106.093002)
- [FBV<sup>+</sup>] Fanciulli, M. *et al.* <https://arxiv.org/abs/2005.08354>
- [FHD<sup>+</sup>15] Ferré, A. *et al.*, 2015. *Nature Photonics*, **9**, 93. [10.1038/nphoton.2014.314](https://doi.org/10.1038/nphoton.2014.314)
- [GBJG<sup>+</sup>16] Gruson, V. *et al.*, 2016. *Science*, **354**(6313), 734. [10.1126/science.aah5188](https://doi.org/10.1126/science.aah5188)
- [GCA<sup>+</sup>16] Géneaux, R. *et al.*, 2016. *Nature Communications*, **7**, 12583. [10.1038/ncomms12583](https://doi.org/10.1038/ncomms12583)
- [GRA<sup>+</sup>17] Gauthier, D. *et al.*, 2017. *Nature Communications*, **8**, 14971. [10.1038/ncomms14971](https://doi.org/10.1038/ncomms14971)
- [HCB<sup>+</sup>10] Haessler, S. *et al.*, 2010. *Nature Physics*, **6**(3), 200. [10.1038/NPHYS1511](https://doi.org/10.1038/NPHYS1511)
- [HFH<sup>+</sup>09] Haessler, S. *et al.*, 2009. *Phys. Rev. A*, **80**(1), 011404. [10.1103/PhysRevA.80.011404](https://doi.org/10.1103/PhysRevA.80.011404)
- [KZR<sup>+</sup>13] Kim, K.T. *et al.*, 2013. *Nature Photonics*, **7**, 651. [10.1038/nphoton.2013.170](https://doi.org/10.1038/nphoton.2013.170)
- [MdF<sup>+</sup>03] Mairesse, Y. *et al.*, 2003. *Science*, **302**(5650), 1540. [10.1126/science.1090277](https://doi.org/10.1126/science.1090277)

## Objectifs scientifiques en 3 ans

### **Objectif 1 : Couplages de moments angulaires en régime de champ fort**

Nous avons récemment développé des méthodes de synthèse et caractérisation de faisceaux attosecondes portant des moments angulaires de spin et orbitaux. Ces deux aspects ont été traités séparément. Cependant, au niveau fondamental, des couplages entre ces deux types de moments angulaires sont prévus. Nous développerons ici une technique basée sur la GHOE à deux faisceaux formant un angle entre eux pour étudier ces couplages de champ fort. Ces deux faisceaux forment un « réseau actif » de génération, largement contrôlable. Chacun des deux faisceaux, femtoseconde, aura des moments angulaires de spin et orbital ajustables séparément, une énergie ajustable et un retard contrôlé. Nous diagnostiquerons l'interaction conduisant à l'émission d'impulsions attosecondes par polarimétrie et mesure de front d'onde du faisceau XUV émis. Selon la symétrie du milieu considéré pour la GHOE nous attendons des efficacités et transferts de moment différents. Ceux-ci devront être modélisés et interprétés. Finalement, nous généraliserons les études à d'autres type de faisceaux incidents (Faisceaux d'Hermite, de Bessel), tentant d'établir des règles générales de conservation des nœuds, des phases, des moments angulaires...

### **Objectif 2 : Observations de dichroïsmes hélicoïdaux dans l'XUV**

La synthèse d'impulsions XUV portant un moment angulaire orbital a fait l'objet d'études récentes sur les lasers à électrons libres et les synchrotrons, les applications étant potentiellement extrêmement importantes tant pour la manipulation d'échantillons que pour des tests fondamentaux d'interaction



lumière matière. Dans ce contexte, les sources GHOE sont appelées à jouer un rôle central, étant les seules à ce jour permettant des durées femtosecondes et attosecondes. Les développements qui seront entrepris viseront l'utilisation de ces faisceaux pour de nouvelles spectroscopies. Nous envisageons trois cas d'études : la réflexion sur des surfaces portant un vortex magnétique, la transmission par des plaques de nanotrous de faisceaux portant à la fois un MAS et un OAM et finalement l'orientation de molécules simples. Ces trois types d'interaction ont fait l'objet d'études théoriques mais n'ont jamais été observées expérimentalement dans l'XUV.

### ***Objectif 3 : Application de faisceaux portant un MAO à la spectroscopie transitoire attoseconde.***

Un des domaines principaux d'application de la physique attoseconde est l'absorption transitoire. Un échantillon est pompé par un faisceau laser ultrabref avant d'être illuminé, à un retard bien contrôlé, par un faisceau XUV attoseconde. Le suivi de la transmission XUV en fonction du retard donne accès à des dynamiques attosecondes. Ici nous proposons de tirer profit de la courte durée et du nombre important d'unités de moment angulaire orbital potentiellement porté par un faisceau pour induire des dynamiques spécifiques dans des matériaux, en particulier magnétiques. Nous aurons ainsi accès à des dynamiques de magnétisation avec des résolutions temporelles jusqu'ici inaccessibles.

### **Formation**

L'étudiant(e) acquerra une pratique de l'optique des lasers, en particulier femtosecondes, et des techniques de spectrométrie de particules chargées. Il (elle) étudiera également les processus de physique des champs forts sur lesquels se basent la génération d'harmoniques élevées. L'acquisition de techniques d'analyse approfondie, d'interfaçage d'expérience seront encouragées même si non indispensables. Même si le sujet est avant tout expérimental, une partie de la formation sera théorique, couvrant les aspects fondamentaux de la physique des champs forts mais s'ouvrant également à l'optique quantique ou à la physico-chimie. Un théoricien de l'équipe pourra guider l'étudiant alors que sur des aspects plus spécifiques, nos collaborateurs du LCPMR à Paris pourront être sollicités. L'étudiant(e) s'insèrera dans une équipe multinationale (6 nationalités à ce jour sur 10 étudiants et post-doc). La pratique de l'anglais sera donc rapidement indispensable. Le taux d'encadrement de notre équipe (moins de deux étudiants/HDR, moins d'un étudiant/permanent) est un gage de qualité de formation par et pour la recherche.

### **Ouverture vers le monde scientifique et professionnel**

L'équipe d'accueil organise de nombreuses collaborations, tant aux niveaux locaux et nationaux (Idex, Labex, ANR, Banque Publique d'Investissement), qu'euro-péens (RTN, ELI-Hongrie) et mondiaux (NRC-Canada, Ohio, Rio de Janeiro). Cette multitude d'échelles de collaborations permettra à l'étudiant(e) d'avoir une vision globale du domaine et de sa périphérie, facilitant les contacts et favorisant son insertion future dans le monde de la recherche académique ou privée. Il/elle participera naturellement, dès que les premiers résultats seront obtenus, à des conférences nationales et internationales lui permettant de développer ses capacités de communication et étendant son réseau de connaissances. Des réunions régulières formelles avec l'encadrant, tous les 6 mois, permettront de faire le point sur les évolutions d'orientation souhaitées et planifier la stratégie de formation. Ces réunions s'ajouteront aux discussions quotidiennes de l'équipe sur les résultats et orientations fines.



## Contexte

La physique attoseconde a pris son essor au tournant des années 2000. Nous assistons depuis à un développement exponentiel de ses champs d'applications. Dans ce contexte, notre laboratoire, qui a été pionnier dans le domaine, explore simultanément deux voies. La première, est l'utilisation de sources attosecondes standards, de plus en plus fiables, précises et intégrées, pour des applications en physique atomique, moléculaire et physique de l'état condensé. C'est le rôle des partenariats noués avec des experts de ces domaines dans le cadre de notre nouvel équipement Attolab. Les lignes de lumière d'Attolab, progressivement ouvertes en 2018-2019, servent une communauté de plus en plus large, plaçant le LIDYL à un carrefour des physiciens et physico-chimistes sondant les dynamiques électroniques dans l'XUV. La deuxième voie d'étude intégrée à Attolab vise à approfondir notre connaissance des mécanismes hautement non linéaires à la base de la synthèse d'impulsions attosecondes. Ces études, ont d'abord un intérêt fondamental, et c'est cet aspect qui sera mis en avant durant cette thèse. Cependant, elles préparent aussi les futures générations de sources attosecondes qui viendront enrichir Attolab. L'étudiant(e) sera donc amené(e) à interagir avec de nombreux scientifiques d'horizons variés venant à Attolab, tout en développant sa thématique propre au sein d'une équipe d'environ 10 personnes.

## Ouverture Internationale

Notre groupe s'insère dans de nombreuses collaborations, tant aux niveaux locaux et nationaux (Idex, Labex, ANR, Banque Publique d'Investissement), qu'européens (RTN, ELI-Hongrie) et mondiaux (NRC-Canada, Ohio, Rio de Janeiro). Cette multitude d'échelles de collaborations permettra à l'étudiant(e) d'avoir une vision globale du domaine et de sa périphérie, facilitant les contacts et favorisant son insertion future dans le monde de la recherche académique ou privée. Il/elle participera naturellement, dès que les premiers résultats seront obtenus, à des conférences nationales et internationales lui permettant de développer ses capacités de communication et étendant son réseau de connaissances.

## Collaborations envisagées

Fermi @Elettra (Italie)

Spintec (Grenoble)

LCPMR (Paris)

UFF (Rio de Janeiro)

Objectifs de valorisation des travaux de recherche du doctorant : diffusion, publication et confidentialité, droit à la propriété intellectuelle,...

Les travaux sont valorisés en premier lieu par des publications et conférences. En général, ils ne sont pas protégés par des clauses de confidentialité.

Les droits à la propriété intellectuelle sont régis par les règles du CEA

Profil et compétences recherchées



# Attosecond pulses generated in active gratings for the detection of helicoidal dichroisms

## PhD subject

### Context

Over the past decade, advances in extremely non-linear optics have made it possible to explore the interaction of the electrons of an atom or molecule in the gas phase with a laser field at their natural time scale, i.e. the attosecond time scale (1 as =  $10^{-18}$  s). These durations correspond in fact to the shortest electronic dynamics, which are shorter than the duration of the optical cycle in the visible. It is now well established that in a strong laser field regime, this interaction generates ultrashort light pulses with a duration of some 10 to 100 attoseconds [MdF+03]. Depending on the particular conditions of the interaction, the attosecond emission appears in the form of either a pulse train produced at each half-cycle of the laser field or an isolated attosecond pulse. In the case of a pulse train, the spectrum is a discrete series of harmonics of the frequency of the generating field, hence the name of High Order Harmonics Generation (HHG). Finally, attosecond coherent emission covers a large wavelength range in the ultraviolet-UV (XUV, typically 10-160 nm) particularly suitable for time-resolved photoionization experiments. Thus, one of the new frontiers of attosecond physics is the measurement of delays in photoionization [Gruson16].

The Attophysics group of LIDYL has been a pioneer in the generation and characterization of attosecond pulses [MdF+03, KZR+13, BBBG+20], but also in their use for ultra-fast dynamical studies [HFH+09, HCB+10, CMH+11, GBJG+16]. Recently, we have enriched the probes possibilities by developing and implementing attosecond sources carrying an angular momentum, whether spin (SAM) [Ferré15], or orbital (OAM) [GCA+16, GRA+17, CBA+19]. The first ones, associated with a circular polarization, are perfectly adapted to the study of dynamics of chiral molecules at the attosecond and femtosecond scales, which remain unexploited today. The second, associated with helicoidal wave fronts, constitute an object of theoretical study extremely promising. In particular, although predicted, neither the coupling between MAS and MAO during a highly non-linear process such as HHG, nor dichroisms associated with MAO in transmission or photoionization in the XUV have been reported to date. During this thesis, we will explore these two last fronts, closely related to one another, by original experimental developments. On the one hand, we will develop tools to study SAM / OAM coupling in the highly non-linear regime of HHG. On the other hand, we will develop experiments to observe helical dichroisms in dilute and condensed phase. In particular we will try to evidence the appearance of Magnetic Helicoidal Dichroisms that we recently predicted [FBV+]. In addition to fundamental aspects of the HHG process itself and the light-matter interaction in general, we will have access to a new class of attosecond physics experiments.



## References

- [BBBG<sup>+</sup>20] Bourassin-Bouchet, C. *et al.*, 2020. *Phys. Rev. X*, **10**(3). [10.1103/physrevx.10.031048](https://doi.org/10.1103/physrevx.10.031048)
- [CBA<sup>+</sup>19] Chappuis, C. *et al.*, 2019. *Physical Review A*, **99**(3). [10.1103/physreva.99.033806](https://doi.org/10.1103/physreva.99.033806)
- [CMH<sup>+</sup>11] Caillat, J. *et al.*, 2011. *Phys Rev Lett*, **106**(9), 093002. [10.1103/PhysRevLett.106.093002](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.106.093002)
- [FBV<sup>+</sup>] Fanciulli, M. *et al.* <https://arxiv.org/abs/2005.08354>
- [FHD<sup>+</sup>15] Ferré, A. *et al.*, 2015. *Nature Photonics*, **9**, 93. [10.1038/nphoton.2014.314](https://doi.org/10.1038/nphoton.2014.314)
- [GBJG<sup>+</sup>16] Gruson, V. *et al.*, 2016. *Science*, **354**(6313), 734. [10.1126/science.aah5188](https://doi.org/10.1126/science.aah5188)
- [GCA<sup>+</sup>16] Géneaux, R. *et al.*, 2016. *Nature Communications*, **7**, 12583. [10.1038/ncomms12583](https://doi.org/10.1038/ncomms12583)
- [GRA<sup>+</sup>17] Gauthier, D. *et al.*, 2017. *Nature Communications*, **8**, 14971. [10.1038/ncomms14971](https://doi.org/10.1038/ncomms14971)
- [HCB<sup>+</sup>10] Haessler, S. *et al.*, 2010. *Nature Physics*, **6**(3), 200. [10.1038/NPHYS1511](https://doi.org/10.1038/NPHYS1511)
- [HFH<sup>+</sup>09] Haessler, S. *et al.*, 2009. *Phys. Rev. A*, **80**(1), 011404. [10.1103/PhysRevA.80.011404](https://doi.org/10.1103/PhysRevA.80.011404)
- [KZR<sup>+</sup>13] Kim, K.T. *et al.*, 2013. *Nature Photonics*, **7**, 651. [10.1038/nphoton.2013.170](https://doi.org/10.1038/nphoton.2013.170)
- [MdF<sup>+</sup>03] Mairesse, Y. *et al.*, 2003. *Science*, **302**(5650), 1540. [10.1126/science.1090277](https://doi.org/10.1126/science.1090277)

## Scientific objectives for 3 years

### ***Objective 1 : Angular momenta coupling in the strong field regime***

We have recently developed methods for the synthesis and characterization of attosecond beams carrying spin and orbital angular momenta. These two aspects have been treated separately. However, at the fundamental level, couplings between these two types of angular momentum are predicted. We will develop here a highly nonlinear spectroscopic technique putting at play two interfering energetic beams forming an angle between them. These « active light gratings » will generate attosecond pulses that will be analysed giving insight into the generating process. Each of the two femtosecond beams will have separately adjustable spin and orbital angular moments, adjustable energy, and controlled delay. We will diagnose the interaction leading to the emission of attosecond pulses by polarimetry and wavefront measurement of the XUV beam emitted. According to the symmetry of the environment considered for the GHOE, we expect different efficiencies and moment transfers. These will have to be modeled and interpreted. Finally, we will generalize these studies to other types of driving beams (Hermite-Gauss, Bessel, ...), in an effort to rationalize the conservation rules in HHG (number of nodes, angular momenta, radial numbers...).

### ***Objectif 2 : Observations of XUV helicoidal dichroisms***

The synthesis of XUV pulses carrying orbital angular momentum has been the subject of recent studies on free-electron lasers and synchrotrons, the applications being potentially extremely important both for sample manipulation and for fundamental tests of light interaction matter. In this context, HHG sources are expected to play a central role, being the only ones to date allowing femtosecond and attosecond durations. The developments that will be undertaken will focus on the use of these beams for new spectroscopies. We will consider three case studies: reflection on surfaces bearing a magnetic vortex, transmission by plates of nanoholes of beams bearing both a SAM and an OAM and finally the orientation of simple molecules. These three types of interaction have been the subject of theoretical studies but have never been experimentally observed in the XUV.

### ***Objectif 3 : Applications of beams carrying an OAM to transient absorption spectroscopy***



One of the main areas of application of attosecond physics is transient absorption spectroscopy. A sample is pumped by an ultra-short laser beam before being illuminated, at a precisely controlled delay, by an attosecond XUV beam. Tracking XUV transmission as a function of delay gives access to attosecond dynamics. Here we propose to take advantage of the short duration and the large number of orbital angular momentum units potentially carried by a beam to induce specific dynamics in materials, in particular magnetic ones. We will thus have access to magnetization dynamics with temporal resolutions hitherto inaccessible.

### **Training**

The student will acquire a practice of laser optics, especially femtosecond lasers, and charged particle spectrometry techniques. He (she) will also study strong field physics processes, on which the high harmonic generation is based. The acquisition of in-depth analysis techniques, interfacing experience will be encouraged even if not essential. Even if the subject is above all experimental, part of the training will be theoretical, covering the fundamental aspects of strong field physics but opening also to quantum optics or physico-chemistry. An in-house theoretician will support the student while regular collaborators from Paris (LCPMR) will be included in the project for specific aspects. The student will join a multinational team (6 nationalities to date on 10 students and post-doc). The practice of English will be quickly necessary. The supervision rate of our team (less than two students / HDR, less than one student / permanent) is a guarantee of training quality by and for research.

### **Opening to scientific and professional worlds**

The hosting team organizes numerous collaborations, both at local and national levels (Idex, Labex, ANR, Public Investment Bank), as well as European (RTN, ELI) and global (NRC-Canada, Ohio). This multitude of scales of collaborations will allow the student to have a global vision of the field and its periphery, facilitating contacts and promoting its future integration into the world of academic or private research. He / she will participate naturally, as soon as the first results are obtained, in national and international conferences allowing him/her to develop his/her communication capacities and extending his/her network of knowledge. Regular formal meetings with the supervisor every 6 months will provide an update on the desired changes in orientation and plan the training strategy. These will add to the daily discussions in the team to finely steer the investigations in view of the daily results.



## Résumé en français

La lumière dans l'extrême ultraviolet (XUV) constitue une sonde universelle de la matière, qu'elle se présente en phase diluée ou condensée : les photons associés à cette gamme spectrale portent une énergie de 10 à 100 eV, suffisante pour ioniser directement atomes, molécules ou objets solides. De grands instruments tels les synchrotrons ou les lasers à électrons libres (LEL) fonctionnent dans cette gamme spectrale et permettent d'étudier, tant du point de vue fondamental qu'appliqué, les interactions lumière-matière dans ce régime. Cependant, ces grands instruments n'offrent pas la résolution temporelle permettant d'atteindre les échelles de temps ultimes des interactions lumière-matière, situées dans la gamme attoseconde ( $1\text{as}=10^{-18}\text{s}$ ). Une alternative est offerte par le développement, ces dernières années, de sources XUV basées sur la génération d'harmoniques d'ordre élevé (HHG) d'un laser femtoseconde intense. Notre laboratoire a été pionnier pour le développement, le contrôle et la mise en forme de ces sources fournissant des impulsions XUV attosecondes.

Au cours de cette thèse, nous développerons des dispositifs spécifiques faisant porter à ces impulsions un moment angulaire, qu'il soit de spin ou orbital. Ceci ouvrira de nouvelles applications mettant en jeu des spectroscopies résolues en temps ignorées à ce jour. L'accent sera mis, d'une part sur les aspects fondamentaux des couplages de moment angulaires de spin et orbitaux de la lumière dans le régime hautement non linéaire, d'autre part sur des applications de physique attoseconde, en phase diluée ou condensée. En particulier, nous chercherons à mettre en évidence des dichroïsmes hélicoïdaux, qui se manifestent par des absorptions différentes de faisceaux portant des moments angulaires orbitaux opposés. Ces effets restent très largement ignorés à ce jour.

L'étudiant(e) acquerra une pratique de l'optique des lasers, en particulier femtoseconde, et des techniques de spectrométrie de particules chargées. Il (elle) étudiera également les processus de physique des champs forts sur lesquels se basent la génération d'harmonique élevées. Il/elle deviendra un(e) experte de la physique attoseconde. L'acquisition de techniques d'analyse approfondie, d'interfaçage d'expérience seront encouragées même si non indispensables.

Sujet complet à <http://iramis.cea.fr/LIDYL/Pisp/thierry.ruchon/>

## Résumé en anglais

Light in the extreme ultraviolet (XUV) is a universal probe of matter, may it be in diluted or condensed phase: photons associated with this spectral range carry energy of 10 to 100 eV, sufficient to directly ionize atoms, molecules or solids. Large scale instruments such as synchrotrons or the lately developed free electron lasers (FEL) work in this spectral range and are used to both study fundamental light matter interaction and develop diagnosis tools. However these instruments do not offer the temporal resolution require to study light matter interactions at their ultimate timescales, which is in the attosecond range ( $1\text{as} = 10^{-18}\text{s}$ ). An alternative is offered by the recent development of XUV sources based on high order harmonic generation (HHG). They are based on the extremely nonlinear



interaction of a femtosecond intense laser beam with a gas target. Our laboratory has pioneered the development, control and design of these sources providing XUV attosecond pulses.

During this PhD project, we will develop specific setups to allow these attosecond pulse to carry angular momenta, may it be spin or orbital angular momenta. This will open new applications roads through the observations of currently ignored spectroscopic signatures. On the one hand, the fundamental aspects of the coupling of spin and orbital angular momentum of light in the highly nonlinear regime will be investigated, and on the other hand, we will tack attosecond novel spectroscopies, may it be in diluted or condensed phase. In particular, we will chase helical dichroism, which manifest as different absorptions of beams carrying opposite orbital angular moments. These effects are largely ignored to date.

The student will acquire practical knowledge about lasers, in particular femtosecond lasers, and hands on spectrometric techniques of charged particles. He/she will also study strong field physical processes which form the basis for high harmonic generation. He/she will become an expert in attosecond physics. The acquisition of analysis skills, computer controlled experiments skills will be encouraged although not required.

Full subject at <http://iramis.cea.fr/LIDYL/Pisp/thierry.ruchon/>