



## Photo-ionisation de gaz atomiques/moléculaires par impulsions attosecondes

**Spécialité** Interaction laser-matière

**Niveau d'étude** Bac+5

**Formation** Master 2

**Unité d'accueil** [LIDYL/ATTO](#)

**Candidature avant le** 01-03-2018

**Durée** 4 mois

**Poursuite possible en thèse** oui

**Contact** [SALIERES Pascal](#)

+33 1 69 08 63 39

[pascal.salieres@cea.fr](mailto:pascal.salieres@cea.fr)

### Résumé

A l'aide d'impulsions attosecondes produites avec un laser Titane:Saphir intense (FAB1 d'Attolab), l'étudiant(e) étudiera la dynamique d'ionisation de gaz atomiques et moléculaires près des résonances. L'objectif est de mesurer en temps réel l'éjection du paquet d'onde électronique et de 'voir' comment se construit le profil de ces résonances.

### Sujet détaillé

Ces dernières années, la génération d'impulsions sub-femtosecondes, dites attosecondes ( $1 \text{ as} = 10^{-18} \text{ s}$ ), a connu des progrès spectaculaires. Ces impulsions ultrabrèves ouvrent de nouvelles perspectives d'exploration de la matière à une échelle de temps jusqu'alors inaccessible. Leur génération repose sur la forte interaction non linéaire d'impulsions laser infrarouges (IR) brèves ( $\sim 20$  femtosecondes) et intenses avec des gaz atomiques ou moléculaires. On produit ainsi les harmoniques d'ordre élevé de la fréquence fondamentale, sur une large gamme spectrale (160-10 nm) couvrant l'extrême ultraviolet (UVX). Dans le domaine temporel, ce rayonnement cohérent se présente comme un train d'impulsions d'une durée de  $\sim 100$  attosecondes [1].

Avec ces impulsions attosecondes, il devient possible d'étudier les dynamiques les plus rapides dans la matière, celles associées aux électrons, qui se déroulent naturellement à cette échelle de temps. La spectroscopie attoseconde permet ainsi l'étude de processus fondamentaux tels que la photo-ionisation et s'intéresse à la question : combien de temps faut-il pour arracher un électron à un atome ou une molécule ? Plus précisément : combien de temps faut-il à un paquet d'onde électronique produit par absorption d'une impulsion attoseconde pour sortir du potentiel atomique/moléculaire ? La mesure de ces délais d'ionisation est actuellement un sujet « chaud » dans la communauté scientifique. En particulier, l'étude de la dynamique d'ionisation près des résonances permettrait d'accéder à des informations très fines sur la structure atomique/moléculaire, telles que les réarrangements électroniques dans l'ion suite à l'éjection d'un électron. Nous nous sommes récemment intéressés à l'ionisation près d'une résonance d'auto-ionisation dite « de Fano ». Nous avons montré par ionisation à 2 photons UVX+IR qu'il était possible de « voir » en temps réel la construction du profil de la résonance [2]. L'objectif du stage est de généraliser cette technique pour étudier d'autres types de résonances atomiques et moléculaires, telles que les résonances de forme. Seront également étudiées les possibilités de contrôle de la photo-ionisation résonante en jouant sur l'intensité du champ

---

laser IR superposé à l'impulsion attoseconde.

Le travail expérimental comprendra la mise en oeuvre d'un dispositif, installé sur le laser FAB1 d'Attolab, permettant :  
i) la génération d'impulsions attosecondes ; ii) sa caractérisation par interférométrie quantique ; iii) son utilisation en spectroscopie de photoionisation (détection d'électrons). Les aspects théoriques pourront également être abordés. L'étudiant(e) sera formé(e) en optique ultrarapide, physique atomique et moléculaire, et acquerra une bonne maîtrise de la spectroscopie de particules chargées. La poursuite en thèse est souhaitée.

Références :

[1] Y. Mairesse, et al., Science 302, 1540 (2003)

[2] V. Gruson, et al., Science 354, 734 (2016)

### **Mots clés**

Laser femtoseconde, impulsions attosecondes, photo-ionisation, gaz atomiques/moléculaires, résonance

### **Compétences**

Laser femtoseconde intense, jet de gaz atomiques/moléculaires, techniques du vide, interférométrie, spectrométrie de photons UVX, spectrométrie d'électrons

### **Logiciels**

Labview, python

---

## Photo-ionization of atomic/molecular gases using attosecond pulses

### Summary

Using the attosecond pulses produced with an intense Titanium:Sapphire laser (FAB1 of Attolab), the student will investigate the ionization dynamics of atomic and molecular gases close to resonances. The objective is to measure in real time the ejection of the electronic wavepacket and to 'see' the buildup of the resonance profile.

### Full description

Recently, the generation of sub-femtosecond pulses, so-called attosecond pulses ( $1 \text{ as} = 10^{-18} \text{ s}$ ), has made impressive progress. These ultrashort pulses open new perspectives for the exploration of matter at unprecedented timescale. Their generation result from the strong nonlinear interaction of short intense laser pulses ( $\sim 20$  femtoseconds) with atomic or molecular gases. High order harmonics of the fundamental frequency are produced, covering a large spectral bandwidth in the extreme ultraviolet (XUV) range. In the temporal domain, this coherent radiation forms a train of 100 attosecond pulses [1].

With such attosecond pulses, it becomes possible to investigate the fastest dynamics in matter, i.e., electronic dynamics that occur naturally on this timescale. Attosecond spectroscopy thus allows studying fundamental processes such as photo-ionization, in order to answer questions such as: how long does it take to remove one electron from an atom or a molecule? More precisely: how long does it take for an electron wavepacket produced by absorption of an attosecond pulse to exit the atomic/molecular potential? The measurement of such tiny ionization delays is currently a "hot topic" in the scientific community. In particular, the study of the ionization dynamics close to resonances would give access to detailed information on the atomic/molecular structure, such as the electronic rearrangements in the remaining ion upon electron ejection. Recently, we have studied an auto-ionizing resonance, so-called "Fano resonance". We have shown through 2-photon XUV+IR ionization that it is possible to observe in real time the buildup of the resonance profile [2]. The objective of the training period is to generalize the technique to the study of other types of atomic/molecular resonances, such as shape resonances. Further studies will be devoted to the possibility of controlling resonance ionization by playing on the intensity of the IR laser field superposed on the attosecond pulse.

The experimental work will include the operation of a setup installed in the FAB1 laser of Attolab allowing: i) the generation of attosecond XUV radiation, ii) its characterization using quantum interferometry, iii) its use in photo-ionization spectroscopy (electron detection). The theoretical aspects could also be developed. The student will be trained in ultrafast optics, atomic and molecular physics, and will acquire a good mastery of charged particle spectrometry. The continuation on a PhD project is advised.

### References :

- [1] Y. Mairesse, et al., Science 302, 1540 (2003)
- [2] V. Gruson, et al., Science 354, 734 (2016)

### Keywords

Femtosecond laser, attosecond pulses, photo-ionization, atomic/molecular gases, resonance

### Skills

Intense femtosecond laser, atomic/molecular gas jets, vacuum technology, interferometry, spectrometry of XUV photons, electron spectrometry

### Softwares

---

Labview, python