

## Invitation à la soutenance de thèse

# MÉTROLOGIE DE CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES PAR SPECTROSCOPIE DE DÉPLÉTION DE PIÈGE AVEC DES ATOMES FROIDS DE RYDBERG

**Romain DUVERGER**

**20 décembre 2024, 14h**

ONERA de Palaiseau, 6 chemin de la Vauve aux Granges, 91120 Palaiseau,  
**Salle Marcel Pierre**

### Devant le jury composé de :

Igor DOTSENKO	Laboratoire LCAR, Université Toulouse III	Rapporteur
Shannon WHITLOCK	Laboratoire de Matière Quantique Exotique, Université de Strasbourg	Rapporteur
Fabienne GOLDFARB	Laboratoire LUMIN, Université Paris-Saclay	Examinatrice
Kevin WEATHERILL	Université de Durham	Examineur
Sylvain SCHWARTZ	Département DPHY, ONERA	Directeur de thèse
Alexis BONNIN	Département DPHY, ONERA	Encadrant

### Résumé

Les atomes de Rydberg sont des atomes portés dans un état de grand nombre quantique principal, et dont l'électron de valence orbite très loin du noyau. Cet éloignement confère aux atomes de Rydberg des propriétés hors normes par rapport aux atomes ordinaires et grâce auxquelles ils sont devenus le cœur de nombreux développements et applications de la physique quantique expérimentale moderne. En particulier, ils possèdent des transitions dans les domaines radiofréquence (RF) et terahertz (THz) avec de très grands éléments de matrice, qui les rendent extrêmement sensibles aux champs électromagnétiques dans ces domaines de fréquence. Cela a conduit, il y a une dizaine d'années, à l'émergence d'une nouvelle technologie de capteurs de champs RF et THz, dans lesquels l'amplitude du champ est mesurée en faisant la spectroscopie, avec un signal de transparence électromagnétiquement induite, du doublet Autler-Townes induit par l'interaction entre le champ et les états de Rydberg des atomes d'une vapeur chaude. De tels capteurs offrent plusieurs avantages intéressants parmi lesquels une très bonne sensibilité, une plus large gamme de fréquences accessibles, une taille indépendante de la fréquence du champ mesuré, un besoin en calibration fortement réduit, et la possibilité de mesurer l'amplitude, la phase et la polarisation. Tous ces avantages font des capteurs à base d'atomes de Rydberg de très bons candidats pour de nombreuses applications, notamment dans les domaines des télécommunications ou de la détection radar. Actuellement, ces

capteurs font l'objet d'une multitude de travaux et d'évolutions visant à améliorer leurs performances en termes de sensibilité, d'exactitude, de bande passante de mesure, ou de résolution spatiale. L'usage d'atomes froids au lieu de vapeurs proches de la température ambiante constitue pour cela une piste prometteuse, notamment en raison de leur meilleure cohérence et de leur effet Doppler fortement réduit. La présente thèse porte sur l'étude expérimentale d'une nouvelle approche pour la métrologie de champs RF avec des atomes de Rydberg froids, basée sur la spectroscopie de déplétion de piège. Elle consiste à faire interagir avec le champ RF un ensemble d'atomes de  $^{87}\text{Rb}$  refroidis et confinés dans un piège magnéto-optique, et à sonder le doublet Autler-Townes induit par le champ à l'aide d'un effet de déplétion du piège. Le mécanisme responsable des pertes est l'ionisation des atomes sous l'action du rayonnement de corps noir ambiant. Cette étude s'est appuyée sur la réalisation complète d'un dispositif expérimental permettant de mettre en œuvre la spectroscopie de déplétion. Malgré une faible bande passante de mesure, la méthode proposée ici a démontré une très bonne linéarité (écart inférieur à 2%), une sensibilité de l'ordre de  $250 (\mu\text{V}/\text{cm})/\text{Hz}^{1/2}$ , ainsi qu'une absence de dérive sur plusieurs heures d'intégration avec une résolution de l'ordre de  $5 \mu\text{V}/\text{cm}$ . Elle offre également une plus grande simplicité de mise en œuvre que d'autres approches utilisant des atomes froids, et permet, en principe, de déterminer à la fois la fréquence et l'amplitude du champ. Dans cette soutenance, nous décrirons le principe, le montage et la mise en œuvre de notre dispositif expérimental, nous présenterons les résultats des mesures effectuées grâce à lui, puis nous en analyserons les performances métrologiques, les avantages et les limites.

### Mots clés

Capteurs de champs RF, atomes froids, états de Rydberg, spectroscopie de déplétion, effet Autler-Townes