

# THÈSE DE DOCTORAT DE

LE MANS UNIVERSITÉ  
ÉCOLE DOCTORALE N° 596  
*Matière, Molécules, Matériaux*  
Spécialité : *Ondes et Matériaux*

Par  
**Ruizhe GU**

## **Ultrafast acoustic phonon and strain dynamics in ferroic materials**

Thèse présentée et soutenue à Le Mans, le 27 juin 2022  
Unité de recherche : Institut des Molécules et Matériaux du Mans, UMR CNRS 6283  
Thèse N° : 2022LEMA1010

### **Rapporteurs avant soutenance :**

Matias BARGHEER      Professeur, Universität Potsdam, Germany  
Daniel LANZILLOTTI KIMURA      Chargé de Recherche CNRS, HDR, C2N (UMR 9001), Université Paris Saclay

### **Composition du Jury :**

| Président :        | Prénom NOM     | Fonction et établissement d'exercice ( <i>à préciser après la soutenance</i> ) |
|--------------------|----------------|--|
| Examinateurs :     | Agnès HUYNH    | Maître de conférences, UPMC INSP, Sorbonne Université                          |
|                    | Vincent GARCIA | Chargé de Recherche CNRS, HDR, UMPy CNRS/Thales, Université Paris Saclay       |
| Dir. de thèse :    | Pascal RUELLO  | Professeur, IMMM (UMR CNRS 6283), Le Mans Université                           |
| Co-dir. de thèse : | Vitaly GOUSSEV | Professeur, LAUM (UMR CNRS 6613), Le Mans Université                           |

### **Invité(s) :**

Vincent JUVÉ      Chargé de Recherche CNRS, IMMM (UMR CNRS 6283), Le Mans Université

Lundi 27 juin à 14h00

Salle d'innovation pédagogique à la Bibliothèque Universitaire

<https://prn.univ-lemans.fr/bu.html>

**Titre :** Dynamique des phonons et des contraintes acoustiques ultra-rapides dans les matériaux ferroïques

**Mot clés :** Physique du solide, Optique ultra-rapide, Diffraction des rayons X résolue en temps, Couplage électron-phonon, Matériaux ferroïques, GeTe, BiFeO<sub>3</sub>

**Résumé :** Dans ce travail de thèse, il est question de l'étude de la dynamique ultra-rapide des électrons et des phonons dans les matériaux ferroïques, tels le GeTe et BiFeO<sub>3</sub>. Ces travaux expérimentaux sont réalisés en faisant appel à des techniques d'optique ultra-rapide et de diffraction des rayons X résolue en temps. Dans la première partie de ces recherches, nous avons étudié ces dynamiques dans le matériau GeTe qui est le système de référence des matériaux dit à « transition de phase » ou « mémoire optique ». Nous avons pu montrer par méthode pompe-sonde optique que lorsque le matériau cristallin GeTe était optiquement excité, les électrons « chauds » pouvaient diffuser à une distance environ sept fois plus grande que la pénétration optique du faisceau exciteur, ce qui n'a cependant pas été observé dans la phase amorphe où les électrons « chauds » restent localisés dans la zone d'absorption optique. Dans la seconde par-

tie, nous avons abordé comment il est possible de manipuler avec la lumière la structure des matériaux multiferroïques à l'échelle de la picoseconde. L'archétype est le BiFeO<sub>3</sub> qui présente à température ambiante un ordre ferroélectrique et magnétiques. Pour comprendre comment des impulsions de lumière ultra-rapide agissent sur la structure, nous avons notamment étudié la diffusion Brillouin résolue en temps qui nous a permis de mettre en évidence l'émission de phonon longitudinaux (LA) et transverse (TA) dans les couches minces de BiFeO<sub>3</sub>. Dans un second temps, afin de quantifier l'amplitude de la déformation (non accessible par Brillouin), nous avons réalisé la diffraction des rayons X résolue en temps. Nous avons ainsi pu décrire comment la maille de BiFeO<sub>3</sub> se distord et notamment, nous avons montré et quantifié les champs de déformation longitudinaux (LA) et transversaux (TA) à l'échelle de la picoseconde.

**Title:** Ultrafast acoustic phonon and strain dynamics in ferroic materials

**Keywords:** Solid state physics, Ultrafast optics, Time-resolved X-ray diffraction, Electron-phonon coupling, Ferroic materials, GeTe, BiFeO<sub>3</sub>

**Abstract:** In this thesis work, we study the ultrafast dynamics of electrons and phonons in ferroic materials, such as GeTe and BiFeO<sub>3</sub>. This experimental work is carried out using ultra-fast optics and time-resolved X-ray diffraction techniques. In the first part of this research, we studied these dynamics in the GeTe material, which is the reference system for materials known as “phase transition” or “optical memory”. We were able to show by optical pump-probe method that when the crystalline material GeTe was optically excited, the “hot” electrons could diffuse at a distance approximately seven time greater than the optical penetration of the pump beam, which was however not observed in the amorphous phase where the “hot” electrons remain localized in the optical absorption zone. In the second part, we

discussed how it is possible to manipulate with light the structure of multiferroic materials at the picosecond scale. The archetype material is BiFeO<sub>3</sub> which presents a ferroelectric and magnetic order at room temperature. To understand how ultra-fast light pulses act on the structure, we have studied time-resolved Brillouin scattering to show the richness of the phonon emitted in BiFeO<sub>3</sub> thin films with the coexistence of longitudinal and transverse modes (LA, TA). In a second step, in order to quantify the amplitude of the deformation (not accessible by Brillouin), we carried out time-resolved X-ray diffraction. We were thus able to describe how the BiFeO<sub>3</sub> lattice distorts and in particular, we showed and quantified the longitudinal (LA) and transverse (TA) deformation fields at the picosecond scale.