

# THESE DE DOCTORAT DE

NANTES UNIVERSITE

ECOLE DOCTORALE N° 596

*Matière, Molécules, Matériaux et Géosciences*

Spécialité : Physique

Par

**Julio C. GUZMAN-BRAMBILA**

## **Thermodynamic and Photoinduced Phase Transitions in the $V_2O_3$ Mott System : Strain-Driven Phenomena**

Thèse présentée et soutenue à Nantes, le 06/10/2025

Unité de recherche : Institut de Matériaux de Nantes – Jean Rouxel (IMN) – IMR 6502

### **Rapporteurs avant soutenance :**

Steven JOHNSON      Professor at the ETH Physics Department; Head of Institute of Quantum Electronics  
Andrea CAVIGLIA      Physics Professor at Geneva University; Head of the Quantum Matter Physics Department

### **Composition du Jury :**

Président :      Prénom Nom      Fonction et établissement d'exercice      (*à préciser après la soutenance*)  
Examineurs : Pascal FOURY      Professeur, LPS – Université Paris Saclay  
Anders MADSEN      Beamline Responsible, European XFEL - Hamburg, Germany

Dir. de thèse : Etienne JANOD      Directeur de Recherche CNRS, IMN - Nantes Université  
Co-dir. de thèse : Maciej LORENC      Directeur de Recherche CNRS, IPR - Université de Rennes  
Co-dir. de thèse : Céline MARIETTE      Chargée de Recherche CNRS, ESRF

### **Invité(s)**

Prénom Nom      Fonction et établissement d'exercice

**Titre :** Transitions de phase thermodynamiques et photoinduites dans le système de Mott  $V_2O_3$  : phénomènes induits par la contrainte

**Mots clés :** Matériaux Quantiques – Transition Isolant-Métal Photoinduite – Transition de Phase Structurale Ultrarapide – Phénomènes Induits par la Déformation – Déformation Spontanée

**Résumé :** Dans ce travail, nous explorons comment la lumière peut déclencher une transition isolant-métal (IMT) dans le système de Mott  $V_2O_3$ , non seulement en excitant les électrons, mais aussi en lançant des ondes de déformation acoustiques qui déforment le réseau cristallin. À l'aide d'impulsions laser sub-picoseconde et de diffraction des rayons X résolue en temps, nous montrons que la transformation photo-induite de la phase isolante antiferromagnétique monoclinique vers la phase métallique à haute symétrie se déroule en deux étapes : une onde de cisaillement rapide initie le changement de symétrie en moins de 3 ps, suivie par une compression longitudinale plus lente qui achève le collapsus volumique et déclenche la conductivité métallique.

De manière surprenante, le temps de commutation structurale dépend de l'épaisseur du film mais est indépendant de la fluence laser, ce qui exclut un mécanisme thermique par nucléation et croissance au profit d'un scénario cohérent d'onde de déformation. En combinant une analyse tensorielle des déformations avec une diffraction haute résolution, nous quantifions le paysage énergétique et les coûts élastiques associés à chaque trajectoire de transition. Les résultats révèlent que la distortion structurale n'est pas un simple sous-produit mais un moteur à part entière, capable de provoquer des transitions électroniques à des vitesses acoustiques. Cela ouvre une nouvelle voie vers des dispositifs à commutation ultrarapide et basse consommation dans les oxydes corrélés, et positionne  $V_2O_3$  comme un système modèle pour la Mottronique pilotée par la contrainte.

**Title :** titre (en anglais).....

**Keywords :** Quantum Materials – Photoinduced Insulator-to-Metal Transition – Ultrafast Structural Phase Transition – Strain-Driven Phenomena – Spontaneous Strain

**Abstract :** In this work, we explore how light can trigger an insulator-to-metal transition (IMT) in the prototypical Mott system  $V_2O_3$ , not just by exciting electrons, but by launching acoustic strain waves that reshape the lattice. Using sub-ps laser pulses and time-resolved X-ray diffraction, we show that the photoinduced transformation from the monoclinic antiferromagnetic insulating phase to the high-symmetry metallic phase unfolds in two steps: a fast shear wave initiates the symmetry change within 3 ps, followed by a slower longitudinal compression that completes the volume collapse and unlocks metallic conductivity.

Surprisingly, the structural switching time scales with film thickness but is independent of laser fluence, ruling out thermally driven nucleation and pointing instead to a coherent strain-wave mechanism. By combining tensorial strain analysis with high-resolution diffraction, we quantify the energy landscape and elastic costs of each phase transition pathway. The results reveal that structural strain is not just a byproduct but a driving force, capable of inducing electronic transitions at acoustic speeds. This opens a new route to ultrafast energy switching in correlated positions  $V_2O_3$  as a model system for engineered Mottronics.