



PhD Position: Bridging Ultrafast and Environmental Electron Microscopy to Resolve Charge-Lattice Dynamics

PhD project description and objectives.

The primary goal of this thesis is to develop innovative methodology that bridges Ultrafast Transmission Electron Microscopy (UTEM) and environmental TEM using *in situ* gas-heating holders. Once realized, this cutting-edge experimental method will provide unprecedented access to nanoscale chemical dynamics in energy materials, specifically targeting processes like photocatalytic hydrogen production or CO₂ conversion.

Energy conversion within nanoscale chemical systems is a highly dynamic cascade of events at very different time scales. A reaction begins with ultrafast charge transfer (picoseconds), evolves through transient redox events (microseconds to milliseconds), and ultimately results in the macroscopic atomic restructuring of the material (minutes to hours).

The core motivation of this project is to bridge these well-separated time scales by triggering dynamic reactions using photons and chemical potential gradients. By doing so, we aim to uncover the coupled mechanisms of charge and lattice dynamics. Using reducible oxides (such as TiO₂ and CeO₂) and metal–oxide interfaces as model systems, we will investigate how the fundamental movement of an electron directly drives physical distortion and the eventual restructuring of the atomic lattice. The different stages of the project are described below.

1. **Resolve ultrafast charge-lattice coupling (ps to μ s):** Investigate photoinduced charge transfer at metal-oxide interfaces using nanosecond laser pulses and stroboscopic imaging and diffraction method to directly measure transient lattice distortions and phonon excitations.
2. **Capture intermediate transient redox events (μ s to ms):** Use high speed electron imaging and spectroscopy to map short-lived phenomena such as transient oxygen vacancy ordering, valence state shifts, and chemical strain at the sub-nanometer scale.
3. **Monitor the kinetic and the intermediate states of the structural transformation (ms to hours):** Utilize *in situ* gas-heating TEM under reactive environments (H₂, CO₂, O₂) to track structural modifications like surface reconstructions, phase transitions, and the formation of Magnéli phases from reducible oxides.

Scientific environment and work context

The project heavily leverages state-of-the-art capabilities across multiple electron microscopy equipment. The candidate will operate last generation electron microscopes, including the Grand ARM2 for *in situ* environmental studies and the JEOL 2100 UTEM for ultrafast time-resolved imaging. To succeed in this highly technical environment, candidates are expected to have an educational background in Physics, Materials Science, or Physical Chemistry. Furthermore, previous hands-on experience in electron microscopy and advanced materials characterization is strongly appreciated.

Throughout 3-year program, the candidate will acquire a robust, high-level scientific skill set. This includes developing systematic experimental methods, mastering the independent operation of cutting-edge instruments like the UTEM and Grand ARM2, and gaining a deep understanding of advanced materials characterization. Additionally, the candidate will explore and develop Machine Learning (ML) techniques to assist in the interpretation of complex, multidimensional datasets. As a culmination of this rigorous training, the candidate is explicitly expected to present their findings through high-impact scientific dissemination, resulting in several peer-reviewed publications and international conference presentations.

The candidate is expected to start the position in October 2026. To apply to this offer, please send a cover letter, a CV, and the reference contact of the previous supervisor(s) he/she worked with to:

Aram Yoon: aram.yoon@ipcms.unistra.fr

Ovidiu Ersen : ovidiu.ersen@ipcms.unistra.fr



Offre de thèse : Couplage de la microscopie électronique ultrarapide et environnementale pour résoudre la dynamique charge-réseau

Sujet et objectifs de la thèse.

L'objectif principal de cette thèse est de développer et de valider une méthodologie innovante qui relie la microscopie électronique en transmission ultrarapide (UTEM) et la MET environnementale à l'aide de porte-échantillons *in situ* chauffants et sous gaz. Une fois réalisée, cette méthode expérimentale de pointe offrira un accès sans précédent à la dynamique chimique à l'échelle nanométrique dans les matériaux pour l'énergie, en ciblant spécifiquement des processus tels que la production photo-catalytique d'hydrogène ou la conversion du CO₂.

La conversion d'énergie au sein des systèmes chimiques à l'échelle nanométrique est une cascade d'événements hautement dynamiques. Une réaction commence par un transfert de charge ultrarapide (picosecondes), évolue à travers des événements d'oxydoréduction transitoires (microsecondes à millisecondes) et aboutit finalement à la restructuration atomique macroscopique du matériau (minutes à heures).

La motivation principale de ce projet est de relier ces échelles de temps bien distinctes en déclenchant des réactions dynamiques à l'aide de photons et de gradients de potentiel chimique. Ce faisant, nous visons à découvrir les mécanismes couplés de la dynamique de la charge et du réseau. En utilisant des oxydes réductibles (tels que TiO₂ et CeO₂) et des interfaces métal-oxyde comme systèmes modèles, nous étudierons comment le mouvement fondamental d'un électron entraîne directement la distorsion physique et la restructuration éventuelle du réseau atomique. Les différentes étapes du projet sont décrites ci-dessous :

1. **Résoudre le couplage charge-réseau ultrarapide (ps à μ s) :** Étudier le transfert de charge photo-induit aux interfaces métal-oxyde en utilisant des impulsions laser nanosecondes et des méthodes stroboscopiques d'imagerie et de diffraction pour mesurer directement les distorsions transitoires du réseau et les excitations de phonons.
2. **Capturer les événements d'oxydoréduction transitoires intermédiaires (μ s à ms) :** Utiliser l'imagerie électronique et la spectroscopie à grande vitesse pour cartographier à l'échelle sub-nanométrique des phénomènes éphémères tels que la mise en ordre transitoire des lacunes d'oxygène, les décalages d'état de valence et la contrainte chimique.
3. **Suivre la cinétique et les états intermédiaires de la transformation structurale (ms à heures) :** Utiliser la MET *in situ* sous gaz et en température dans des environnements réactifs (H₂, CO₂, O₂) pour suivre les modifications structurales telles que les reconstructions de surface, les transitions de phase et la formation de phases de Magnéli à partir d'oxydes réductibles.

Environnement scientifique et contexte de travail

Le projet s'appuie sur des équipements de pointe, notamment le Grand ARM2 pour les études environnementales *in situ* et le JEOL 2100 UTEM pour l'imagerie ultrarapide. Les candidats doivent posséder une formation en physique, science des matériaux ou chimie physique. Une expérience pratique en microscopie électronique et caractérisation avancée est un atout majeur.

Durant ces 3 ans, le candidat acquerra de solides compétences : conception de plans expérimentaux, maîtrise d'instruments de pointe (UTEM, Grand ARM2), et caractérisation avancée. Il explorera également le Machine Learning pour l'interprétation de données multidimensionnelles complexes. Enfin, le candidat devra valoriser ses résultats à travers plusieurs publications à comité de lecture et présentations en conférences internationales.

Le candidat devra débiter la thèse en octobre 2026. Pour postuler à cette offre, veuillez envoyer une lettre de motivation, un CV et les coordonnées de référence du ou des superviseurs précédents avec le(s)quel(s) vous avez travaillé à :

Aram Yoon: aram.yoon@ipcms.unistra.fr

Ovidiu Ersen : ovidiu.ersen@ipcms.unistra.fr