



## Traitement d'image embarqué pour la qualité de l'air

**Spécialité** Réseaux de neurones

**Niveau d'étude** Bac+5

**Formation** Master 2

**Unité d'accueil** [SPEC/LETS](#)

**Candidature avant le** 02/06/2024

**Durée** 6 mois

**Poursuite possible en thèse** oui

**Contact** [THEVENIN Mathieu](#)  
+33 1 69 08 58 87  
[mathieu.thevenin@cea.fr](mailto:mathieu.thevenin@cea.fr)

### Résumé

Pour détecter des polluants dans l'air, nous développons des dispositifs compacts qui sondent la réactivité chimique des polluants gazeux grâce à des microbilles colorées. Afin de détecter si ces microbilles sont entrées en contact avec un polluant, il est nécessaire d'analyser leur colorimétrie par microscopie optique embarquée ou analyse spectrale. Nous souhaitons développer une version facilement déployable de cet équipement.

### Sujet détaillé

Contexte :

Pour détecter des polluants dans l'air, nous développons des dispositifs compacts qui sondent la réactivité chimique des polluants gazeux grâce à des microbilles colorées [Mugherli et al., Lab-on-a-Chip 2020 ; Guittet et al., Journal of Sol-gel Science and Technology 2023].

Objectif principal :

Ce projet vise à améliorer des dispositifs de mesure et à les valider, en lien avec un chercheur post-doctorant. Nous avons mis au point une électronique embarquée associée à un logiciel firmware à base d'IA qui permet d'analyser en continu et en temps réel les microbilles colorées. Nous souhaitons améliorer la technique en explorant différentes approches de classification IA, ainsi qu'en ajoutant des fonctionnalités temps réel supplémentaires (flux vidéo en streaming, apprentissage non supervisé etc.).

Missions principales :

- (i) Comparatif de différentes techniques d'apprentissage
- (ii) Interface utilisateur en temps réel (vidéo et traitement d'image)
- (iii) Optionnel, miniaturisation de la carte électronique
- (iv) Test de nouvelles approches de capture des microbilles

Qualités recherchées & à développer :

Aptitudes R&D Python, C++, linux

---

Aptitudes Pro Autonomie, Efficacité, Créativité, Communication, Rédaction  
Intérêts Systèmes embarqués, Environnement, Qualité de l'air

**Mots clés**

Informatique embarquée, réseau de neurones, traitement d'image en temps réel

**Compétences**

C/C++ ; Python ; Linux embarqué Raspberry pi STM32

**Logiciels**

C/C++ ; Python

---

## Embedded Image processing for environmental analysis

### Summary

To detect pollutants in the air, we are developing compact devices that probe the chemical reactivity of gaseous pollutants using coloured microbeads. In order to detect whether these microbeads have come into contact with a pollutant, their colorimetry needs to be analysed using on-board optical microcoscopy or spectral analysis. We want to develop a version of this equipment that could be easily deployed.

### Full description

#### Background:

To detect pollutants in the air, we are developing compact devices that probe the chemical reactivity of gaseous pollutants using colored microbeads [Mugherli et al., Lab-on-a-Chip 2020; Guittet et al., Journal of Sol-gel Science and Technology 2023].

#### Main objective:

This project aims to improve and validate measurement devices, in conjunction with a post-doctoral researcher. We have developed on-board electronics combined with AI-based firmware software for continuous, real-time analysis of colored microbeads. We aim to improve the technique by exploring different AI classification approaches, as well as adding additional real-time functionalities (streaming video, unsupervised learning, etc.).

#### Main tasks:

- (i) Comparison of different learning techniques
- (ii) Real-time user interface (video and image processing)
- (iii) Optional miniaturization of the electronic board
- (iv) Testing new approaches to microbead capture

#### Qualities sought & to be developed :

R&D skills Python, C++, linux

Professional skills Autonomy, Efficiency, Creativity, Communication, Writing

Interests Embedded systems, Environment, Air quality

### Keywords

Embedded software, neural network, real-time image processing

### Skills

C/C++ ; Python ; Linux; Raspberry pi; STM32

### Softwares

C/C++ ; Python



## Dispositifs de mesure pour la qualité de l'air

**Spécialité** CHIMIE

**Niveau d'étude** Bac+5

**Formation** Master 2

**Unité d'accueil** [NIMBE/LEDNA](#)

**Candidature avant le** 31/05/2024

**Durée** 6 mois

**Poursuite possible en thèse** oui

**Contact** [MUGHERLI Laurent](#)

+33 1 69 08 94 27

[laurent.mugherli@cea.fr](mailto:laurent.mugherli@cea.fr)

### Résumé

Pour détecter des polluants dans l'air, nous développons des dispositifs de mesure compacts, performants et légers. Ces dispositifs sondent la réactivité chimique des polluants gazeux grâce à des microbilles colorées [voir : Mugherli et al., Lab-on-a-Chip 2020 ; Guittet et al., Journal of Sol-gel Science and Technology 2023].

### Sujet détaillé

Contexte :

Pour détecter des polluants dans l'air, nous développons des dispositifs de mesure compacts, performants et légers. Ces dispositifs sondent la réactivité chimique des polluants gazeux grâce à des microbilles colorées [Mugherli et al., Lab-on-a-Chip 2020 ; Guittet et al., Journal of Sol-gel Science and Technology 2023].

Objectif principal :

Ce projet vise à fabriquer des dispositifs de mesure et à les valider, en lien avec un chercheur post-doctorant.

Missions principales :

Trois actions principales seront à conduire :

- (i) Fabriquer des matériaux
- (ii) Fabriquer des dispositifs de mesures intégrant ces matériaux.
- (iii) Evaluer ces dispositifs en présence de polluants, notamment sur banc.

### Mots clés

Capteurs, Détection optique, Environnement, Qualité de l'air

### Compétences

---

Aptitudes R&D : Chimie, Impression 3D, Optique, Spectroscopie Aptitudes Professionnelles : Autonomie, Efficacité, Créativité, Communication, Rédaction Intérêts : Environnement, Qualité de l'air

## **Logiciels**

---

## Dispositifs de mesure pour la qualité de l'air

### Summary

To detect pollutants in the air, we are developing compact, high-performance, lightweight measuring devices. These devices probe the chemical reactivity of gaseous pollutants using colored microbeads [see: Mugherli et al, Lab-on-a-Chip 2020; Guittet et al, Journal of Sol-gel Science and Technology 2023].

### Full description

Context :

To detect pollutants in the air, we are developing compact, high-performance, lightweight measuring devices. These devices probe the chemical reactivity of gaseous pollutants using colored microbeads [Mugherli et al., Lab-on-a-Chip 2020; Guittet et al., Journal of Sol-gel Science and Technology 2023].

Main objective:

This project aims to fabricate measurement devices and validate them, in conjunction with a post-doctoral researcher.

Main tasks:

Three main actions will be carried out:

- (i) Manufacture materials
- (ii) Manufacture measurement devices incorporating these materials.
- (iii) Evaluate these devices in the presence of pollutants, notably on a bench.

### Keywords

Sensors, Optical detection, Environment, Air quality

### Skills

R&D skills: Chemistry, 3D Printing, Optics, Spectroscopy Professional skills: Autonomy, Efficiency, Creativity, Communication, Writing Interests: Environment, Air quality

### Softwares



## Matériaux formatés pour la qualité de l'air

**Spécialité** CHIMIE

**Niveau d'étude** Bac+5

**Formation** Master 2

**Unité d'accueil** [NIMBE/LEDNA](#)

**Candidature avant le** 31/05/2024

**Durée** 6 mois

**Poursuite possible en thèse** oui

**Contact** [MUGHERLI Laurent](#)

+33 1 69 08 94 27

[laurent.mugherli@cea.fr](mailto:laurent.mugherli@cea.fr)

### Résumé

Pour détecter des polluants dans l'air, nous développons des dispositifs de mesure compacts, performants et légers. Ces dispositifs sondent la réactivité chimique des polluants gazeux grâce à des microbilles colorées [Voir : Mugherli et al., Lab-on-a-Chip 2020 ; Guittet et al., Journal of Sol-gel Science and Technology 2023].

### Sujet détaillé

Contexte :

Pour détecter des polluants dans l'air, nous développons des dispositifs de mesure compacts, performants et légers. Ces dispositifs sondent la réactivité chimique des polluants gazeux grâce à des microbilles colorées [voir : Mugherli et al., Lab-on-a-Chip 2020 ; Guittet et al., Journal of Sol-gel Science and Technology 2023].

Objectif principal :

Ce projet vise à fabriquer des matériaux de différents formats, et notamment avec des procédés microfluidiques. Les actions seront réalisées en lien avec un doctorant.

Missions principales :

Deux actions principales seront à conduire :

- (i) Fabriquer des matériaux par procédé Sol-Gel.
- (ii) Caractériser la structure et la fonction de ces matériaux.

### Mots clés

Matériaux, Détection optique, Environnement, Qualité de l'air

### Compétences

---

Aptitudes R&D : Chimie, Microfluidique, Optique Aptitudes professionnelles : Autonomie, Efficacité, Créativité, Communication, Rédaction Intérêts : Environnement, Qualité de l'air

**Logiciels**

---

## Summary

To detect pollutants in the air, we develop compact, high-performance, lightweight measuring devices. These devices probe the chemical reactivity of gaseous pollutants using colored microbeads [See : Mugherli et al, Lab-on-a-Chip 2020; Guittet et al, Journal of Sol-gel Science and Technology 2023].

## Full description

Context :

To detect pollutants in the air, we are developing compact, high-performance, lightweight measuring devices. These devices probe the chemical reactivity of gaseous pollutants using colored microbeads [see: Mugherli et al, Lab-on-a-Chip 2020; Guittet et al, Journal of Sol-gel Science and Technology 2023].

Main objective:

This project aims to fabricate materials of various formats, and in particular with microfluidic processes. Actions will be carried out in conjunction with a PhD student.

Main tasks:

Two main actions will be carried out:

- (i) Fabricate materials using Sol-Gel processes.
- (ii) Characterize the structure and function of these materials.

## Keywords

Materials, Optical detection, Environment, Air quality

## Skills

R&D skills: Chemistry, Microfluidics, Optics Professional skills: Autonomy, Efficiency, Creativity, Communication, Writing Interests: Environment, Air quality

## Softwares



## Matériaux colorés pour la qualité de l'air

**Spécialité** CHIMIE

**Niveau d'étude** Bac+5

**Formation** Master 2

**Unité d'accueil** [NIMBE/LEDNA](#)

**Candidature avant le** 31/05/2024

**Durée** 6 mois

**Poursuite possible en thèse** oui

**Contact** [MUGHERLI Laurent](#)  
+33 1 69 08 94 27  
[laurent.mugherli@cea.fr](mailto:laurent.mugherli@cea.fr)

### Résumé

Pour détecter des polluants dans l'air, nous développons des dispositifs de mesure compacts, performants et légers. Ces dispositifs sondent la réactivité chimique des polluants gazeux grâce à des microbilles colorées [Voir : Mugherli et al., Lab-on-a-Chip 2020 ; Guittet et al., Journal of Sol-gel Science and Technology 2023].

### Sujet détaillé

Contexte :

Pour détecter des polluants dans l'air, nous développons des dispositifs de mesure compacts, performants et légers. Ces dispositifs sondent la réactivité chimique des polluants gazeux grâce à des microbilles colorées [Voir : Mugherli et al., Lab-on-a-Chip 2020 ; Guittet et al., Journal of Sol-gel Science and Technology 2023].

Objectif principal :

Ce projet vise à fabriquer des matériaux de différentes couleurs, et à évaluer leurs capacités de détection.

Missions principales :

Deux actions principales seront à conduire au cours du stage :

- (i) Fabriquer des matériaux par procédé Sol-Gel.
- (ii) Evaluer la réactivité de ces matériaux vis-à-vis de polluants.

### Mots clés

Matériaux, Physico-chimie, Environnement, Qualité de l'air

### Compétences

Aptitudes R&D : Chimie, Physico-chimie, Optique, Spectroscopie Aptitudes professionnelles : Autonomie, Efficacité,

---

Créativité, Communication, Rédaction Intérêts : Environnement, Qualité de l'air.

**Logiciels**

---

## Colored materials for air quality

### Summary

To detect pollutants in the air, we are developing compact, high-performance, lightweight measuring devices. These devices probe the chemical reactivity of gaseous pollutants using colored microbeads See: [Mugherli et al., Lab-on-a-Chip 2020; Guittet et al., Journal of Sol-gel Science and Technology 2023].

### Full description

Background :

To detect pollutants in the air, we are developing compact, high-performance, lightweight measuring devices. These devices probe the chemical reactivity of gaseous pollutants using colored microbeads [See: Mugherli et al., Lab-on-a-Chip 2020; Guittet et al., Journal of Sol-gel Science and Technology 2023].

Main objective :

The aim of this project is to manufacture materials in different colors, and to evaluate their detection capabilities.

Main tasks :

Two main actions will be carried out during the internship:

- (i) Manufacture materials using the Sol-Gel process.
- (ii) Evaluate the reactivity of these materials towards pollutants.

### Keywords

Materials, Physical chemistry, Environment, Air quality

### Skills

R&D skills: Chemistry, Physical chemistry, Optics, Spectroscopy Professional skills: Autonomy, Efficiency, Creativity, Communication, Interests: Environment, Air quality.

### Softwares



## Preuve de concept du dosage in operando de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> par photolyse éclair

**Spécialité** Interaction laser-matière

**Niveau d'étude** Bac+5

**Formation** Master 2

**Unité d'accueil** [LIDYL/DICO](#)

**Candidature avant le** 06/05/2024

**Durée** 5 mois

**Poursuite possible en thèse** oui

**Contact** [BALDACCHINO Gérard](#)

+33 1 69 08 57 02

[gerard.baldacchino@cea.fr](mailto:gerard.baldacchino@cea.fr)

### Résumé

Le stage permettra d'adapter le processus de photolyse éclair de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> à sa mesure in operando sous rayonnement ionisant. Pour la preuve de concept, il faudra déterminer le meilleur système chimique et le protocole pour analyser la teneur d'H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> formé au cours de la radiolyse de l'eau avec des ions lourds.

### Sujet détaillé

En chimie sous rayonnement, la formation de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> lors de la radiolyse de l'eau avec des faisceaux d'ions (protons, alpha, ...) est mal connue. En effet, l'analyse de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> se fait uniquement par une analyse post-mortem; c'est à dire, lorsque l'échantillon irradié est analysé au laboratoire, quelques minutes après. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> est relativement stable, mais 1/il disparaît par réaction pendant la radiolyse s'il n'est pas protégé des attaques du radical hydroxyle ou de l'électron hydraté; 2/il disparaît au contact de particules métalliques même présentes en impureté. Les mesures de formation de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sous faisceau de particule ionisante sont donc très complexes et souvent sujettes à controverse.

Comme H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a la propriété d'être facilement photolysé avec une excitation laser dans l'UVA-B en donnant 2 radicaux hydroxyle, on peut utiliser la technique de photolyse éclair nanoseconde et la réactivité d'espèces comme Br<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup> ou même O<sub>2</sub> pour mesurer la concentration de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> au cours du temps, pendant que l'échantillon est irradié (in operando) : cela constitue une expérience à 3 faisceaux.

Le stage consistera donc à utiliser l'installation laser du LIDYL/DICO dédiée à la photolyse éclair nanoseconde et de tester/comparer différents systèmes chimiques pour paramétrer au mieux une expérience qui se fera in fine sous faisceau d'ions pulsé. Avant cela, l'expérience sera simulée avec un code déterministe de manière à tenir compte du processus complexe de la radiolyse de l'eau.

### Mots clés

Physico-chimie, radiolyse de l'eau, spectroscopie ultra rapide, imulation déterministe

### Compétences

---

Photolyse laser, photolyse éclair

**Logiciels**

Office

---

## Proof of Concept of in operando H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> analysis using flash photolysis

### Summary

The internship will make it possible to adapt the process of flash photolysis of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> to its measurement in operando under ionizing radiation. For the proof of concept, it will be necessary to determine the best chemical system and the protocol to analyze the concentration of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> formed during the radiolysis of water with heavy ions.

### Full description

In radiation chemistry, the formation of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> during the radiolysis of water with ion beams (protons, alpha, etc.) is poorly understood. Indeed, the analysis of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> is only done by post-mortem analysis; meaning, when the irradiated sample is analyzed in the laboratory, a few minutes later. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> is relatively stable, but 1/it disappears by reaction during radiolysis if it is not protected from attacks by the hydroxyl radical or the hydrated electron; 2/it disappears on contact with metallic particles/surface, even those present as impurities. Measurements of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> formation under an ionizing particle beam are therefore very complex and often subject to controversy.

As H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> has the property of being easily photolyzed with laser excitation in UVA-B giving 2 hydroxyl radicals, we can use the nanosecond flash photolysis technique and the reactivity of species like Br<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup> or even O<sub>2</sub> to measure the concentration of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> over time, while the sample is being irradiated (in operando): this constitutes a 3-beam experiment.

The internship will therefore consist of using the LIDYL/DICO laser installation dedicated to nanosecond flash photolysis and testing/comparing different chemical systems to best configure an experiment which will ultimately be carried out under a pulsed ion beam. Before that, the experiment will be simulated with a deterministic code in order to take into account the complex process of water radiolysis.

### Keywords

Physico-chemistry, water radiolysis, ultra fast spectroscopy, deterministic simulation

### Skills

Laser photolysis, flash photolysis

### Softwares

Office



## Spectroscopie attoseconde de la photoémission ultrarapide des gaz et des liquides

**Spécialité** Interaction laser-matière

**Niveau d'étude** Bac+5

**Formation** Master 2

**Unité d'accueil** [LIDYL/ATTO](#)

**Candidature avant le** 24/05/2024

**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

L'objectif du stage est de produire des impulsions attosecondes à l'aide d'un nouveau laser Ytterbium de forte puissance, et de les utiliser pour étudier la dynamique ultrarapide de la photoémission des gaz et des liquides, en particulier, imager en temps réel l'éjection des paquets d'onde électronique.

### Sujet détaillé

Ces dernières années, la génération et les applications des impulsions attosecondes (1 as=10<sup>-18</sup> s) ont connu des progrès spectaculaires, récompensés par le Prix Nobel 2023 [1]. Ces impulsions ultrabrèves sont générées lors de la forte interaction non linéaire d'impulsions laser infrarouges brèves et intenses avec un jet de gaz [2]. Une nouvelle technologie laser à base d'Ytterbium émerge, qui promet des gains de puissance moyenne/cadence d'un à deux ordres de grandeur par rapport à la technologie actuelle Titane:Saphir. Ceci ouvre de nouvelles perspectives d'exploration de la matière à l'échelle de temps intrinsèque des électrons. La spectroscopie attoseconde permet ainsi d'étudier en temps réel le processus quantique de photoémission, de filmer en 3D l'éjection des paquets d'onde électronique [3,4], et d'étudier les effets de décohérence quantique dus notamment à l'intrication électron-ion.

Le travail expérimental comprendra la mise en œuvre d'un dispositif, installé sur la plateforme laser ATTOLab, permettant : i) la génération d'impulsions attosecondes à partir d'un nouveau laser Ytterbium; ii) leur caractérisation par interférométrie quantique ; iii) leur utilisation en spectroscopie de photoémission. L'étudiant-e sera formé-e en optique ultrarapide, physique atomique et moléculaire, optique quantique, et acquerra une bonne maîtrise de la spectroscopie de particules chargées. La poursuite en thèse est souhaitée.

[1] <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2023/summary/>

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

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

[4] A. Autuori, et al., Science Advances 8, eabl7594 (2022)

### Mots clés

---

attoseconde, laser intense, photoémission

**Compétences**

Spectroscopie de photons UVX Spectroscopie de particules chargées: électrons

**Logiciels**

Python, matlab

---

## Attosecond spectroscopy of ultrafast photoemission of gases and liquids

### Summary

The aim of the internship is to generate attosecond pulses using a new high-power Ytterbium laser and to use them to investigate the ultrafast photoemission dynamics of gases and liquids, in particular, to image in real time the ejection of electronic wavepackets.

### Full description

Recently, the generation and application of attosecond pulses ( $1 \text{ as} = 10^{-18} \text{ s}$ ) have made impressive progress, rewarded by this year's Nobel Prize [1]. These ultrashort pulses are generated from the strong nonlinear interaction of short intense laser pulses with gas jets [2]. A new laser technology based on Ytterbium is promising increases in average power/reprate of more than one order of magnitude as compared to the current Titanium:Sapphire technology. This opens new prospects for the exploration of matter at the electron intrinsic timescale. Attosecond spectroscopy thus allows studying in real time the quantum process of photoemission, shooting the 3D movie of electronic wavepacket ejection [3,4], and studying quantum decoherence resulting from, e.g., electron-ion entanglement.

The experimental work will include the development and operation of a setup installed on the ATTOLab laser platform allowing: i) the generation of attosecond XUV pulses from a new Ytterbium laser, ii) their characterization using quantum interferometry, iii) their use in photoemission spectroscopy. The student will be trained in ultrafast optics, atomic and molecular physics, quantum optics and will acquire a good mastery of charged particle spectrometry. The continuation on a PhD project is advised.

[1] <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2023/summary/>

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

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

[4] A. Autuori, et al., Science Advances 8, eabl7594 (2022)

### Keywords

attosecond, intense laser, photoemission

### Skills

XUV spectroscopy Charged-particle spectroscopy

### Softwares

Python, matlab



## Films minces épitaxiés d'oxynitrides multiferroïques multifonctionnels

**Spécialité** Physique de la matière condensée

**Niveau d'étude** Bac+5

**Formation** Master 2

**Unité d'accueil** [SPEC/LNO](#)

**Candidature avant le** 01/05/2024

**Durée** 5 mois

**Poursuite possible en thèse** oui

**Contact** [BARBIER Antoine](#)

+33 1 69 08 39 23

[antoine.barbier@cea.fr](mailto:antoine.barbier@cea.fr)

### Résumé

L'objectif de ce stage est d'élaborer des couches minces épitaxiées multiferroïques d'oxynitrides ferrite/pérovskite ( $\text{CoFe}_2(\text{OxN}_{1-x})_4/\text{N}:\text{BaTiO}_3$ ) par épitaxie par jets moléculaires assistée de plasmas azote et oxygène atomiques : un nouveau matériau magnéto-électrique hybride. On procédera par dopage de films minces dont les conditions de croissance sont déjà maîtrisées au laboratoire CEA/SPEC. On étudiera la structure cristalline ainsi que les propriétés ferroélectriques et magnétiques.

### Sujet détaillé

La transition énergétique et les technologies de communication modernes requièrent le développement de nouveaux matériaux dédiés, en particulier, à la production d'énergie propre et/ou permettant des économies d'énergie et de matériaux dans les systèmes électroniques. Dans ce cadre, les oxynitrides constituent une classe de matériaux pertinents. Parmi ceux-ci, les composés hybrides ferroélectriques et ferromagnétiques sont particulièrement bien adaptés pour réaliser des capteurs multifonctionnels. On s'attend à de nouvelles propriétés de transport induites par le dopage par l'azote. La réalisation de films minces monocristallins hybrides d'oxynitrides est cependant délicate et a été peu étudiée à ce jour.

Nous allons explorer la possibilité de moduler les propriétés de couches minces magnétoélectriques laminaires de ferrites de cobalt dopés N ( $\text{CoFe}_2(\text{OxN}_{1-x})_4$ , ferrimagnétique) déposées sur du titanate de Baryum dopé azote (N: $\text{BaTiO}_3$ , ferroélectrique) dont nous maîtrisons déjà la croissance par l'adjonction d'un plasma azote durant la croissance. On étudiera l'influence du dopage azote sur les propriétés électroniques, magnétiques et ferroélectriques en fonction de l'épaisseur des couches et des paramètres de croissance. Des données de dichroïsme magnétiques, pour certaines situations, existent déjà et seront exploitées en détail.

Autres chercheurs potentiellement impliqués : Jean-Baptiste Moussy, Pâmella Vasconcelos (DES/ISAS/DRMP/S2CM/LM2T) et Sylvia Matzen (C2N)

### Mots clés

---

Oxynitrides, épitaxie par jets moléculaires, ferroélectricité, ferrimagnétisme, synchrotron, lithographie

### **Compétences**

Le (la) candidat(e) abordera les techniques d'ultra-vide associées à la croissance par épitaxie par jets moléculaires assistée par plasma d'oxygène et azote. On utilisera la diffraction des électrons rapides (RHEED), la spectroscopie d'électrons Auger (AES), la photoémission des niveaux de coeur (XPS), la microscopie en champ proche (PFM), les mesures magnétiques (VSM), la lithographie et les mesures ferroélectriques et la diffraction des rayons X. La modélisation fine de la structure électronique sera abordée pour l'interprétation des données de spectroscopie.

### **Logiciels**

---

## Epitaxial multifunctional multiferroic oxynitride thin films

### Summary

The objective of the internship is to grow epitaxial thin multiferroic ferrite/perovskite  $(\text{CoFe}_2(\text{O}_x\text{N}_{1-x})_4/\text{N}:\text{BaTiO}_3)$  oxynitride films by oxygen and nitrogen plasma assisted molecular beam epitaxy: a potentially new magnetoelectric material. We will proceed by nitrogen doping of oxide films for which the growth conditions are already mastered in the CEA/SPEC laboratory. The crystalline structure as well as the magnetic and ferroelectric properties will be studied.

### Full description

Novel materials are required within the energy transition and modern communication technologies frameworks, in particular to produce clean energy and/or reduce electronic device consumption and overall materials usage. Within this context oxynitrides are a relevant class of materials. The magnetoelectric ones are very well suited to realize novel multifunctional sensors. Doping by charge carriers makes it possible to envisage new transport properties. The production of hybrid single crystalline thin oxynitride films is however challenging and has been little studied to date. We will explore the possibility of modulating the properties of thin laminar oxide magnetoelectric films of N doped cobalt ferrite  $(\text{CoFe}_2(\text{O}_x\text{N}_{1-x})_4)$ , ferromagnetic) deposited on nitrogen doped barium titanate  $(\text{N}:\text{BaTiO}_3)$ , ferroelectric). Their growth conditions are already mastered and we will proceed by the addition of nitrogen plasma during growth. We will study the influence of the N doping on the electronic, magnetic and ferroelectric properties with respect to film thickness and growth conditions. Already existing magnetic dichroism data, for some situations, will be investigated in details.

Other researchers potentially involved : Jean-Baptiste Moussy et Pâmella Vasconcelos (DES/ISAS/DRMP/S2CM/LM2T), Sylvia Matzen (G2N)

### Keywords

Oxynitrides, molecular beam epitaxy, ferroélectricité, ferrimagnétisme, synchrotron, lithography

### Skills

The candidate will address the UHV techniques associated with the growth by molecular beam epitaxy. The techniques that will be used are Reflexion High Energy Electron Diffraction (RHEED), Auger Electron Spectroscopy (AES), Photoemission core level spectroscopy (XPS), Piezo Force Microscopy (PFM), magnetic measurements (VSM), lithography and ferroelectric measurements and X-ray diffraction. Electronic structure modeling will be used for the interpretation of spectroscopic data.

### Softwares



## Microscopies de rayons X avancées appliquées à des photoanodes à base d'hématite

**Spécialité** Chimie-physique

**Niveau d'étude** Bac+5

**Formation** Master 2

**Unité d'accueil** [SPEC/LNO](#)

**Candidature avant le** 26/04/2024

**Durée** 6 mois

**Poursuite possible en thèse** oui

**Contact** [STANESCU Dana](#)

+33 1 69 08 75 48

[dana.stanescu@cea.fr](mailto:dana.stanescu@cea.fr)

**Autre lien**

[https://iramis.cea.fr/spec/Phocea/Vie\\_des\\_labos/Ast/ast.php?t=projets&id\\_ast=3546](https://iramis.cea.fr/spec/Phocea/Vie_des_labos/Ast/ast.php?t=projets&id_ast=3546)

### Résumé

Ce stage M2 est proposé dans le cadre d'un projet NanoSaclay visant à mesurer la quantité d'hydrogène produit par la photoélectrolyse de l'eau utilisant de photoanodes à base d'hématite et de vanadate de bismuth. La composition chimique et la structure électronique des photoanodes sera déterminées par STXM et XPEEM. Une nouvelle approche operando sera qualifiée pour des mesures STXM.

### Sujet détaillé

L'hydrogène peut être produit par l'électrolyse de l'eau dans une cellule électrochimique, mais un apport d'énergie important est nécessaire pour franchir le couple redox de l'eau (1,23 V). Une nouvelle idée inspirée par la photosynthèse est la photoélectrolyse, où la lumière du soleil est utilisée pour réduire le potentiel nécessaire pour dissocier la molécule d'eau, en H<sub>2</sub> et O<sub>2</sub>. La production d'hydrogène par photoélectrolyse est une idée très attractive car elle permet de stocker directement l'énergie solaire sous forme d'énergie chimique (liaison H-H) en utilisant une méthode propre.<sup>1,2</sup> Dans la plupart des cas, la cellule électrochimique utilisée pour la photoélectrolyse emploie un électrolyte aqueux et contient trois électrodes : un semi-conducteur de type n comme photoanode, une cathode métallique conventionnelle et une électrode de référence.

Dans le cadre du projet « H<sub>2</sub>-re.SWSquant », financé par le LABEX NanoSaclay, nous recherchons un stagiaire M2 qui aura plusieurs missions. Tout d'abord, elle/il réalisera la croissance des photoanodes à base d'hématite (α-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) et de vanadate de bismuth (BiVO<sub>4</sub>), en utilisant des méthodes chimiques en milieux aqueux<sup>3-5</sup>. Deuxièmement, l'étudiant caractérisera le photocourant produit par ces photoanodes et quantifiera la quantité d'hydrogène réellement produite lors de la réaction de photoélectrolyse. Celle-ci sera corrélée avec la composition chimique et la structure électronique des photoanodes déterminées par microscopie de rayons X : en transmission (STXM) et par microscopie de photoélectrons (XPEEM) sur la ligne de lumière HERMES du synchrotron SOLEIL. Un

---

nouveau dispositif permettant d'effectuer des mesures électrochimiques operando adapté au microscope STXM sera qualifié. Le stage se déroulera dans deux laboratoires : la croissance des photoanodes, les mesures de photocourant et d'hydrogène seront réalisées au CEA / IRAMIS / SPEC. Des expériences de microscopie (STXM, XPEEM, SEM) et de spectroscopie Raman seront réalisées au synchrotron SOLEIL. Le stage est financé par le LABEX NanoSaclay et le/la stagiaire sera rattaché administrativement au synchrotron SOLEIL. Le stage sera poursuivi par un travail de thèse dans le cadre du projet ANR OERKOP ([https://iramis.cea.fr/spec/Phocea/Vie\\_des\\_labos/Ast/ast.php?t=projets&id\\_ast=3546](https://iramis.cea.fr/spec/Phocea/Vie_des_labos/Ast/ast.php?t=projets&id_ast=3546)).

Lien SOLEIL : <https://www.synchrotron-soleil.fr/fr/emplois/stage-projet-nanosaclay>

1. Walter, M. G., Warren, E. L., McKone, J. R., Boettcher, S. W., Mi, Q., Santori, E. A. & Lewis, N. S. *Chem. Rev.* 110, 6446–6473 (2010).
2. Fujishima, A. & Honda, K. *Nature* 238, 37–38 (1972).
3. Stanescu, D., Piriyeu, M., Villard, V., Mocuta, C., Besson, A., Ihiwakrim, D., Ersen, O., Leroy, J., Chiuzbaian, S. G., Hitchcock, A. P. & Stanescu, S. *J. Mater. Chem. A* 8, 20513–20530 (2020).
4. Packiaraj, R., Devendran, P., Asath Bahadur, S. & Nallamuthu, N. *J. Mater. Sci. Mater. Electron.* 29, 13265–13276 (2018).
5. Diaz-Morales, O., Ferrus-Suspedra, D. & Koper, M. T. M. *Chem. Sci.* 7, 2639–2645 (2016).

### **Mots clés**

Electrochimie; spectroscopie de rayons X; physique de la matière condensée; Cristallographie

### **Compétences**

STXM, XPEEM, SEM, spectroscopie Raman; croissance des photoanodes par voie chimique, photovoltampérométrie, chromatographie de l'H<sub>2</sub>

### **Logiciels**

Python, Office

---

## Advanced X-ray microscopies applied to hematite-based photoanodes

### Summary

This internship is proposed in the framework of a NanoSaclay project aiming to measure the hydrogen produced by solar water splitting using hematite and bismuth vanadate based photoanodes. STXM and XPEEM are used to characterize the chemistry and chemical coordination of the photoanode materials. A new operando setup adapted to the STXM instrument will be qualified.

### Full description

Hydrogen can be produced by water splitting in an electrolysis cell, but a significant energy input is necessary to overcome the water redox couple (1.23 V). A novel idea inspired by photosynthesis, is solar water splitting, where sunlight is used to reduce the voltage bias necessary to split H<sub>2</sub>O molecule in H<sub>2</sub> and O<sub>2</sub>. Hydrogen production by solar water splitting is a very attractive idea because it allows to directly store solar energy in the H<sub>2</sub> chemical bonds using a clean method.<sup>1,2</sup> In most cases, the electrochemical cell used for solar water splitting is filled with an aqueous electrolyte and contains three electrodes: an n-type semiconductor as the photoanode, a conventional metallic cathode and a reference electrode.

In the framework of "H<sub>2</sub>-re.SWSquant" project, founded by LABEX NanoSaclay, we seek an M2 intern who will have several missions. First, she/he will grow hematite (α-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) and bismuth vanadate (BiVO<sub>4</sub>) based photoanodes, using chemical aqueous methods (hydrothermal growth and electrodeposition)<sup>3-5</sup>. Second, the student will characterize the photocurrent produced by these photoanodes and quantify the hydrogen gas actually produced during the solar water splitting reaction. This will be further correlated with the chemical composition and electronic structure of photoanodes determined by ex situ Scanning Transmission X-ray Microscopy (STXM) and X-ray PhotoEmission Electron Microscopy (XPEEM) at the HERMES beamline from SOLEIL Synchrotron. A new operando electrochemical setup dedicated to the STXM instrument will be qualified. The internship will take place at two laboratories: the photoanodes growth, photocurrent and hydrogen measurements will be realized at CEA / IRAMIS / SPEC. Microscopy (STXM, XPEEM, SEM) and Raman spectroscopy experiments will be realized at SOLEIL synchrotron. The internship is funded by LABEX NanoSaclay and the intern will be administratively attached to SOLEIL synchrotron. The internship will be followed by a PhD work proposed in the framework of the OERKOP ANR project.

([https://iramis.cea.fr/spec/Phoce/Vie\\_des\\_labos/Ast/ast.php?t=projets&id\\_ast=3546](https://iramis.cea.fr/spec/Phoce/Vie_des_labos/Ast/ast.php?t=projets&id_ast=3546)).

Link SOLEIL: <https://www.synchrotron-soleil.fr/fr/emplois/stage-projet-nanosaclay>

1. Walter, M. G., Warren, E. L., McKone, J. R., Boettcher, S. W., Mi, Q., Santori, E. A. & Lewis, N. S. *Chem. Rev.* 110, 6446–6473 (2010).
2. Fujishima, A. & Honda, K. *Nature* 238, 37–38 (1972).
3. Stanescu, D., Piriyeu, M., Villard, V., Mocuta, C., Besson, A., Ihiwakrim, D., Ersen, O., Leroy, J., Chiuzbaian, S. G., Hitchcock, A. P. & Stanescu, S. *J. Mater. Chem. A* 8, 20513–20530 (2020).
4. Packiaraj, R., Devendran, P., Asath Bahadur, S. & Nallamuthu, N. *J. Mater. Sci. Mater. Electron.* 29, 13265–13276 (2018).
5. Diaz-Morales, O., Ferrus-Suspedra, D. & Koper, M. T. M. *Chem. Sci.* 7, 2639–2645 (2016).

### Keywords

Electrochemistry; X ray spectroscopy, condensed matter physics; crystallography

### Skills

---

STXM, XPEEM, SEM, Raman spectroscopy, photoanodes elaboration by chemical growth, photo-voltammetry, H2 chromatography

**Softwares**

Python, Office



## Conversion de l'énergie thermoélectrique en nanofluides pour un capteur de chaleur solaire hybride

**Spécialité** Physique des matériaux

**Niveau d'étude** Bac+5

**Formation** Master 2

**Unité d'accueil** [SPEC/SPHYNX](#)

**Candidature avant le** 08/05/2024

**Durée** 6 mois

**Poursuite possible en thèse** oui

**Contact** [NAKAMAE Sawako](#)  
+33 1 69 08 75 38/93 07  
[sawako.nakamae@cea.fr](mailto:sawako.nakamae@cea.fr)

### Résumé

Dans le cadre du stage expérimental proposé, nous étudierons les lois fondamentales de la physique qui sous-tendent les propriétés optiques, thermiques et thermoélectriques des nanofluides. En parallèle, l'optimisation et la validation de dispositifs hybrides solaires-capteurs de démonstration seront menées afin de montrer la faisabilité de la cogénération de chaleur et d'électricité afin de montrer la faisabilité de la cogénération de chaleur et d'électricité.

### Sujet détaillé

Les matériaux thermoélectriques (TE) capables de convertir la chaleur en électricité sont considérés comme une solution possible pour récupérer la chaleur fatale provenant du flux de déchets industriels, de moteurs, d'appareils électroniques ménagers ou de la chaleur corporelle. Depuis plusieurs années, au sein du laboratoire SPHYNX nous explorons les effets thermoélectriques dans les nanofluides ioniques, où des nanoparticules chargées électriquement servent à la fois de porteurs de chaleur et d'électricité. Contrairement aux matériaux solides, plusieurs effets TE interdépendants se produisent dans ces fluides, en donnant des valeurs du coefficient thermoélectrique généralement supérieures d'un ordre de grandeur à celles des semiconducteurs solides. De plus, les liquides thermoélectriques sont constitués de matières premières abondantes, et ils font l'objet d'une attention particulière en tant que futurs matériaux TE peu coûteux et écologiques. Alors que les origines précises des phénomènes thermoélectriques dans ces fluides sont encore débattues, nos résultats expérimentaux indiquent que les natures physico-chimiques d'interface particule-liquide y jouent un rôle décisif.

L'objectif du projet est double. Premièrement, nous étudierons les mécanismes thermodynamiques sous-jacents à la production du potentiel thermoélectrique dans les nanofluides par mesures systématiques du coefficient Seebeck et le courant électrique produit. Il s'agit de la production de l'entropie de transfert d'Eastman de nanoparticules sous les gradients de concentration, de température et de potentiel électrique. Les résultats seront comparés à leurs propriétés thermo-diffusives et absorptions optiques étudiées par ailleurs dans le cadre d'actions de collaboration. Deuxièmement, le projet vise à utiliser les fluides plus prometteurs dans les capteurs hybrides solaires-thermoélectriques prototypes développés actuellement et de les optimiser pour démontrer leur capacité à cogénérer

---

de la chaleur et de l'électricité. Le projet de recherche proposé est principalement expérimental, impliquant des mesures thermoélectriques, thermiques et électrochimiques ; la mise en place d'un système d'acquisition de données automatisé et l'analyse des données obtenues. Des notions de thermodynamique, de physique des fluides et de physique de l'ingénierie (des dispositifs), ainsi que des connaissances pratiques sur la manipulation des dispositifs de laboratoire sont souhaitées. Des connaissances de base en optique et en électrochimie sont un plus mais pas obligatoires. Pour les étudiants motivés, des simulations numériques utilisant des logiciels CFD commerciaux aussi bien que les mesures d'absorption optique au laboratoire partenaire (INO/CNR, Florence, Italie) peuvent également être envisagées.

### **Mots clés**

Thermodynamique, thermoélectricité

### **Compétences**

Mesures de transport Caractérisation électrochimique Absorption/extinction optique (en option)

### **Logiciels**

LabView MatLab Origin

---

# Thermoelectric energy conversion in nanofluids for hybrid solar heat & power generator

## Summary

In proposed experimental internship, we will investigate the fundamental laws of physics behind the optical, thermal and thermoelectric properties of nanofluids. In parallel, the optimization and validation of the proof-of-concept hybrid solar-collector devices will be conducted in order to demonstrate the co-generation feasibility of heat and electricity.

## Full description

Today, much of world's consumed energy is lost to waste heat through all levels of human activity. For example, thermal loss consists 20 to 50 % of total energy consumption across different industrial sectors and as high as 60-70% in current gasoline and/or diesel powered. In such context, if even a small fraction of 'waste-heat' could be converted into more useful forms of energy (e.g., electrical, mechanical, etc.), it would result in tremendous savings to global energy consumption. Thermoelectric (TE) materials that are capable of converting heat into electricity have been considered as one possible solution to recover the low-grade waste-heat (from industrial waste-stream, motor engines, household electronic appliances or body-heat). The thermoelectric effect (the Seebeck effect) describes a material's intrinsic property to directly convert temperature difference ( $dT$ ) applied across its body into electric voltage ( $dV$ ) and vice-versa;  $dV = -S_e dT$ , where  $S_e$  is known as "the Seebeck coefficient." So far, solid semiconductor-based materials are known to possess the highest thermal-to-electrical energy conversion efficiency, which is often expressed as a function of a dimensionless parameter  $ZT$ , called "figure of merit":  $ZT = S_e^2 T / (s/k)$  where  $s$  and  $k$  are the electrical and thermal conductivities.

At SPHYNX, we explore thermoelectric effects in an entirely different class of materials, namely, complex fluids containing electrically charged nanoparticles that serve as both heat and electricity carriers. Unlike in solid materials, there are several inter-dependent TE effects taking place in liquids, resulting in  $S_e$  values that are generally an order of magnitude larger than the semiconductor counterparts. While the precise origins of high Seebeck coefficients in these fluids are still debated, such liquids are already attracting attention as future TE-materials that are low-cost and environmentally friendly. One promising example of TE liquids is found in a hybrid solar collector capable for the co-generation of heat and electricity. The goal of this internship and the subsequent PhD project is two-fold. First, we will investigate the underlying laws of thermodynamic mechanisms behind the thermoelectric potential and power generation and other associated phenomena in nanofluids. More specifically, we are interested in how the particles' Eastman entropy of transfer is produced under the influence of thermal, electrical and concentration gradients. The results will be compared to their thermos-diffusive and optical absorption properties to be obtained through research collaborations. Second, the project aims to test the promising nanofluids in the proof-of-concept hybrid solar-collector devices currently developed within the group to demonstrate the co-generation capability of heat and electricity. The hybrid device optimization is also within the project's scope. The proposed research project is primarily experimental, involving thermos-electrical, thermal and electrochemical measurements; implementation of automated data acquisition system and analysis of the resulting data obtained. The notions of thermodynamics, fluid physics and engineering (device) physics, as well as hands-on knowledge of experimental device manipulation are needed. Basic knowledge of optics and electrochemistry is a plus. For motivated students, numerical simulations using commercial CFD software, as well as the optical absorption measurements at the partner lab (LNO/CNR, Florence, Italy) can also be envisaged.

## Keywords

Thermodynamics, thermoelectricity

## Skills

---

Transport measurements Electrochemical characterization Optical absorption/extinction (optional)

**Softwares**

LabView MatLab Origin



## Synthèse par CVD de nanoparticules de diamant à façon

**Spécialité** Chimie des matériaux

**Niveau d'étude** Bac+5

**Formation** Master 2

**Unité d'accueil** [NIMBE/LEDNA](#)

**Candidature avant le** 30/04/2024

**Durée** 6 mois

**Poursuite possible en thèse** oui

**Contact** [GIRARD Hugues](#)

+33 1 69 08 47 60

[hugues.girard@cea.fr](mailto:hugues.girard@cea.fr)

### Résumé

### Sujet détaillé

Les nanoparticules de diamant possèdent des propriétés chimiques, électroniques, thermiques et optiques exceptionnelles. Ces nanoparticules sont activement étudiées pour la nanomédecine, les applications énergétiques, les technologies quantiques et les lubrifiants et composites avancés [1-3]. Pour la plupart de ces applications, la qualité cristalline du noyau de diamant est essentielle et les particules les plus étudiées sont broyées à partir de diamant en vrac. Néanmoins, ces particules présentent une grande dispersion de taille, des anisotropies de forme et des concentrations variables d'impuretés chimiques. Ces aspects affectent fortement leurs propriétés. Il est donc nécessaire de développer une méthode de synthèse pour produire des nanodiamants hautement cristallins avec un contrôle précis de leur taille, de leur morphologie et des impuretés chimiques.

Ce stage de M2 vise à développer une synthèse "bottom-up" basée sur des supports sacrificiels (billes ou fibres de silice) sur lesquels des graines de diamant nanométriques seront attachées via des interactions électrostatiques. La croissance du diamant sera réalisée par l'exposition des gabaritsensemencés à un plasma CVD assisté par micro-ondes (MPCVD). Ce dispositif de croissance est déjà utilisé au CEA NIMBE pour la synthèse de coques de diamant [4]. Les paramètres de croissance seront ajustés pour sélectionner la taille, la forme et la concentration des impuretés chimiques (azote, bore) dans les nanodiamants. Après la croissance CVD, les nanoparticules seront collectées par dissolution des supports. Leur structure cristalline, leur morphologie et leur chimie de surface seront caractérisées au CEA NIMBE par microscopie électronique à balayage (MEB), diffraction des rayons X (DRX) et spectroscopies Raman, infrarouge (FTIR) et photoélectrons (XPS). Une collaboration externe permettra d'étudier la qualité cristalline du diamant et d'identifier les défauts structurels dans les nanodiamants cultivés par CVD par microscopie électronique à transmission à haute résolution (HR-TEM).

Plusieurs types de nanodiamants seront cultivés : d'abord des particules intrinsèques (sans dopage intentionnel), puis des particules dopées au bore. Les deux types de particules seront ensuite modifiés en surface pour obtenir une

---

stabilité colloïdale dans l'eau.

Références :

- [1] N. Nunn, M. Torelli, G. McGuire, O. Shenderova, *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 21 (2017) 1-9. [2] Y. Wu, F. Jelezko, M. Plenio, T. Weil, *Angew. Chem. Int. Ed.* 55 (2016) 6586–6598.  
[3] H. Wang, Y. Cui, *Energy Applications* 1 (2019) 13-18.  
[4] A. Venerosy et al., *Diam. Relat. Mater.* 89 (2018) 122-131.

### **Mots clés**

Nanomatériaux, synthèse CVD

### **Compétences**

MPCVD, MEB, TEM, DRX, Raman, FTIR, DLS, XPS

### **Logiciels**

---

## CVD synthesis of tailored nanodiamonds

### Summary

### Full description

Diamond nanoparticles behave outstanding chemical, electronic, thermal and optical properties. Such nanoparticles are actively investigated for nanomedicine, energy applications, quantum technologies and advanced lubricants and composites [1-3]. For the major part of these applications, the crystalline quality of the diamond core is essential and the most studied particles are milled from bulk diamond. Nevertheless, these particles exhibit a wide size dispersion, shape anisotropies and variable concentrations of chemical impurities. These aspects strongly affect their properties. It is thus required to develop a synthesis method to grow highly crystalline nanodiamonds with an accurate control of their size, morphology and chemical impurities.

This M2 internship aims to develop a bottom-up synthesis based on sacrificial templates (silica beads or fibers) on which nanometric diamond seeds will be attached via electrostatic interactions. Diamond growth will be achieved by an exposure of the seeded templates to a micro-wave assisted CVD plasma (MPCVD). The growth set-up is already in use at CEA NIMBE for diamond core-shells synthesis [4]. Growth parameters will be adjusted to select the size, the shape and the concentration of chemical impurities (nitrogen, boron) in nanodiamonds. After CVD growth, nanoparticles will be collected by dissolution of the templates. Their crystalline structure, morphology and surface chemistry will be characterized at CEA NIMBE by scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffraction (XRD) and Raman, infra-red (FTIR) and photoelectrons (XPS) spectroscopies. An external collaboration will allow an investigation of the diamond crystalline quality and the identification of structural defects in CVD grown nanodiamonds by high-resolution transmission electron microscopy (HR-TEM).

Several kinds of nanodiamonds will be grown : first, intrinsic particles (without intentional doping), then boron doped particles. Both types of particles will be then surface modified to get a colloidal stability in water.

### References:

- [1] N. Nunn, M. Torelli, G. McGuire, O. Shenderova, *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 21 (2017) 1-9. [2] Y. Wu, F. Jelezko, M. Plenio, T. Weil, *Angew. Chem. Int. Ed.* 55 (2016) 6586–6598. [3] H. Wang, Y. Cui, *Energy Applications* 1 (2019) 13-18. [4] A. Venerosy et al., *Diam. Relat. Mater.* 89 (2018) 122-131.

### Keywords

Nanomaterials, CVD synthesis

### Skills

MPCVD, MEB, TEM, DRX, Raman, FTIR, DLS, XPS

### Softwares



## Développements laser pour la physique attoseconde dans les cristaux semi-conducteurs.

**Spécialité** Interaction laser-matière

**Niveau d'étude** Bac+4/5

**Formation** Master 2

**Unité d'accueil** [LIDYL/DICO](#)

**Candidature avant le** 29/05/2024

**Durée** 4 mois

**Poursuite possible en thèse** oui

**Contact** [GAUTHIER David](#)

+33 00 00 00 00 00

[david.gauthier@cea.fr](mailto:david.gauthier@cea.fr)

**Autre lien**

[https://iramis.cea.fr/LIDYL/Phocea/Vie\\_des\\_labos/Ast/ast.php?t=fait\\_marquant&id\\_ast=3549](https://iramis.cea.fr/LIDYL/Phocea/Vie_des_labos/Ast/ast.php?t=fait_marquant&id_ast=3549)

### Résumé

L'objectif du stage est de modifier et d'optimiser les propriétés d'un laser femtoseconde afin d'étendre les capacités expérimentales du laboratoire sur l'étude des dynamiques attosecondes (1 attoseconde =  $10^{-18}$  seconde) lors de l'interaction laser-matière condensée, et notamment les mécanismes fondamentaux de la génération d'harmoniques d'ordre élevé dans les cristaux semi-conducteurs.

### Sujet détaillé

Lors de l'interaction entre des impulsions laser intenses et un cristal, l'excitation des électrons de valence vers les bandes de conduction et leur accélération par le champ laser conduit à l'émission de rayonnement jusqu'à la plage spectrale de l'extrême-UV. C'est la génération d'harmoniques d'ordre élevé dans les cristaux, une extension récente du mécanisme de génération d'harmoniques d'ordre élevé dans les gaz récompensé par le Prix Nobel de Physique 2023. L'analyse de l'émission du rayonnement harmonique sert d'outil pour étudier les mécanismes fondamentaux de l'interaction lumière-matière dans les milieux condensés.

Ce stage se déroulera sur l'installation NanoLight du CEA/LIDYL, équipée notamment d'un système laser par amplification paramétrique optique (OPCPA) intense, délivrant deux types d'impulsions laser de longueurs d'ondes centrales 1800 nanomètres (nm) et 2400 nm, et de durée entre 40 et 60 femtosecondes (fs). Le stage consistera à étendre les propriétés de cet OPCPA, et plus précisément à étudier et implémenter la génération d'impulsion dans l'infrarouge à 3600 nm de longueur d'onde centrale à partir du processus non-linéaire de mélange de fréquences des impulsions à 1800 et 2400 nm. La solution retenue est la génération par différence de fréquences entre le faisceau à 1800 nm et à 1200nm, ce dernier étant obtenu par doublage de la fréquence du faisceau à 2400nm. L'impulsion résultante à 3600 nm devra être ensuite caractérisée temporellement pour vérifier qu'elle conserve une durée temporelle inférieure à 100 fs.

---

En fonction de l'avancement et de la durée du stage, les développements laser ainsi réalisés seront utilisés par le candidat pour étudier la génération d'harmoniques d'ordre élevé. Il s'agit notamment d'utiliser les impulsions à 3600 nm pour étudier l'anisotropie d'émission harmonique dans des échantillons d'arséniure de galium et de germanium [1].

Le candidat devra avoir une bonne connaissance en optique non-linéaire et en optique ultra-rapide. Le stage se fera dans l'équipe Ultrafast NanoLight du groupe DICO (2 chercheurs permanents, 3 étudiants en thèse et 1-2 post-doctorants). Le candidat interagira fortement avec les membres de l'équipe pour assurer le bon déroulement du stage.

[1] [https://iramis.cea.fr/LIDYL/Phoce/Vie\\_des\\_labos/Ast/ast.php?t=fait\\_marquant&id\\_ast=3549](https://iramis.cea.fr/LIDYL/Phoce/Vie_des_labos/Ast/ast.php?t=fait_marquant&id_ast=3549)

### **Mots clés**

Laser, Génération d'harmoniques d'ordre élevé

### **Compétences**

### **Logiciels**

---

## **Laser developments for attosecond physics in semiconducting crystals.**

### **Summary**

The objective of the internship is to modify and optimize the properties of a femtosecond laser in order to extend the laboratory's experimental capabilities on the study of attosecond ( $1 \text{ attosecond} = 10^{-18} \text{ second}$ ) dynamics during laser-matter interaction, and in particular the fundamental mechanisms of the generation of high order harmonics in semiconductor crystals.

### **Full description**

### **Keywords**

Laser, High-order harmonic generation

### **Skills**

### **Softwares**



## Incorporation de MOF dans des membranes polymères nanoporeuses pour des applications en piézoélectricité

**Spécialité** CHIMIE

**Niveau d'étude** Bac+5

**Formation** Master 2

**Unité d'accueil** [LSI/PCN](#)

**Candidature avant le** 30/05/2024

**Durée** 4 mois

**Poursuite possible en thèse** oui

**Contact** [AUBRIT Florian](#)

+33 1 69 33 45 44

[florian.aubrit@polytechnique.edu](mailto:florian.aubrit@polytechnique.edu)

### Résumé

Ce sujet de stage, propose d'étudier l'insertion de matériaux métallo-, organiques, ou "Metal-Organic Frameworks" - MOF, au sein des membranes polymères PVDF, afin de former des matériaux nanocomposites. Ce type de composites MOF/polymères piézoélectriques a déjà fait l'objet d'études dans la littérature montrant de bonnes réponses piézoélectriques. Après une étape de synthèse de ces matériaux, leurs paramètres intrinsèques seront caractérisés en ayant recours à une large gamme de techniques physico-chimiques (FTIR, spectroscopie d'absorption UV-visible, SEM), et leur réponse piézoélectrique sera mesurée de manière à associer les résultats expérimentaux avec le modèle théorique déjà établi.

### Sujet détaillé

Au cours des dernières années, le PVDF (Polyfluorure de vinylidène) a montré son grand intérêt en tant que polymère piézoélectrique. En effet, ce matériau flexible peut être utilisé comme un générateur autonome, capable de convertir l'énergie mécanique provenant des vibrations du milieu environnant (équipement industriel, vent, flux d'eau, voiture, trains, ...) en énergie électrique.

L'élaboration de nouvelles structures de piézogénérateurs polymères a marqué les recherches de cette dernière décennie [1] et la synthèse de nouveaux systèmes à base de polymères est en constant perfectionnement pour en optimiser les propriétés piézoélectriques.

Un des objectifs de notre groupe est de comprendre les paramètres régissant la piézoélectricité dans de tels polymères. En effet, la connaissance de ces systèmes nous permettrait à terme de prédire directement quelle configuration de paramètres utiliser afin d'atteindre la meilleure conversion d'énergie mécanique en énergie électrique. À cette fin, un modèle mécanique et physique a été développé pour les films commerciaux de PVDF (de 10  $\mu\text{m}$  d'épaisseur). Ce modèle prend en compte les différents paramètres intrinsèques du matériau : permittivité diélectrique, module d'Young, coefficient de Poisson, épaisseur, constante piézoélectrique.

De manière à valider ce modèle, des mesures expérimentales sont prévues sur des membranes à base de polymère.

---

Afin de contrôler les paramètres intrinsèques, nous proposons dans cette étude de modifier le polymère en le nanostructurant et en y incorporant des nano-objets afin de former des nanocomposites. Des travaux antérieurs du groupe ont déjà montré, au moyen de l'insertion de nanofils de nickel dans les matrices de PVDF, une augmentation de la réponse piézoélectrique d'un facteur 2.5 [2] et même d'un facteur 3.5 si une irradiation aux électrons est effectuée après formation du composite pour en modifier les paramètres mécaniques [3].

Dans ce projet de stage, nous proposons l'insertion de metal-organic frameworks (MOF) au sein des membranes PVDF afin de former des nanocomposites. En effet, de tels composites MOF/polymères piézoélectriques ont déjà fait l'objet d'études dans la littérature et ont montré de bonnes réponses piézoélectriques [4] [5]. Après la synthèse de ces matériaux, leurs paramètres intrinsèques seront caractérisés en ayant recours à une large gamme de techniques physico-chimiques, et leur réponse piézoélectrique sera mesurée de manière à associer les résultats expérimentaux avec le modèle théorique déjà établi.

Le/la stagiaire travaillera à la synthèse de membranes nanocomposites MOF/PVDF.

Dans un premier temps, il/elle se familiarisera avec les techniques de nanostructuration des membranes polymères (procédés d'irradiation, révélation chimique et fonctionnalisation des pores) déjà établies par le groupe.

Il/elle procèdera ensuite à l'incorporation de MOF dans les membranes en se basant sur divers procédés d'inclusion (greffages de cristaux de MOF, auto-assemblage des MOF dans la membrane, synthèse in situ). Bien que la littérature présente de nombreuses synthèses de MOF très variées, les travaux de notre groupe se sont concentrés sur le UiO-66(Zr), un MOF très étudié [7] [8]. Au cours de ce stage, le/la stagiaire se plongera dans la littérature pour en adapter les synthèses d'autres MOF pouvant présenter des propriétés d'intérêt (flexibilité, réponse piézoélectrique) en accords avec les objectifs de ce projet.

Pour chaque étape d'élaboration des membranes, le/la stagiaire devra effectuer la caractérisation des matériaux en utilisant une large gamme de techniques de caractérisation. Ces techniques pourront être des techniques de routine (FTIR, spectroscopie d'absorption UV-visible, SEM) mais également des techniques de plateforme (TEM, fluorescence). Il/elle sera instruit.e à des principes théoriques de chacune de ces techniques et recevra une formation sur les équipement d'analyse de routine (spectromètres, SEM).

En fonction de l'avancée du projet, en particulier de l'élaboration des procédés de synthèse, le/la stagiaire pourra être chargé.e de développer des technique de suivi (fonctionnalisation de marqueurs tels que des fluorophores ou des agents de contraste) afin de suivre précisément les différentes étapes de la nanostructuration du matériau.

En parallèle de ce travail expérimental sur les synthèses, des mesures de la réponse piézoélectrique des matériaux composites seront effectuées au laboratoire sur un banc d'expérience dédié. Ces résultats seront mis en regard des paramètres intrinsèques des matériaux.

#### RÉFÉRENCES :

- [1] Zhang W et al., "Challenges and progress of chemical modification in piezoelectric composites and their applications." *Soft Sci* 2023;3:19. <http://dx.doi.org/10.20517/ss.2022.33>
- [2] Melilli, G. et al., "Enhanced Piezoelectric Response in Nanostructured Ni/PVDF Films" *J. Mat. Sci. & Eng.* (2018) 7:2
- [3] Potrzebowska, N. et al., "Mixing nanostructured Ni/piezoPVDF composite thin films with e-beam irradiation: A beneficial synergy to piezoelectric response" *Mat. Today Com.* 28 (2021) 102528
- [4] Neetu Prajesh et al., "Flexible Piezoelectric Nanogenerators Based on One-Dimensional Neutral Coordination Network Composites", *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* 2022 10 (30), 9911-9920 DOI: 10.1021/acssuschemeng.2c02296
- [5] Sasmal, A. et al., "Two-Dimensional Metal-Organic Framework Incorporated Highly Polar PVDF for Dielectric Energy Storage and Mechanical Energy Harvesting" *Nanomaterials* 2023, 13, 1098. <https://doi.org/10.3390/nano13061098>
- [6] Cuscito, O. et al., "Nanoporous PVDF membranes with selectively functionalized pores" *NIM B* 265 (2007) 309-313
- [7] Tran My-An, "Hybrid MOF-solid-state nanopores to develop biosensors", Thesis manuscript, Institut des Matériaux Poreux de Paris, February 2022
- [8] X. Liu, «Metal-organic framework UiO-66 membranes» *Chemical Science Engineering*, vol. 14, n° 12, pp. 216-232, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11705-019-1857-5>

---

#### COMPÉTENCES ACQUISES À LA FIN DU STAGE :

- Nanostructuration de films minces polymères suivant des procédés chimiques et physico-chimiques, et caractérisation de ces matériaux (spectroscopies)
- Voies de synthèse inorganiques et, en particulier, synthèses de metal-organic frameworks (MOF)
- Compréhension des procédés d'irradiation des matériaux polymères
- Connaissance des techniques de caractérisation des nanomatériaux et des défis posés par la caractérisation à l'échelle nanométrique
- Meilleure compréhension des propriétés piézoélectriques des matériaux polymères
- Connaissance des techniques de microscopie (SEM, TEM) et des techniques d'analyses associées (diffraction, EDX)
- Travail dans un groupe de recherche scientifique, tourné vers la physico-chimie des matériaux, sous l'encadrement d'une doctorante, dans un laboratoire académique pluridisciplinaire

#### Mots clés

Chimie Organique/Inorganique

#### Compétences

- Connaissances de base en chimie organique/inorganique et en science des matériaux (expérimental et théorique) - Caractérisations par techniques de spectroscopie - Lecture critique de la littérature scientifique - Compréhension écrite et communication de base en anglais

#### Logiciels

---

## Insertion of MOF in nanoporous polymer membranes for piezoelectric applications

### Summary

The aim of this internship is to study the insertion of metal-organic frameworks (MOFs) into PVDF polymer membranes to form nanocomposite materials. This type of MOF/polymer piezoelectric composite has already been studied in the literature, showing good piezoelectric responses. After synthesizing these materials, their intrinsic parameters will be characterized using a wide range of physico-chemical techniques (FTIR, UV-visible absorption spectroscopy, SEM), and their piezoelectric response will be measured to link the experimental results with the theoretical model already established.

### Full description

PVDF (Polyvinylidene difluoride) has been a piezoelectric polymer of great interest in the recent years. This flexible material can be used as autonomous generators of micro captors, capable of converting mechanical energy from the vibration of the surrounding environment (industry, wind, waterflow, cars, trains) in electrical energy.

Designing new structures of polymer piezogenerators has been a trend for over a decade [1] and the synthesis of new piezopolymer-based systems is in constant development to improve their piezoresponse.

In our team, we are aiming to a better understanding of the parameters that rules the piezoelectricity in such polymers. This knowledge will allow us to directly predict the parameters settings in order to obtain the best conversion of mechanical energy in electrical energy. To this end, a mechanical and physical model was developed on commercial PVDF films (10 micron-thick), taking into account different intrinsic parameters of this material (dielectric permittivity, Young's modulus, Poisson's ratio, thickness, piezoelectric coefficient).

As a way to validate and extend this model, experimental measurements are planned on piezopolymer-based membranes. In order to tune the intrinsic parameters of these membranes, we propose a modification of the polymer through two complementary pathways: the nanostructuration (mechanical parameters) and the formation of composites (physical parameters). Our nanostructuration strategy relies on the creation of porous PVDF membranes and then on filling the pores with inorganic nano-objects to form nanocomposite materials. Previous works in the group, on the formation of Ni nanowires in PVDF matrices, already showed an improvement of the piezoresponse by a factor 2.5 [2] and by 3.5 when irradiated with electrons, in addition, to modify the mechanical parameters of the composite [3].

In this internship, we propose the insertion of metal-organic frameworks (MOF) within PVDF membranes to form nanocomposites. Indeed, such MOF/piezopolymer composites have already been studied in the literature and have shown promising piezoresponses [4] [5]. After synthesis, the nanocomposite membranes intrinsic parameters will be characterized using a wide range of physico-chemical techniques and the piezoresponse will be studied as a way to correlate the experimental results with the theoretical model.

He/she will, then, proceed to the inclusion of MOF within the membrane following various incorporation processes (grafting of MOF crystals, self-assembly of the MOF within the membrane, in situ synthesis). Although MOF synthesis is widely described in the literature, our team has only worked with the well-studied [7] [8] UiO-66(Zr) MOF. During this internship, the intern will research from literature and adapt the synthesis of other MOF species with properties of interest (flexibility, piezoelectric response) in accordance to the needs of the project.

For all experimental processes, the intern will have to perform complete characterization of the materials using a wide range of techniques. These techniques are declined in routine techniques (FTIR, UV-visible spectroscopy, SEM) but also analysis on platform equipment (TEM, fluorescence). He/she will be educated in the theoretical principles of all techniques, and will be formed to using the routine analysis equipment (spectrometers, SEM).

Depending on the timeline of the internship, and the advances in the synthesis development, the intern may also be charged to develop tracking techniques (grafting of tracking species such as fluorophores or contrast agents) in order to follow precisely the various steps of the nanostructuration.

In parallel of the experimental synthetic work, measurement of the composite piezoresponse will be performed on the

---

laboratory home-made set-up. These results will be treated in regard to the intrinsic parameters of the materials, which will also be characterized using adapted techniques. A knowledge of the theoretical model will be provided so to help the understanding of the system.

#### REFERENCES:

- [1] Zhang W et al., "Challenges and progress of chemical modification in piezoelectric composites and their applications." *Soft Sci* 2023;3:19. <http://dx.doi.org/10.20517/ss.2022.33>
- [2] Melilli, G. et al., "Enhanced Piezoelectric Response in Nanostructured Ni/PVDF Films" *J. Mat. Sci. & Eng.* (2018) 7:2
- [3] Potrzebowska, N. et al., "Mixing nanostructured Ni/piezoPVDF composite thin films with e-beam irradiation: A beneficial synergy to piezoelectric response" *Mat. Today Com.* 28 (2021) 102528
- [4] Neetu Prajesh et al., "Flexible Piezoelectric Nanogenerators Based on One-Dimensional Neutral Coordination Network Composites", *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* 2022 10 (30), 9911-9920 DOI: 10.1021/acssuschemeng.2c02296
- [5] Sasmal, A et al., "Two-Dimensional Metal-Organic Framework Incorporated Highly Polar PVDF for Dielectric Energy Storage and Mechanical Energy Harvesting" *Nanomaterials* 2023, 13, 1098. <https://doi.org/10.3390/nano13061098>
- [6] Cuscito, O. et al., "Nanoporous PVDF membranes with selectively functionalized pores" *NIM B* 265 (2007) 309-313
- [7] Tran My-An, "Hybrid MOF-solid-state nanopores to develop biosensors", Thesis manuscript, Institut des Matériaux Poreux de Paris, February 2022
- [8] X. Liu, «Metal-organic framework UiO-66 membranes,» *Chemical Science Engineering*, vol. 14, n° 12, pp. 216-232, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11705-019-1857-5>

#### SKILLS AT THE END OF THE INTERNSHIP:

- Nanostructuring of thin polymer films through physico-chemical and chemical process, and their characterization (spectroscopies)
- Inorganic synthetic routes and, especially, syntheses of metal-organic frameworks
- Understanding of the irradiation processes in polymer-based materials
- Knowledge of the characterization techniques of nanomaterials and of the challenges in characterizing at the nanoscale
- Better understanding of the piezoelectric property of piezopolymers
- Knowledge of the electron microscopy techniques (SEM, TEM) and related analysis (diffraction, EDX)
- Working in a research team, focused on materials physico-chemistry, under the supervision of a PhD student, in an academic pluridisciplinary laboratory.

#### Keywords

Organic/Inorganic Chemistry

#### Skills

- Organic/Inorganic Chemistry and Material Science basic knowledge (experiment and theory) - Spectroscopy characterization - Critical reading of scientific literature - Reading comprehension and basic communication in English

#### Softwares



## Développement de revêtement anticorrosion pour plaques bipolaires de pile à combustible PEMFC

**Spécialité** CHIMIE

**Niveau d'étude** Bac+5

**Formation** Master 2

**Unité d'accueil** [NIMBE/LICSEN](#)

**Candidature avant le** 31/05/2024

**Durée** 6 mois

**Poursuite possible en thèse** oui

**Contact** [FRANCOIS Mélanie](#)  
+33 1 69 08 91 91  
[melanie.francois@cea.fr](mailto:melanie.francois@cea.fr)

### Résumé

Le but de ce stage est développer des revêtements pour plaques bipolaires de piles à combustible PEMFC. Le revêtement devra protéger la plaque bipolaire vis à vis de la corrosion et présenter des propriétés de surface appropriées (mouillabilité) pour assurer le transport des gaz et de l'eau.

### Sujet détaillé

Contexte : les piles à combustible PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell) sont une solution prometteuse pour la production d'énergie propre. Cependant, leur déploiement à grande échelle est toujours limité par certains facteurs tels que leurs performances, leurs durabilités et leur coût de fabrication.

Sujet : Ce stage portera sur le développement des plaques bipolaires, composant qui assure la distribution des gaz et la collection du courant. L'objectif principal sera de développer des revêtements anticorrosion, organiques ou inorganiques, pour plaques bipolaires en acier inoxydable dans le but d'améliorer les performances et la durabilité de celle-ci. Il s'agira de :

- i) élaborer différents types de revêtement par voie chimique (électrogreffage) ou physique (pulvérisation cathodique – PVD) sur des substrats en acier inoxydable
- ii) caractériser les revêtements : microstructure, composition chimique, corrosion par voltampérométrie et spectroscopie d'impédance électrochimique, mouillabilité par angle de contact, ...
- iii) transposer le(s) meilleur(s) revêtement(s) sur des plaques bipolaires métalliques élaborées par impression 3D : s'assurer de la bonne adhérence et de faibles résistances interfaciales de contact
- iv) étudier les performances des revêtements in-situ avec un assemblage membrane électrode de référence par voltampérométrie et spectroscopie d'impédance électrochimique

Profil recherché : étudiant en master 2 ou équivalent (ingénieur) dans le domaine des sciences des matériaux ou physique-chimie. Des connaissances en électrochimie seraient appréciées.

---

Laboratoire d'accueil : CEA Paris-Saclay, laboratoire LICSEN (Laboratoire d'Innovation en Chimie des Surfaces et Nanosciences).

### **Mots clés**

Chimie ; piles à combustible ; corrosion

### **Compétences**

Dépôt de couches minces Caractérisations usuelles (microscopie, diffraction des rayons X, spectroscopie infrarouge, ...) Caractérisations électrochimiques (courbes de polarisation et spectroscopie d'impédance)

### **Logiciels**

---

## Development of anticorrosion coatings for PEMFC bipolar plates

### Summary

The aim of this internship is to develop coatings for bipolar plates in PEMFC fuel cells. The coating will have to protect the bipolar plate from corrosion and have suitable surface properties (wettability) to ensure gas and water transport.

### Full description

Background: PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell) fuel cells are a promising solution for clean energy production. However, their large-scale implementation is still limited by factors such as performance, durability and manufacturing cost.

Subject: This internship will focus on the development of bipolar plates, the component that ensures gas distribution and current collection. The main objective will be to develop anticorrosion coatings, organic or inorganic, for stainless steel bipolar plates, the aim is to improve their performance and durability. This will involve :

- i) develop different types of coating by chemical (electrografting) or physical (sputtering - PVD) means on stainless steel substrates
- ii) characterize coatings: microstructure, chemical composition, corrosion by voltammetry and electrochemical impedance spectroscopy, wettability by contact angle, etc.
- iii) transpose the best coating(s) onto metal bipolar plates produced by 3D printing: ensure good adhesion and low interfacial contact resistances
- iv) study the performance of in-situ coatings with a reference electrode membrane assembly, using voltammetry and electrochemical impedance spectroscopy.

Candidate profile: Master 2 student or equivalent (engineer) in materials science or physics-chemistry. Knowledge of electrochemistry would be appreciated

Laboratory: CEA Paris-Saclay, LICSEN laboratory (Laboratory for Innovation in Surface Chemistry and Nanosciences).

### Keywords

Chemistry ; fuel cells ; corrosion

### Skills

Thin-film deposition Standard characterizations (microscopy, X-ray diffraction, infrared spectroscopy, etc.) Electrochemical characterization (polarization curves and impedance spectroscopy)

### Softwares