

*Etablissement* **Université d'Orléans**

*École doctorale* **Energie, Matériaux, Sciences de la Terre et de l'Univers - EMSTU**

*Spécialité* **Physique**

*Domaine Scientifique* **Sciences pour l'ingénieur**

*Unité de recherche* **GREMI - Groupe de Recherches sur l'Energie des Milieux Ionisés**

*Encadrement de la thèse* **Rémi DUSSART**

*Co-Directeur* **Sylvain ISÉNI**

*Début de la thèse le* **1er octobre 2026**

*Date limite de candidature (à 23h59)* **31 mars 2026**

## Grands défis sociétaux

---

Climat, énergie, mobilité

## Objectifs de développement durable

---

Villes et communautés durables

## Mots clés - Keywords

---

Plasma haute pression de décharges DC et impulsionsnelles, Procédés de Microfabrication, Caractérisation des dispositifs, Diagnostics plasmas, Physico-chimie des plasmas, Technologies salle blanche  
Pulsed and DC discharges, Microfabrication processing, Device characterization, Plasma diagnostics, Plasma physical chemistry, Clean room technologies

## Description de la problématique de recherche - Project description

---

Dans un contexte où les enjeux environnementaux à différentes échelles constituent des défis majeurs, il est urgent de développer des solutions innovantes et efficaces. Cette thèse vise à concevoir des procédés de décarbonation fondés sur l'utilisation de plasmas froids à pression atmosphérique. Ces technologies ambitionnent de répondre notamment aux besoins en dépollution (sols, eau...) Elles concernent également le traitement localisé de surfaces (fonctionnalisation, microélectronique, packaging).

La micro-décharge à cathode creuse (MHCD) est une source de plasma froid dont la distance interélectrode est micrométrique. L'anode et la cathode sont séparées par une fine couche diélectrique intégrant une cavité permettant l'injection du gaz et l'amorçage du plasma. Ces dispositifs, souvent organisés en matrices de microcavités espacées de quelques dizaines à centaines de micromètres, sont issus des procédés de microélectronique.

Au GREMI, les réacteurs MHCD sont fabriqués sur substrats semi-conducteurs structurés par masques, autorisant des géométries fines et un fort contrôle du degré d'ionisation grâce à des champs électriques intenses ( $>100 \text{ kV}\cdot\text{cm}^{-1}$ ). Une originalité majeure réside dans leur fonctionnement en régime continu (DC) à pression atmosphérique, nécessitant seulement quelques centaines de volts. Ce mode d'alimentation permet une maîtrise précise de la puissance et une efficacité énergétique compatible avec des sources décarbonées. Des essais en régime impulsif seront également réalisés à des fins comparatives.

La thèse vise à optimiser les micro-dispositifs sur les plans géométrique, électrique et mécanique grâce aux moyens de microfabrication en salle blanche du GREMI et de ses plateformes partenaires (CERTeM, Renatech). Une large part de la thèse sera dédiée aux procédés de microfabrication en salle blanche pour réaliser des microdispositifs innovants.

Le développement d'un procédé basé sur les MHCD impose un fonctionnement à pression atmosphérique dans des conditions ambiantes de température et d'humidité. Or, l'influence de l'humidité reste peu documentée. Un objectif central sera donc d'étudier le rôle de la molécule d'eau comme précurseur dans des mélanges de gaz rares, d'azote ou d'air. Seront analysés le comportement temporel et morphologique de la décharge, les interactions plasma-surface, la cinétique chimique ainsi que les propriétés électriques et thermiques. La caractérisation reposera sur des diagnostics avancés. La chimie réactive issue des processus hors équilibre sera étudiée par spectroscopie d'émission et d'absorption résolue en temps. Ces mesures, couplées à des diagnostics électriques, permettront d'estimer les taux de conversion et d'établir un bilan énergétique via la détermination des densités de puissance injectées.

Ces travaux contribueront à une meilleure compréhension des mécanismes gouvernant le procédé selon les conditions de décharge. La réalisation d'un prototype intégrant les micro-plasmas permettra son déploiement vers d'autres diagnostics et des applications sur site,

notamment pour le traitement de gaz ou la production locale d'espèces réactives à courte durée de vie.

In a context where environmental challenges at multiple scales have become major issues, it is urgent to develop innovative and efficient solutions. This PhD project aims to design decarbonization processes based on the use of atmospheric-pressure cold plasmas. These technologies are intended in particular to address pollution remediation needs (soils, water, etc.). They also concern localized surface treatment (functionalization, microelectronics, packaging).

The micro-hollow cathode discharge (MHCD) is a cold plasma source with a micrometric interelectrode distance. The anode and cathode are separated by a thin dielectric layer incorporating a cavity that enables gas injection and plasma ignition. These devices, often arranged in matrices of microcavities spaced by a few tens to hundreds of micrometers, are derived from microelectronics fabrication processes. At GREMI, MHCD reactors are fabricated on semiconductor substrates structured using masks, allowing fine electrode geometries and strong control of the ionization degree thanks to intense electric fields ( $>100 \text{ kV}\cdot\text{cm}^{-1}$ ). A major originality lies in their operation in direct current (DC) mode at atmospheric pressure, requiring only a few hundred volts. This power supply mode enables precise power control and energy efficiency compatible with decarbonized energy sources. Experiments in pulsed regime will also be conducted for comparison. The PhD project aims to optimize the microdevices in terms of geometric, electrical, and mechanical characteristics using advanced cleanroom microfabrication facilities available at GREMI and its partner platforms (CERTeM, Renatech). A significant part of the work will be devoted to cleanroom microfabrication processes in order to develop innovative microdevices.

The development of an MHCD-based process requires operation at atmospheric pressure under ambient temperature and humidity conditions. However, the influence of humidity remains poorly documented. A central objective will therefore be to investigate the role of the water molecule as a precursor in mixtures of rare gases, nitrogen, or air. The temporal and morphological behavior of the discharge, plasma-surface interactions, chemical kinetics, and electrical and thermal properties will be analyzed.

Characterization will rely on advanced diagnostic techniques. The reactive chemistry resulting from non-equilibrium plasma processes will be studied using time-resolved emission and absorption spectroscopy. These measurements, combined with electrical diagnostics, will allow the estimation of conversion rates and the establishment of an energy balance through the determination of injected power densities. This work will contribute to a better understanding of the mechanisms governing the process under different discharge conditions. The development of a prototype integrating the micro-plasma devices will enable deployment toward additional diagnostic methods and on-site applications, particularly for gas treatment or the local production of short-lived reactive species.

## Thématique / Contexte

---

Plasma, microfabrication, diagnostics, physico-chimie à pression atmosphérique, procédés salle blanche

Ce projet bénéficiera d'un soutien partiel d'un projet ANR.

Dans un contexte où les problématiques environnementales multi-échelles sont devenues de réels défis, il devient urgent d'identifier puis de développer de nouvelles solutions alternatives et efficaces. S'inscrivant dans cette démarche, ce sujet de thèse a pour objectif d'amener au développement de procédés de décarbonation basés sur une technologie innovante tirant parti des propriétés des plasmas froids à la pression atmosphérique pour répondre aux attentes écologiques en matière de :dépollution (des sols et de l'eau), conversion de la biomasse (reconversion de gaz, fonctionnalisation de bio-matériaux), d'agriculture et d'agroalimentaire (action antiparasitaire, décontamination, fertilisation), biologie et médecine (activation de mécanismes biologiques, nouvelles thérapies). Traitement local de surfaces (fonctionnalisation, microélectronique, packaging).

## Références bibliographiques

---

Dufour T, (2009) <https://theses.hal.science/tel-00464710v2>

Kulsreshath M., (2013) <https://theses.hal.science/tel-00843656v1>

Michaud R., (2019) <https://theses.hal.science/tel-02425278v2>

Dufour, T., L. J. Overzet, R. Dussart, et al. « Experimental Study and Simulation of a Micro-Discharge with Limited Cathode Area ». *The European Physical Journal D* 60, n° 3 (2010): 565-74. <https://doi.org/10.1140/epjd/e2010-00273-6>.

Dussart, R., L. J. Overzet, P. Lefauchaux, et al. « Integrated Micro-Plasmas in Silicon Operating in Helium ». *The European Physical Journal D* 60, n° 3 (2010): 601-8. <https://doi.org/10.1140/epjd/e2010-00272-7>.

Felix, Valentin, Philippe Lefauchaux, Olivier Aubry, et al. « Origin of microplasma instabilities during DC operation of silicon based microhollow cathode devices ». *Plasma Sources Science and Technology* 25, n° 2 (2016): 025021. <https://doi.org/10.1088/0963-0252/25/2/025021>.

Iseni, S., R. Michaud, P. Lefauchaux, G. B. Sretenović, V. Schulz-von der Gathen, et R. Dussart. « On the validity of neutral gas temperature by emission spectroscopy in micro-discharges close to atmospheric pressure ». *Plasma Sources Science and Technology* 28, n° 6 (2019): 065003. <https://doi.org/10.1088/1361-6595/ab1dfb>.

Kulsreshath, M. K., J. Golda, V. Felix, V. Schulz-von der Gathen, et R. Dussart. « Ignition dynamics of dry-etched vertical cavity single-hole microdischarge reactors in ac regime operating in noble gases ». *Journal of Physics D: Applied Physics* 47, n° 33 (2014): 335202. <https://doi.org/10.1088/0022-3727/47/33/335202>.

Kulsreshath, M. K., J. Golda, V. Schulz-von der Gathen, et R. Dussart. « Width-dependent interaction of trench-like microdischarges arranged in sub-arrays on a single silicon-based chip ». *Plasma Sources Science and Technology* 23, n° 4 (2014): 045012. <https://doi.org/10.1088/0963-0252/23/4/045012>.

Kulsreshath, M. K., N. Sadeghi, L. Schwaederle, et al. « Ignition and Extinction Phenomena in Helium Micro Hollow Cathode Discharges ». *Journal of Applied Physics* 114, n° 24 (2013): 243303. <https://doi.org/10.1063/1.4858418>.

Kulsreshath, M. K., L. Schwaederle, L. J. Overzet, et al. « Study of dc micro-discharge arrays made in silicon using CMOS compatible

## **Contexte du poste : Modalités d'encadrement, de suivi de la formation et d'avancement des recherches du doctorant - Details on the thesis supervision**

---

• Autres co-encadrants éventuels  
STOLZ Arnaud  
BECERRA Loïc

## **Conditions scientifiques matérielles et financières du projet de recherche**

---

Accès salle blanche pour microfabrication  
Chambre pour test microplasmas.  
Diagnostics plasma et caractérisation.

## **Objectifs de valorisation des travaux de recherche du doctorant : diffusion, publication et confidentialité, droit à la propriété intellectuelle,...**

---

Publication

## **Collaborations envisagées**

---

Institut Jean-Lamour

## **Profil et compétences recherchées - Profile and skills required**

---

Master dans les domaines du plasma, des micro et nanotechnologies ...  
Expérimentateur.  
Gout pour le travail minutieux en salle blanche.  
Une expérience en salle blanche serait appréciée.  
Master's degree in plasma, micro and nanotechnologies, etc.  
Experimenter.  
Enjoy working meticulously in clean rooms.  
Experience in clean rooms would be appreciated.