

**VALORISATION ÉNERGÉTIQUE PAR VOIE PLASMA NON THERMIQUE À PRESSION
ATMOSPHÉRIQUE DE MILIEUX LIQUIDES POLLUÉS EN COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILS**

**ENERGY VALORIZATION OF VOC-CONTAMINATED LIQUID MEDIA BY NON-THERMAL PLASMA AT
ATMOSPHERIC-PRESSURE**

Etablissement **Université d'Orléans**

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

Spécialité **Energétique**

Domaine Scientifique **Sciences de la terre et de l'univers, espace**

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

Encadrement de la thèse **Maxime WARTEL**

Co-Directeur **Stéphane PELLERIN**

Financement du 01-10-2026 au 30-09-2029 *origine* **Université d'Orléans Employeur Université d'Orléans**

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

Date limite de candidature (à 23h59) **10 avril 2026**

Grands défis sociétaux

Climat, énergie, mobilité
Alimentation, bioéconomie, ressources naturelles, agriculture et environnement

Objectifs de développement durable

Eau propre et assainissement
Énergie propre et d'un coût abordable

Mots clés - Keywords

Interaction plasma/liquide, Valorisation énergétique, Plasma non thermique, Traitement d'effluents liquides, Chimie des plasmas, Diagnostics spectroscopiques et physico-chimiques
Plasma/liquid interaction, Energy recovery, Non thermal plasma, Liquid effluent treatment, Plasma chemistry, Spectroscopic and physicochemical diagnostics

Description de la problématique de recherche - Project description

Les enjeux environnementaux actuels tels que la pollution des milieux aquatiques et l'augmentation constante des besoins en énergie nécessitent le développement de solutions innovantes afin de répondre à ces défis majeurs que sont l'amélioration de l'efficacité de retraitement des eaux usées et la production de vecteurs énergétiques tout en limitant au maximum leurs empreintes carbone. Dans ce contexte général, une des voies possibles de développement est l'utilisation de procédés plasma non thermique. Les réacteurs plasmas ont déjà démontré leurs potentiels élevés pour générer des espèces oxydantes (O, OH, O₃...), et leur applicabilité pour le traitement des polluants gazeux et liquides. Le laboratoire GREMI, spécialisé dans l'étude de procédés plasma et laser, procède à des activités de recherche avancées sur ces thématiques au sein de l'axe « Traitements et valorisation des effluents ». L'objectif principal de ces travaux de thèse est de mener une étude multicritère et exploratoire des potentialités de l'utilisation de sources plasmas non thermiques à pression atmosphérique pour le traitement d'effluents liquides à fortes teneurs en COV à des fins de valorisation énergétique. En effet, ces mélanges représentatifs d'eaux usées de sites industriels pour lesquels les quantités sont élevées (> à 1% volumique), sont de bons candidats à la valorisation énergétique du fait de leur forte teneur en carbone et en hydrogène et présentent un fort potentiel pour la production de gaz énergétiques. Il s'agira dans ces travaux, d'analyser les performances de production de gaz énergétiques et d'optimiser les proportions en CH₄ et H₂ tout en assurant une remédiation la plus efficace possible de ces eaux polluées. Pour ce faire, ces travaux de thèse à forte dominante expérimentale porteront sur plusieurs axes :

1°) Une analyse de la composition du gaz en sortie de réacteur plasma selon plusieurs méthodes possibles à savoir par analyseur de gaz, par IRTF ou encore par GC/TCD-FID-MS. Ces mesures couplées à des caractérisations électriques des réacteurs plasmas permettront une analyse de l'efficacité de la production de gaz énergétiques (en g/kWh). L'analyse pourra être faite sur plusieurs technologies de réacteur plasma disponibles au GREMI tels que les décharges d'arc glissant, les décharges pointe-pointe, les torches à plasma.... et ceci

pour plusieurs conditions expérimentales (débit de gaz vecteur, nature du gaz vecteur, débit liquide, composition de mélange,...). L'objectif sera de définir les meilleures conditions opératoires pour la production de méthane et/ou hydrogène et de comparer les performances aux autres procédés déjà existants.

2°) Une analyse de la phase plasma par spectroscopie optique d'émission éventuellement couplée à l'IRTF. L'objectif de cette deuxième phase est de caractériser les paramètres plasma (inventaire des espèces réactives, mesure de températures, densités, ...) et de relier l'évolution de ceux-ci aux performances de production de gaz énergétiques afin d'identifier les mécanismes prépondérants à l'origine des conversions en méthane et hydrogène.

3°) Une analyse de la phase liquide après traitement plasma par spectrophotométrie couplée à la GC/MS voire HPLC. Il s'agit ici de compléter l'étude de performances par un inventaire / dosage du résiduel et des sous-produits restant dans la phase liquide après traitement, d'une part pour déterminer le taux de dégradation des polluants visés mais également pour évaluer l'écotoxicité des solutions résiduelles après traitement plasma.

Current environmental challenges, including aquatic pollution and rising energy demands, call for innovative solutions that both enhance wastewater treatment efficiency and enable energy recovery while minimizing carbon footprints. Non-thermal plasma processes offer a promising approach in this context. Plasma reactors are highly effective at generating reactive oxidizing species (O, OH, O₃, ...) and have demonstrated applicability for treating both gaseous and liquid pollutants.

The GREMI laboratory, specializing in plasma and laser processes, conducts advanced research on these topics within its "Treatment and Valorization of Effluents" axis. The main objective of this PhD project is to explore the potential of non-thermal plasma sources at atmospheric-pressure for the treatment of liquid effluents with high volatile organic compound (VOC) content, targeting energy recovery. These solutions representative of Industrial wastewater streams with high VOC concentrations (>1% v/v) are particularly suitable candidates due to their rich carbon and hydrogen content, offering significant potential for energetic gases production with high contents in methane and hydrogen. This experimentally focused project will address three complementary research axes:

1°) Gas-phase analysis: Gas composition at the plasma reactor outlet will be assessed using multiple techniques, including gas analyzers, FTIR, and GC/TCD-FID-MS. These measurements, combined with plasma electrical diagnostics, will allow evaluation of energy gas production efficiency (g/kWh). Various plasma reactor configurations available at GREMI including gliding arc discharges, point-to-point discharges, plasma torches will be tested under different operating conditions (carrier gas type and flow, liquid flow, mixture composition) to identify optimal conditions for CH₄ and H₂ production.

2°) Plasma-phase characterization: Optical emission spectroscopy, potentially coupled with FTIR, will be used to characterize reactive species, temperatures, and plasma densities. Correlating these parameters with gas production performance will help elucidate the mechanisms driving methane and hydrogen formation in this process.

3°) Liquid-phase analysis: The treated liquid effluent will be analyzed by UV-Vis spectrophotometry, GC/MS, and HPLC to quantify residual pollutants and by-products. This will provide a comprehensive assessment of pollutant degradation and allow evaluation of the ecotoxicity of treated solutions.

Overall, this project aims to optimize plasma-based processes for energy recovery from industrial wastewater while advancing fundamental understanding of plasma/liquid interactions.

Thématique / Contexte

Ce projet s'inscrit dans le contexte général de la remédiation de problèmes environnementaux avec un focus particulier sur la dépollution d'effluents liquides type eaux usées fortement chargées en composés organiques volatils ayant une fonction alcool ou cétone. Ces solvants, issus de procédés de lavage, sont présents dans les effluents industriels et posent le problème de leur retraitement du fait de leurs fortes quantités. Ceux-ci engendrent rapidement une pollution de l'air en plus d'une pollution des milieux aquatiques du fait de leur forte volatilité. L'objectif de ce travail est de tirer profit de la dégradation de ces polluants par voie plasma non thermique afin de générer un gaz avec la proportion la plus élevée possible en vecteurs énergétiques de type méthane et/ou hydrogène. Ce projet de recherche a donc pour ambition première de coupler la dégradation de polluants en phase liquide avec la valorisation énergétique des gaz issus de ce traitement par voie plasma.

Références bibliographiques

- Narengerile, T. Watanabe, 'Acetone decomposition by water plasmas at atmospheric pressure', Chemical Engineering Science, Volume 69, Issue 1, 13 February 2012, Pages 296-303.
- Lu, W., Abbas, Y., Mustafa, M.F. et al., 'A review on application of dielectric barrier discharge plasma technology on the abatement of volatile organic compounds', Front. Environ. Sci. Eng. 13, 30 (2019).
- Narengerile, Min-Hao Yuan, Takayuki Watanabe, 'Decomposition mechanism of phenol in water plasmas by DC discharge at atmospheric pressure', Chemical Engineering Journal, Volume 168, Issue 3, 15 April 2011, Pages 985-993.
- Hiroshi Nishioka, Hironori Saito, Takayuki Watanabe, 'Decomposition mechanism of organic compounds by DC water plasmas at

atmospheric pressure', Thin Solid Films, Volume 518, Issue 3, 1 December 2009, Pages 924-928.

- Marquidia Pacheco, Joel Pacheco, Ricardo Valdivia, Alfredo Santana, "Non-Thermal Plasma Applied to Acetone-Polluted Water: a Possibility to Decontaminate and to Obtain High Energetic Gases, Journal of Water Resource and Hydraulic Engineering, Jan. 2015, Vol. 4, Iss. 1, pp. 97-104.
- Jonathan Harris, Kui Zhang, Anh N. Phan, Cold plasma assisted decomposition of alcohols, Chemical Engineering and Processing - Process Intensification, Volume 153, July 2020, 107985.
- Bo Wang, Bing Sun, Xiaomei Zhu, Zhiyu Yan, Yongjun Liu, Hui Liu, Qin Liu, "Hydrogen production from alcohol solution by microwave discharge in liquid", International Journal of Hydrogen Energy, Volume 41, Issue 18, 18 May 2016, Pages 7280-7291.
- Yanbin Xin, Bing Sun, Xiaomei Zhu, Zhiyu Yan, Xiaotong Zhao, Xiaohang Sun, "Hydrogen production from ethanol decomposition by pulsed discharge with needle-net configurations", Applied Energy, Volume 206, 15 November 2017, Pages 126-133.
- Khadija Arabi, « Traitement par plasma non thermique d'alcools et produits issus de la pyrolyse ou de la gazéification de la biomasse », Thèse de doctorat, Université d'Orléans, 2012.

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

L'encadrement est sous la codirection du Dr. Hab. Maxime Wartel et du Pr. Stéphane Pellerin complété par le co-encadrement du Dr. Isabelle Géraud.

Le suivi de la formation sera effectué en premier lieu par une premier trimestre d'insertion du doctorant au sujet de thèse et à l'environnement de travail au laboratoire à savoir présentation des collègues, des locaux, des conditions de travail et des règles de fonctionnement du laboratoire notamment en terme de prévention sécurité. Un suivi particulier sera fait dans cette phase pour permettre une rapide prise en main du sujet et des bancs d'expérimentation associés. Le suivi et l'avancement des travaux de thèse sera par la suite fait au fil de l'eau avec les encadrants et de manière plus formelle via des réunions d'avancement en présence de l'ensemble des encadrants.

Conditions scientifiques matérielles et financières du projet de recherche

Le projet de recherche se situe sur le site de Bourges du laboratoire GREMI, l'ensemble des bancs d'expérimentation ainsi que la plupart des moyens de caractérisation sont disponibles sur site. En fonction de l'avancement et des besoins en analyse spécifique, le doctorant pourra être amené à se déplacer ponctuellement sur le site d'Orléans du laboratoire. Le doctorant sera amené à suivre une formation à la prévention des risques (électrique, chimique, laser,...) à son arrivée.

Ouverture Internationale

Ces travaux de thèse s'inscrivent dans une collaboration de longue date avec des collègues de la faculté d'ingénierie électrique de l'Université Technique de Iasi en Roumanie. A ce titre le doctorant aura l'opportunité, s'il le souhaite, d'effectuer un séjour au sein de cette faculté dans le cadre d'échanges.

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

Valorisation des résultats des travaux par le biais de participation à des conférences nationales et internationales (poster et/ou oral), publication des résultats par le biais de rédaction d'articles scientifiques à comité de lecture.

Profil et compétences recherchées - Profile and skills required

Compétences techniques : Le ou la candidat(e) diplômé(e) d'un Master II ou d'un diplôme d'ingénieur devra justifier de solides connaissances/compétences dans plusieurs des thématiques suivantes :

- Compétence en analyses physico-chimiques en spectrophotométrie, Spectroscopie IR et/ ou techniques d'analyse chromatographique gazeuse/liquide.
- Connaissances en chimie analytique
- Connaissances en chimie des solutions
- Connaissances en Physico-chimie des plasmas,
- Compétences d'expérimentation sur banc de manipulation.
- Connaissances en modélisation des interactions plasma/liquide.

Des connaissances/expériences en imagerie, en spectroscopie ou en diagnostic électrique seraient fortement appréciées.

Compétences/savoir-faire généraux :

- Niveau de français : avancé (≥B2)
- Niveau d'anglais : avancé (≥B2)
- Appétence pour le développement d'activités expérimentales notamment dans le domaine des interactions plasma/liquide.
- Capacités en communication écrite et orale de niveau professionnel.
- Méthodes de travail rigoureuses et de la créativité.

Pour postuler : <https://www.adum.fr/>

Required Technical Background

Applicants must hold a Master's degree (MSc) or an Engineering degree and demonstrate a strong background in several of the following areas:

- Physicochemical analytical techniques (UV–Vis spectrophotometry, IR spectroscopy, gas and/or liquid chromatography)
- Analytical chemistry
- Solution chemistry
- Plasma physicochemistry
- Experimental work on laboratory-scale setups
- Modeling of plasma–liquid interactions

Experience in imaging, advanced spectroscopy, or electrical diagnostics will be considered a strong asset.

Additional Skills and Qualifications

- Advanced proficiency in French (\geq B2)
- Advanced proficiency in English (\geq B2)
- Strong motivation for experimental research, particularly in plasma–liquid interactions
- Excellent written and oral communication skills
- Ability to work rigorously and creatively

To apply: <https://www.adum.fr/>

Dernière mise à jour le 2 mars 2026