

## Offre de thèse

---

# Caractérisation d'une torche plasma micro-onde par diagnostics optiques avancés couplés avec des modèles collisionnel-radiatifs

### Projet de recherche

Une caractérisation fine de la composition des plasmas, et par extension des distributions de population des espèces qui le composent, est essentielle dans de nombreuses applications. Cela nécessite d'avoir recours à des diagnostics intrusifs tel que les sondes de Langmuir ou à des diagnostics complexes à mettre en œuvre dans de nombreuses configurations tels que ceux basés sur la spectroscopie laser. Une approche alternative consiste à utiliser des modèles collisionnel-radiatifs (CR) couplés à des mesures non-intrusives du spectre d'émission du plasma (1,2). Cette approche est très attrayante car elle permet d'obtenir plus simplement une description détaillée d'un plasma. En pratique, à partir d'une mesure de raies d'émission d'un plasma, on peut accéder à la densité de population de certains états excités. Un modèle CR résout les mécanismes cinétiques régissant les distributions de population des différentes espèces du plasma. En faisant varier les paramètres libres du modèle (par exemple la température des électrons), on cherche alors à obtenir un bon accord entre les prédictions du modèle et les données expérimentales. Ainsi, il est possible d'utiliser les autres résultats du modèle pour obtenir des informations sur le plasma qui autrement seraient difficilement mesurables, telles que la température et la densité des électrons, ainsi que les températures d'excitation des modes internes des atomes et molécules (électronique, vibrationnel, rotationnel).

Les modèles CR couplés à des mesures d'émission ont vocation à approfondir notre connaissance des phénomènes physiques au sein des plasmas (par exemple pour les plasmas de rentrée atmosphérique ou pour la propulsion spatiale), mais aussi à être utilisés pour des dispositifs de suivi et d'optimisation de plasmas industriels (par exemple pour les plasmas de bord de tokamak, les procédés de dépôt, la plasmalyse de  $\text{CH}_4$ , le reformage de  $\text{CO}_2$  et de  $\text{NH}_3$ ).

Afin de pouvoir exploiter pleinement ces modèles CR, il est nécessaire de s'assurer de leur validité au travers d'une comparaison rigoureuse avec des résultats expérimentaux. L'objectif de ce projet de recherche doctoral est donc de développer et valider expérimentalement des modèles CR pour l'argon et des mélanges argon-gaz moléculaires ( $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ) à l'aide de diagnostics optiques avancés.

Des travaux précédents dans l'équipe ont déjà permis de développer un modèle CR pour l'argon qui servira de point de départ aux travaux proposés dans cette thèse (3). Le volet expérimental consistera à caractériser le jet plasma à la pression atmosphérique d'une torche micro-onde (surfaguide) fonctionnant à des puissances transmises entre 0.5 et 5 kW. En particulier, il s'agira de réaliser des mesures de températures et de densité d'espèces par spectroscopie d'émission. La densité et la température électronique seront mesurées à l'aide de la diffusion Thomson par laser pulsé (4). Dans les mélanges contenant des gaz moléculaires, la diffusion Raman rotationnelle sera

également utilisée pour mesurer la densité des états fondamentaux et la température rotationnelle. L'ensemble de ces mesures expérimentales serviront à valider les modèles CR. Le volet numérique sera à définir en fonction de l'appétence de la personne recrutée qui pourra s'investir dans l'amélioration des modèles existants et le développement de modèles pour de nouveaux mélanges de gaz.

### Références

1. Durocher-Jean A, Desjardins E, Stafford L. Characterization of a microwave argon plasma column at atmospheric pressure by optical emission and absorption spectroscopy coupled with collisional-radiative modelling. *Physics of Plasmas*. 2019 Jun 1;26(6):063516. doi:10.1063/1.5089767
2. Khazem F, Durocher-Jean A, Hamdan A, Stafford L. 2D spatial mapping of the electron temperature, electron number density, and argon molecular ion number density in a microwave argon plasma jet. *Plasma Sources Sci Technol*. 2026 Feb 10. doi:10.1088/1361-6595/ae4451
3. Annaloro J, Teulet P, Bultel A, Cressault Y, Gleizes A. Non-uniqueness of the multi-temperature law of mass action. Application to 2T plasma composition calculation by means of a collisional-radiative model. *Eur Phys J D*. 2017 Dec;71(12):342. doi:10.1140/epjd/e2017-80284-5
4. Vincent B, Tsikata S, Mazouffre S, Minea T, Fils J. A compact new incoherent Thomson scattering diagnostic for low-temperature plasma studies. *Plasma Sources Sci Technol*. 2018 May 8;27(5):055002. doi:10.1088/1361-6595/aabd13

---

### Informations générales

Directeur de thèse : Philippe TEULET (Professeur, Université de Toulouse), [teulet@laplace.univ-tlse.fr](mailto:teulet@laplace.univ-tlse.fr)

Encadrant : Victorien BLANCHARD (Maître de conférences, Université de Toulouse), [blanchard@laplace.univ-tlse.fr](mailto:blanchard@laplace.univ-tlse.fr)

Lieu de travail : Laboratoire LAPLACE, 118 route de Narbone, 31062 Toulouse FRANCE

Type de contrat : Contrat doctoral

Durée du contrat : 36 mois

Date d'embauche prévue : automne 2026

Quotité de travail : Temps complet

Rémunération : environ 2300 € brut mensuel

---

### Profil recherché

Niveau M2 / ingénieur : plasma, physique, physique appliquée, énergétique, génie électrique, mécanique des fluides, génie des procédés

Maîtrise de l'anglais scientifique écrit et oral

Curiosité, motivation et travail en équipe

Programmation Python / Matlab

Expériences préalables appréciées mais non nécessaires : travail expérimental, programmation Fortran

---

### **Dossier de candidature**

Pour toute candidature, merci de nous faire parvenir par email les éléments suivants :

- Curriculum Vitae
- Lettre de motivation
- Notes et classement des deux années de master (M1 et M2) / deux dernières années de cursus ingénieur
- Lettre(s) de recommandation (par exemple d'un encadrant de stage préalable et/ou d'un responsable pédagogique de l'établissement d'enseignement supérieur)

---

## **Ph.D. thesis offer**

---

### **Characterization of a microwave plasma torch by optical diagnostics coupled with collisional-radiative modeling**

#### **Research project**

In many plasma-based applications, it is essential to be able to fully characterize the composition of the plasma, particularly the energy distributions of its constituent species. Intrusive diagnostics such as Langmuir probes or laser spectroscopy techniques are often required, but these are complex to implement in many configurations. An alternative approach consists in using collisional-radiative (CR) models coupled with non-intrusive measurements of emission spectra of the plasma (1,2). This approach is appealing because it makes it easier to obtain a detailed description of the plasma. In practice, emission spectra are acquired in order to infer the number density of certain excited states. We then run a CR model that solves the plasma kinetics as a function of a reduced number of free parameters (e.g., the electron temperature), to obtain the best fit with the experimental data. Good agreement provides confidence in the model and enables us all to use all of its other results to characterize the plasma. Therefore, this approach enables the indirect measurement of key quantities that would otherwise be very challenging to measure, such as the number density and temperature of electrons, as well as the translational temperature, and the rotational, vibrational, and electronic excitation temperatures.

CR models coupled with emission spectra are intended to improve our understanding of plasma physics, for example in atmospheric re-entry plasmas or electric propulsion for space applications. They can also be used to monitor and optimize industrial plasmas such as fusion plasmas, thin film deposition, CH<sub>4</sub> plasmalysis, CO<sub>2</sub> and NH<sub>3</sub> reforming.

In order to exploit the full capabilities of CR models, it is deemed necessary to ensure of their validity through rigorous experimental validation. The goal of this research project is therefore to develop and validate CR models for argon and argon-molecular gas mixtures (N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>) with the help of advanced optical diagnostics.

Previous work within the group has already developed a CR model for argon, which will form the basis of the current project (3). The experimental work will focus on characterizing the plasma jet of a surfaguide-type microwave torch delivering power from 0.5 to 5 kW. In particular, optical emission spectroscopy will be applied to measure temperatures and the number density of excited states. Electron temperature and number density will be measured using laser Thomson scattering (4). In mixtures containing molecular gases, rotational Raman scattering will be employed to measure the number density of the ground state and the rotational temperature of molecular species. These experimental results will be used to improve and validate existing CR models, as well as to develop new models for molecular mixtures. The modeling aspect of this work can be adapted according to the Ph.D. student's preferences.

### References

1. Durocher-Jean A, Desjardins E, Stafford L. Characterization of a microwave argon plasma column at atmospheric pressure by optical emission and absorption spectroscopy coupled with collisional-radiative modelling. *Physics of Plasmas*. 2019 Jun 1;26(6):063516. doi:10.1063/1.5089767
2. Khazem F, Durocher-Jean A, Hamdan A, Stafford L. 2D spatial mapping of the electron temperature, electron number density, and argon molecular ion number density in a microwave argon plasma jet. *Plasma Sources Sci Technol*. 2026 Feb 10. doi:10.1088/1361-6595/ae4451
3. Annaloro J, Teulet P, Bultel A, Cressault Y, Gleizes A. Non-uniqueness of the multi-temperature law of mass action. Application to 2T plasma composition calculation by means of a collisional-radiative model. *Eur Phys J D*. 2017 Dec;71(12):342. doi:10.1140/epjd/e2017-80284-5
4. Vincent B, Tsikata S, Mazouffre S, Minea T, Fils J. A compact new incoherent Thomson scattering diagnostic for low-temperature plasma studies. *Plasma Sources Sci Technol*. 2018 May 8;27(5):055002. doi:10.1088/1361-6595/aabd13

---

### General informations

Thesis advisor : Philippe TEULET (Full Professor, Université de Toulouse), [teulet@laplace.univ-tlse.fr](mailto:teulet@laplace.univ-tlse.fr)

Co-advisor : Victorien BLANCHARD (Assistant Professor, Université de Toulouse),  
[blanchard@laplace.univ-tlse.fr](mailto:blanchard@laplace.univ-tlse.fr)

Location : Laboratoire LAPLACE, 118 route de Narbone, 31062 Toulouse FRANCE

Type of contract: Ph.D. contract

Duration: 36 months

Expected start date: Fall 2026

Workload: Full-time

Salary: approximately 2300 € gross per month

---

### **Required profile**

Master's degree / engineering degree: plasma, physics, applied physics, energy, electrical engineering, fluid mechanics, process engineering

Fluency in written and spoken scientific English

Curiosity, motivation, and teamwork skills

Python / Matlab programming

Previous experience appreciated but not required: experimental work, Fortran programming

---

### **Application file**

For all applications, please send us the following items by email:

- Curriculum Vitae
- Cover letter
- Grades and rankings for both years of your Master's degree (M1 and M2) / last two years of your engineering degree
- Letter(s) of recommendation (e.g., from a previous internship supervisor and/or an academic advisor related to your degree)