



## Stage de Master 2 ou de dernière année d'école d'ingénieur : ETUDE D'UNE TORCHE A CASCADE

- ❖ **Localisation** : Laboratoire LAPLACE, EQUIPE AEPPT
- ❖ **Encadrement** : Mr P. Freton et Mr Gonzalez J.J.
- ❖ **Contact** : [freton@laplace.univ-tlse.fr](mailto:freton@laplace.univ-tlse.fr), [gonzalez@laplace.univ-tlse.fr](mailto:gonzalez@laplace.univ-tlse.fr)

### ❖ **Présentation du Laboratoire LAPLACE**

Le Laboratoire Plasma et Conversion d'Énergie (**LAPLACE**), dirigé par Oliver Eichwald et Xavier Roboam est une Unité Mixte de Recherche du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), de l'Institut National Polytechnique de Toulouse (INPT) et de l'Université Toulouse 3-Paul Sabatier (UPS). Localisé entre autres sur le campus de l'Université Paul Sabatier, le LAPLACE héberge la plus forte concentration de recherche en Génie Électrique et en Plasma de France et couvre de manière intégrée le continuum « plasma/matériaux/systèmes ».

Site web: <http://www.laplace.univ-tlse.fr>

### ❖ **Présentation de l'Équipe AEPPT**

L'équipe Arc Électrique et Procédés Plasmas Thermiques caractérise les plasmas en présence d'arc électrique depuis de nombreuses années. Ces caractérisations sont réalisées par le biais de développement de modèles et d'expérimentations associées. Ces deux approches viennent se compléter et aider à l'interprétation des résultats observés, à la compréhension du comportement du milieu et à l'optimisation des designs des dispositifs où le plasma est présent. Les expérimentations sont réalisées au sein de notre équipe ou chez nos partenaires. En complément, afin de mettre en place les modélisations ou de remonter aux grandeurs expérimentales telles que la température ou la pression, certaines données de base sont nécessaires. Nous avons donc développé une compétence en calcul de compositions pour des gaz et mélanges de gaz en incluant la physique nécessaire pour la prise en compte de pressions élevées (Corrections de Debye et de Viriel). À partir de ces compositions nous calculons les propriétés thermodynamiques ainsi que les coefficients de transport.

### ❖ **Introduction**

Les plasmas thermiques sont largement utilisés dans l'industrie au travers de nombreuses configurations. Ainsi nous les retrouvons dans les procédés de soudage ou de découpe par plasma via les configurations d'arc transféré, dans le traitement de déchets, la certification de matériaux à hautes températures via des configurations de torches à cathodes creuses à arc soufflé, dans les systèmes de projection par le biais d'utilisation des torches à cathodes pointues à arc soufflé. C'est à cette dernière application que nous allons nous intéresser. Les paramètres à optimiser pour une application à de la projection sont nombreux, ils se situent à plusieurs niveaux : celui de la torche, celui de l'injection des particules et celui du substrat. Lors du dépôt, l'état de surface, la température du matériau, l'état

thermodynamique des particules, les prétraitements pour l'accrochage, la fréquence de balayage de la torche sont quelques-uns des nombreux paramètres à contrôler. L'injection des particules est aussi très complexe car le débit du gaz porteur, l'interaction de ce gaz avec le gaz plasmagène, le débit d'injection doivent être contrôlés. L'injection des particules s'effectue dans le jet de plasma à la sortie des tuyères ou dans la tuyère en aval de la position d'accrochage de l'arc. Suivant l'intensité du courant, la géométrie des tuyères, le débit du gaz plasmagène la puissance mise en jeu et donc la longueur de l'arc se trouvent impactés. A cela se rajoutent de nombreuses fluctuations provenant du changement de la position (Azimutalement, longitudinalement) du pied d'arc soumis à différentes forces. Ces changements de positions conduisent à des fluctuations de la puissance mise en jeu et donc à l'homogénéité spatiale et temporelle du plasma ce qui engendre des traitements inhomogènes sur les particules. Ainsi un nouveau type de torches dites « à cascade » a vu le jour ces dernières années. La modification majeure se situe au niveau de la partie aval de la pointe de la cathode. Ainsi avant la partie cylindrique anodique sont positionnés différents anneaux mis à un potentiel flottant isolés entre eux. Lors de son initialisation, l'arc saute donc d'une position axiale (un anneau) à une autre (autre anneau) et cela de proche en proche (arc en cascade) pour arriver sur la partie anodique la plus en aval. La position d'accrochage de l'arc peut toujours fluctuer mais uniquement sur l'anneau anodique dans une zone limitée longitudinalement.

#### ❖ **Sujet Proposé**

La première partie du stage consistera en une synthèse bibliographique portant sur l'étude de torches « classiques » utilisées pour la projection. Puis elle se focalisera sur les études relatives aux torches « à cascade ». Les différences essentielles sur le comportement du plasma seront mises en évidence et les travaux résumés en faisant ressortir les lacunes et/ou originalités entre les deux types de configurations.

Dans un second temps l'étudiant(e) se familiarisera avec les outils de maillage et de modélisation de l'équipe AEPPT. Les équations mises en jeu, leurs interactions, les hypothèses et conditions aux limites devront être clairement présentées.

Une configuration 2D sera envisagée pour étudier l'influence des paramètres (Nombre de slots (anneaux), longueur de l'anode, intensité, débit, type de gaz). Pour cela un maillage sera construit avec l'outil (Gambit ou Icemcfd). La configuration choisie devra correspondre à une géométrie sur laquelle des campagnes expérimentales ont pu être menées afin de pouvoir confronter les résultats. Les résultats seront exposés et discutés.

Enfin dans une dernière partie, l'état de l'art réalisé dans le cadre de l'étude bibliographique devra dessiner les orientations choisies pour les études à mener.

#### Références:

[1] Rodion Zhukovskii, Christophe Chazelas, Vincent Rat, Armelle Vardelle, Ron Molz, « Predicted Anode Arc Attachment by LTE (Local Thermodynamic Equilibrium) and 2-T (Two-Temperature) Arc Models in a Cascaded-Anode DC Plasma Spray Torch », J. Therm. Spray Tech. <https://doi.org/10.1007/s11666-021-01253-4>.



[2] K. Bobzi, H. Heinemann, A. O'Brien, "Capturing the Influence of Jet Fluctuations on Particles in Plasma Spraying", J Therm Spray Tech (2022) 31:59–69 <https://doi.org/10.1007/s11666-021-01307-7>.

[3] Rodion Zhukovskii1, Christophe Chazelas, Vincent Rat, Armelle Vardelle and Ron Molz, "Model of a non-transferred arc cascaded-anode plasma torch: the two-temperature formulation", J. Phys. D: Appl. Phys. 55 (2022) 065202 (20pp).

[4] Huiyu Zhang, Georg Mauer, Senhui Liu, Meng Liu, Yunjie Jia, Changjiu Li, Chengxin Li, and Robert Vaßen, "Modeling of the Effect of Carrier Gas Injection on the Laminarity of the Plasma Jet Generated by a Cascaded Spray Gun", Coatings 2022, 12, 1416. <https://doi.org/10.3390/coatings12101416>.

#### ❖ Profil recherché

Étudiant en Master 2 ou en dernière année d'Ecole d'Ingénieur dans les domaines de la Physique, des Plasmas, de la Mécanique des fluides, de la simulation multi-physique

Connaissances requises

- Connaissance en langage C - Mécanique des fluides - Physique fondamentale – Connaissance de la physique des plasmas appréciée.

#### ❖ Possibilité de poursuivre en thèse

Ces travaux devraient se poursuivre sur une thèse dans le cadre d'un projet multipartenaire dont la création est en cours.