

Sujet de thèse: Caractérisation expérimentale et théorique d'un arc électrique impulsionnel éclatant dans un liquide

1- Contexte du sujet, généralités

1.1 Généralités sur le sujet

L'utilisation des plasmas thermiques comme convertisseur d'énergie électrique en énergie thermique est présente dans de nombreux procédés ou dispositifs industriels. On peut citer entre autre la découpe de métaux, la soudure ou encore les torches de projections. Un domaine d'application particulier consiste à faire éclater ces plasmas thermiques dans des milieux liquides en appliquant une onde de courant impulsionnelle. L'établissement du plasma se fait alors en différentes phases : Initiation de l'arc qui convertit du liquide en vapeur, développement d'une bulle de gaz plasmagène dans le milieu et extinction de l'arc avec effondrement de la bulle. Une illustration de bulle plasmagène est donnée sur la figure 1.

Si le liquide est confiné dans un volume fermé, l'énergie convertie par l'arc peut alors créer des pressions importantes. Cet effet est utilisé dans certains procédés comme la fracturation de roches ou le formage de pièces. L'utilisation d'arc dans un liquide peut se faire aussi dans d'autres procédés comme la production de nano particules, les applications de soudage et de découpe.

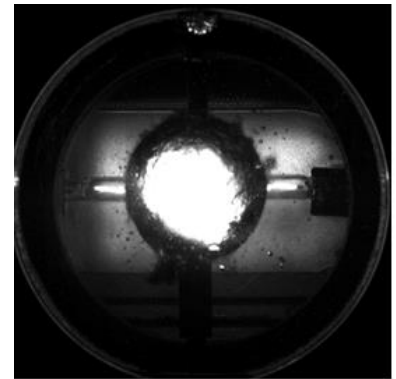


Figure 1: Image d'une bulle de vapeur créée par un arc dans un milieu liquide

1.2 Contexte scientifique

Si l'utilisation du plasma dans des milieux liquides existe déjà en milieu industriel, la plupart des configurations ont pour l'instant été développées par des analyses semi-empiriques et le savoir-faire technique des équipes concernées. Une prospection plus poussée des phénomènes mis en jeu pour une meilleure compréhension est nécessaire pour d'une part augmenter la connaissance de la communauté sur les plasmas dans ces conditions et d'autre part permettre d'améliorer les dispositifs industriels visés.

L'équipe Arcs Electriques et Procédés Plasmas Thermiques (AEPPT) (<http://www.laplace.univ-tlse.fr/Presentation>) du laboratoire LAPLACE développe depuis 5 ans des travaux dans cet objectif. Ainsi, une première thèse [1] a été menée sur le sujet portant à la fois sur des aspects théoriques avec le développement d'un modèle VOF et expérimentaux avec la mise en place d'une expérience de référence permettant d'isoler les phénomènes et d'obtenir certaines caractéristiques du milieu. Dans ce cadre, l'équipe du LAPLACE a aussi développé des collaborations académiques avec l'IMFT (Toulouse), le GEM (Nantes) et le laboratoire SIAME (Pau) dont l'étudiant pourra bénéficier.

[1] Zoé Laforest, « Etude expérimentale et numérique d'un arc électrique dans un liquide », Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier, oct 2017, <http://www.theses.fr/2017TOU30161>

2- Problématiques techniques et scientifiques

2.1 Grandeurs caractéristiques du milieu plasma, phénomènes identifiés,

Les plasmas d'arc dans les liquides sont généralement créés entre deux électrodes par des alimentations électriques impulsionnelles capables de délivrer des courants variant de quelques centaines d'ampères à quelques dizaines de milliers d'ampères sur des temps caractéristiques de quelques micro à quelques millisecondes. Les températures maximales du plasma généré varient de 10000K à 20000K et les énergies mises en jeu sont estimées à plusieurs milliers de joules. Suivant la configuration, si le liquide est confiné dans un réacteur sans présence d'air,

lorsque l'arc éclate, les pressions peuvent atteindre plusieurs centaines de bars. Néanmoins, les caractéristiques sont encore mal connues et nécessitent plus d'investigations pour être estimées.

Plusieurs phénomènes sont présents dans ces milieux : Ceux liés à la physique de l'arc (passage du courant dans un gaz, hautes températures, rayonnement, phénomènes aux électrodes), les phénomènes d'interaction à l'interface entre le gaz plasmagène et le liquide (conversion liquide/vapeur, flux de chaleur), la propagation d'onde de pression dans le milieu. Il s'agit donc d'un objet d'étude complexe et multi-physique.

2.2 Problématiques techniques et scientifiques liées à la thèse

Pour permettre la compréhension de ces milieux, l'équipe AEPPT a choisi de développer une stratégie portant à la fois sur le développement de modèles numériques et sur la mise en œuvre d'expérimentations permettant d'observer les comportements et de valider le modèle.

- Problématique expérimentale

Dans le cadre des travaux expérimentaux, l'alimentation électrique utilisée jusqu'à maintenant consiste en la charge de condensateurs de puissance délivrant une onde semi-sinusoidale de quelques kilo-ampères sur quelques millisecondes dans le réacteur. L'amorçage du plasma se fait à l'aide d'un fil fusible placé entre des électrodes séparées de quelques millimètres. Des mesures électriques (courant, tension) et par imagerie rapide (10000 images/s) synchronisées ont jusqu'ici été mises en place. Néanmoins, pour le moment, aucune mesure précise n'existe sur la température ou la pression du plasma, ni sur les espèces présentes. De la même façon, il serait intéressant de caractériser la pression dynamique dans le liquide.

- Problématique théorique

Les bases d'un modèle Volume Of Fluid 2D axisymétrique prenant en compte les caractéristiques physiques l'arc dans de l'eau ont été posées. Le modèle a été développé sous Ansys Fluent auquel plus de 5000 lignes de code UDF ont ajoutées pour prendre en compte les spécificités du plasma. Ce modèle ne prend pas en compte le couplage électrique/fluide et utilise une description simplifiée de l'interface gaz/liquide. Il permet néanmoins d'obtenir des premiers résultats intéressants. exemple des champs de vitesse et pressions obtenus par le modèle à 5ms est donné sur la figure 2. Cependant plusieurs points d'amélioration sont à prévoir comme une description fine phénomènes entre la phase gazeuse et la phase liquide ainsi que développement d'un couplage plus complet entre la partie électrique et le plasma.

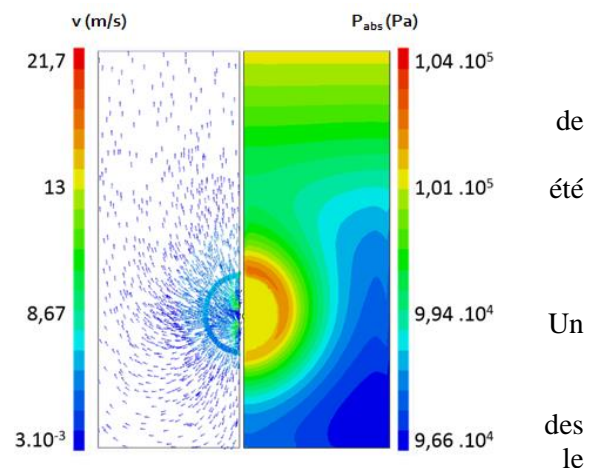


Figure 2: Champ de vitesse de te pression dans la bulle plasma

3 Programme de thèse

3.1 Objectifs

Les travaux de thèse se situent dans la continuité des travaux actuels de l'équipe AEPPT et porteront à la fois sur les aspects théoriques et expérimentaux concernant des plasmas créés dans de l'eau. Ainsi, l'étude de la formation d'un arc dans l'eau sera poursuivie sur la configuration pilote de l'équipe.

D'un point de vue expérimental, la chaîne de mesure est à compléter par des mesures par spectroscopie optique d'émission synchronisée afin d'obtenir les espèces présentes dans le milieu ainsi que sa température et sa pression. Une alimentation permettant de délivrer deux impulsions de courant est en cours de développement et l'étude de l'effet de l'injection de deux ondes de courant successives sur la dynamique du milieu est à prévoir. Enfin, il serait intéressant d'étudier les caractéristiques du milieu pour des ondes de courant avec des temps plus courts de l'ordre de la milliseconde.

D'un point de vue théorique, il s'agira de prendre en main le code et les User Defined Functions développées en C et de les compléter par des modules d'interaction électrique. Une problématique d'amélioration du temps de calcul et du maillage dynamique en fonction de la position de l'interface est aussi à prévoir. Les résultats seront confrontés avec les expérimentations menées. Si le temps le permet, l'amélioration de la description des phénomènes physiques à l'interface sera envisagée. Des calculs en milieu ouvert (proche de l'expérience pour validation) et en milieu plus confiné (avec la présence de fortes pressions) seront menés. A noter que des perspectives vers des modèles analytiques ont été menées dans l'équipe et qu'il pourrait être intéressant de s'y pencher.

3.2 Moyens techniques

Expérimentalement, une caméra Photron SA5 permet déjà d'obtenir des images de l'arc. Sur la partie spectroscopique, l'équipe possède un spectromètre imageur et une caméra Pixis dont il faudra utiliser le mode dynamique. Il sera aussi nécessaire de se familiariser avec les difficultés inhérentes aux mesures synchronisées résolues dans le temps. Le candidat en thèse bénéficiera bien évidemment de l'environnement et du savoir-faire de l'équipe

Pour les modèles, un serveur bi-processeur 36 cœurs sera à disposition pour mener des calculs parallèles qui peuvent prendre plusieurs semaines. Là aussi, le candidat bénéficiera d'un environnement favorable, l'équipe développant ce type d'UDF depuis plus de 20 ans.

3.3 Déroulé de la thèse

Dans un premier temps, le candidat devra se familiariser avec la physique des arcs électriques tout en réalisant une étude bibliographique portant sur les phénomènes liés aux arcs dans les liquides et l'utilisation de ces arcs dans des dispositifs industriels. En parallèle, une prise en main des expérimentations (Réacteur, caméra, sondes, boîtier PXI, synchronisation) ainsi que les outils de traitements des données afin de les utiliser et les améliorer sera menées. Sur la partie théorique, il s'agira de comprendre le premier modèle développé.

Dans un second temps, d'un point de vue expérimental, la chaîne de mesure spectroscopique sera mise en place avec le support d'un expérimentateur. Des premiers essais seront menés avec une onde de courant de 10ms et quelques kilo-ampères. Dans le même temps, l'étudiant participera à l'amélioration du code de calcul en collaboration avec un permanent du groupe de recherche et des premiers calculs seront menés pour comparaison avec l'expérience.

En dernière partie, des mesures seront menées sur le réacteur en présence de plusieurs ondes de courant et éventuellement sur des temps plus courts. Sur la partie théorique, une fois le modèle validé expérimentalement, il pourra être utilisé sur des temps de décharges plus courts, caractéristiques par exemple des procédés de formage électro hydraulique.

L'objectif étant une meilleure compréhension et quantification des phénomènes afin de mieux gouverner les procédés.



3.4 Profil recherché

- Master Recherche ou Ingénieur(e) en énergétique et thermique, physique des plasmas, Mécanique des Fluides, Physique appliquée...
- Appétence et compétences en techniques expérimentales et modélisation
- Curiosité, sens physique et pratique, rigueur scientifique et rédactionnelle, capacités d'analyse et de synthèse, autonomie dans la recherche de solutions à des problèmes complexes
- Prêt pour le développement expérimental couplé à l'utilisation de modèles multi-physiques.

Les candidats souhaitant évoluer dans un environnement de recherche exigeant sur un sujet émergent et complexe portant à la fois sur des aspects expérimentaux et théoriques.

3.5 Modalités et encadrement

- Contrat doctoral ou équivalent sur 36 mois, début automne 2020.

Co-direction de thèse	
 www.laplace.univ-tlse.fr	 www.laplace.univ-tlse.fr
Jean-Jacques Gonzalez Directeur de Recherches CNRS. équipe Arc Electrique et Procédés Plasmas Thermiques (AEPPT).	Pierre Freton Professeur des Universités, resp. équipe Arc Electrique et Procédés Plasmas Thermiques (AEPPT).
gonzalez@laplace.univ-tlse.fr	freton@laplace.univ-tlse.fr www.linkedin.com/in/pierre-freton-92472072

- Candidature directement auprès d'un des encadrants, ou par e-mail avec CV et lettre de motivation.