



**HAL**  
open science

# Etude de la Vaporisation d'une Interface liquide en interaction avec un Plasma créé par un Arc Electrique

Coseru Sergiu, Tanguy Sébastien, Jean-Jacques Gonzalez, Pierre Freton

## ► To cite this version:

Coseru Sergiu, Tanguy Sébastien, Jean-Jacques Gonzalez, Pierre Freton. Etude de la Vaporisation d'une Interface liquide en interaction avec un Plasma créé par un Arc Electrique. CAE15, 15ème colloque sur les arcs électriques, Jun 2021, Rouen, France. . hal-03797981

**HAL Id: hal-03797981**

**<https://hal.science/hal-03797981>**

Submitted on 5 Oct 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# **Etude de la Vaporisation d'une Interface liquide en interaction avec un Plasma créé par un Arc Electrique**

Coseru Sergiu<sup>1,2</sup>, Tanguy Sébastien<sup>2</sup>, Gonzalez Jean-Jacques<sup>1</sup> et Freton Pierre<sup>1</sup>

1- *Laboratoire LAPLACE, UMR5213, 118 Route de Narbonne, 31077 Toulouse,*

2- *Laboratoire IMFT UMR 5502, 2 Allées du Pr Camille Soula, 31400 Toulouse*

mél: sergiu.coseru@laplace.univ-tlse.fr

L'éclatement d'un arc électrique dans un milieu liquide est utilisé dans certaines applications comme la stérilisation du liquide par rayonnement UV, la fracturation de roches par onde de choc, les disjoncteurs à bain d'huile ou le formage de pièces mécaniques. Ainsi, décrire la physique de l'arc dans un liquide et en particulier son interaction avec une interface liquide est un enjeu important pour mieux caractériser ce type de configuration. Pour étudier ce type de milieu, l'équipe Arc Electrique et Procédés Plasmas Thermiques du LAPLACE a développé un réacteur pilote constitué de deux électrodes pointes séparées de 3 mm et rempli de 30l d'eau [1]. Des études expérimentales utilisant une demi-onde de courant sinusoïdal de 10ms avec une amplitude de 1kA ont été menées. Pendant ce phénomène, se forme une bulle d'un rayon de quelques centimètres. Le processus entier se fait en 3 étapes : Formation de la bulle, expansions de la bulle, et l'effondrement. Pendant la formation de la bulle, l'arc électrique chauffe le milieu à des températures élevées d'environ 15000 - 20000 K ce que vaporise le liquide. Les gradients de quantités physiques qui se forment dans la bulle sont très importants ce qui rend la simulation numérique du phénomène assez complexe. Un premier modèle développé à l'aide du logiciel Fluent a donné des résultats intéressants mais une modélisation plus poussée notamment à l'interface plasma/liquide est nécessaire pour mieux capturer le changement de phase et les ondes de chocs créées par la bulle. Ainsi, le but de cette étude est de modéliser de manière plus complète les interactions du plasma et la partie diphasique.

Pour ces nouvelles études numériques, nous avons fait le choix d'utiliser un code en FORTRAN développé à l'IFMT (Institut de mécanique de fluides de Toulouse) dans le cadre du projet DIVA Dynamique d'Interface pour la Vaporisation et l'Atomisation [2]. Ce code diphasique utilise pour l'instant une méthode non compressible et une adaptation est nécessaire pour l'utiliser en compressible avec une écriture particulière de l'équation de l'énergie et de l'équation d'état. Par ailleurs, le code DIVA n'est pas encore adapté pour traiter la formation de la bulle avec un arc électrique et nous sommes confrontés à un certain nombre de difficultés. Tout l'enjeu de cette étude est donc d'étendre le code DIVA pour permettre la description de ces conditions particulières. Dans ce papier, le contexte de l'étude sera rappelé et des premiers résultats sur un maillage régulier axisymétrique seront présentés.

## **Remerciements**

Cette étude rentre dans le cadre d'une bourse doctorale octroyée par la région Occitanie que nous remercions ici.

## **Références :**

[1] Zoé Laforest Etude expérimentale et numérique d'un arc électrique dans un liquide

[2] <https://www.imft.fr/>

## Introduction:

Les arcs électriques sont utilisés dans plusieurs applications comme la fracturation des roches où le formage de pièces. Néanmoins la caractérisation de ce milieu reste partielle. Dans ce contexte l'équipe AEEPT a débuté des travaux sur ce sujet depuis 5 ans. Des expérimentations ont eu lieu et un premier modèle utilisant le code commercial FLUENT a été créé. Cependant, Il ne permettait pas de capturer correctement la physique de l'interface, des changements de phase et l'acoustique. Ainsi une collaboration entre IMFT et LAPLACE a été initiée pour étudier l'interaction bulles-Plasmas de décharge, avec le code de calcul diphasique DIVA. Ce travail s'inscrit dans cette collaboration et a pour objectif la modélisation avec cet outil d'un arc électrique dans l'eau.

## Hypothèses:

- L'hypothèse de continuité pour les fluides.
- Une seule espèce H2O gaz, liquide + dissociation plasma
- Équation d'état cubique pour le liquide (e.g. Van der Waals)
- Équilibre thermodynamique local plasma+ deduction d'équation d'état numérique pour le plasma
- Maillage 2D axisymétrique
- Laminaire
- Pour l'instant pas de changement de phase

## Outils numériques

Le code de calcul DIVA développé à IMFT est adapté aux simulations diphasiques avec changement de phase. Pour les hautes puissances et hautes températures (arcs électriques), de nombreux développements doivent cependant être ajoutés pour tenir compte de la physique des plasmas. Les équations que l'on résout pour un fluide compressible sont les suivantes:

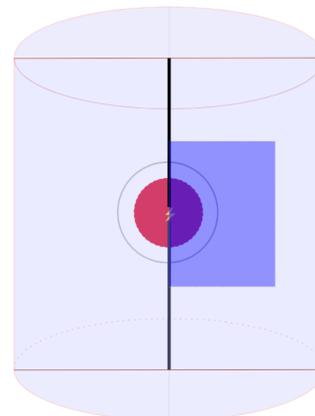
$$\frac{D\rho}{Dt} + \rho \nabla \cdot \vec{u} = 0$$

$$\frac{D\vec{u}}{Dt} + \frac{\nabla p}{\rho} = \frac{1}{\rho} \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} + \frac{\sigma k \vec{n} \delta_{\Gamma}}{\rho} + \vec{g}$$

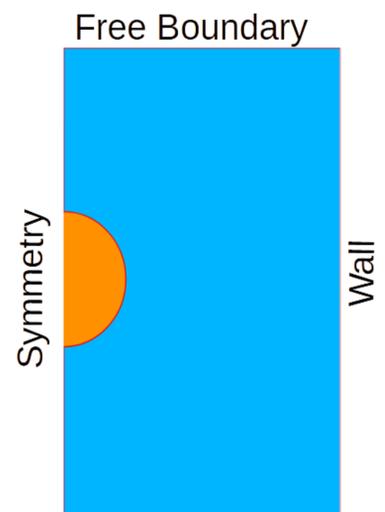
$$\frac{DP}{Dt} = \frac{\partial P}{\partial \rho} \left| \frac{D\rho}{Dt} + \frac{\partial P}{\partial s} \right| \frac{Ds}{Dt} \quad \frac{DP}{Dt} = c^2 \frac{D\rho}{Dt} + \frac{\rho c^2 T \alpha Ds}{c_p Dt}$$

$$\frac{DP}{Dt} = -\rho c^2 \nabla \cdot \vec{u} + \frac{c^2 \alpha}{c_p} (-\nabla \cdot \vec{q} + \boldsymbol{\tau} \otimes \nabla \cdot \vec{u} + J - 4\pi \epsilon)$$

## Description de la configuration



Configuration expérimentale



Configuration 2D axisymétrique

Deux électrodes sont introduites dans l'eau. Un courant sinusoïdal est imposé avec une puissance maximale de 200 kW. Le courant vaporise l'eau et crée une bulle de vapeur d'eau. Dans l'intérieur de la bulle le champ de température, masse volumique, pression varie fortement.

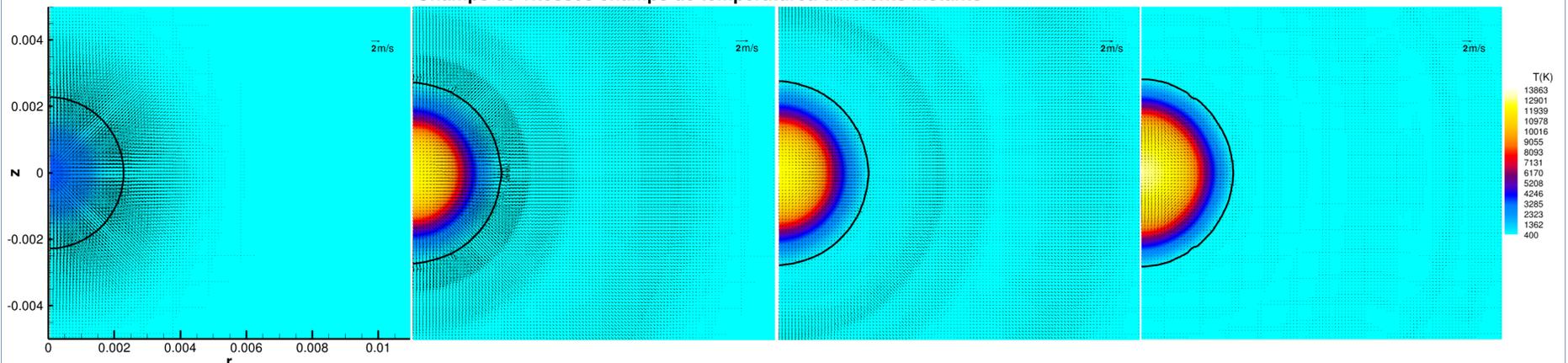
## Comparaison : Modèle habituel Notre modèle

	Modèle habituel	Notre modèle
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ANSYS FLUENT</li> <li>• SIMPLE + VOF</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Code DIVA</li> <li>• Level set</li> </ul>
• $\rho$ (Densité)	• Equation d'état	• Equation conservation masse
• T (Temperature)	• Equation enthalpie/energie	• Equation d'état
• v (Vitesse)	• Navier-Stokes	• Navier-Stokes
• P (Pression)	• Equation conservation masse	• Equation de l'énergie écrite en Pression

J - represent le terme source: échauffement du gaz par l'arc  
 Le terme source est appliqué au volume iso-7000 K  
 Si le volume iso-7000 K est "petit" on applique le terme source sur une gaussienne au centre  
 $4\pi \epsilon$  - Rayonnement

$$J(t) = K \sin\left(\frac{t}{T_f} \pi\right)$$

## Champs de vitesses champs de temperaturea differents instants



## Travaux préliminaires

Propriétés des plasmas implantées ( forte variabilité des propriétés thermophysiques k, Cp, rho...)

Solveur compressible diphasique couplé à des termes sources (effet Joule) et puits (pertes radiatives) représentatifs d'un plasma de décharge

## Travaux en cours et perspectives

- Amélioration de la conservation de la masse pour de très fortes variations de densité à l'intérieur de la bulle

Changements de phase liquide-vapeur pour un écoulement diphasique compressible

Couplage avec une modélisation plus fine de l'arc électrique