

PROPOSITION DE STAGE EN COURS D'ETUDES

Référence : **DTIS-2025-38**
(à rappeler dans toute correspondance)

Lieu : Toulouse ou Palaiseau

Département/Dir./Serv. : DTIS/MACI

Tél. : 01.80.38.66.10

Responsable(s) du stage : L. Reboul et G. Dufour

Email : Louis.Reboul@onera.fr

DESCRIPTION DU STAGE

Thématique(s) : Mathématiques Appliquées et leurs Interactions, Calcul Scientifique

Type de stage : Fin d'études bac+5 Master 2 Bac+2 à bac+4 Autres

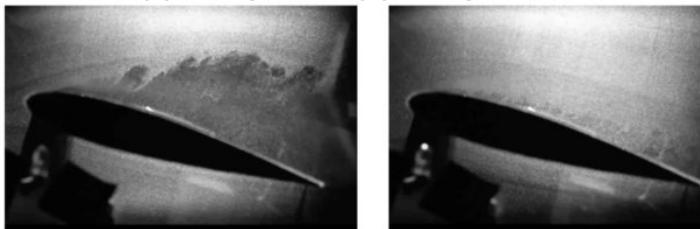
Intitulé : Schémas Implicites pour la modélisation numérique des plasmas et application à l'ElectroHydroDynamique

Sujet : L'augmentation drastique du fret et du transport de passagers, ainsi que les contraintes environnementales liées à la production de Nox requièrent des améliorations significatives des performances des avions. Ainsi, la diminution de la traînée de frottement de quelques pourcents peut permettre d'obtenir une économie de carburant importante et un allègement de la consommation considérable. Des travaux menés durant les deux dernières décennies ont montré que des dispositifs électriques (les DBDs, voir figure ci-dessous) générant des décharges continues, alternatives ou impulsives peuvent modifier les propriétés d'un écoulement et ainsi conduire à contrôler l'écoulement. L'énergie électrique fournie par un tel dispositif permet de transformer localement l'air en gaz ionisé (un plasma) qui lui-même va céder par collisions sa quantité de mouvement et ainsi créer un déplacement des molécules d'air. On représente cet effet par une force appelée la force ElectroHydroDynamique (EHD).

Ces processus sont complexes à modéliser car ils mettent en jeu de multiples phénomènes à des échelles très différentes : cinétique, dérive des ions et des électrons, effets de charge d'espace, etc. Un système

Visualisation du recollement d'une couche limite à l'aide d'une DBD :

(a) sans plasma, (b) avec plasma.



(a)

(b)

Le point lumineux correspond à la position de la DBD.

maillages localement très raffinés pour capturer ces zones.

Un code de calcul modélisant ces décharges électriques (COPAIER [1,2,3]) a été développé à l'ONERA (voir l'exemple de simulation sur la figure ci-dessous). COPAIER calcule la dynamique du plasma et permet d'obtenir le profil et l'intensité de la force EHD générée. En introduisant cette force dans un code CFD, on peut alors estimer l'effet induit par le plasma. Les schémas numériques développés dans COPAIER sont explicites et nécessitent donc de satisfaire une condition CFL sur le pas de temps très stricte. Cela rend le calcul très coûteux en nombre de pas de temps. Une méthode implicite est donc essentielle si on veut effectuer des simulations dans des temps réalistes.

L'objectif de ce stage est de poursuivre le travail initié durant la thèse de D. Nguyen [4,5] sur le développement d'un schéma implicite pour la résolution du système global couplé, puis dans un second temps d'étudier la montée en précision du système. Nous nous appuyons pour cela sur les schémas de

type Scharfetter-Gummel couplés à une approche de pénalisation pour garantir une densité minimale d'électrons. Si le temps le permet à la fin du stage, nous étudierons les stratégies qui incluent le phénomène de photo-ionisation permettant d'expliquer la génération d'électrons par le rayonnement induit par la décharge.

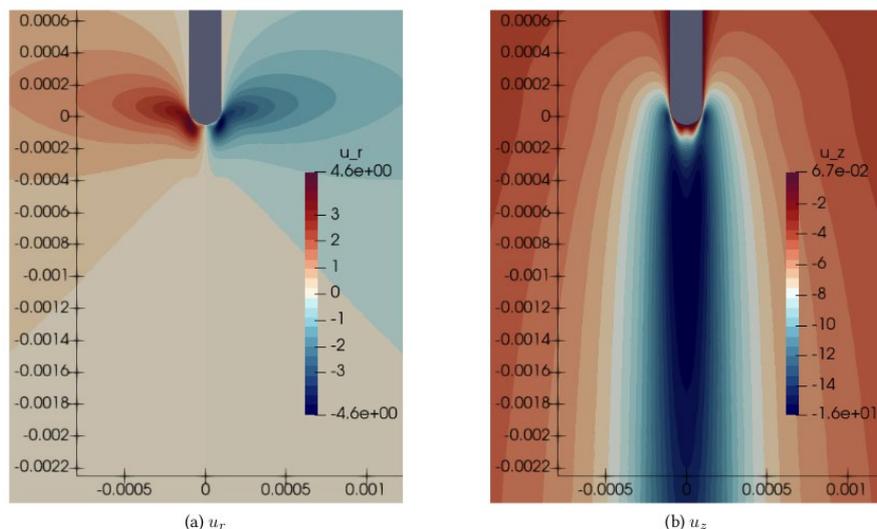


Figure 7.17: Radial and axial components u_r and u_z (m s^{-1}) of the flow velocity near the needle tip obtained with the turbulence model, for $\Delta V_G = 12 \text{ kV}$ and $\psi = 10^{11} \text{ m}^{-3}$

	data	$\psi = 10^9$	$\psi = 10^{11}$	$\psi = 10^{12}$
$k_{VI} (\mu\text{A kV}^{-2})$	0.174	0.12	0.121	0.119

Exemple de décharge de type pointe-anneau [5]

Rogier. "The electrohydrodynamic force distribution in surface AC dielectric barrier discharge actuators: do streamers dictate the ionic wind profiles?" Journal of Physics D: Applied Physics 54.26 (2021): 26LT01.

[4] Dung, Nguyen Tuan, Christophe Besse, and François Rogier. "An implicit time integration approach for simulation of corona discharges." Computer Physics Communications 294 (2024): 108906.

[5] Nguyen, Tuan Dung, « Développement d'une méthode numérique multiéchelle pour les plasmas atmosphériques et application au contrôle d'écoulements », Thèse de doctorat Mathématiques et Applications Toulouse 3, 2023. <http://www.theses.fr/2023TOU30334/document>

Bibliographie :

[1] G. Dufour, F. Rogier. "Numerical Modeling of Dielectric Barrier Discharge Based Plasma Actuators for Flow Control : the COPAIER/CEDRE Example". AerospaceLab, 2015

[2] Kourtzanidis, Konstantinos, Guillaume Dufour, and François Rogier. "Self-consistent modeling of a surface AC dielectric barrier discharge actuator: In-depth analysis of positive and negative phases." Journal of Physics D: Applied Physics 54.4 (2020): 045203.

[3] Kourtzanidis, Konstantinos, Guillaume Dufour, and François

Est-il possible d'envisager un travail en binôme ? Non

Méthodes à mettre en oeuvre :

- | | |
|---|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Recherche théorique | <input type="checkbox"/> Travail de synthèse |
| <input checked="" type="checkbox"/> Recherche appliquée | <input type="checkbox"/> Travail de documentation |
| <input type="checkbox"/> Recherche expérimentale | <input type="checkbox"/> Participation à une réalisation |

Possibilité de prolongation en thèse : Oui

Durée du stage : Minimum : 5 mois Maximum : 5 mois

Période souhaitée : Début en Mars ou Avril 2025

PROFIL DU STAGIAIRE

Connaissances et niveau requis :
Analyse numérique, Modélisation,
Connaissances générales en Mathématiques
Appliquées niveau M2

Ecoles ou établissements souhaités :
Ecole d'ingénieur, Master 2 recherche