Université de Tours

M2 « Modèles Non Linéaires en Physique »

Année universitaire 2024-2025

PROPOSITION DE STAGE

Organisme : CNRS / Pprime / Université de Poitiers
Laboratoire : Institut P', Equipe Curiosity
Directeur du laboratoire : Karl Joulain
Responsable du stage :
Philippe Traoré philippe.traore@univ-poitiers.fr
Lionel Agostini lionel.agostini@cnrs.fr

Adresse et lieu du stage : Institut P', 11 Boulevard Pierre et Marie Curie, Chasseneuil-du-Poitou 86360. Equipe Curiosity.

Stage pouvant déboucher sur une thèse
OUI ~~**NON**~~

- **Si oui, type de financement de la thèse** :
  Possibilité de poursuivre en thèse CIFRE financée par SAFRAN Aircraft Engines.

Sujet de Master

Simulation numérique du contrôle des transferts de chaleur sur une rampe par actionneur plasma.

Mots clés: Simulation numérique, Electro-Hydro-Dynamique, Contrôle, Actionneur DBD.

Contexte scientifique

Cette proposition de stage s'inscrit dans le cadre d'une collaboration avec l'Entreprise **SAFRAN Aircraft Engines**.

Le contrôle des écoulements, visant à modifier leurs propriétés pour les amener vers un état souhaité ou optimal, est devenu depuis plusieurs décennies un enjeu majeur pour relever les défis sociétaux (réduction des pollutions et des nuisances sonores) et pour développer le secteur économique en intervenant notamment dans la définition des futurs aéronefs ou véhicules terrestres. Concernant les processus technologiques impliquant des transferts de chaleurs, l'amélioration des performances des échangeurs de chaleur est un défi technologique essentiel pour accroître l'efficacité et la rentabilité de ces systèmes. Avec l'augmentation rapide de la

consommation d'énergie au niveau mondial au cours des dernières décennies, la demande de concepts et de méthodologies innovants a considérablement augmenté. Quelle que soit l'application, qu'il s'agisse de chauffage ou de refroidissement, l'amélioration de la capacité de transfert de chaleur des échangeurs est une étape cruciale pour atteindre une efficacité maximale.

A cet effet, de nombreuses techniques ou actionneurs ont vu le jour en fonction des configurations d'écoulement et des effets recherchés. Parmi toutes ces méthodes une nouvelle technologie basée sur l'utilisation de **plasmas froids** est aujourd'hui en pleine expansion. Ces types d'actionneurs plasmas, dit à **D**écharge plasma à **B**arrière **D**iélectrique (**DBD)** reposent sur l'utilisation optimale du **vent ionique** induit par la décharge plasma. Ils sont en général composés d'un système d'électrodes installées sur une des parois du domaine d'écoulement que l'on souhaite contrôler. En appliquant une différence de potentiel suffisante entre ces électrodes et selon leurs placements respectifs, on génère une décharge plasma. Cette décharge permet un **transfert d'énergie** vers le fluide qui va se traduire par la création d'un vent ionique qui est en fait une conversion directe d'énergie électrique en énergie cinétique. Grâce à ce procédé, les décharges plasma peuvent être utilisées pour créer un **flux tangentiel** à la paroi de façon à accélérer l'écoulement et surtout modifier le profil de vitesse dans la couche limite. Elles peuvent être également utilisées pour induire cette fois un flux perpendiculaire à la paroi afin d'augmenter **l'intensité turbulente** de l'écoulement. Le but poursuivi étant ainsi de modifier la transition laminaire-turbulent dans la couche limite afin de prévenir, ou au contraire suivant les objectifs, induire son décollement.

L'intérêt grandissant autour des actionneurs plasma provient d'une part de son caractère non intrusif dans l'écoulement, son faible coût de mise en œuvre énergétique ainsi que ses temps de réaction particulièrement courts comparés aux actionneurs mécaniques par soufflage ou aspiration plus souvent utilisés.

L'efficacité de l'actionneur repose grandement sur sa position sur la paroi ainsi que sur de nombreux paramètres de contrôle (Figure 1) :

- nombre d'électrodes,
- distance inter électrodes et longueur des électrodes,
- amplitude de la différence de potentiel électrique ou puissance électrique,
- forme du signal alternatif électrique (carré, triangulaire, sinusoïdal),
- fréquence du signal.

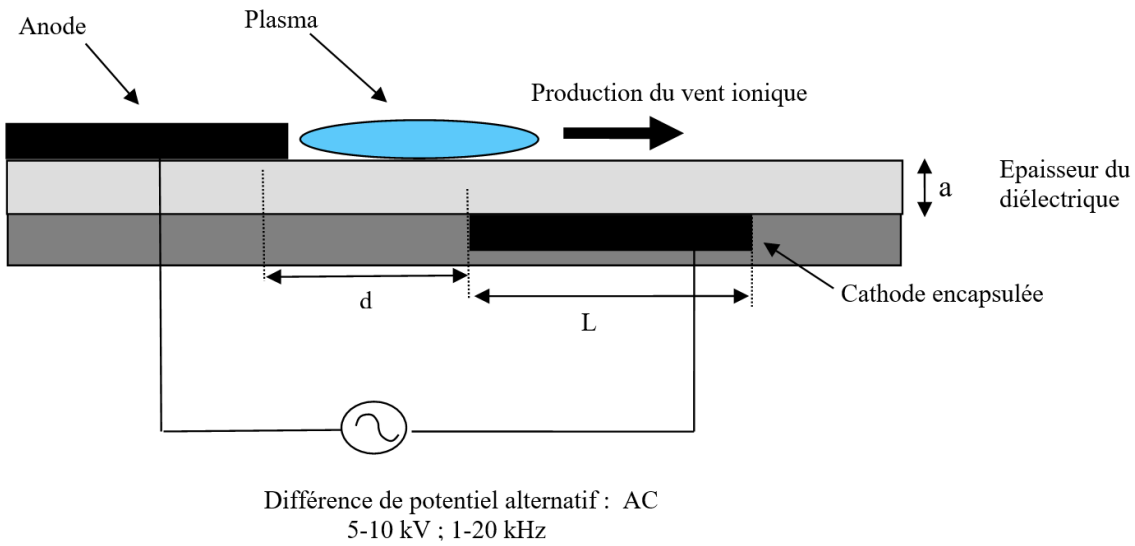

Figure 1. Configuration d'un actionneur plasma à barrière diélectrique à 2 électrodes et paramètres de contrôle.

Les combinaisons offertes par ces dispositifs sont très nombreuses. L'utilisation de **la simulation numérique** et de **l'Intelligence Artificielle** dans ce contexte est un atout essentiel afin de permettre d'optimiser le procédé de la décharge plasma en fonction de l'application visée, en évitant ainsi de trop nombreux essais expérimentaux parfois coûteux à réaliser. L'outil numérique permet aussi de mieux comprendre la physique de cet échange énergétique en simulant le comportement de différents modèles théoriques. L'Intelligence Artificielle (Apprentissage Automatique) permet d'optimiser le fonctionnement de l'actionneur en jouant sur les différents paramètres qui déterminent son fonctionnement.

Description du stage

Dans le cadre de nos activités de simulation numérique en **EHD** (Electro-Hydro-Dynamique) nous avons développé un code de calculs : **Oracle 3D**, pour la résolution des équations de **Navier-Stokes** couplées aux **équations de Maxwell**. Ce code écrit en Fortran 95 est basé sur la méthode des volumes finis. C'est un code structuré par blocs capable de prendre en compte des hexaèdres non-orthogonaux pour simuler des écoulements dans des géométries complexes. Le code est parallélisé avec la bibliothèque **MPI**.

Ce stage se structurera en 3 phases :

1. Nous souhaitons réaliser la simulation numérique d'écoulements sur une rampe chauffée (Figure 2). Dans un premier temps, il s'agira de mailler le domaine de calcul tridimensionnel avec **Blockmesh** (le mailleur d'Open Foam) ou **Gmesh**. Il faudra développer un petit outil de traduction des données de maillages provenant de Gmesh et de les formater pour le code Oracle 3D.

2. Nous ferons ensuite des simulations couplant un écoulement provenant de la gauche et des transferts de chaleur en imposant un flux de chaleur sur la rampe ou en la chauffant.

3. Enfin nous simulerons la décharge plasma grâce au modèle **Suzen-Huang** (déjà implémenté dans le code Oracle-3D). Il s'agira de placer les électrodes de manière judicieuse sur le plateau de la rampe, afin de générer un écoulement pariétal secondaire qui permettra de la refroidir.

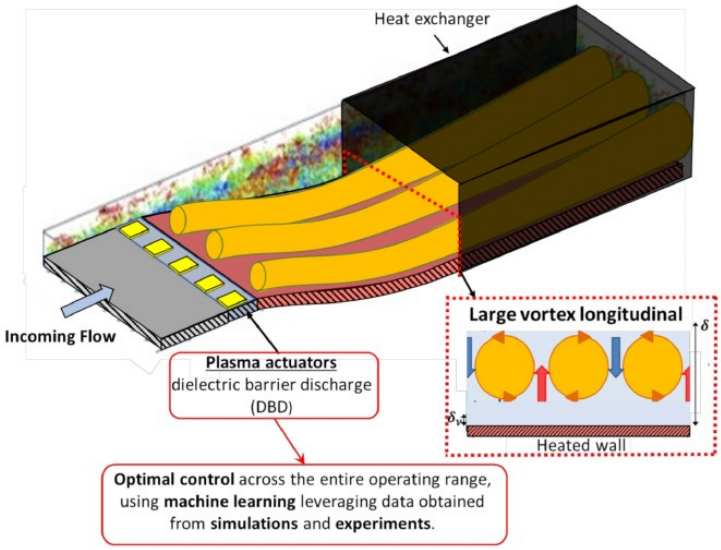

Figure 2. Ecoulement schématique sur la rampe.

L'objectif de ce stage est de permettre au candidat ou à la candidate recruté(e) de se familiariser et de prendre en main le code Oracle 3D, qui sera l'outil de simulation utilisé ensuite au cours d'une thèse CIFRE financée par SAFRAN Aircraft Engines.

Profil du (ou de la) candidat(e) et prérequis

Ce stage nécessitera quelques développements numériques, même s'ils resteront modestes. Le ou la candidat(e) devra montrer un goût prononcé pour ce type de développements. La maîtrise d'au moins un langage de programmation est essentiel (Fortran, langage C ou Python) est nécessaire.
La connaissance des bibliothèques MPI et Petsc sera particulièrement appréciée.

Contexte du stage

- **Durée** : 5-6 mois.
- **Localisation** : Institut P', 11 Boulevard Pierre et Marie Curie, Chasseneuil-du-Poitou 86360. Equipe Curiosity.
- **Gratification** : 659€ par mois.
- **Opportunité** : Possibilité de poursuivre en thèse CIFRE financée par SAFRAN Aircraft Engines.

Candidature

Pour candidater, merci de nous faire parvenir :

- Un CV.
- Une lettre de motivation.
- Votre relevé de notes en M1.